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

PROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA INTEGRADA DEL ACONCAGUA

Informe Final

REALIZADO POR:

WSP CONSULTING CHILE LTDA.

SIT N°446

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

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

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial PhD Sr. Oscar Cristi Marfil

Jefe de División Estudios y Planificación
Ingeniero Civil MSc Sra. Andrea Osses Vargas

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil PhD Sr. Carlos Flores Arenas

WSP CONSULTING CHILE LTDA
Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sr. Eduardo Abujatum Gidi

Profesionales:
Ingeniero Civil MSc Grace Palomino
Geólogo Catalina Sesmero
Ingeniero Civil Juan Pablo Riquelme
Ingeniero Civil Ignacio Farías
Ingeniero Civil Agustín Ferrer
Dibujante Técnico Johanna Rojas

CONTENIDO GENERAL

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Área de estudio 1

1.2 Objetivos de la Prestación de Servicios 2

1.3 Alcances y Metodología 4

2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES 6

2.1 Información facilitada por la dga 6

2.2 Información reunida por wsp 8

2.3 Índice de Fichas Revisión de Información 9

2.4 Litología y Pruebas de Bombeo 10

2.5 Convenios Vigentes DOH Y ESVAL 13

2.6 Sistema de Turnos 16

2.7 Análisis de Los Resultados de Las Pruebas de la Planta Piloto de Recarga Artificial de Curimón (Ref. 3) 21

3 MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA 25

3.1 Caracterización Meteorológica 25

3.1.1 Información Pluviométrica 25

3.1.2 Análisis de Consistencia de Datos 30

3.1.3 Análisis de Correlación para Extensión y Relleno de Datos 31

3.1.4 Precipitación Media Anual Y Mensual 31

3.1.5 Precipitación en Años Secos 35

3.1.6 Evaporación 40

3.2 Caracterización Fluviométrica 42

3.2.1 Información Fluviométrica 42

3.2.2 Análisis de Consistencia de Datos 49

3.2.3 Análisis de Correlación para Extensión y Relleno de Datos 50

3.2.4 Caudal Medio Anual y Mensual 51

3.2.5 Caudales Años Secos 57

3.3 Modelo de Operación del Sistema Aconcagua – MOS ACN 2019 59

3.3.1 Descripción del Modelo MOS Existente 59

3.3.2 Análisis de Brechas, Gap-Análisis 66

3.3.3 Actualización del Modelo MOS 70
3.3.4 Resultados del Modelo MOS 81
4 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA ... 90
4.1 Revisión y Actualización de modelo hidrogeológico conceptual existente 90
4.1.1 Geología Regional 90
4.1.2 Geomorfología Regional 98
4.1.3 Estructuras 99
4.1.4 Sistemas de fallas 100
4.1.5 Hidrogeología Regional 101
4.1.6 Profundidad del Basamento 105
4.1.7 Permeabilidad 112
4.1.8 Piezometría 120
4.1.9 Perfiles hidrogeológicos 123
4.1.10 Evolución de los niveles subterráneos 145
4.2 Descripción y Revisión del modelo modflow existente (VM ACN 2008) 175
4.3 Actualización del modelo Modflow (VM ACN 2019) 183
4.3.1 Extensión del Modelo 183
4.3.2 Resultados Obtenidos 194
5 ESCENARIOS PREDICTIVOS 200
5.1 Construcción de escenarios 200
5.1.1 Extracciones Subterráneas 200
5.1.2 Recarga Superficial 204
5.1.3 Otras Consideraciones Importantes (Todas Las Simulaciones) 205
5.1.4 Recarga Artificial 206
5.2 Resultados Seguridad de Riego 210
5.3 Resultados Modelación Subterránea 213
6 MIGRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO A WEAP 226
6.1 Construcción modelo weap en base a MOS ACN 2019 226
6.2 Conversión del Modelo MPL 231
6.3 Comparación de Resultados de la Calibración 234
7 MIGRACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO A MODFLOW NATIVO 241
7.1 Estructura y Conversión del Modelo 241
7.2 Procedimiento para La Obtención de Resultados 246

7.2.1 Resultados del Balance Hídrico 246
7.2.2 Resultados de Niveles 248
7.3 Comparación de resultados de la Calibración 251
8 RESUMEN Y CONCLUSIONES 259
9 BIBLIOGRAFÍA 266

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Etapas y actividades asociadas a la metodología 4

Tabla 2-1: Listado Fichas descriptivas 9

Tabla 2-2: Nuevos sondeos con información hidrogeológica disponible 11

Tabla 2-3: Convenios vigentes compra de agua cruda de ESVAL 14

Tabla 2-4: Caudales Protocolo de acuerdo 2019 en estación Chacabuquito 19

Tabla 2-5: Diseño de las infraestructuras 23

Tabla 2-6: Resumen de las pruebas de infiltración realizadas 24

Tabla 3-1: Características de estaciones meteorológicas 26

Tabla 3-2: Características de las estaciones meteorológicas seleccionadas 27

Tabla 3-3: Disponibilidad de datos pluviométricos en las estaciones meteorológicas seleccionadas 28

Tabla 3-4: Correlaciones para precipitaciones anuales entre estaciones en estudio 31

Tabla 3-5: Estadígrafos de precipitación en estaciones de interés (mm) 32

Tabla 3-6: Estadígrafos de precipitación en la estación Los Aromos (mm) 34

Tabla 3-7: Rangos para caracterizar sequías con el índice IPE 36

Tabla 3-8: Valores IPE, probabilidad de ocurrencia acumulada de obtener un valor igual o menor y periodo de retorno estimado 36

Tabla 3-9: Resultados test de Kolmogorov-Smirnov, α=0,05, para distribución de precipitaciones acumuladas cada 6 meses en estaciones de interés 38

Tabla 3-10: Datos disponibles de evaporación 40

Tabla 3-11: Estadígrafos de evaporación en estaciones de interés (mm) 41

Tabla 3-12: Ubicación de estaciones fluviométricas 43

Tabla 3-13: Características de las estaciones fluviométricas seleccionadas 47

Tabla 3-14: Disponibilidad de datos fluviométricos 48

Tabla 3-15: Estadígrafos de caudales en series rellenadas − Grupo 1 (m^3/s) 52

Tabla 3-16: Estadígrafos de caudales en series rellenadas − Grupo 2 (m^3/s) 55

Tabla 3-17: Resultados test de Kolmogorov-Smirnov, α = 0,05, para distribución de caudales acumuladas cada 3 meses en estaciones de interés 57

Tabla 3-18: Metodología utilizada para la generación de caudales en las cuencas de entrada (CE) 73

Tabla 3-19: Valores de Pmin utilizados en la simulación de caudales a partir del modelo MPL 77

Tabla 3-20: Evaporación promedio en la estación Quillota 80

Tabla 4-1: Resumen de nuevos antecedentes de profundidad del basamento. 109

Tabla 4-2: Resumen de nuevos antecedentes de permeabilidad 118
Tabla 4-3: Distribución de perfiles en los acuíferos administrativos. 123
Tabla 4-4: Pozos Monitoreo DGA 147
Tabla 4-5: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 1 San Felipe. 150
Tabla 4-6: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 2 Putaendo. 153
Tabla 4-7: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 3 Panquehue 155
Tabla 4-8: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 4 Catemu 157
Tabla 4-9: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 5 Llay llay. 159
Tabla 4-10: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales − Hijuelas, sector Romeral − La Calera. 162
Tabla 4-11: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales − Hijuelas, sector Nogales y El Melón. 164
Tabla 4-12: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 7 Quillota. 167
Tabla 4-13: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura. 171
Tabla 4-14: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 9 Limache 174
Tabla 4-15: Características principales del modelo VM ACN 2008. 178
Tabla 4-16: Asignación de recarga superficial en el modelo. 184
Tabla 4-17: Asignación de recarga lateral en el modelo 188
Tabla 4-18: Factor de uso previsible en la cuenca del río Aconcagua 189
Tabla 4-19: Resumen captaciones usadas en la actualización del modelo 191
Tabla 4-20: Balance de masas promedio global de la cuenca del río Aconcagua para la calibración. 197
Tabla 4-21: Producción promedio dren Las Vegas para períodos seleccionados 197
Tabla 5-1: Demanda comprometida a abril de 2019 y caudal considerado en cada escenario . 201
Tabla 5-2: Recarga superficial promedio impuesta en cada escenario. 205
Tabla 5-3: Caudal medio mensual disponible para recarga artificial 207
Tabla 5-4: Comparación de Seguridad de riego por sección con Escenario 1 (1) 208
Tabla 5-5: Grado de satisfacción de la demanda (%). 211
Tabla 5-6: Diferencia de grado de satisfacción de la demanda entre Escenarios 2 y 1 212

Tabla 5-7: Balance de masas promedio global en 50 años de la cuenca del río Aconcagua para las simulaciones 213
Tabla 5-8: Interferencia río-acuífero para el Escenario 1 (demanda comprometida a abril de 2019) 225
Tabla 5-9: Interferencia río-acuífero para el Escenario 2 (proyecto DOH) 225
Tabla 6-1: Modelación en sectores de riego en MOS y WEAP 228
Tabla 6-2: Elementos del modelo WEAP Aconcagua 230
Tabla 6-3: Detalles operación MPL Python 231
Tabla 6-4: NRMS para calibración de estaciones fluviométricas. Período 1950-2019..... 234
Tabla 7-1: Principales archivos o paquetes de Modflow 2000..... 243
Tabla 7-2: Principales archivos de resultados 245
Tabla 7-3: Comparación entre los resultados de VM ACN 2019 y Modflow Nativo 252

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación del área de estudio 3
Figura 2-1: Vista de las obras de recarga (Decantador y balsas)..... 22
Figura 2-2: Esquema de la planta piloto de recarga artificial. 23
Figura 3-1: Ubicación de las estaciones meteorológicas y fluviométricas..... 29
Figura 3-2: Curvas doble acumuladas de estaciones pluviométricas con estación índice..... 30
Figura 3-3: Serie temporal de precipitaciones anuales en estaciones de interés..... 33
Figura 3-4: Serie temporal de precipitaciones anuales en estación Los Aromos..... 35
Figura 3-5: Valores IPE para seis meses de precipitación en las estaciones seleccionadas..... 39
Figura 3-6: Curvas doble acumuladas de estaciones fluviométricas con estación índice 49
Figura 3-7: Perfil estacional de caudales medios mensuales en series completas − Grupo 1 53
Figura 3-8: Serie temporal caudales medios mensuales series completadas − Grupo 1 54
Figura 3-9: Perfil estacional de caudales medios mensuales en series completas - Grupo2..... 56
Figura 3-10: Serie temporal caudales medios mensuales series completadas − Grupo 2 56
Figura 3-11: Valores ICE para tres meses de caudales medios mensuales en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito, Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral 58
Figura 3-12: Elementos del modelo de operación del sistema − MOS 63
Figura 3-13: Diagrama unifilar del modelo de operación del sistema − MOS..... 64
Figura 3-14: Áreas de contribución al modelo MOS..... 65
Figura 3-15: Actualización de las demandas por bombeo para el periodo 1991 − 2019..... 72

Figura 3-16: Comparación entre caudal MPL WSP y DOH 2009 para CL10 76
Figura 3-17: Comparación de caudal MPL WSP y DOH 2009 para CL13 76
Figura 3-18: Caudales mensuales simulados con MPL en cuencas laterales de la cuarta sección .. 79
Figura 3-19: Comparación caudales medio mensuales N07 y estación DGA río Aconcagua en San Felipe, periodo completo 82
Figura 3-20: Comparación caudales medio mensuales N07 y estación DGA río Aconcagua en San Felipe, periodo modelo hidrogeológico 82
Figura 3-21: Regresión lineal entre caudales observados y simulados en el nodo 07 − Aconcagua en San Felipe (periodo septiembre − marzo) 83
Figura 3-22: Comparación caudales medio mensuales N22 y estación DGA río Aconcagua en Romeral, periodo completo 84
Figura 3-23: Comparación caudales medio mensuales N22 y estación DGA río Aconcagua en Romeral, periodo modelo hidrogeológico 84
Figura 3-24: Regresión lineal entre caudales observados y simulados en el nodo 07 − Aconcagua en Romeral 85
Figura 3-25: Salidas de MOS ACN 2019 a acuíferos (todas las fuentes) 86
Figura 3-26: Comparación serie de recarga superficial WSP (2019) y DICTUC (2009) 87
Figura 3-27: Comparación serie de recarga subterránea WSP (2019) y DICTUC (2009) 87
Figura 3-28: Grado de satisfacción de la demanda por sección legal 88
Figura 4-1: Mapa geológico de la Cuenca del Aconcagua. Fuente: Modificado de DOH (2009) y Hoja Quillota Portillo (Rivano et. al, 1993). 91
Figura 4-2: Mapa de unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Aconcagua. 104
Figura 4-3: Profundidad del basamento en el modelo VM ACN 2019. 111
Figura 4-4: Mapa piezométrico de la cuenca del Aconcagua 122
Figura 4-5: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero San Felipe (Perfiles A-A´ y B-B´). 126
Figura 4-6: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Putaendo (Perfiles C-C´, D-D´ y E-E´). 129
Figura 4-7: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Catemu (Perfiles F-F´ y G-G´). 132
Figura 4-8: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Nogales e Hijuelas (Perfiles H-H´ e I-I´). . 135
Figura 4-9: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Quillota (Perfiles J-J´ y K-K´). 137
Figura 4-10: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Aconcagua Desembocadura (Perfiles L-L´, M-M´ y N-N´). 141
Figura 4-11: Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Limache (Perfiles O-O´ y P-P´). 144
Figura 4-12: Ubicación pozos de Monitoreo DGA en la cuenca del Aconcagua 146
Figura 4-13: Profundidad de nivel promedio en los pozos de monitoreo DGA, según su cota topográfica 149
Figura 4-14: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 1 San Felipe. 151

Figura 4-15: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 2 Putaendo. 154
Figura 4-16: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 3 Panquehue 156
Figura 4-17: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 4 Catemu..... 158
Figura 4-18: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 5 Llay llay. 160
Figura 4-19: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales − Hijuelas, sector Romeral-La Calera..... 163
Figura 4-20: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales − Hijuelas, sector Nogales- El Melón..... 165
Figura 4-21: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA (Grupo 1) en Acuífero 7 Quillota.168
Figura 4-22: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA (Grupo 2) en Acuífero 7 Quillota.169
Figura 4-23: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura, en acuífero superior..... 172
Figura 4-24: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura, en acuífero inferior 173
Figura 4-25: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 9 Limache 174
Figura 4-26: Relación de coordenadas en la representación del acuífero en el modelo 177
Figura 4-27: Ubicación condiciones de borde en el modelo 180
Figura 4-28: Caudal observado en dren Las Vegas..... 182
Figura 4-29: Serie de recarga superficial considerada desde el MOS. 184
Figura 4-30: Serie de recarga lateral considerada desde el MPL. 187
Figura 4-31: Serie de bombeo ingresada al modelo numérico 190
Figura 4-32: Principales períodos de sequías según el índice ICE en la estación fluviométrica Aconcagua en Romeral 193
Figura 4-33: Errores de convergencia global del modelo VM ACN 2019..... 194
Figura 4-34: Recarga superficial impuesta vs computada del modelo VM ACN 2019 195
Figura 4-35: Extracciones impuestas vs computadas del modelo VM ACN 2019 196
Figura 4-36: Niveles observados vs calculados sobre la recta Y=X (pantalla salida Visual Modflow) 198
Figura 4-37: Mapa de ajustes entre los niveles observados y computados. 199
Figura 5-1: Ubicación de nuevos pozos proyectados por la DOH 203
Figura 5-2: Bombeos impuestos en las simulaciones predictivas. 204
Figura 5-3: Recarga superficial impuesta en las simulaciones predictivas. 205
Figura 5-4: Discrepancia para el período de simulación a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3 214
Figura 5-5: Recarga superficial impuesta vs computada a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3 215

Figura 5-6: Extracciones impuesta vs computada a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3 216
Figura 5-7: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de Llay llay. 218
Figura 5-8: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de Putaendo 219
Figura 5-9: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe 220
Figura 5-10: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación) 221
Figura 5-11: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación) 222
Figura 5-12: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación) 223
Figura 5-13: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación) 224
Figura 6-1: Esquema sistema de sectores de riego. 227
Figura 6-2: Comparación entre caudal MPL WSP Goldsim y MPL WSP Python para CL10 233
Figura 6-3: Comparación entre caudal MPL WSP Goldsim y MPL WSP Python para CL13 233
Figura 6-4: Ajuste para modelos MOS (arriba) y WEAP (abajo) para la estación fluviométrica Rio Aconcagua en San Felipe. Período 1950-2019 235
Figura 6-5: Ajuste para modelos MOS (arriba) y WEAP (abajo) para la estación fluviométrica Rio Aconcagua en Romeral. Período 1950-2019 236
Figura 6-6: Comparación recarga desde todas las fuentes (AC-01 hasta AC-09) MOS vs WEAP. Período 1991-2019 239
Figura 6-7: Comparación MOS vs WEAP para recarga promedio por acuífero. Periodo 1991-2019 (m^3/s) 239
Figura 6-8: Seguridad de riego media mensual por secciones legales del río Aconcagua. Período 1991-2019 (%) 240
Figura 7-1: Ejemplo de ejecución de Modflow 2000 mediante una ventana de comando 245
Figura 7-2: Ejemplo de ejecución de zonbud mediante una ventana de comando 246
Figura 7-3: Cuadro resumen de ejecución de zonbud 247
Figura 7-4: Ejemplo de ejecución de mod2obs mediante una ventana de comando 248
Figura 7-5: Cuadro resumen de ejecución de mod2obs 249
Figura 7-6: Flujograma recomendado de ejecución modelo y obtención de resultados 250

ANEXOS

ANEXO A: Fichas de Antecedentes Bibliográficos

ANEXO B: Datos Pluviométricos Originales

ANEXO C: Regresiones Lineales, Análisis de Precipitación

ANEXO D: Series Pluviométricas Rellenadas

ANEXO E: Datos Fluviométricos Originales

ANEXO F: Regresiones Lineales, Análisis de Caudal

ANEXO G: Series Fluviométricas Rellenadas

ANEXO H: Memorias de Cálculo Recarga Artificial

ANEXO I: Aplicación de los Criterios Oficiales de Sustentabilidad para Escenarios Predictivos

ANEXO J: Topología del WEAP

ANEXO K: Taller Etapa 1

ANEXO L: Taller Etapa 2

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día la Dirección General de Aguas (DGA) considera prioritario el estudio del agua en la cuenca del Aconcagua, tema de particular relevancia dado el actual contexto de escasez hídrica que se registra en esta zona, situación que se ha evidenciado con mayor intensidad durante la última década y que ha sido abordada desde la administración pública mediante la implementación de instrumentos administrativos y/o de gestión como lo son: Declaraciones de zonas de escasez hídrica y de Áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, entre otras medidas.

De esta manera, surge la necesidad de realizar una actualización del modelo hidrológico integrado para la cuenca del río Aconcagua, el cual data de 2009, incorporando nuevos datos actualmente disponibles para las distintas variables a lo largo de la cuenca, como recopilación de datos climáticos e hidrometeorológicos complementarios a los obtenidos en el modelo realizado el 2009, agregándose además, realizar estimaciones del balance hídrico a nivel de cuenca en función de escenarios de proyección y modelación.

En este contexto, la DGA adjudicó el estudio "Actualización de la modelación hidrológica integrada del Aconcagua" a WSP Consulting Chile Ltda (Resolución DGA N° 264/2019), debido al conocimiento con que cuenta este consultor sobre la cuenca del río Aconcagua.

WSP Consulting Chile Ltda. (en adelante, WSP) actualmente, se encuentra desarrollando un estudio de disponibilidad de fuentes de aguas subterráneas en la cuenca del río Aconcagua para un importante cliente sanitario, incluyéndose como parte del citado proyecto, la actualización de los modelos numéricos hidrológico MOS ACN 2008 e hidrogeológico VM ACN 2008 (Visual Modflow) existentes, considerándose la información generada hasta el año hidrológico 2018.

1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Aconcagua, la cual se encuentra dividida en 5 secciones, (numeradas desde aguas arriba hacia aguas abajo) las que abarcan desde la cabecera del río Aconcagua hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Los principales usuarios de la cuenca corresponden a los rubros agropecuario, sanitario y doméstico.

La cuenca del río Aconcagua se encuentra ubicada en la zona central de Chile, en la región de Valparaíso, más exactamente entre los paralelos 32° 20′ y 33° 07′ de la latitud sur y entre los meridianos 71° 31′ y 70° 00′ de la longitud oeste. El área de estudio, con una superficie de 7.334 Km^2 se muestra en la Figura 1-1.

El río Aconcagua, se forma en la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, recibiendo (aguas abajo) el mayor aporte andino proveniente del río Colorado por su lado norte. Entrando al valle central y aguas abajo de San Felipe, recibe los aportes del río Putaendo y del estero Quilpué o San Francisco por el norte, mientras que por su lado sur recibe el estero Pocuro frente a San Felipe. En su recorrido entre San Felipe y aguas abajo de la junta con el río Putaendo, existen importantes recuperaciones del río Aconcagua. En el curso medio recibe

aportes de varios esteros de marcado régimen pluvial, por el lado norte, los esteros Catemu y El Melón, mientras que por la ribera sur llegan los afluentes Lo Campo, Los Loros o Las Vegas. En el curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, una cuenca regulada por el embalse Los Aromos. Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 190 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en Concón, al norte de la ciudad de Viña del Mar.

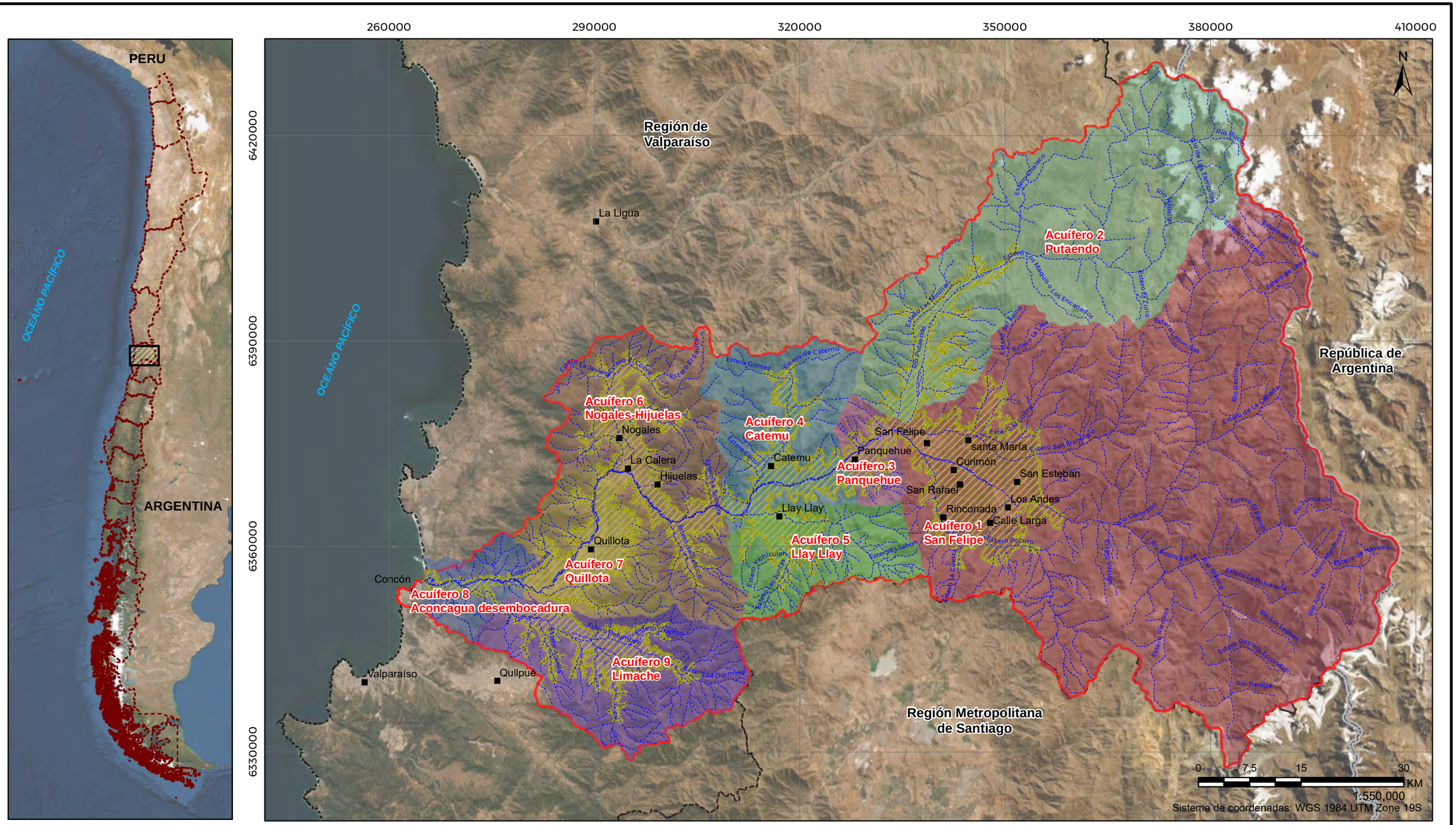
En términos hidrogeológicos, el relleno del valle que conforma el acuífero de la cuenca del Aconcagua se encuentra subdividido en 9 sectores de aprovechamiento hidrogeológico común (SHAC), definidos por la DGA (Ref.7). La Figura 1-1 muestra la cuenca del Aconcagua, destacando la división en sectores acuíferos y la red hidrográfica principal.

1.2 OBJETIVOS DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

El objetivo general de este estudio es realizar la actualización del modelo hidrológico numérico integrado del acuífero de Aconcagua a fin de estudiar y diagnosticar el acuífero de la cuenca del Aconcagua, así como definir la ubicación óptima para la construcción de nuevas baterías de pozos de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y ubicar sectores para hacer recarga artificial al acuífero, en sectores hidrogeológicos de aprovechamiento con disponibilidad de derechos de agua provisionales en comunas de Putaendo, San Felipe y Llay llay.

Como objetivos específicos se cuentan:

- Realizar una recopilación de datos climáticos e hidrometeorológicos complementarios a los obtenidos al modelo realizado en el 2009.
- Realizar estimaciones del balance hídrico a nivel de cuenca en función de escenarios de proyección y modelación.
- Actualizar el modelo conceptual del Aconcagua.
- Elaborar un SIG (Sistema de Información Geográfica) que permita la presentación y despliegue de los resultados.
- Migrar el modelo Aconcagua Modflow_MOS a Modflow WEAP (Water Evaluation And Planning), de acuerdo a los cambios de alcance aprobados en la Resolución DGA N°1.692/2019.
- Capacitar al personal DGA en el uso de los datos generados por este trabajo.



LEYENDA

- Localidades
- Red hidrográfica
- Límite internacional
- Área de estudio
- Límite de modelo

Acuífero estudiado en Septiembre 2017

- Acuífero 1 - San Felipe
- Acuífero 2 - Putaendo
- Acuífero 3 - Panquehue
- Acuífero 4 - Catemu
- Acuífero 5 - Llay Llay
- Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas
- Acuífero 7 - Quillota
- Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura
- Acuífero 9 - Limache

Gobierno de Chile
gob.cl

Ubicación del area de estudio

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 1-1
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\clsc1200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 1-1_Ubicación del area de estudio.mxd

1.3 ALCANCES Y METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolla en 2 Etapas, en base a los Términos de Referencia (TdR) que forman parte de la Resolución DGA N°264/2019, las que se resumen en la Tabla 1-1. Para mayores detalles de cada actividad referirse al documento indicado.

Tabla 1-1: Etapas y actividades asociadas a la metodología

Etapa	Actividad
1	3.1 Levantamiento de información complementaria 3.2 Actualización de la modelación integrada 3.2.1 Análisis crítico de la modelación integrada 3.2.2 Actualización de información del modelo 3.3 Elaboración de un SIG para la presentación de resultados 3.4 Capacitación y transferencia de los modelos a profesionales DGA
2	3.2 Actualización de la modelación integrada 3.2.3 Migración del Modelo 3.2.4 Generación de Escenarios, Resultados 3.3 Elaboración de un SIG para la presentación de resultados 3.4 Capacitación y transferencia de los modelos a profesionales DGA 3.4.1 Capacitación Etapa II

Fuente: Elaboración propia en base a Resolución DGA N°264/2019

En este informe se presentan los resultados principales de los servicios comprometidos, se abordan los siguientes aspectos:

- El Capítulo 2 se aboca a la revisión de antecedentes y los estudios previos llevados a cabo en la cuenca, destacando la elaboración de fichas resumen con los resultados más significativos de estos trabajos aplicables al presente estudio.
- El Capítulo 3 se enfoca en la caracterización de las variables hidrológicas: precipitación y caudal. Se realiza la identificación de registros de precipitación y caudal en las estaciones pluviométricas y fluviométricas que se ubican en la cuenca, y se seleccionan de acuerdo a la longitud del periodo de registro, representatividad y a la consistencia de los datos de cada serie. Las series identificadas se completan y son utilizadas para identificar: precipitación anual, variación mensual de precipitaciones, caudal medio anual, variación mensual de caudales, análisis de años secos y el cálculo de los índices de sequía: IPE e ICE. Luego, se describe los criterios y la lógica del modelo MOS, cuya última actualización corresponde al DICTUC en el año 2009, incluyendo sus bondades y limitaciones, la metodología empleada para la actualización del MOS, considerando como periodo de calibración abril 1950 – marzo 2019, y los resultados de la validación del modelo de calibración. El modelo MOS actualizado a esta fecha se denomina con ocasión del presente trabajo, MOS ACN2019.

- En el Capítulo 4 se presenta la caracterización hidrogeológica de la cuenca del Aconcagua, que comprende la caracterización geológica y sus componentes geomorfológicos y estructurales, además de una caracterización hidrogeológica, que aborda la piezometría, la variación de niveles en el tiempo y, la definición de las unidades hidrogeológicas, haciendo hincapié en la revisión del modelo conceptual de DICTUC del año 2009, a la luz de los antecedentes generados en la cuenca durante los últimos años y reunidos por WSP. Luego, se revisa el modelo numérico disponible y su consistencia con el modelo conceptual de entonces, indicando los hallazgos realizados y oportunidad de mejoras. Finalmente, se presenta la actualización y validación del modelo Modflow disponible hasta marzo de 2019 (VM ACN 2019).
- En el Capítulo 5 se resumen los resultados de los tres escenarios realizados a partir del modelo calibrado a saber, el caso base, correspondiente a la simulación de la demanda comprometida al mes de abril de 2019 (expresada como caudal nominal 59.842,5 l/s) y el escenario de nuevas extracciones DOH, incorporando los nuevos pozos proyectados (caudal nominal incremental de 7.067,5 l/s distribuido en 32 pozos) y finalmente, el escenario de evaluación de recarga artificial en la primera sección de riego como respaldo de las nuevas captaciones proyectadas por la DOH.
- El Capítulo 6 se aboca a la migración del modelo hidrológico MOS ACN 2019 de calibración al WEAP con la misma discretización temporal mensual (abril 1950 - marzo de 2019), con énfasis en el traspaso de la estructura del modelo MOS, haciendo hincapié en la conceptualización y topología del nuevo modelo WEAP incluyendo las simplificaciones realizadas. Los resultados de ambos modelos (MOS ACN 2019 y WEAP) son contrastados tanto en términos de los ajustes en las estaciones fluviométricas de control en el río Aconcagua como de la recarga generada al embalse subterráneo.
- Finalmente, el Capítulo 7 presenta el desacople del modelo hidrogeológico Modflow (VM ACN 2019) de calibración (abril de 1991 a marzo de 2019) de la plataforma Visual Modflow, resultando en un paquete de archivos en lenguaje nativo que se ejecutan desde una pantalla de edición del sistema operativo de Windows (ventana de comandos), incluyendo las instrucciones de uso. Los resultados son comparados a nivel de los ajustes en los pozos de monitoreo como de los balances de masa promedio del sistema subterráneo.

2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Para el desarrollo del presente estudio se ha reunido y revisado tanto información aportada por la DGA, como recopilada directamente por WSP, de preferencia desde ésta y otras reparticiones públicas.

En el siguiente acápite, se enumera brevemente los antecedentes principales facilitados por la DGA para el desarrollo del presente servicio de consultoría, que corresponden a coberturas digitales georreferenciadas, planillas de cálculo, tablas, diagramas y documentos de texto de utilidad. Luego, se resume la información que WSP reunió desde diversas instituciones públicas y privadas, y posteriormente analizó, validó y sistematizó.

Una parte importante de la información disponible fue recopilada para un estudio previo de actualización de la herramienta integrada para ESVAL con motivo de la elaboración de sus Planes de Desarrollo, proyecto actualmente en proceso de edición de los informes finales correspondientes, incluyendo, entre otros, estadísticas de las variables hidrometeorológicas y niveles de agua subterránea en estaciones controladas por la DGA hasta el año 2018. Especial agradecimiento a la Empresa Sanitaria de Valparaíso, Aconcagua y El Litoral S.A. (ESVAL) por el aporte de los modelos básicos (MOS y Visual Modflow) y la información de sus pozos habilitados en los últimos años en la cuenca del Aconcagua, la que se utilizó mayormente para la revisión del modelo hidrogeológico conceptual de DICTUC de 2009 (Tabla 2-2).

2.1 INFORMACIÓN FACILITADA POR LA DGA

La DGA ha entregado a WSP una serie de antecedentes relevantes para el desarrollo del presente estudio, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

- Precipitación diaria para el período 2017-2019 en 16 estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio (ver sección 3.1).
- Caudal medio diario para el período 2017-2019 en 13 estaciones fluviométricas ubicadas en el área de estudio (ver sección 3.2).
- Evaporación diaria en las estaciones Quillota y Vilcuya para todo el período de registro disponible.
- Niveles de agua subterránea en 41 estaciones controladas por la DGA para todo el periodo de registro disponible (ver sección 4.1.10).
- Listado de derechos concedidos de fuentes de agua superficial en la cuenca del río Aconcagua, especificándose número de expediente, titular, caudal, tipo y ejercicio del derecho, fecha de resolución y coordenadas de ubicación de la fuente, entre otros.

- Listado de derechos subterráneos concedidos y en trámite en la cuenca del río Aconcagua, incluyéndose datos del peticionario, número de expediente, coordenadas de ubicación de la fuente, fecha de ingreso, estado de solicitud, caudal solicitado/otorgado, número y fecha de resolución, entre otros.
- Listado de pago de patentes por no uso de agua superficial y subterránea ejercicios 2017 y 2018.
- Colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común (Geodatabase Aconcagua), conteniendo coberturas de cuencas y subcuencas, hidrografía, acuíferos SHAC (Sistema Hidrogeológico Administrativo Común), división política administrativa (DPA), etc.
- Extracciones históricas de la DOH desde las baterías de pozos de explotación Curimón, Panquehue y Llay llay en el valle del Aconcagua, correspondientes en general a volúmenes mensuales extraídos de cada pozo. Los registros disponibles son bastante irregulares y se centran en los años 2013, 2014, 2015 y 2019.
- Minuta ECH N°606, con información hídrica sobre el embalse Chacrillas referente al día 14 de mayo del 2019. En la minuta se muestran volúmenes característicos del embalse tales como: volumen total embalsado hasta la fecha de la minuta, volumen total embalsado hasta el día anterior a la minuta, el volumen muerto, el volumen entregado para riego, la cota en el espejo de agua del embalse, el caudal que entró al embalse (estimado) y las pérdidas por filtraciones que pudieran haberse registrado. Adicional a este documento, se recibió vía correo electrónico, información sobre:
    - Caudal de entrada al embalse, proveniente del río Rocín.
    - Volumen muerto al que se debe llegar, y los que se han registrado.
    - Se indicó que se disponía del volumen del embalse a nivel diario desde su puesta en operación; pero esta información no fue recibida.
    - Se recibió una curva de llenado volumen − elevación, con fecha de agosto y setiembre 2018.
    - Datos sobre mediciones de filtraciones desde el embalse, en total y por fuente.
- Estudios anteriores de recarga artificial en los acuíferos del valle del Aconcagua, realizados por la DOH, incluyéndose la ubicación de sectores definidos por la DOH para recarga artificial en el valle (ver Sección 2.3).
- Propuesta de ubicación de futuras extracciones subterráneas de la DOH (32 pozos) en sectores de San Felipe (25 pozos, 6.250 l/s en total), Putaendo (5 pozos, 537,5 l/s en total) y LLay llay (2 pozos, 280 l/s en total), incluyendo profundidad del pozo y caudal subterráneo esperado.

2.2 INFORMACIÓN REUNIDA POR WSP

Adicionalmente a la información recibida desde la DGA, WSP ha reunido información relevante para el presente estudio en distintos organismos públicos y privados, cuya síntesis se presenta a continuación:

- Comisión Nacional de Riego (CNR).
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- Empresa Sanitaria de Valparaíso, Aconcagua y El Litoral S.A. (ESVAL).
- Juntas de Vigilancia de las distintas Secciones del río Aconcagua.
- Informes de otros consultores en el área de estudio (ver Sección 2.3).

De los anteriores, destaca por sobre todo los aportes de ESVAL, sin el cual habría sido imposible avanzar con la eficiencia y rapidez requerida para el presente proyecto por la DGA, consistentes además de los modelos matemáticos básicamente en:

Pruebas de bombeo y litología de pozos. Ha sido posible recopilar un total de 45 nuevos sondeos (construidos a partir de 2011) con información hidrogeológica relevante, sea el mapa del pozo o bien su ensayo hidráulico, de los cuales, 40 disponen de información sobre la litología atravesada y profundidad de la perforación (en 10 de los sondeos perforados se alcanzó el basamento rocoso) y 41 sondajes en los que se cuenta con ensayos hidráulicos, que han permitido caracterizar la permeabilidad de las distintas unidades hidrogeológicas atravesadas, esta información fue esencial para *revisar el modelo hidrogeológico conceptual de DICTUC de 2009*.

Convenios vigentes. ESVAL mantiene convenios para la compra de agua cruda a terceros, en particular la DOH, con la finalidad de posibilitar un uso más eficiente de los recursos hídricos y de contribuir a la disminución del impacto generado por la prolongada situación de escasez hídrica que afecta a la región de Valparaíso. Estos acuerdos permitirán que, bajo escenarios adversos de disponibilidad del recurso en sus fuentes de agua, ESVAL pueda mantener el abastecimiento del recurso y así garantizar la continuidad de su servicio de agua potable a sus usuarios. Esta información se resume en la sección 2.5, la cual *es importante para contar con estos traspasos bajo situaciones de escases hídrica como parte de las modelaciones que se realicen.*

Protocolo PR018001: Corresponde a la información oficial que ESVAL entrega a la SISS de las extracciones y niveles de las captaciones, según el protocolo PR018001 establecido por la autoridad. La información recibida corresponde al volumen de producción mensual extraído y el caudal de producción máxima diaria de cada una de las fuentes de ESVAL en la cuenca para el período 2006-2018 y, en el caso de las fuentes subterráneas, se incluye además el nivel estático, el nivel dinámico y el gasto instantáneo. *Esta información se utilizó básicamente para mejorar el ajuste en el modelo matemático de los caudales alumbrados por el dren Las Vegas.*

Sistema de turnos. Se recibió de ESVAL una serie de documentos, lo cuales han sido en forma cronológica ascendente para conocer la historia del sistema de turnos en la cuenca Aconcagua, y de los cuales los tres más recientes indican las reglas operacionales que serán ejecutadas durante el periodo 2018 − 2019 para la entrada en el sistema de turnos. Los documentos emitidos entre los años 2012, 2013 y 2014 describen las reglas de operación que fueron establecidas para superar la escasez en las diferentes secciones de la cuenca. Los documentos que fueron emitidos a partir de febrero de 2018 indican las acciones que ha tomado la DGA para afrontar la escasez hídrica de la zona ejecutando el artículo 314 del Código de Aguas. Finalmente, el documento emitido el 29 de agosto del 2018, establece el protocolo que describe la redistribución y medidas que se tomarán en la cuenca del río Aconcagua debido a la declaración de zona de escasez hídrica para el periodo 2018 − 2019. Esta información se resume en la sección 2.6.

2.3 ÍNDICE DE FICHAS REVISIÓN DE INFORMACIÓN

Con el objetivo de sintetizar la información disponible que se ha utilizado en el presente estudio, se elabora un conjunto de Fichas descriptivas en donde se indica el tipo de información, autor, año, ámbito geográfico, entre otros aspectos. Los principales estudios disponibles se presentan en orden cronológico inverso, incluyendo al inicio los más recientes, lo que permite visualizar el estado de la información disponible.

En general, se considera la mayoría de la literatura pública de los últimos 10 años, posteriores al trabajo de DICTUC para la DOH (entre 2007 y 2009) que sustenta los modelos disponibles (MOS ACN 2008 y VM ACN 2008), de las anteriores (previas al año 2007) principalmente se presentan aquellas que entregan antecedentes relevantes (estratigrafía, geofísica, pruebas de bombeo, etc.) para la caracterización hidrogeológica de los sectores de interés.

En Tabla 2-1 y Anexo A se presenta el detalle de las Fichas resumen desarrolladas para el presente estudio.

Tabla 2-1: Listado Fichas descriptivas

Ficha N°	Nombre estudio
Ref. 1:	Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, Sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay. SDT 387, DGA, 2016.
Ref. 2:	Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua. CNR, 2016.
Ref. 3:	Estudio e implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua. DOH, 2015.
Ref. 4:	Estudio tarifario definitivo empresa ESVAL S.A., período 2015-2020. SISS, 2015.
Ref. 5:	Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua. SDT 372, DGA, 2015.
Ref. 6:	Modelo hidrogeológico para simular la interacción entre el dren Las Vegas y el río Aconcagua. Tesis de magister, Edwin Terán, 2015.

Ficha N°	Nombre estudio
Ref. 7:	Declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados sector 5 Llay Llay, sector 6 Nogales - Hijuelas, sector 7 Quillota, sector 8 Aconcagua Desembocadura y sector 9 Limache, ubicados en la región de Valparaíso. RES 128, DGA, 2015.
Ref. 8:	Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, valle del río Aconcagua. SDT 357, DGA, 2014.
Ref. 9:	Estudio de fuentes superficiales y subterráneas de ESVAL, cuenca del río Aconcagua, Informe Etapa 2. ESVAL, 2013.
Ref. 10:	Servicios generales de estudio y análisis de caudales y apoyo en la redistribución de las aguas a la Dirección General de Aguas, en la segunda sección del río Aconcagua. SIT 289, DGA, 2012.
Ref. 11	Estudio de recarga artificial de acuíferos en el valle del Aconcagua usando derechos eventuales del fisco. DOH, 2012.
Ref. 12	Estudio de recarga artificial al acuífero de la primera sección del valle del Aconcagua, con aguas reguladas desde Puntilla del Viento. DOH, 2011.
Ref. 13.	Modificación modelos DGA Visual Modflow - MOS y MOS-PS para determinación disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, segunda etapa. DOH, 2009.
Ref. 14:	Embalses de regulación para el río Aconcagua, estudio de factibilidad V región. DOH, 2001.
Ref.15:	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. SDT 101, DGA, 2001.
Ref. 16:	Modelo de simulación hidrogeológico, valle del río Aconcagua. Dirección de Obras Hidráulicas, 1998.
Ref. 17	Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona desembocadura del río Aconcagua. DGA, SIT 40, 1997.

Fuente: Elaboración propia

2.4 LITOLOGÍA Y PRUEBAS DE BOMBEO

En el marco del presente estudio ha sido posible recopilar un total de 45 nuevos sondeos con información hidrogeológica relevante, sea el mapa del pozo o bien su ensayo hidráulico, de los cuales, 40 disponen de información sobre la litología atravesada y profundidad de la perforación. En 10 de los sondeos perforados se alcanzó el basamento rocoso. Los sondajes con información litológica se encuentran en los acuíferos: 1 San Felipe, 2 Puteando, 4 Catemu, 6 Nogales-Hijuelas, 7 Quillota y 8 Aconcagua-Desembocadura.

Entre 2011 y 2017 se tiene constancia total de 41 nuevos sondajes en los que se cuenta con ensayos de bombeo, que han permitido caracterizar la permeabilidad de las distintas unidades hidrogeológicas atravesadas por los nuevos sondajes. De los 41 nuevos sondeos, 4 se ubican en el acuífero de San Felipe, uno en el acuífero de Putaendo, 8 se ubican sobre el acuífero de Catemu, 2 en el acuífero de Nogales-Hijuelas, 3 en el acuífero de Quillota y 23 se ubican sobre el acuífero de Aconcagua-desembocadura. Los valores de permeabilidad abarcan un rango entre 0,2 y 630 m/d. En la Tabla 2-2 se resume la nueva información disponible.

Tabla 2-2: Nuevos sondeos con información hidrogeológica disponible

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (m)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Cota del terreno (msnm)	Transmisividad (m^2/d)	Permeabilidad (m/d)	Espesor criba (m)	Profundidad máxima de la criba (m)	Profundidad del basamento (m)
1- San Felipe	VPC050231	Sondaje Koerner Nº 2	2017	210	6.365.009	348.356	801	12.400	176,7	87	195	200
	VPC050231	Sondaje Koerner Nº3	2017	180	6.365.014	348.216	803	12.400	172,4	58	176	175
	s/d	Sondaje Nº4 El Sauce	2013	70	6.366.497	355.139	888	121,22	5,3	23	58	70
	VPC050224	Sondaje Nº5 El Sauce	2013	80	6.366.637	355.102	885	25.608	556,7	46	77	80
	VPC050342	Sondaje Nº3 El Tambo	2012	120	6.372.935	343.129	703,25	-	-	-		>120
	s/d	SONDAJE SAN ESTEBAN Nº4	2016	102	6.367.086	353.187	858,57	-	-	-		>102
2-Puteando	ND05034389	Sondaje Nº2 Granalla	2012	250	6.389.083	338.316	824	3.368	32,5	104	245	>250
4-Catemu	VPC050331	Pozo Nº4 Bustos	2016	100	6.366.008	312.992	379	1.054	16,7	63	94	>102
	VPC050331	Pozo Nº5 Bustos	2016	100	6.366.158	313.030	381	633	9	71	95,5	>102
	VPC050331	Pozo Nº6 Bustos	2016	100	6.366.004	313.101	380	2.874	13,3	63	96	>101
	VPC050339	SONDAJE CATEMU Nº3	2016	32	6.371.986	316.320	423	96,53	8,4	12	22	>32
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 1 (LAS VEGAS)	2015	90	6.366.264	313.086	382	461	7,9	59	85	>90
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 2 (LAS VEGAS)	2015	100	6.366.080	313.029	378	322	5,2	62	85	>100
	VPC0505268	SONDAJE LLAY LLAY 3 (LAS VEGAS)	2015	100	6.365.926	312.962	380	70	1	69	95	>100
	s/d	sondaje nº1 Las Vegas	2014	100	6.365.670	311.559	369	298,8	4,1	74	96	>100
6- Nogales-Hijuelas	VPC0504297	Sondaje La Peña Nº1	2017	155	6.376.385	293.793	227	400	4,4	91	149	146
	s/d	SONDAJE LA CALERA Nº7 PLANTA ORIENTE	2016	88	6.370.359	295.398	224	21	0,4	11,8	83	
7-Quillota	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº1	2011	60	6.358.391	287.749	115	129,6	0,7	42	57	>60
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº2	2011	60	6.358.278	287.928	116	34,992	4,6	52	59	>60
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº3	2011	60	6.358.174	288.110	117	205,632	3,6	36	46	>60
	s/d	Sondaje Las Viñas Nº4	2017	105	6.358.328	287.517	107,94	-	-	-		86
8-Aconcagua-desembocadura	s/d	Fuente Sondaje Nº6	2014	47	6.354.239	267.861	15	945	63	15	44	>47
	s/d	Fuente Sondaje Nº9	2014	40	6.354.101	271.134	17	385	18,3	21	37	>40
	VPC0505268	Pozo Nº8 Manterola	2015	40	6.354.463	270.019	17	487	26,7	18	37,3	>40
	s/d	Pozo Nº 20 Manterola	2015	80	6.354.684	270.033	14	86,79	1,4	64	6	
	s/d	Pozo Nº 21 Manterola	2015	70	6.354.590	270.167	14	36,55	0,8	51	63	
	s/d	Pozo Nº1 Marzan	2016	70	6.354.643	274.071	24,66	119	25,8	47	66	>70
	VPC0505268	Pozo Nº19 Manterola	2015	60	6.354.628	269.819	19	254,24	6,5	39	53	
	s/d	Pozo Nº2 Marzan	2016	70	6.354.491	274.089	24,31	6	0,2	35	65	>70
	s/d	Pozo Nº3 Marzan	2016	70	6.354.668	273.900	24,31	35	0,9	38	68	>70
	s/d	Pozo Nº6 Curauma	2016	57,5	6.354.704	273.721	23,27	440	12,9	34	50	
	VPC0505267	SONDAJE ACEDO 12	2014	49	6.354.152	270.894	18	686,4	35,2	20	47	>49
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 13	2014	31	6.354.275	270.935	15	13.554,5	630,4	22	25,5	31
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 17	2015	60	6.354.009	270.595	19	967,33	30,1	33	57	>60
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 18	2015	57	6.354.005	270.842	19	780,48	21,1	37	54	>57

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (m)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Cota del terreno (msnm)	Transmisividad (m^2/d)	Permeabilidad (m/d)	Espesor criba (m)	Profundidad máxima de la criba (m)	Profundidad del basamento (m)
	VPC0505268	SONDAJE AREGA 25	2015	53	6.354.018	270.948	13,52	2.164,8	108,2	20	51	53
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 27	2015	63	6.354.441	272.043	16,56	255,48	8,2	31	60	60
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 28	2015	70	6.354.440	271.932	16,76	460,47	11	42	67	67
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 29	2015	62	6.354.354	272.308	17,96	81,44	2,6	31	59	>63
	VPC0505268	SONDAJE GAETE 22	2015	83	6.354.288	270.154	11	-	-	-		>60
	VPC0505268	SONDAJE GAETE 24	2015	80	6.354.155	270.292	12,09	1.195,5	23	52	76	>80
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 14	2014	52	6.354.378	268.493	12	922,72	46,1	20	50	>52
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 15	2014	50	6.354.457	268.366	12	318,4	22,7	14	46	>50
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 10	2014	50	6.354.433	269.833	17	113	13	18	45	>50
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 11	2014	48	6.354.435	270.125	17	583,38	37,6	16	46	>48

Fuente: Elaboración propia

Notas:

1. En la segunda columna se indica n°expediente público CPA desde donde puede ser solicitada/descargada la información del pozo.
2. La cota de terreno fue interpolada desde las curvas de la CNR cada 10 m, misma usada en el modelo de DICTUC de 2009 para la topografía del valle.

2.5 CONVENIOS VIGENTES DOH Y ESVAL

En la cuenca del Aconcagua existen usuarios de distinta índole, siendo los más importantes aquellos usuarios de sector agropecuario (Juntas de vigilancia y Asociaciones de canalistas, entre otros), agua potable (particulares y Esval) y uso industrial.

Con el fin de realizar una gestión necesaria de las aguas en la cuenca, en el actual escenario de escasez hídrica, es que se han suscrito una serie de acuerdos denominados "Convenios" entre los distintos usuarios de la cuenca, tanto del mundo privado como de la administración pública. Muestra de esto son los múltiples convenios firmados entre ESVAL (la empresa sanitaria cuya área de concesión cubre la cuenca del río Aconcagua) y terceros (DOH incluida) los que se presentan en la Tabla 2-3. En general, cada uno de los acuerdos presenta en términos generales: la identificación de las partes que suscriben el acuerdo, los aportes de cada parte, la infraestructura involucrada, cuándo es pertinente el uso y los plazos de uso, así como la forma de cobro del suministro desde las fuentes específicas.

En relación al convenio entre la DOH y ESVAL, respecto a los pozos de Llay llay de la DOH y la planta Las Vegas de ESVAL, Esval podrá utilizar parte de la capacidad de los pozos de la DOH que cuentan con derechos de agua provisionales (7 pozos). Del total de la capacidad de producción de los derechos otorgados, un 60% podrá ser utilizada por ESVAL, mientras que el saldo deberá ser entregado para fines de riego y abastecimiento de agua potable rural (APR) u otro fin que determine la DOH. En cuanto al embalse Los Aromos, la DOH embalsará y entregará aguas disponibles desde el embalse Los Aromos para dar cumplimiento al abastecimiento de agua potable de ESVAL. El embalse Los Aromos se encuentra en la proximidad del Tabolango, comuna de Limache en la región de Valparaíso, y su tipo de uso es multipropósito, por lo que puede ser utilizado para los fines de abastecimiento de agua potable, riego, turismo y otros. La condición de entrega de suministro a ESVAL está sujeta a la operación del embalse, según:

- El volumen solicitado se entregará cuando el embalse acumule al menos 3 millones de m^3.
- La única restricción operacional para la entrega se puede originar a causa del dispositivo de entrega, que tiene una capacidad máxima de 2,5 m^3/s.
- La interrupción o disminución del suministro sólo procede en los casos señalados en los dos puntos anteriores o por mutuo acuerdo.
- ESVAL debe solicitar los volúmenes diarios a entregar. Sujeto a que la DOH podrá fijar una cantidad mínima para garantizar los sistemas ambientales existentes aguas abajo del embalse.
- Cuando se midan más de 5 m^3/s en el río Aconcagua sector Puente Colmo, no entregará agua desde el embalse.

Tabla 2-3: Convenios vigentes compra de agua cruda de ESVAL

Protocolo de solicitud de Caudales desde Embalse Los Aromos Res Ex DO N° 4405	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	Sí
	Partes	DOH V región con ESVAL
	Duración	1 año
	Periodo	01-07-2018 a 30-06-2019
	Renovable	No
Pozos DOH Res Ex DO N° 4491	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	Sí
	Partes	DOH V con ESVAL
	Duración	2 años
	Periodo	10-01-2018 a 10-01-2020
	Renovable	No
Canal Waddington Repertorio N°1069/2016	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	Sí
	Partes	Asoc. de Canalistas Canal Waddington con ESVAL
	Duración	4 años
	Periodo	06-06-2016 a 06-06-2020
	Renovable	Sí, automáticamente por periodos anuales
Canal Ovalle	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	Sí
	Partes	Asociación de Canalistas Canal Ovalle con ESVAL
	Duración	3 años
	Periodo	05-02-2016 a 05-02-2019
	Renovable	Sí, anualmente
Canal La Sombra y Romeral	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	Sí
	Partes	Canal La Sombra con ESVAL
	Duración	1 año
	Periodo	05-01-2018 a 31-12-2018
	Renovable	No
Convenio JV Río Putaendo N°142-11	Localidad	Putaendo
	Vigente	Sí
	Partes	JV Río Putaendo con ESVAL
	Duración	10 años
	Periodo	01-04-2010 a 31-03-2020
	Renovable	No
Canal San Pedro	Localidad	Quillota
	Vigente	Sí
	Partes	Asociación de Canalistas Canal San Pedro con ESVAL
	Duración	10 años
	Periodo	27-04-2016 a 27-04-2026
	Renovable	Sí, por mismo periodo e iguales condiciones

JV III Sección Río Aconcagua	Localidad	Gran Valparaíso
	Vigente	No
	Partes	Mesa Técnica Embalse Catemu con ESVAL
	Duración	2 años
	Periodo	17-02-2016 a 17-02-2018
	Renovable	Vencido, en renovación

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las Asociaciones de Canalistas y Juntas de Vigilancia, las que se agrupan según distintas Secciones de Riego en el Aconcagua, estos también han suscrito convenios con la DOH. Así, el "Convenio de Colaboración para la Explotación Pozos del Río Aconcagua" (noviembre 2018), actualmente vigente, se suscribe entre las Juntas de Vigilancia de la Primera, Segunda y Tercera Sección del río Aconcagua, y la DOH.

Este documento establece un conjunto de obligaciones respecto a las baterías de pozos que la DOH ha construido en los sectores de Curimón, Panquehue y Llay llay, en la provincia de San Felipe, cuyo detalle se presenta a continuación:

- 23 pozos en Curimón, junto con un canalón que descarga en el río aguas abajo del puente del Rey, que cuentan con Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados por la DGA, en carácter de provisionales.
- 18 pozos en el sector de Panquehue, de los cuales 13 de ellos cuentan con Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados por la DGA, en carácter de provisionales.
- 14 pozos que se ubican en el sector de Llay llay, de los cuales 7 de ellos cuentan con Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados por la DGA, en carácter de provisionales. Actualmente, este batería de pozos es operada por ESVAL.

El objetivo de este convenio es la colaboración público-privada en la puesta a punto, rehabilitación y explotación de los pozos individualizados anteriormente, para atender las necesidades de las distintas Secciones del río Aconcagua, y efectuar su distribución conforme al protocolo de acuerdo denominado "Redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua 2018 – 2019", firmado con fecha 09 de octubre de 2018, por las JJVV del río Aconcagua y el Ministro de Obras Públicas. No obstante, lo anterior, las partes reconocen y aceptan que, en el evento de requerirse agua para consumo humano, los pozos deberán atender dicha necesidad en forma prioritaria, lo que deberá ser definido por la DOH.

2.6 SISTEMA DE TURNOS

El sistema de turnos ha sido históricamente establecido entre los usuarios de la cuenca del río Aconcagua en sus cuatro secciones legales, como una forma solidaria de enfrentar la ocurrencia de sequías y sequías extremas. Así, las juntas de vigilancia recurrieron a acuerdos que consisten en que los usuarios de la primera y segunda sección cedan sus derechos de forma solidaria a los regantes de la tercera sección mediante el cierre de las compuertas durante un periodo de 36 horas a la semana (sábados y domingos). A continuación, se resumen los acuerdos que históricamente fueron establecidos entre las juntas de usuarios de las secciones legales:

- Acuerdo Junta de Vigilancia III Sección del río Aconcagua con ESVAL S.A., celebrado el 18 de enero de 2012. Este acuerdo se suscitó debido al periodo de extraordinaria escasez hídrica que afectó a la sección 3 del río Aconcagua en el año 2011; el acuerdo se suscribe en el marco de colaboración mutua durante periodos de extraordinaria sequía, el cual permitiría paliar los efectos de este fenómeno climático.
- Protocolo de acuerdo de redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua, celebrado el día 07 de diciembre de 2012. Actores de la primera, segunda y tercera sección del río Aconcagua declararon un protocolo de acuerdo de redistribución de aguas y otras medidas, con motivo del Decreto MOP N° 330 del 9 de noviembre del 2012, el cual declaraba como de zona de escasez hídrica a la cuenca del río Aconcagua, en conformidad a lo dispuesto en el artículo 314 del Código de Aguas. Los turnos establecidos serían para todos los derechos de aprovechamiento de aguas de ejercicio permanentes constituidos y reconocidos, y sólo podrían ser motivo de excepción casos especiales, previamente aprobados por la Dirección General de Aguas.
- Informe Técnico N° 11/2013 Seguimiento del acuerdo río Aconcagua – Inspecciones a Terreno 1°, 2° y 3° sección, emitido el 25 de febrero de 2013. Dicho documento tuvo como fin principal dar a conocer el nivel de cumplimiento (91%) de los pactos suscritos en el "Protocolo de Acuerdo Redistribución de Aguas y Medidas por Declaración de Zona de Escasez Hídrica en la Cuenca del río Aconcagua", de fecha 07 de diciembre de 2012. En este escrito se indicó como antecedente los sistemas de turnos para la primera y segunda sección y los ajustes operacionales del acuerdo.
- Informe Técnico N° 3/2014 Seguimiento Régimen de Aguas Pasantes en el río Aconcagua Inspecciones a Terreno 1°, 2° y 3° sección, emitido el 10 de enero de 2014. Dicho documento tuvo como fin principal dar a conocer el nivel de cumplimiento (no indicado) del sistema de turnos establecido por la DGA, el cual rigió a partir del 18 de enero de 2014, en virtud del Decreto MOP N° 288, de fecha 11 de octubre de 2013, que declaró Zona de Escasez a las provincias de San Felipe, Quillota, Marga-Marga y la Comuna de Concón. En este documento se indicaron como antecedentes los sistemas de turnos para la primera y segunda sección.

- Acuerdo de Redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua, 4 de noviembre de 2014. En este acuerdo se suscribieron protocolos de convenios entre las cuatro secciones del río, con motivo de la declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua, decretada por la autoridad de conformidad con lo dispuesto en el artículo 314 del Código de Aguas. En dicho documento se establecieron turnos para el cierre de compuertas, declarando las partes que las bocatomas de ESVAL S.A. no estarían afectas por el sistema de turnos; por tal motivo fue necesario establecer medidas de compensación.

Considerando que, en algunos casos, los usuarios no cumplían estrictamente los acuerdos tomados, en febrero 2018 la DGA expidió la resolución N°273 del 01 de febrero 2018, en la cual suspende de todas sus atribuciones a las juntas de usuarios de las cuatro secciones legales de la cuenca del río Aconcagua y designa a la persona que ejercerá facultades en la cuenca siguiendo lo indicado en el artículo 314 del Código de aguas. Este documento dice que al no existir un acuerdo entre los usuarios de la cuenca Aconcagua para redistribuir las aguas disponibles y con el propósito de disminuir en lo posible el impacto de la sequía extraordinaria en la cuenca es necesario implementar las disposiciones del artículo 314; por lo tanto suspende las atribuciones de las juntas de vigilancia y designa un jefe de fiscalización y a su suplente, los cuales podrán dictar las resoluciones necesarias para dar cumplimiento al artículo 314 en esta zona, ya que fue declarada como zona de escasez.

Hay que tener en cuenta que cuando una zona es declarada "Zona de Escasez Hídrica", la DGA puede autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas desde cualquier punto sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas y sin la limitación del caudal ecológico mínimo según lo establecido en el artículo 129 bis 1. Todo titular de derechos que reciba menor proporción de aguas que la que le correspondería de conformidad a las disponibilidades existentes, tendrá derecho a ser indemnizado por el Fisco. La declaración de zona de escasez, no será aplicable a las aguas acumuladas en embalses particulares.

Continuando con las medidas tomadas para la mitigación de los efectos de la escasez hídrica, el 07 de febrero del 2018, la resolución N°195/2018 de la DGA, ordena el cierre de bocatomas en las secciones 1 y 2 durante turnos de 36 horas semanales (durante los fines de semana). Además, se ordena a la Junta de Vigilancia de la sección 3 dejar pasar a la sección 4, un caudal equivalente al 10% del caudal que han dejado pasar las secciones 1 y 2; sólo aquellos titulares que suministren agua para consumo humano, en las secciones 1 y 2, estarán exentos del sistema de turnos. No determina el tiempo que se extienda esta medida, pero señala que es posible que los horarios establecidos puedan modificarse de acuerdo a las condiciones de disponibilidad de agua.

Otra de las medidas adoptada para asegurar el abastecimiento de agua para consumo humano, la Resolución DGA N°231/2018 del 12 de febrero de 2018, ordena que la compuerta hacia el canal La Petaca se mantenga abierta a 31 cm durante el horario de restricción establecido en la resolución N°195/2018 de la DGA, con el objetivo de suministrar el sistema productivo de ESVAL El Sauce. Además, se ordena a ESVAL S.A.

captar sólo los 100 l/s necesarios para el normal funcionamiento de la planta desde el canal alimentador; el caudal excedente será devuelto al río Aconcagua en el punto donde se ubica la compuerta de desagüe del canal La Petaca.

El 29 de agosto del 2018 se expidió el decreto MOP N°126, el cual declara zona de escasez a las provincias de: Los Andes, San Felipe, Quillota y Marga – Marga. De acuerdo al informe técnico de la DGA "Condiciones hidrometeorológicas Provincias Los Andes, San Felipe, Quillota y Marga – Marga", el índice IPE estimado para la estación pluviométrica Lliu Lliu Embalse, es menor al índice límite definido, y por lo tanto se puede calificar como época de extraordinaria sequía. Además, el índice ICE calculado para las estaciones fluviométricas Chacabuquito, San Felipe y Romeral (en el río Aconcagua) es menor al índice límite definido, para todos los casos. Así, la resolución declara como zona de escasez durante un periodo de seis meses no prorrogables a las provincias antes mencionadas. Estas provincias se ubican entre las secciones legales 2, 3 y 4.

Las anteriores resoluciones y decretos propiciaron la necesidad de tener un acuerdo que permita la redistribución de aguas en la cuenca del Aconcagua; por tal motivo los representantes de las cuatro secciones legales (que agrupan al 100% de canales con derechos de aprovechamiento de agua en sus respectivas secciones) firmaron el "Protocolo de acuerdo de redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua 2018 – 2019", el 9 de octubre del 2018.

El protocolo firmado considera el estudio de los datos hidrológicos proporcionados por la DGA en las distintas secciones y establece el siguiente acuerdo:

Para agua superficial

En el periodo octubre – diciembre, la primera y la segunda sección cerrarán las compuertas en turnos de 24 horas los días sábados y domingos, siempre y cuando el caudal en la estación Chacabuquito sea menor a 22 m^3/s, de la siguiente forma:

a) La primera sección cerrará las compuertas de sus canales en el periodo comprendido entre las 12 horas del día sábado y las 12 horas del día domingo de cada semana. Se considera que el cierre de compuertas no debe tardar más de dos horas.

b) La segunda sección cerrará las compuertas de sus canales en el periodo comprendido entre las 16 horas del día sábado y las 16 horas del día domingo de cada semana. Se considera que el cierre de compuertas no debe tardar más de dos horas.

En el periodo octubre – diciembre, la primera y la segunda sección cerrarán las compuertas en turnos de 36 horas los días sábados y domingos, siempre y cuando el caudal en la estación Chacabuquito supere los 22 m^3/s.

En el periodo enero – abril, la primera y la segunda sección cerrarán las compuertas en turnos de 36 horas entre los días sábados y domingo, si los caudales medidos en la estación Chacabuquito son superiores a los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-4: Caudales Protocolo de acuerdo 2019 en estación Chacabuquito

2019	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Caudales (m^3/s)	16	12	10	7

Fuente: Protocolo de acuerdo de redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua 2018 – 2019", DGA, 9 de octubre del 2018.

De acuerdo al protocolo, el comité ejecutivo es el encargado de establecer el horario de cierre y apertura de compuertas y se considera que el cierre de las mismas no debe tardar más de dos horas (en ninguno de los casos). Mientras no se determine un turno, el protocolo sugiere el siguiente turno para cierre y apertura de compuertas:

a) La primera sección cerrará las compuertas de sus canales en el periodo comprendido entre las 08 horas del día sábado y las 20 horas del día domingo de cada semana (36 horas por semana).

b) La segunda sección cerrará las compuertas de sus canales en el periodo comprendido entre las 12 horas del día sábado y las 24 horas del día domingo de cada semana (36 horas por semana).

Es importante mencionar que las mediciones en la estación Chacabuquito se consideran las contribuciones de los pozos DOH en Curimón y de otras fuentes, en la primera Sección. Mientras las compuertas se encuentren cerradas el agua extraída de los pozos Curimón será vertida en el río Aconcagua. Además, si mientras haya cierre de compuertas, el caudal medido en la estación San Felipe supera los 22 m^3/s, la primera sección podrá regular sus compuertas para retener el agua en exceso.

- Durante el cierre de compuertas, si el caudal medido en la estación Romeral es mayor a 27 m^3/s, el Comité Ejecutivo evaluará la conveniencia de regular las compuertas de la segunda sección.
- Si el caudal promedio semanal en la estación Romeral es mayor que 15 m^3/s, se suspenderá el cierre de compuertas en las secciones 1 y 2.
- Durante el sistema de turnos, ESVAL mantendrá reguladas las compuertas de la bocatoma de la planta Las Vegas en un caudal de 1,3 m^3/s.

Para agua subterránea

En este caso será necesario suscribir un acuerdo con la DOH para la habilitación, uso y explotación de los pozos y derechos de agua en el sector Curimón, Panquehue y los excedentes de pozos de Llay Llay. La operación y distribución se regirá por las siguientes reglas:

- Para los pozos Curimón, se estima que los 23 pozos produzcan 3,2 m^3/s (todos con derechos de agua, DAA). Del caudal total producido, 1 m^3/s se entregará a la primera sección del Aconcagua en el canal Curimón y 2,2 m^3/s se entregarán al río Aconcagua para abastecer los canales Catemu Alto, Agustinos y Santa Isabel. Y desde Catemu se devuelve 1 m^3/s en el río Aconcagua a través del estero Catemu.
- Para los pozos Panquehue, se estima una producción total de 3,0 m^3/s (en 13 pozos con DAA y 5 sin DAA). Los pozos verterán a los canales El Cerro, Escorial y Comunidad. Desde estos canales se conducirá 1,0 m^3/s hacia el estero Lo Campo para ser descargado al río Aconcagua.
- Para los pozos Llay llay, se estima que la producción será de 1,2 m^3/s (considerando 7 pozos con DAA más 7 pozos sin DAA); el uso prioritario de estos pozos será consumo humano y los excedentes serán entregados a río Aconcagua.

Se espera que el agua aportada en beneficio de las secciones 3 y 4 más la entregada por ESVAL alcance los 3 m^3/s, este valor será medido en la estación Romeral. En el caso que el rendimiento de los pozos no alcance los valores estimados en el acuerdo la repartición se realizará en forma proporcional.

Este acuerdo tiene también reglas generales las cuales se refieren a la conformación del Comité Ejecutivo y a su función, la cual será monitorear, velar y resguardar la ejecución del acuerdo suscrito; forman parte del Comité Ejecutivo representantes de las juntas de vigilancia, ESVAL, DGA y DOH. La DGA se encargará de monitorear el estado de las estaciones Chacabuquito y Romeral.

Los horarios de turno propuestos en este acuerdo podrán ser modificados por el Comité Ejecutivo; además todos los derechos de aprovechamiento, es decir permanentes constituidos y reconocidos, están sujetos a los turnos establecidos en el acuerdo, con excepciones en casos especiales que deberán ser previamente aprobados por la DGA.

De la información revisada se concluye que la cuenca del río Aconcagua ha sido declarada una zona de escasez hídrica y por lo tanto el uso de los derechos de aprovechamiento se realizará de acuerdo al protocolo de redistribución de aguas suscrito entre todos los usuarios de la cuenca. Las consideraciones descritas en el acuerdo serán consideradas como criterio para el sistema de turno cuando se actualice el modelo MOS.

2.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LA PLANTA PILOTO DE RECARGA ARTIFICIAL DE CURIMÓN (REF. 3)

La DOH desarrolló un proyecto piloto de recarga artificial en el acuífero 1 San Felipe, con la finalidad de estudiar la capacidad de almacenamiento de este sector acuífero, para almacenar agua en períodos de años normales y húmedos, para luego aprovecharlos en los períodos que se requieran. El informe que recoge los trabajos realizados y los resultados obtenidos en los ensayos realizados recibe el nombre de: "Estudio e Implementación de un Plan Piloto de Recargas Artificiales a los Acuíferos del Valle de Aconcagua. 2015" (Ref. 3).

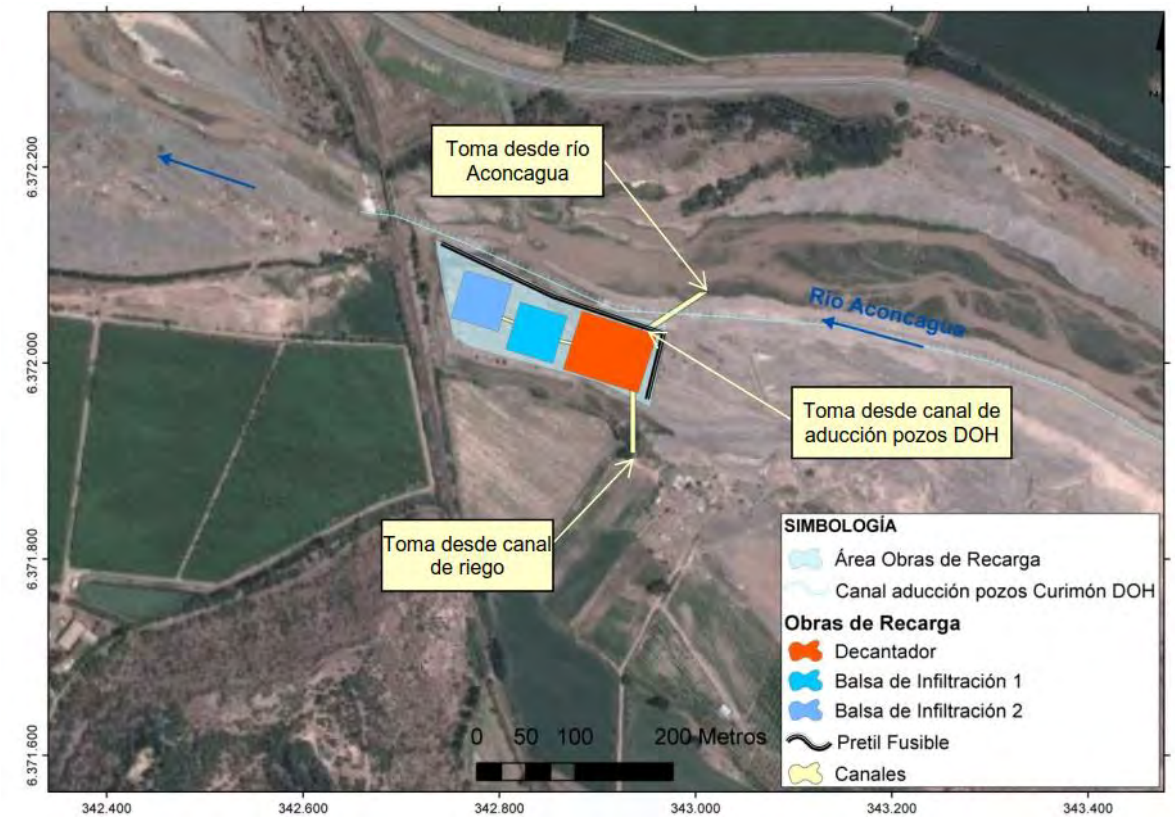
El objetivo general del estudio fue realizar trabajos de terreno, muestreo y ensayos de campo que permitiesen validar o mejorar los parámetros para diseñar, construir y operar un proyecto de recarga artificial de acuíferos a escala industrial el cual se desarrollaría en el sector 1 del valle del Aconcagua. Como parte del estudio se incluyó el diseño y construcción de una planta piloto de recarga en la que se llevaron a cabo varios ensayos de recarga.

Las actividades del proyecto se dividieron en cinco etapas, las que se indican a continuación.

- Etapa I: Recopilación de antecedentes, evaluación y diseño trabajos terreno.
- Etapa II: Trabajos de terreno y diseño de ingeniería del plan piloto.
- Etapa III: Implementación y puesta en marcha.
- Etapa IV: Monitoreo, control, medición y evaluación de variables.
- Etapa V: Análisis, conclusiones, recomendaciones e informe final.

El sector finalmente seleccionado para implementar la planta piloto se ubicó aguas abajo de la batería de pozos de Curimón, por la ribera sur del río Aconcagua. La zona elegida para construir la planta piloto cumplía con los siguientes condicionantes:

- Se ubica 2 km aguas abajo de la batería de los pozos de Curimón, a un costado del canal de aducción que transportará el agua de estos pozos,
- Se ubica en la ribera sur del río Aconcagua,
- El terreno escogido no ha sido modificado por la empresa de áridos de Sergio Vargas, cuyas obras se ubican por la misma ribera hacia aguas arriba,
- El terreno es plano, con escasa vegetación y su superficie está cubierta por depósitos fluviales del río Aconcagua de granulometría gruesa (Figura 2-1),
- En su extremo sur desagua un canal de regadío que podría ser útil en caso de que el agua destinada al proyecto provenga desde ese canal,
- En el área, el agua subterránea se ubica a unos 50 m de profundidad, por lo que existe un gran espesor de la zona no saturada para almacenar agua.



Fuente: Ref. 3

Figura 2-1: Vista de las obras de recarga (Decantador y balsas)

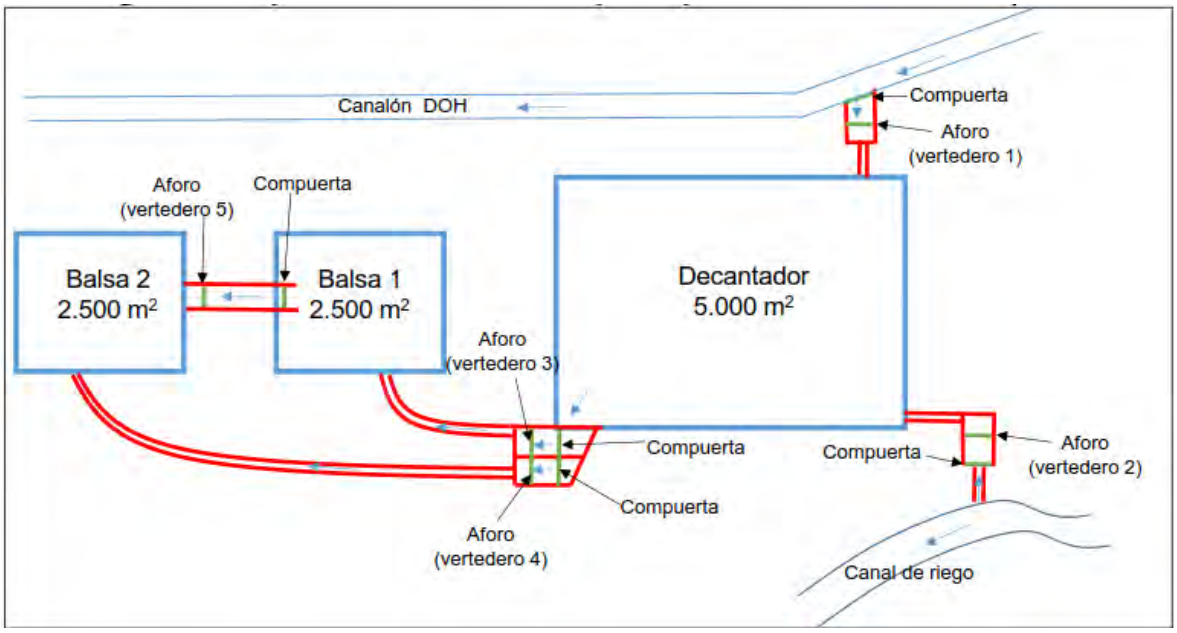
Se definieron tres fuentes de agua para este proyecto: el río Aconcagua, un canal de riego que vierte sus excedentes de agua al río Aconcagua por el costado sur de las obras de recarga y los pozos de la DOH en el sector de Curimón, ubicados aproximadamente 2 km aguas arriba de las obras de recarga

El dispositivo de la planta piloto está constituido por un decantador de 5.000 m^2 y 0,5 m de profundidad y dos balsas de infiltración de 2.500 m^2 y 0,5 m de profundidad cada una (Tabla 2-5). Adicionalmente, la planta cuenta con dos tomas reguladas por compuertas, una para captar el agua desde el canal de riego y otra para captar el agua del río Aconcagua, además de los canales de aducción.

Tabla 2-5: Diseño de las infraestructuras

Obra	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Área (m^2)	Volumen (m^3)
Decantador	80	62,5	0,5	5.000	2.500
Balsa de infiltración	50	50	0,5	2.500	1.250

Fuente: Ref. 3



Fuente: Ref. 3

Figura 2-2: Esquema de la planta piloto de recarga artificial.

La prueba piloto se llevó a cabo entre el 5 de julio de 2014 y el 30 de agosto de 2015. La operación del sistema se realizó de manera discontinua y con caudales variables a lo largo del tiempo, siendo su funcionamiento remitido a los periodos con disponibilidad de agua para alimentar al sistema. En este contexto, se realizaron 6 pruebas con distintos periodos de duración y distintos volúmenes de agua disponibles. En la siguiente tabla se resumen la duración de las pruebas realizadas y el volumen de agua que finalmente se infiltró en cada uno de los dispositivos.

Como se observa en la Tabla 2-6, la infiltración promedio que se obtuvo en la balsa 1 para las cuatro pruebas es de 0,03 m^3/s y de 0,06 m^3/s para la balsa 2, lo que corresponde a valores de infiltración de 0,12 y 0, 23 m^3/s por hectárea de superficie de infiltración.

Se considera importante resaltar que la duración de las pruebas fue muy corta, ya que, para obtener resultados confiables, sería recomendable mantener una infiltración constante, durante, al menos un año.

No obstante, a la luz de los resultados obtenidos, para conseguir la infiltración de un caudal de 5 m^3/s, en el mejor de los casos, es decir considerando los resultados de infiltración promedio obtenidos en la balsa 2, sería necesario habilitar una superficie de infiltración de 22 Há, lo que a priori, parece complicado en el área de estudio, teniendo en cuenta, el alto grado de ocupación que existe en la cuenca del Aconcagua.

En este contexto, para el Escenario 3 de la modelación, en el que estaba previsto analizar la posible respuesta del acuífero ante un escenario de recarga artificial, se ha considerado más oportuno analizar como hipótesis de modelación la recarga a través de un campo de pozos de inyección, aspecto que se trata en el Capítulo 5.

Tabla 2-6: Resumen de las pruebas de infiltración realizadas

Dispositivo	Duración de la prueba (Días)	Volumen infiltrado (m^3/s)	Volumen infiltrado promedio (m^3/s)	Volumen infiltrado promedio por unidad de superficie ($m^3/s/ha$)
Balsa 1	2	0,05	0,03	0,12
	2	0,05		
	2	0,01		
	34	0,01		
Balsa 2	5	0,10	0,06	0,23
	2	0,07		
	2	-		
	2	0,04		
	34	0,02		
Decantador	21	0,02	0,03	0,05
	5	0,03		
	2	-		
	2	0,04		
	2	0,03		
	34	0,02		

Fuente: Elaboración propia en base a Ref. 3

3 MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Esta sección se enfoca en la modelación hidrológica y manejo de agua de la cuenca del río Aconcagua; la cual se realiza mediante el modelo de operación del sistema, también conocido como MOS.

También se caracterizan las variables hidrológicas de precipitación, evaporación y caudal en las estaciones representativas de cada sección; que serán empleadas como datos de entrada al modelo MOS. Para el análisis de calidad de datos, se seleccionaron estaciones meteorológicas y fluviométricas de la DGA con una extensión de 50 años de registros; los cuales fueron completados siguiendo la metodología descrita en las siguientes secciones. Fue parte de la caracterización el análisis de años secos y húmedos para estimar los coeficientes de sequías IPE e ICE.

Para utilizar el MOS, se realiza una evaluación de las versiones anteriores del modelo y se analizan las brechas; luego se realiza la actualización de las variables hidrológicas y de condiciones operativas relevantes al alcance de este estudio; tales como demandas de riego, implementación de reservorio, y otros. Con estas actualizaciones, se realizan las simulaciones de los escenarios requeridos por la DGA, cuyos resultados se discuten en las siguientes secciones.

3.1 CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA

En esta sección se caracterizan las variables meteorológicas: precipitación y evaporación con el objetivo de usar los valores mensuales como datos de entrada al modelo MOS. Las series históricas fueron proporcionadas por la DGA y actualizadas, según disponibilidad, desde abril 1950 hasta marzo 2019.

3.1.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Esta sección se concentra en la recopilación de estadística disponible para el periodo de análisis, que comprende 69 años hidrológicos definidos entre abril de 1950 y marzo de 2019. Se analizaron los datos pluviométricos a escala anual y mensual, utilizando las estadísticas provenientes del Banco Nacional de Aguas (BNA) de la DGA existentes en las secciones legales del río Aconcagua.

La Tabla 3-1 muestra las coordenadas y las principales características de 24 estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Aconcagua, que disponen de datos de precipitación diaria. Las estaciones se muestran ordenadas respecto a la longitud del periodo de registro desde la que posee el registro más extenso hasta el más corto; la estación con el periodo más extenso es Catemu, con 114 años de registros. Mientras que, la estación estero Pocuro en Sifón no alcanza a tener un año de información. Se considera que la densidad de las estaciones meteorológica en la cuenca proporciona información suficiente para caracterizar las precipitaciones. La Figura 3-1 muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Tabla 3-1: Características de estaciones meteorológicas

Código Estación	Institución	Nombre	Altura (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Periodo de registro	
5421005	DGA	Catemu	440	-32,7	-70,9	01-06-1903	31-10-2018
5403006	DGA	Riecillos	1.290	-32,9	-70,4	01-08-1929	28-02-2019
5414004	DGA	Resguardo Los Patos	1.220	-32,5	-70,6	01-08-1940	31-12-2018
5410008	DGA	San Felipe	640	-32,7	-70,7	01-04-1962	31-12-2018
5425003	DGA	Lo Rojas	190	-32,8	-71,3	01-12-1963	31-03-2019
5410006	DGA	Vilcuya	1.100	-32,9	-70,5	01-12-1964	31-08-2018
5423013	DGA	Estero Rabuco	300	-32,9	-71,1	01-01-1965	31-03-2019
5410007	DGA	Los Andes	820	-32,8	-70,6	01-08-1971	31-08-2018
5427007	DGA	Los Aromos	100	-33,0	-71,3	01-06-1974	31-03-2019
5426004	DGA	Quillota	130	-32,9	-71,2	01-11-1977	31-07-2018
5427006	DGA	Embalse Lliu Lliu	260	-33,1	-71,2	01-01-1978	31-03-2019
5415004	DGA	Jahuel	1.020	-32,7	-70,6	01-04-1989	31-08-2018
5424005	DGA	El Cobre	280	-32,7	-71,2	01-05-1989	31-01-2019
5422002	DGA	Las Chilcas	850	-32,9	-70,8	01-05-1990	31-07-2018
5414005	DGA	El Tártaro	950	-32,6	-70,7	01-07-1990	31-03-2019
5427008	DGA	Quebrada Alvarado	290	-33,1	-71,1	01-07-1990	31-03-2019
5404001	DGA	Canal Colorado En Bocatoma	1.391	-32,8	-70,4	01-04-2014	30-06-2018
-	DGA	Limache	120	-33,0	-71,3	01-04-1950	31-03-2000

Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA

Se realizó una inspección inicial de las estaciones disponibles en la cuenca (ver Tabla 3-1), y se seleccionaron las estaciones que poseen registros en el periodo de análisis (abril 1950 − marzo 2019) y que se ubiquen en alguna de las 4 secciones legales con el propósito que cada sección posea una estación característica o estación índice. Bajo estos criterios fueron seleccionadas 4 estaciones meteorológicas, sus coordenadas y periodo de registro se muestran en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2: Características de las estaciones meteorológicas seleccionadas

Estación	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Período de registro
Resguardo Los Patos	351.670	6.403.165	1.220	1940 − 2018
San Felipe	338.418	6.375.422	640	1962 − 2018
Los Aromos	280.810	6.350.950	100	1974 − 2019
Limache (1)	285.160	6.344.515	120	1950 − 2000

Nota:

1. Los registros de la estación Limache fueron tomados del informe DICTUC 2009, en dicho informe refieren que esta estación posee registros sólo hasta el año 2000 y que fue una estación administrada por Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

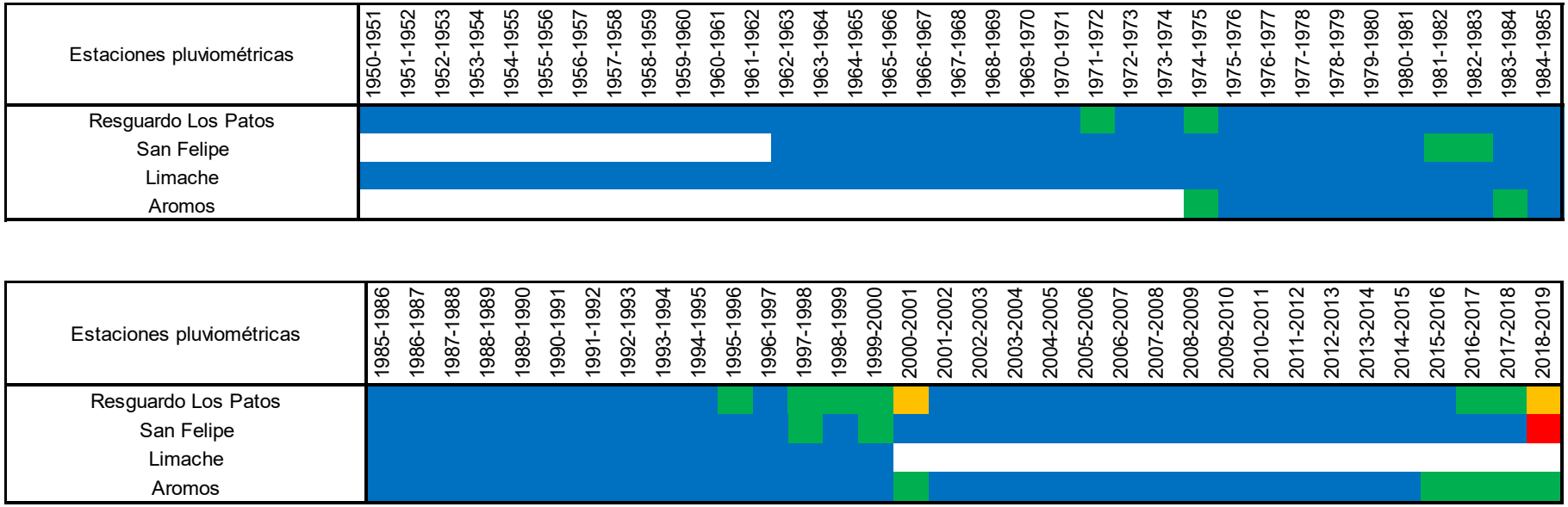
Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA y DICTUC 2009.

De la Tabla 3-2, la estación Resguardo Los Patos se encuentran ubicada en la cuenca Putaendo, que es tributaria a la segunda sección y posee registro de datos en todo el periodo de análisis, la estación San Felipe posee registros desde 1962 y se encuentra ubicada en la primera sección, las estaciones Los Aromos y Limache se ubican en la cuarta sección y poseen datos registrados desde 1974 y 1950 respectivamente; cabe señalar que el registro de la estación Limache sólo dispone de datos hasta el año 2000.

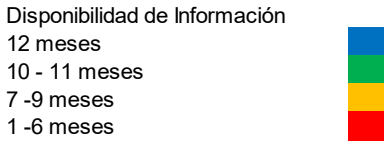
Los registros de estas estaciones serán empleados en estimar caudales en cuencas donde no se disponen de medidas de caudales (mediante la implementación de un modelo pluvial). Estas estaciones dan cuenta del aporte de las lluvias en las cuencas del río Aconcagua y de las cuencas laterales. Específicamente, la cuenca alta del río Aconcagua queda bien representada por la estación resguardo Los Patos, la estación San Felipe representa las precipitaciones sobre el valle y el sector central de la cuenca. El litoral y la Cordillera de la Costa queda bien representada por las estaciones Limache y Los Aromos.

En la Tabla 3-3, se muestra el nivel de completitud de las series mensuales en las estaciones meteorológicas seleccionadas, se indica el número de meses con información en el respectivo año hidrológico. Los datos originales se muestran en el Anexo B.

Tabla 3-3: Disponibilidad de datos pluviométricos en las estaciones meteorológicas seleccionadas



Notas:



Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA

REGIÓN
DE COQUIMBO

260000 290000 320000 350000 380000 410000

6420000
6390000
6360000
6330000

N

Región
Valparaíso

La Ligua

Resguardo Los Patos
Río Putaendo en resguardo Los Patos

Río Putaendo
Estero Chalaco
Río de Los Tambillos
Río Chalaco
Río Colorado
Estero Los Marquis o Los Encanados
Estero El Zorro
Estero del Bordo
Estero de Los Aguilas
Estero de Leiva
Estero Las Minillas
Estero del Salmo
Estero La Laja
Estero Lagunillas
Río Pedicllos
Estero de La Cañada

República de
Argentina

Estero La Jaula
Estero El Cobre
Estero El Sauce
Estero El Carretón
Estero Gomez
Estero de Catemu
Estero Catemu
Río Aconcagua
Estero San Francisco

San Felipe
Río Aconcagua en San Felipe

Nogales
La Calera
Hijuelas
Catemu
Panquehue
santa María
Curimón
San Rafael
San Esteban
Los Andes
Rinconada
Calle Larga

Río Aconcagua en Romeral
Río Aconcagua en Chacabuquito
Vilcuya
Río Juncal en Juncal

Estero Las Tejas
Estero Las Palmas
Estero Las Minillas
Estero Romeral
Estero Pocuro
Río Aconcagua
Río Blanco
Estero La Polvareda
Estero Vilcuya
Estero Marchone
Estero de Navarro
Río Juncal

Quillota
Quillota
Concon
Estero Reñaca
Estero Limache
Estero de La Laja
Los Aromos
Estero Uchucuten
Estero Las Juntas
Estero Pocuro en El Sifon
Estero Riecillos
Río Los Leones
Estero Potrero Escondido
Estero Las Palmas
Estero Limache
Estero Quilpué
Estero Las Dormidas
Estero Anizo
Estero Pompeya
Limache
Valparaíso
Quilpué
Estero Quilpué
Estero Castro
Río Barriga

Región
Valparaíso

0 7.5 15 30 KM
1:510,000
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

LEYENDA

- Estación Fluviométrica
- Estación de evaporación
- Estación pluviométrica
- Localidades
- Red hidrográfica
- Límite internacional
- Límite modelo
- Área de estudio

Secciones

- Seccion_1
- Seccion_2
- Seccion_3
- Seccion_4
- Seccion_Putaendo

Gobierno de Chile
gob.cl

Ubicación de las estaciones meteorológicas y fluviométricas

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 3-1
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01		

Path: \\clscl200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 3-1_Ubicación de las estaciones meteorológicas y fluviométricas.mxd

3.1.2 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS

En base a los requerimientos de la modelación del río Aconcagua se determinó el periodo de análisis entre: abril 1950 y marzo 2019. Se realizó un análisis de consistencia de las series de precipitación por el método de las curvas doble acumuladas. Este método permite estudiar y corregir la estadística de una estación asociada a factores como: cambio de exposición o ubicación de la estación, cambios en técnicas de observación o incluso detectar errores instrumentales o de lectura. El detectar en una estadística estos cambios y errores es bastante importante ya que en la solución de problemas hidrológicos interesa asegurar que los cambios de tendencia en el tiempo sólo se deban a causas hidrometeorológicas y no a la forma en que se hacen las observaciones.

Se realizó el análisis de curva doble acumulada entre las estaciones: Resguardo Los Patos, San Felipe, Limache y Los Aromos, considerando como estación índice a la estación Los Aromos con el propósito de mantener consistencia con estudios anteriores. La Figura 3-2 muestra gráficamente el análisis de consistencia realizado para las estaciones pluviométricas y la estación índice.

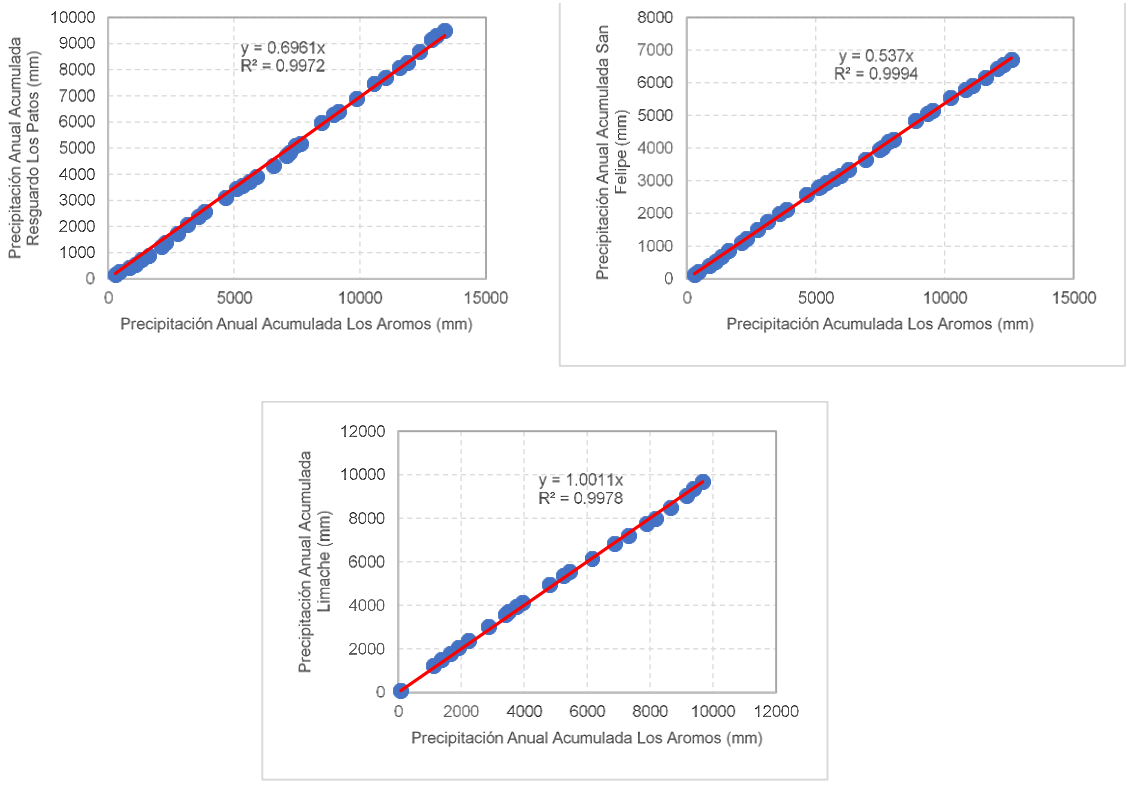


Figura 3-2: Curvas doble acumuladas de estaciones pluviométricas con estación índice

De la Figura 3-2 se observa que las estaciones analizadas poseen una buena correlación con la estación Los Aromos, no se observan saltos o cambios en la pendiente de las curvas que puedan indicar anomalías en los registros. En tal sentido, se considera que los registros son consistentes y pueden ser utilizados para la caracterización hidrológica de la cuenca.

3.1.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA EXTENSIÓN Y RELLENO DE DATOS

Con el propósito de obtener series de precipitación con el periodo de análisis completo (abril de 1950 hasta marzo de 2019) para caracterizar la cuenca y para utilizarlas como datos de entrada al modelo MOS, se procedió a completar la estadística original, rellenando los datos faltantes.

Para realizar el relleno de las series mensuales se realizaron análisis de regresión lineal a escala anual, esto debido a la escasa correlación que se observó entre los datos a escala mensual. La Tabla 3-4 muestra las relaciones lineales efectuadas para el relleno de datos, de los análisis realizados se utilizaron los que poseen a la estación Los Aromos como variable independiente, porque poseen un coeficiente R^2 mayor o igual a 0,85 y para mantener la consistencia con estudios anteriores.

Tabla 3-4: Correlaciones para precipitaciones anuales entre estaciones en estudio

Variable Independiente	Variable Dependiente	Pendiente	R^2
Los Aromos	Resguardo Los Patos	0,73	0,85
Los Aromos	San Felipe	0,55	0,89
Los Aromos	Limache	0,99	0,96
San Felipe	Limache	1,68	0,71
San Felipe	Resguardo Los Patos	1,29	0,88
Resguardo Los Patos	San Felipe	0,75	0,89

Fuente: Elaboración propia.

El Anexo C muestra las relaciones lineales de manera gráfica y el Anexo D, los registros de las series rellenadas.

3.1.4 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL

Una vez rellenadas las series de precipitación se procedió a calcular los estadígrafos media y desviación estándar de la precipitación mensual y anual para el periodo de análisis. En la Tabla 3-5 se muestran los estadígrafos obtenidos, para las estaciones: Resguardo Los Patos, San Felipe y Limache para el periodo de análisis abril 1950 − marzo 2019.

Con respecto a la estacionalidad, en las estaciones representativas de cada sección legal, la precipitación ocurre durante los meses de invierno, presentándose los valores más altos en los meses de junio y julio; después del mes de septiembre, las precipitaciones disminuyen considerablemente hasta ser prácticamente nulas en los meses de verano, los valores mínimos ocurren durante los meses de enero y febrero.

Tabla 3-5: Estadígrafos de precipitación en estaciones de interés (mm)

Estación	Estadígrafo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
Resguardo Los Patos	Media	11,9	45,6	68,8	66,3	46,2	23,7	9,7	5,9	2,0	1,0	1,4	4,2	286,7
	Desv. Est.	19,8	46,2	67,5	80,5	55,0	26,6	12,4	14,9	6,0	3,8	5,3	7,6	151,3
	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,6
	Máximo	119,5	199,0	388,5	445,2	259,0	122,5	55,0	108,0	37,6	18,0	40,0	25,0	790,2
San Felipe	Media	9,4	35,7	54,0	50,2	35,6	14,7	8,3	4,3	1,9	0,6	0,6	2,9	218,1
	Desv. Est.	14,6	35,1	58,2	58,7	39,8	20,8	12,2	9,7	6,1	1,8	3,7	5,4	119,4
	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,1
	Máximo	59,3	149,7	315,7	339,9	182,5	130,1	49,1	53,6	34,7	8,3	30,1	18,8	610,1
Limache	Media	16,5	62,4	103,7	91,0	67,0	28,1	12,3	5,0	2,9	0,2	0,4	2,7	392,1
	Desv. Est.	27,7	64,1	92,9	90,4	58,9	33,5	24,4	12,5	10,6	0,8	2,2	6,5	180,2
	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,4
	Máximo	142,1	295,2	421,6	429,6	229,6	168,5	136,3	50,6	66,3	4,7	13,0	36,5	1.114,4

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3-3 muestra las series temporales de precipitación anual, donde se aprecia que las precipitaciones anuales durante los últimos 10 años son menores que las del periodo anterior pero similares a la precipitación ocurrida en el periodo entre 1962/1963 y 1975/1976.

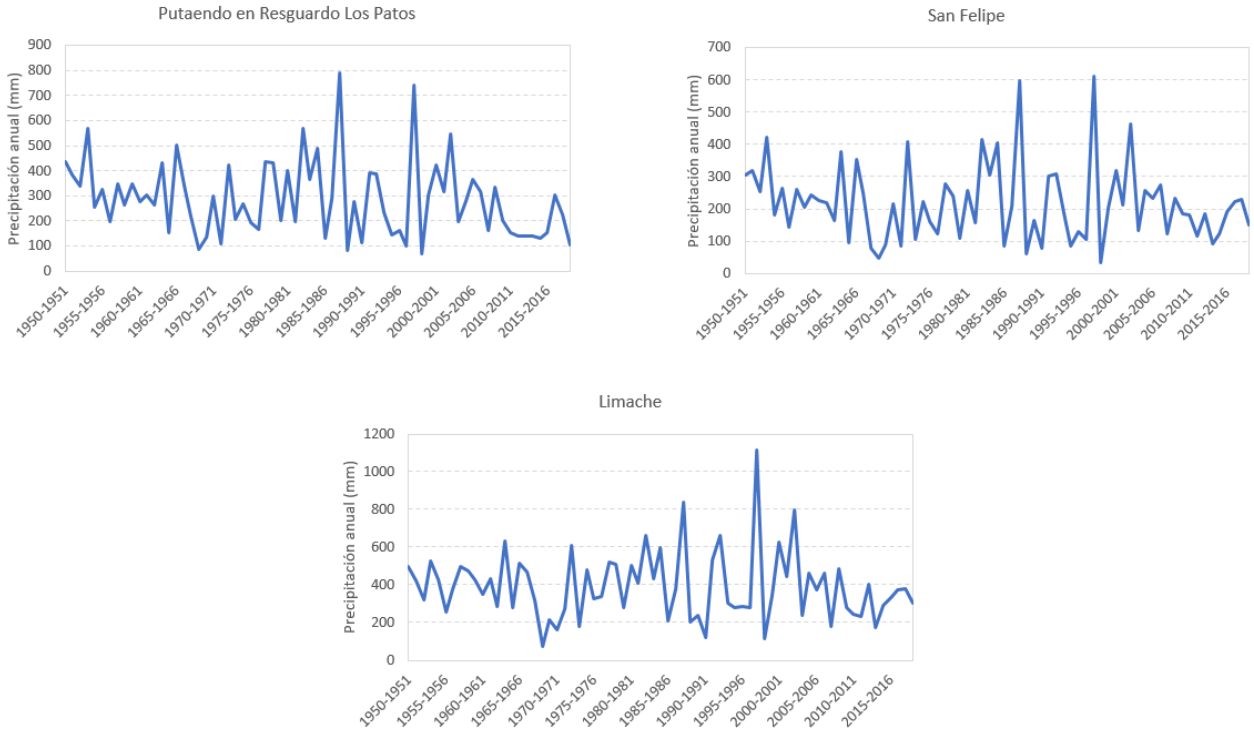


Figura 3-3: Serie temporal de precipitaciones anuales en estaciones de interés

El registro histórico de la estación Los Aromos no fue extendido porque los años que faltaban eran previos a junio del 1974; sin embargo, se estimaron los estadígrafos para el periodo disponible de abril 1974 – marzo 2019 (ver Tabla 3-6).

Tabla 3-6: Estadígrafos de precipitación en la estación Los Aromos (mm)

Estación	Estadígrafo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
Los Aromos	Media	15,5	68,1	102,2	96,9	61,2	26,9	14,3	5,2	1,0	0,0	0,5	3,4	395,2
	Desv. Est.	27,4	73,4	98,7	101,4	56,1	35,9	24,2	12,3	3,9	0,2	2,2	7,3	201,4
	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,5
	Máximo	101,5	316,3	424,0	444,8	241,1	169,5	104,0	50,0	25,0	1,5	13,0	35,5	1.028,7

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3-4 muestra la serie temporal de precipitación anual, para la estación Los Aromos; al igual que para las estaciones anteriores, se observa que en la última década se han producido precipitaciones anuales menores al promedio de la serie total y menores a las precipitaciones anuales de las décadas del 80 y 90/2000.

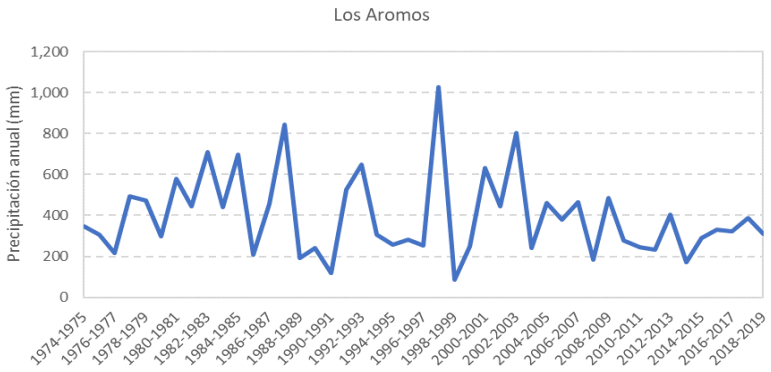


Figura 3-4: Serie temporal de precipitaciones anuales en estación Los Aromos

3.1.5 PRECIPITACIÓN EN AÑOS SECOS

Para analizar la ocurrencia de años secos, se estimó el índice de precipitación estandarizado (IPE):

ÍNDICE IPE

Del análisis de la precipitación media anual, se identificó la ocurrencia de años secos, especialmente durante la última década. Por tal motivo se consideró importante realizar un análisis de la serie, con el propósito de conocer el comportamiento de la cuenca con respecto a los años secos y se estimó el índice de precipitación estandarizada o índice IPE.

Este índice fue desarrollado por McKee et al.[1] (1993) y propone definir una condición de sequía meteorológica cuando el valor del IPE es continuamente negativo y alcanza el valor -1 o menos. La sequía termina cuando el IPE vuelve a ser positivo. Para clasificar las condiciones de sequía, McKee et al. (1993) plantearon la siguiente clasificación:

[1] The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.

Tabla 3-7: Rangos para caracterizar sequías con el índice IPE

Rango de Valores	Descripción de la situación	Periodo de retorno (años)
0 a -0,99	Normal	2
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	6
-1,5 a -1,99	Sequia severa	15
-2 y menos	Sequía extrema	44

Fuente: Propuesta de modificación de la resolución DGA N° 39 de 1984, Criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, Art. 314 del Código de Aguas, DOH 2009.

Para aplicar este indicador a Chile, y calificar situaciones de sequías en base a éste, puede tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Los recursos hídricos superficiales han sido asignados a proyectos de riego en base a caudales que tienen una probabilidad de excedencia de 85%, esto significa que estos sistemas estarán en condiciones de sequía o escasez para situaciones con una probabilidad acumulada menor a 15%, equivalente a un periodo de retorno de 6,67 años.
- Por otra parte, una sequía con un periodo de retorno de 50 años puede considerarse una catástrofe. Entre estos dos valores se necesita un mayor detalle en la clasificación. La Tabla 3-8 presenta los valores IPE, la probabilidad de ocurrencia respectiva y el periodo de retorno estimado para eventos de 2, 5, 10, 15, 20 y 50 años.

Tabla 3-8: Valores IPE, probabilidad de ocurrencia acumulada de obtener un valor igual o menor y periodo de retorno estimado

Valor del IPE	Probabilidad Acumulada	Periodo de retorno (años)
-2,05	0,020	50,00
-1,64	0,050	20,00
-1,50	0,067	14,93
-1,28	0,100	10,00
-1,04	0,150	6,67
-0,84	0,200	5,00
0,00	0,500	2,00
0,52	0,700	1,43
1,04	0,850	1,18
1,28	0,900	1,11
1,50	0,933	1,07
1,64	0,950	1,05
2,05	0,980	1,02

Fuente: Propuesta de modificación de la resolución DGA N° 39 de 1984, Criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, Art. 314 del Código de Aguas, DOH 2009.

Para determinar las épocas de sequía que revistan carácter de extraordinarias en el caso de aguas superficiales, la DGA en su resolución N°1.674 del 12 de junio de 2012, se consideran los indicadores denominados a) Índice de Precipitación Estandarizada (IPE); y b) Índice de Caudales Estandarizados (ICE). Los referidos indicadores permiten indistintamente, verificar la condición de sequía para una zona, considerando tanto precipitaciones como caudales de los ríos. En la región de Valparaíso, las condiciones serán que:

a) Las precipitaciones acumuladas a contar del mes de abril, de modo que en cualquier caso quede comprendido por lo menos periodo abril-agosto, tengan un indicador de sequía (IPE) igual o menor a -0,84.

b) Los caudales medios mensuales acumulados de los últimos 3 meses consecutivos, tengan un indicador de sequía (ICE) igual o menor a -0,84.

Los valores o rangos del índice IPE mostrados en la Tabla 3-8 son los mismos que se consideran para el cálculo del ICE (ver sección 3.2.5).

DETERMINACIÓN DEL IPE EN LAS ESTACIONES DE INTERÉS

Para cumplir con los requerimientos de la resolución DGA N° 1.674 de 2012, en cuanto a la estimación del IPE en una estación, se elegirá el valor de la suma de los últimos seis meses. Para determinar el índice en sí, se debe establecer la función de distribución, F(x), de la serie de precipitaciones acumuladas cada seis meses. Debido a la posible existencia de valores nulos, la probabilidad acumulada estará definida por medio de la función mixta siguiente:

$$F(x) = \begin{cases} q, & si\ x = 0 \\ q + (1-q) * G(x), & si\ x > 0 \end{cases} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde q es la probabilidad que los datos tomen valor cero, la que se estima empíricamente como $q = m/N$, siendo m la cantidad de valores nulos y N la cantidad total de datos. Por otra parte, la distribución de probabilidades $G(x)$ considera sólo aquellos valores distintos de cero. Para este caso, se han seleccionado distintas distribuciones como funciones de ajuste.

Conocida la función de distribución $F(x)$, se calcula la probabilidad asociada a algún valor x. Esta probabilidad es luego transformada a una variable aleatoria estándar Z, la cual corresponde al valor IPE. La función de distribución empleada fue la exponencial de un parámetro, la cual para un nivel de significancia del 5% se ajusta a las series de Resguardo Los Patos y San Felipe, no así para la estación Limache; sin embargo, al ser la diferencia entre el valor crítico y el estadístico de prueba no mayor, se optó por emplear para todas las estaciones la misma distribución. El test de bondad de ajuste empleado es el de Kolmogorov − Smirnov, la Tabla 3-9 muestra los resultados del test.

Tabla 3-9: Resultados test de Kolmogorov-Smirnov, α=0,05, para distribución de precipitaciones acumuladas cada 6 meses en estaciones de interés

Estación	Función de distribución	Estadístico de prueba	Valor crítico	Resultado test
Resguardo Los Patos	Exponencial	0,034	0,048	Aceptado
San Felipe		0,030	0,048	Aceptado
Limache		0,066	0,049	Rechazado (1)

Nota:

1. A pesar del rechazo de la prueba estadística se consideró emplear la función exponencial para mantener consistencia con las otras estaciones.

A continuación, se muestra gráficamente el cálculo del IPE para las estaciones Resguardo Los Patos, San Felipe y Limache (ver Figura 3-5). Este cálculo se hizo cada seis meses para las series de precipitación acumulada, para todos los meses del año. En la figura, las líneas rojas horizontales equivalen a -0.84, que es el valor IPE a partir del cual se considera una sequía según la resolución DGA N° 1.674 de 2012.

La Figura 3-5 muestra que durante la última década los índices IPE calculados a partir de los registros de las estaciones analizadas son menores a -0.84 y se producen con más frecuencia; inclusive entre el periodo 2008 – 2014, existen valores cercanos a -2, que es un indicador de sequía severa, hacia 2016 se observa una recuperación del índice con valores cercanos a 0 en las estaciones que se encuentran en la parte alta de la cuenca; sin embargo, en la estación Limache, que se ubica en la cuarta sección, se observa nuevamente un decrecimiento del índice IPE cercano a -2.

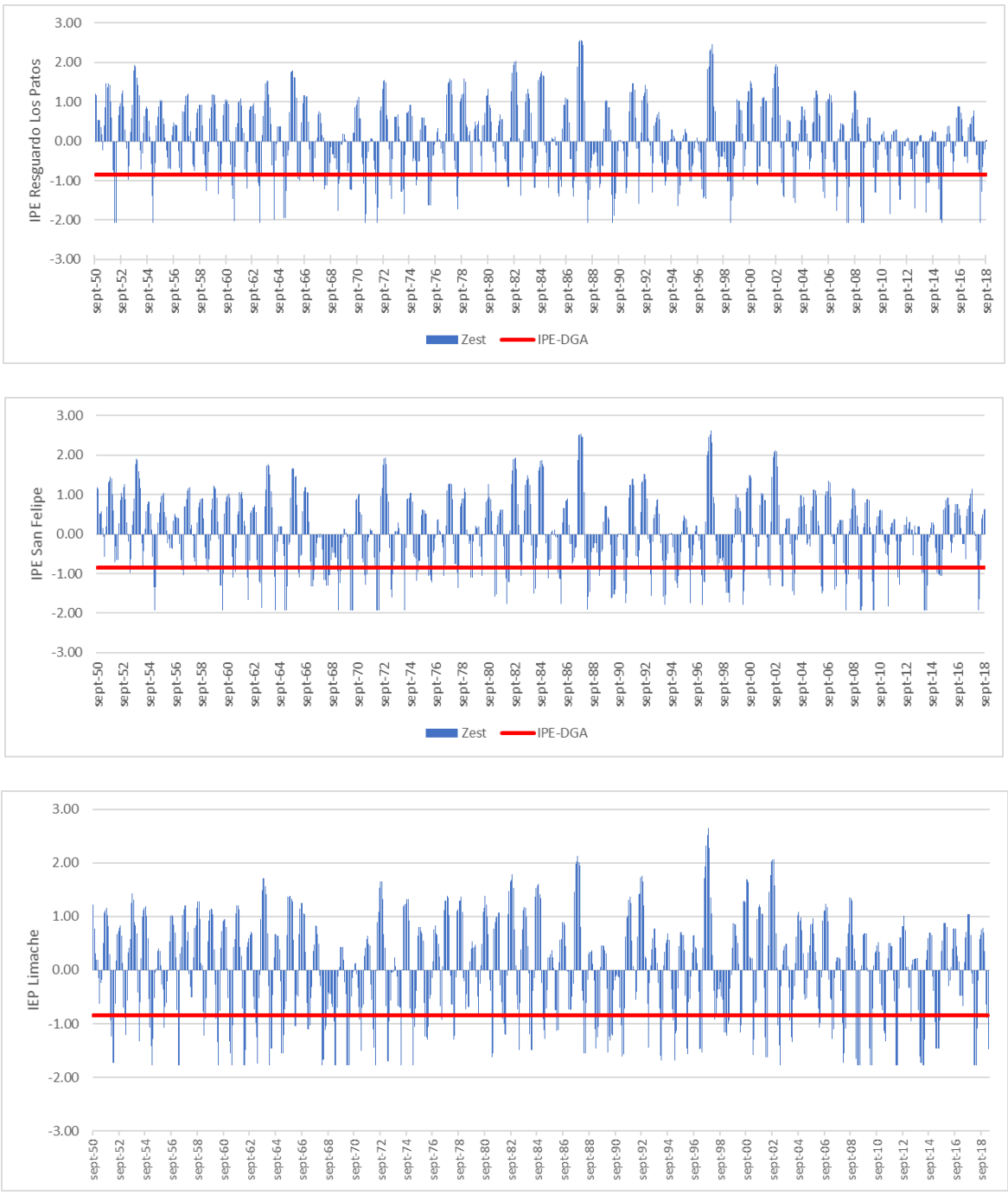
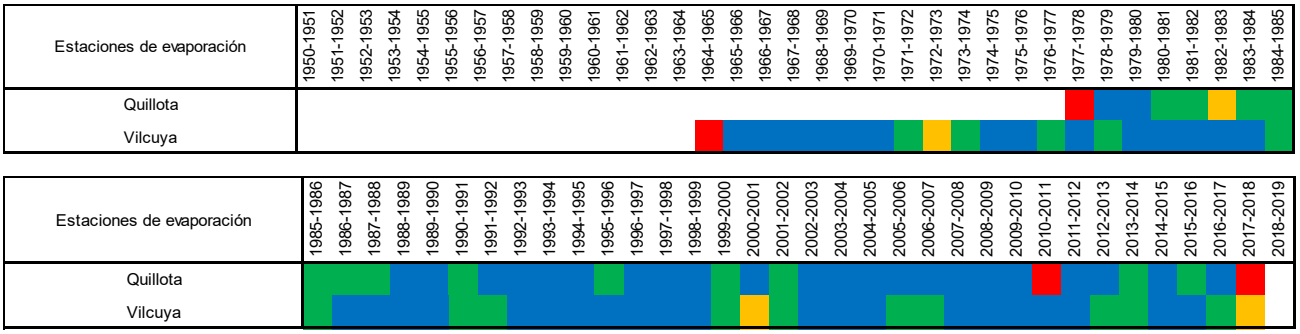


Figura 3-5: Valores IPE para seis meses de precipitación en las estaciones seleccionadas

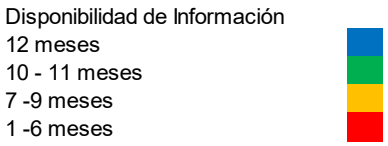
3.1.6 EVAPORACIÓN

Se compiló información disponible de evaporación de tanque de 2 estaciones meteorológicas que disponen de datos de evaporación para el periodo 1978/1979 – 2017/2018; la primera es la estación Vilcuya que se ubica en la parte alta de la cuenca y la segunda, la estación Quillota que se ubica en la parte media – baja de la cuenca (su ubicación y coordenadas se muestran en la Figura 3-1 y Tabla 3-1, respectivamente). La Tabla 3-10 muestra los datos disponibles del registro de 39 años de longitud que fue proporcionado por la DGA.

Tabla 3-10: Datos disponibles de evaporación



Notas:



Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA

De la serie de datos, se completó la serie histórica y se obtuvieron los estadígrafos que se muestran en la Tabla 3-11; la estación Vilcuya registra un valor promedio anual de 2.301,6 mm y la estación Quillota, 1.197,6 mm; se observa que hay un gradiente de evaporación bastante alto en la cuenca, el cual puede ser de incidencia en los embalses (pérdidas por evaporación).

Tabla 3-11: Estadígrafos de evaporación en estaciones de interés (mm)

Estación	Estadígrafo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
Vilcuya	Promedio	162,7	110,4	79,5	84,6	103,0	136,1	189,2	248,8	312,3	338,4	284,6	252,2	2.301,6
	Desv. Est.	30,3	25,4	20,0	20,1	22,7	31,0	37,4	37,2	43,5	39,3	42,7	34,3	232,4
	Mínimo	101,3	56,0	35,5	39,8	58,4	56,8	117,8	169,7	237,9	244,5	208,7	179,0	1.837,3
	Máximo	258,0	160,6	135,7	132,1	169,5	243,1	304,0	325,3	405,0	416,0	440,2	381,1	2.800,8
Quillota	Promedio	72,8	38,7	24,9	29,8	41,5	66,4	110,5	147,9	191,5	194,7	154,9	123,9	1.197,6
	Desv. Est.	12,6	7,9	6,7	7,8	7,7	12,6	19,6	19,1	25,3	25,4	14,0	14,6	95,6
	Mínimo	35,8	22,4	16,2	17,4	26,2	43,7	73,0	105,0	143,6	149,0	130,0	92,4	1.036,6
	Máximo	90,0	56,8	43,8	53,2	61,8	100,7	164,1	183,8	254,2	262,5	184,7	153,0	1.372,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA.

3.2 CARACTERIZACIÓN FLUVIOMÉTRICA

En esta sección se caracterizan los caudales en el río Aconcagua y principales afluentes con el objetivo de usar los caudales mensuales como datos de entrada al modelo MOS y como series para el control fluviométrico. Las series históricas fueron proporcionadas por la DGA y actualizadas, según disponibilidad, desde abril 1950 hasta marzo 2019.

3.2.1 INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

La Tabla 3-12 lista las características de las 44 estaciones fluviométricas disponibles en la cuenca del río Aconcagua, las cuales poseen datos de caudal medio diario (base de datos de la DGA), ordenadas según fecha de inicio de observaciones.

La estación con el periodo de registro más extenso es Juncal en Juncal, con 105 años de estadística; por otra parte, la estación Estero de Los Campos en Las Compuertas no alcanza a tener un año de información.

Tabla 3-12: Ubicación de estaciones fluviométricas

Código Estación	Institución	Nombre	Altura (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Periodo de registro	
5401003	DGA	Río Juncal En Juncal	1.800	-32,9	-70,2	15-02-1913	31-03-2019
5400002	DGA	Río Juncalillo En Calaveras	0	-32,9	-70,3	17-02-1913	30-05-1931
5410001	DGA	Río Aconcagua En Vizcachas	930	-32,9	-70,5	01-10-1913	07-06-1936
5401002	DGA	Río Juncal Ante Junta Río Blanco	0	-32,9	-70,3	16-01-1914	31-12-1930
5402001	DGA	Río Blanco En Río Blanco	1.420	-32,9	-70,3	16-01-1914	31-03-2019
5406002	DGA	Río Colorado Antes Junta Río Aconcagua	0	-32,9	-70,4	21-05-1914	30-04-1944
5410005	DGA	Río Aconcagua En San Felipe	650	-32,8	-70,7	01-11-1918	31-03-2019
5421003	DGA	Río Aconcagua En Chagres	0	-32,8	-71,0	24-08-1920	31-03-1930
5405001	DGA	Río Los Riecillos Antes Junta Río Colorado	0	-32,8	-70,3	01-07-1929	30-04-1942
5415002	DGA	Estero Hualtatas En Desembocadura	0	-32,7	-70,4	27-10-1929	30-06-1936
5411002	DGA	Estero Pocuro Antes Junta Río Aconcagua	830	-32,8	-70,7	01-11-1929	01-08-1983
5411001	DGA	Estero Pocuro En Sifón	1.000	-32,9	-70,5	19-12-1930	31-03-2019
5410002	DGA	Río Aconcagua En Chacabuquito	950	-32,9	-70,5	02-09-1936	31-03-2019
5414001	DGA	Río Putaendo En Resguardo Los Patos	1.248	-32,5	-70,6	01-09-1939	31-03-2019

Código Estación	Institución	Nombre	Altura (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Periodo de registro	
5420004	DGA	Río Aconcagua En Panquehue (Ca)	510	-32,8	-70,8	21-08-1946	14-11-1951
5423003	DGA	Río Aconcagua En Romeral	365	-32,8	-71,0	08-07-1959	31-03-2019
5425002	DGA	Río Aconcagua En Puente Lo Rojas	170	-32,8	-71,3	01-06-1962	08-08-1965
5422001	DGA	Estero Las Vegas En Desembocadura	0	-32,8	-71,0	01-07-1962	04-06-2002
5423005	DGA	Río Aconcagua En Panamericana	210	-32,8	-71,1	01-07-1962	31-10-1990
5415001	DGA	Estero Quilpué Antes Junta Río Aconcagua	530	-32,7	-70,7	12-07-1962	12-09-1972
5420002	DGA	Estero De Los Campos En Antes Junta Río Aconcagua	550	-32,8	-70,9	12-07-1962	08-07-1983
5426001	DGA	Río Aconcagua En Puente Boco (Ca)	120	-32,9	-71,3	17-07-1962	10-07-1966
5424001	DGA	Estero Litre En Panamericana	220	-32,8	-71,2	19-07-1962	20-10-1963
5410003	DGA	Canal Parry 2 Despues Bt. Aconcagua	630	-32,8	-70,7	20-07-1962	24-02-1975
5423004	DGA	Estero Romeral Antes Junta Río Aconcagua	544	-32,8	-71,1	20-07-1962	30-06-1984
5421001	DGA	Estero Catemu Antes Junta Río Aconcagua	510	-32,8	-71,0	21-07-1962	31-12-1984
5425001	DGA	Estero Lo Rojas Antes Junta Río Aconcagua	170	-32,8	-71,3	02-08-1962	11-11-1964

Código Estación	Institución	Nombre	Altura (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Periodo de registro	
5423001	DGA	Canal Las Vegas En Bocatoma	320	-32,8	-71,0	28-08-1962	28-02-2019
5426002	DGA	Río Aconcagua En Tabolango	60	-32,9	-71,4	18-02-1963	31-03-1970
5406001	DGA	Río Colorado En Colorado	1.062	-32,9	-70,4	01-11-1964	19-02-2019
5403003	DGA	Río Aconcagua En Los Quilos	1.062	-32,9	-70,4	30-01-1965	28-03-1981
5423006	DGA	Estero Rabuco En Fundo Rabuco	300	-32,9	-71,1	01-01-1969	07-09-1983
5403002	DGA	Río Aconcagua En Río Blanco	1.420	-32,9	-70,3	02-04-1970	31-03-2019
5427003	DGA	Estero De Limache Antes Junta Río Aconcagua	120	-32,9	-71,4	01-12-1970	08-07-1983
5423002	DGA	Estero Las Vegas Aguas Abajo Canal Las Vegas	0	-32,8	-71,0	01-07-1972	30-04-1984
5402002	DGA	Canal Chacabuco En Bocatoma	0	-32,9	-70,3	12-06-1984	31-12-1985
5420001	DGA	Estero De Los Campos En Las Compuertas	0	-32,8	-70,8	22-01-1985	31-12-1985
5421002	DGA	Estero Catemu En Puente Santa Rosa	510	-32,8	-71,0	01-11-1985	25-03-2019
5423011	DGA	Canal Puntilla Torrejón En Bocatoma	210	-32,9	-71,1	19-06-1991	31-01-1992
5423010	DGA	Canal Comunidad Purutún En Bocatoma	210	-32,9	-71,1	19-06-1991	31-01-1992

Código Estación	Institución	Nombre	Altura (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Periodo de registro	
5423009	DGA	Canal Comunidad Hijuela En Bocatoma	210	-32,9	-71,1	22-06-1991	31-01-1992
5423008	DGA	Canal Melón En Bocatoma	210	-32,9	-71,1	28-09-1991	31-01-1992
5404001	DGA	Canal Colorado En Bocatoma	1.391	-32,8	-70,4	01-01-2014	31-03-2019
5402015	DGA	Río Blanco Antes Junta Río De Los Leones	0	-33,0	-70,3	01-01-2014	31-03-2019

Notas:

1. Las estaciones sombreadas miden caudal medio diario.
2. Las otras estaciones listadas registran niveles a partir de los cuales se estima caudal medio diario.

Fuente: Elaboración propia a partir de información e la DGA.

De la información disponible, y considerando que las estaciones deben poseer información para el periodo de análisis y estar ubicadas al menos una en cada sección, se seleccionaron las siguientes estaciones (ver Tabla 3-13). La Figura 3-1 muestra la ubicación de las estaciones fluviométricas seleccionadas.

Tabla 3-13: Características de las estaciones fluviométricas seleccionadas

Estación	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	Período de registro
Putaendo en Resguardo Los Patos	351.468	6.402.851	1.248	1939-2019
Aconcagua en Chacabuquito	358.754	6.364.299	950	1936-2019
Juncal en Juncal	390.765	6.363.352	1.800	1919-2019
Pocuro en Sifón	355.969	6.356.929	1.000	1930-2019
Aconcagua en San Felipe	337.311	6.374.295	650	1918-2019
Aconcagua en Romeral	310.420	6.364.599	365	1959-2019

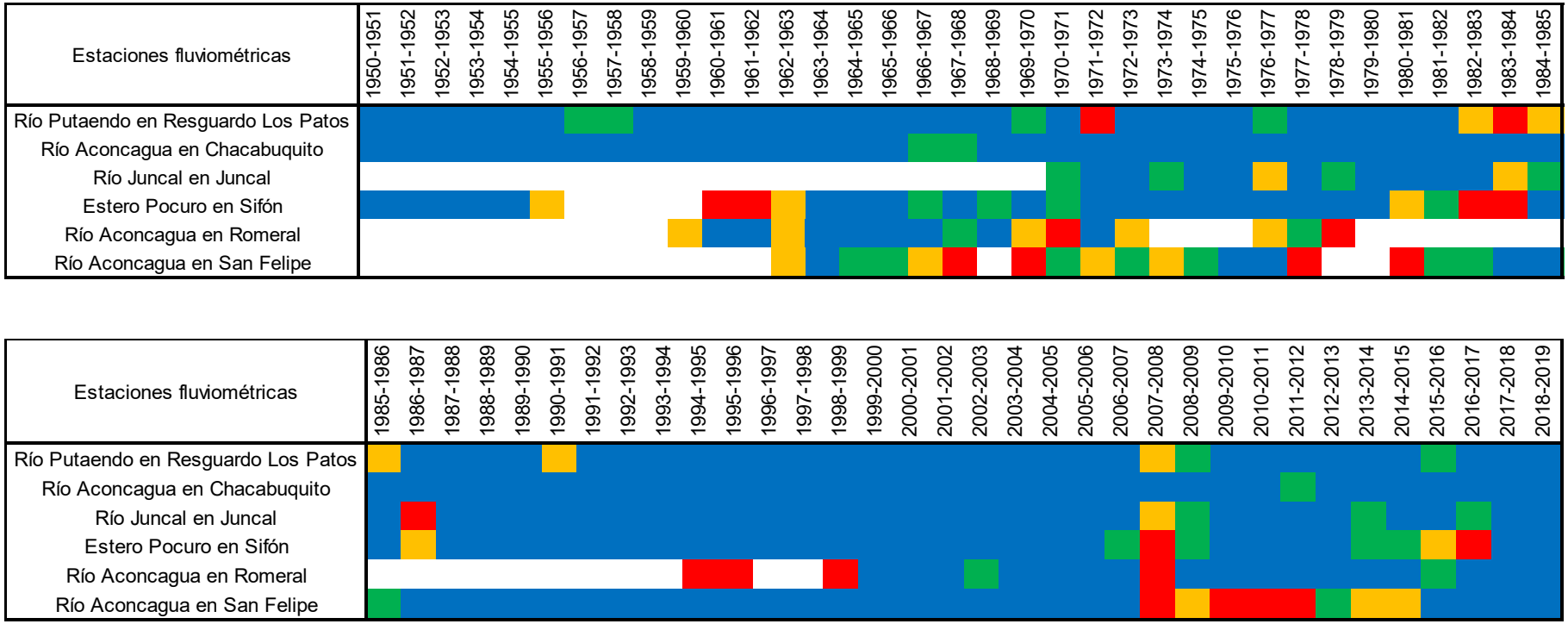
Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA.

En el río Aconcagua, los registros de las estaciones fluviométricas se encuentran altamente influenciadas por las extracciones, recarga y devoluciones de los derechos de uso; sin embargo, se considera que estaciones como: Río Aconcagua en Chacabuquito, Estero Pocuro en Sifón y Río Putaendo en Resguardo Los Patos, que se ubican en la parte alta de la cuenca poseen mínimas extracciones y por lo tanto aún mantienen un régimen natural.

Adicionalmente a las estaciones de la parte alta se analizará la estadística de las estaciones: Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral, las cuales se ubican a la salida de la primera y segunda sección, respectivamente. La estadística de estas dos estaciones será utilizada para validar resultados de modelación (ver sección 3.3.3 − Actualización del modelo MOS).

La información relacionada al nivel de completitud de las series mensuales en las estaciones se detalla en la Tabla 3-14, allí se indica el número de meses con información en el respectivo año hidrológico. Los datos originales se muestran en el Anexo E.

Tabla 3-14: Disponibilidad de datos fluviométricos



Notas:

Disponibilidad de Información
12 meses
10 - 11 meses
7 -9 meses
1 -6 meses

Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA.

3.2.2 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS

Este análisis permite detectar la consistencia de las series de caudales medios anuales utilizando el método de las curvas doble acumuladas; de una revisión previa se seleccionó a la estación Chacabuquito como estación índice, porque tiene un registro con alto grado de completitud y por su ubicación, es decir la parte alta de la cuenca, la cual se considera que se encuentra en régimen natural. La Figura 3-6 muestra el análisis gráfico de consistencia realizado para las estaciones fluviométricas:

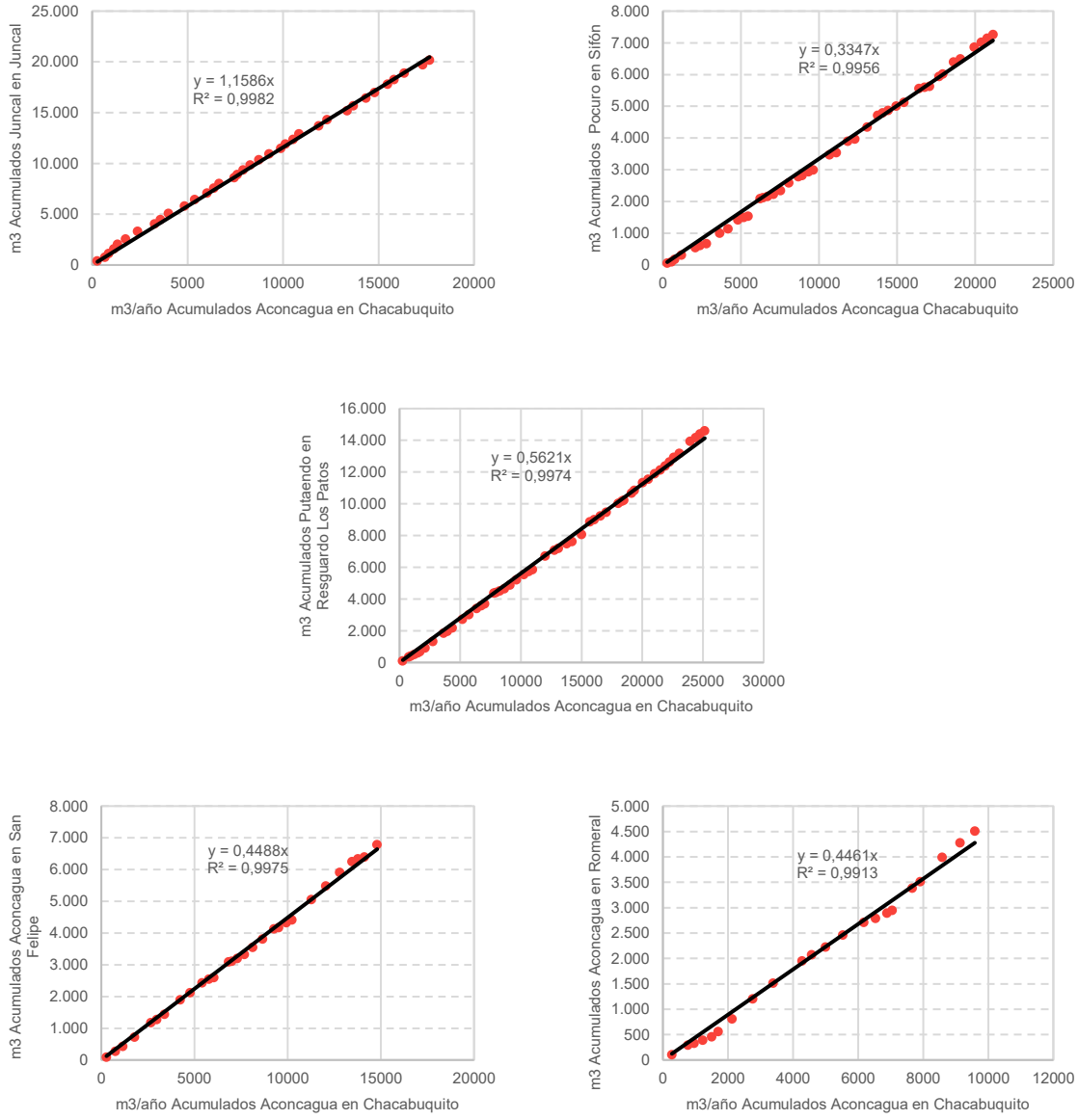


Figura 3-6: Curvas doble acumuladas de estaciones fluviométricas con estación índice

Se observa que las estaciones Juncal en Juncal, Pocuro en Sifón y Putaendo en Resguardo Los Patos se ajustan bien con la estación índice (Chacabuquito), no se observan quiebres en la pendiente de la curva, ni saltos marcados. Como se mencionó anteriormente, estas estaciones se encuentran en la parte alta de la cuenca y poseen un bajo número de extracciones por lo cual se consideran aún en estado natural.

Para las estaciones Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral, se observa que se ajustan bien con la estación índice, esto quiere decir que a pesar que los registros de estas estaciones se encuentran altamente intervenidos mantienen el régimen en el río y a eso se debe su buen ajuste con los registros de la estación índice. En particular, en la curva doble acumulada de estación Romeral, se observan ligeras desviaciones y cambios en la pendiente hacia el final de la curva, pero son aceptables para considerar la consistencia de los datos de esta estación.

3.2.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA EXTENSIÓN Y RELLENO DE DATOS

Para extender y rellenar la serie de datos se realizó un análisis de regresión lineal a escala mensual entre las estaciones seleccionadas y la estación Aconcagua en Chacabuquito para el periodo de análisis abril de 1950 hasta marzo de 2019.

Las series extendidas, además de caracterizar las condiciones hidrológicas de la cuenca, serán utilizadas con dos objetivos; el primero, como datos de ingreso al modelo de operación del sistema Aconcagua (MOS), se utilizará las siguientes estaciones: Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal, Pocuro en Sifón y Putaendo en Resguardo Los Patos. Y el segundo, como datos de validación del resultado de la modelación para las secciones 1 y 2, se utilizarán las estaciones Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral (en este caso se utilizarán los registros históricos extendidos y completados). A la salida de la Tercera sección, se ubica la estación Aconcagua en Panamericana; sin embargo, se observa que la serie de datos sólo posee un año completo de registro (1989) y dejó de registrar datos en el año 1990; por lo tanto, se descartó de la estadística y no fue posible ni siquiera utilizarla como referencia. En al Anexo F se muestran, de forma gráfica, las relaciones lineales generadas, y en el Anexo G, las series extendidas y rellenadas.

3.2.4 CAUDAL MEDIO ANUAL Y MENSUAL

Dependiendo del objetivo de uso de los registros de las estaciones, éstas se agruparon en:

- Grupo 1: Son las estaciones fluviométricas que, por su ubicación en la parte alta de la cuenca y las mínimas extracciones aguas arriba de las mismas, se consideran que se encuentran en régimen natural y serán utilizadas como datos de entrada al modelo MOS. Las estaciones del Grupo 1: son Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal, Pocuro en Sifón y Putaendo en Resguardo Los Patos.
- Grupo 2: Son las estaciones fluviométricas que, por su ubicación en la parte media de la cuenca, se encuentra en un régimen antrópico, es decir afectadas por las extracciones de derechos y serán utilizadas para comprobar la calibración del modelo en la primera y segunda sección. Las estaciones del Grupo 2 son: Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral.

La Tabla 3-15 muestra los estadígrafos de caudales de las estaciones del Grupo 1 (utilizadas como datos de ingreso al modelo MOS):

Tabla 3-15: Estadígrafos de caudales en series rellenadas – Grupo 1 (m^3/s)

Estación	Estadígrafo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
Aconcagua en Chacabuquito	Media	15,1	12,8	13,8	14,3	15,5	19,7	30,6	57,2	74,7	58,6	37,7	23,3	31,1
	Desv. Est.	5,4	5,6	7,4	7,2	7,8	9,2	13,7	27,7	45,3	38,4	19,6	9,8	14,4
	Mínimo	6,5	5,6	4,9	4,9	5,5	6,6	7,4	12,1	14,5	17,3	15,4	5,9	10,6
	Máximo	37,2	43,3	47,6	39,8	50,0	46,4	66,7	146,8	190,7	178,8	112,8	57,8	69,0
Juncal en Juncal	Media	4,3	2,9	2,2	2,0	1,9	2,3	3,9	7,4	11,3	12,4	9,9	7,0	5,6
	Desv. Est.	1,2	0,8	0,5	0,4	0,3	0,4	1,0	2,0	4,3	5,1	3,3	2,1	1,4
	Mínimo	2,4	1,5	1,2	1,4	1,0	1,2	1,3	3,6	4,5	6,2	5,4	3,3	3,2
	Máximo	7,6	5,8	4,1	3,8	2,8	3,9	6,5	12,7	24,0	30,0	20,5	13,4	9,5
Pocuro en Sifón	Media	0,3	0,4	1,0	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	0,8	0,5	0,3	0,3	0,9
	Desv. Est.	0,2	0,3	1,6	1,5	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,2	0,2	0,7
	Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Máximo	1,3	1,4	9,8	6,9	7,9	7,0	6,6	5,8	2,8	1,6	1,5	1,5	3,1
Putaendo en Resguardo Los Patos	Media	2,9	3,0	3,6	4,3	5,9	7,0	10,7	17,4	17,5	10,1	5,5	3,7	7,6
	Desv. Est.	1,6	1,4	2,0	3,9	8,4	6,2	7,9	13,2	16,2	11,1	4,3	2,4	5,4
	Mínimo	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1	1,0	0,9	0,6	1,1
	Máximo	8,5	8,7	9,7	26,6	67,4	43,0	39,8	64,6	67,1	45,7	20,9	12,2	24,0

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la DGA.

Asimismo, en la Figura 3-7 se muestran los perfiles estacionales de las estaciones del Grupo 1, se observa que las estaciones Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal y Putaendo en Resguardo Los Patos tienen un comportamiento netamente nival; mientras que Pocuro en Sifón tiene un comportamiento nivo-pluvial con una alta influencia pluvial que produce los caudales más altos en el periodo de junio a noviembre:

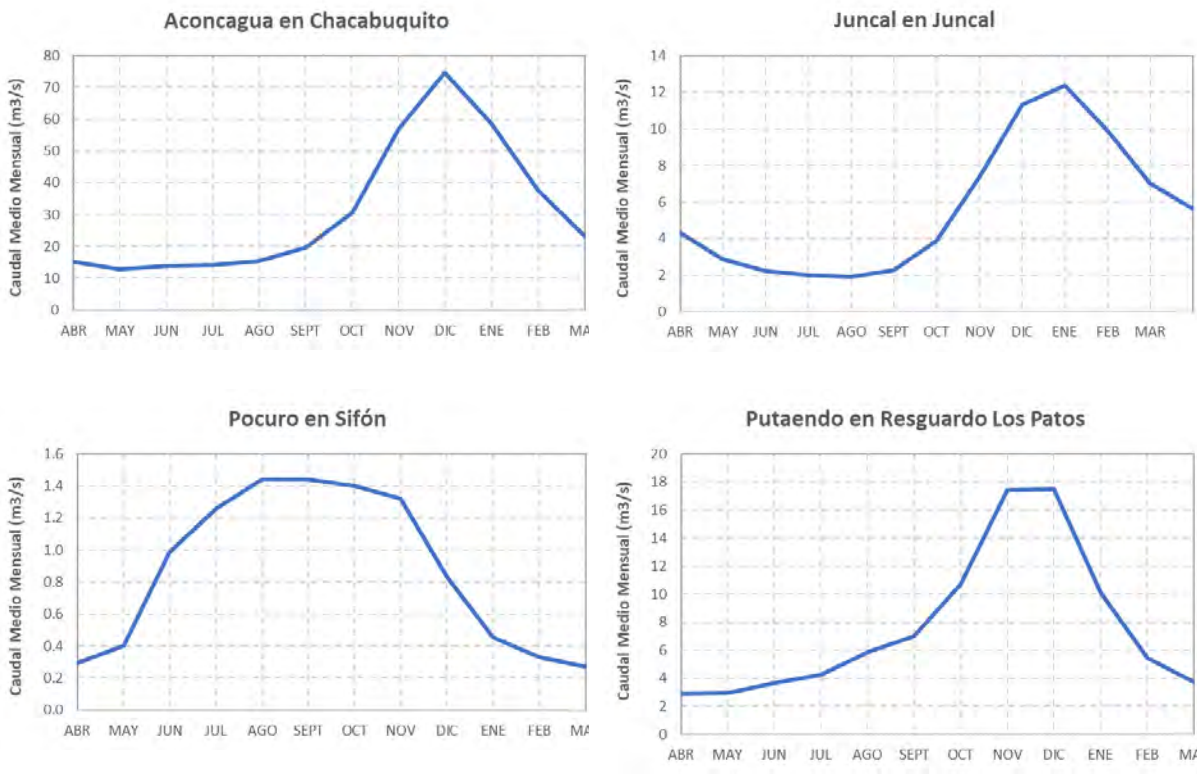


Figura 3-7: Perfil estacional de caudales medios mensuales en series completas – Grupo 1

La Figura 3-8 muestra las series temporales de caudales medios mensuales para el período abril 1950 – marzo 2019; en general se observa un decrecimiento en los caudales, especialmente durante la última década.

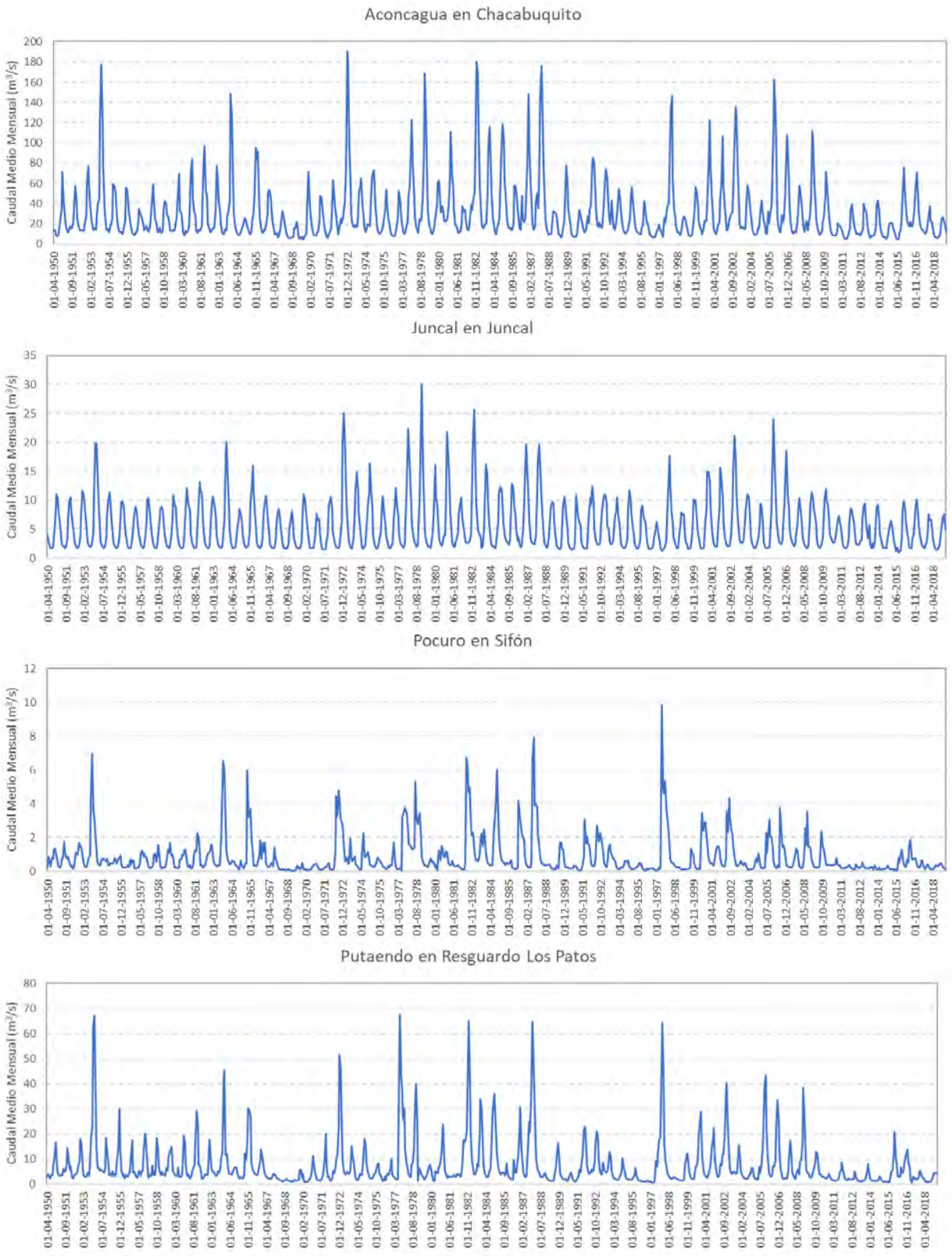


Figura 3-8: Serie temporal caudales medios mensuales series completadas – Grupo 1

La Tabla 3-16 muestra los estadígrafos de las estaciones correspondientes al Grupo 2, en este caso los valores corresponden a los registrados en la estación y serán utilizados para verificar los resultados del modelo MOS en la primera y segunda sección.

Tabla 3-16: Estadígrafos de caudales en series rellenadas – Grupo 2 (m^3/s)

Estación	Estadígrafo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
Aconcagua en San Felipe	Media	5,8	6,6	10,5	11,7	11,2	9,7	13,3	35,7	46,7	33,0	16,6	8,3	17,4
	Desv. Est.	5,7	6,5	9,1	9,7	11,8	10,6	12,0	26,1	38,6	34,0	17,2	8,8	13,2
	Mínimo	0,1	0,0	0,1	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	1,6	0,6	0,3	1,3
	Máximo	28,4	38,2	52,2	49,7	72,7	44,1	41,1	127,0	149,3	145,0	80,6	43,9	55,8
Aconcagua en Romeral	Media	14,2	18,8	28,1	29,7	26,9	19,5	19,6	46,5	54,1	40,2	17,5	13,6	27,4
	Desv. Est.	8,3	11,1	16,9	16,9	17,6	16,2	15,2	37,6	50,2	46,9	15,8	9,3	17,7
	Mínimo	0,7	0,8	1,0	1,5	1,1	0,6	0,8	1,9	0,1	0,5	1,9	0,6	4,4
	Máximo	45,2	75,7	97,3	112,9	96,3	82,6	58,2	159,3	212,2	203,4	76,8	43,9	73,2

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la DGA.

La Figura 3-9 muestra los perfiles estacionales de las estaciones del Grupo 2:

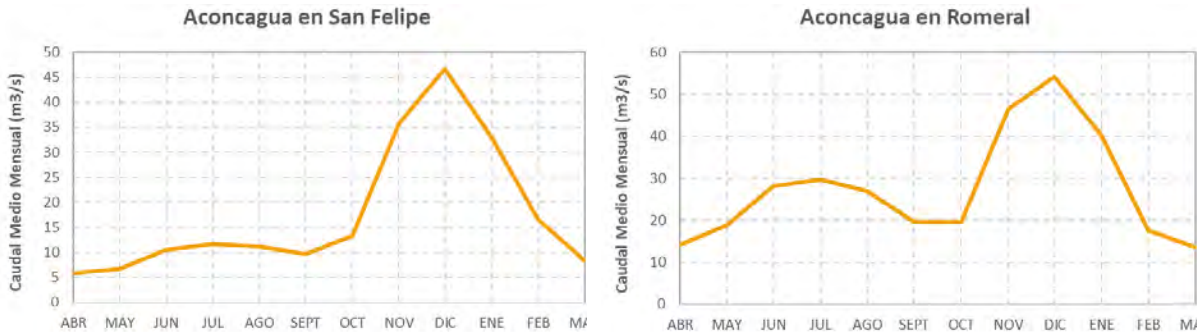


Figura 3-9: Perfil estacional de caudales medios mensuales en series completas - Grupo2

Se muestra en la Figura 3-10, las series temporales de caudales medios mensuales para el período abril 1950 – marzo 2019; se observa un decrecimiento de los caudales mensuales durante los últimos 10 años; este decrecimiento es coherente con lo observado en las series de precipitación y en el análisis de periodos de años secos.

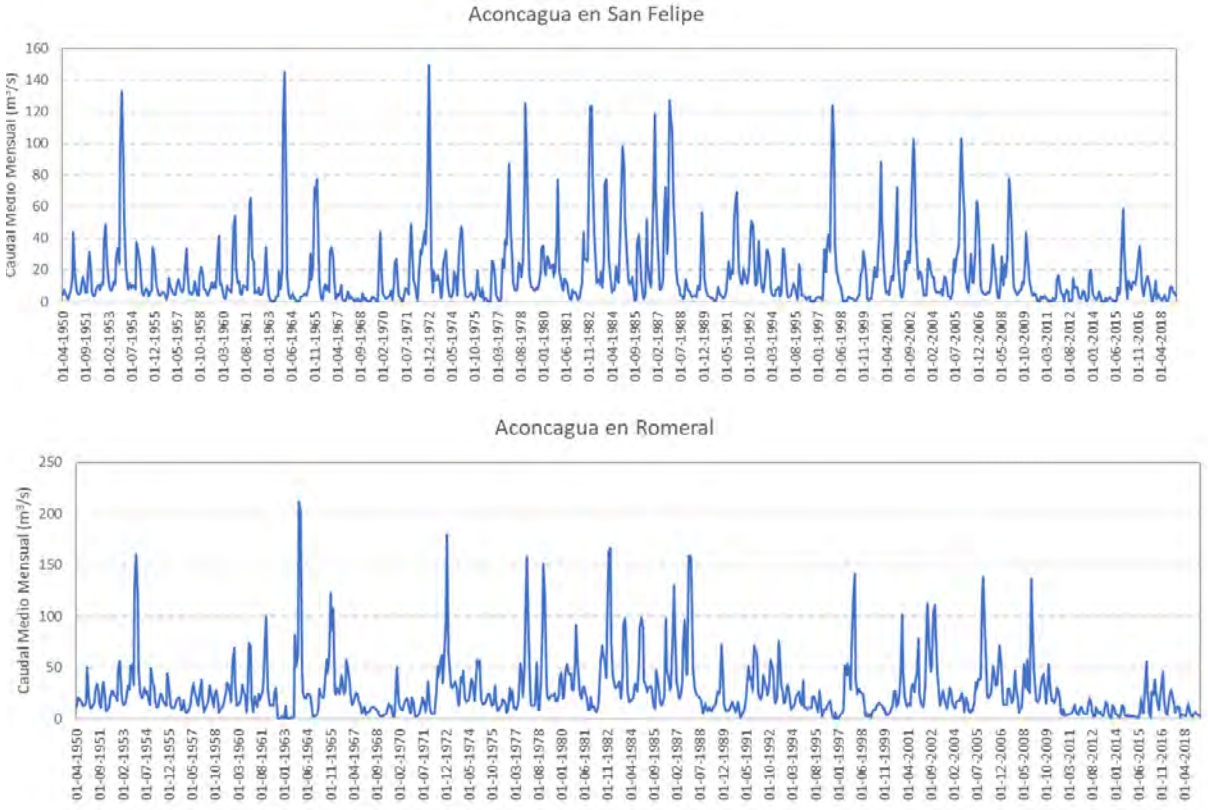


Figura 3-10: Serie temporal caudales medios mensuales series completadas – Grupo 2

3.2.5 CAUDALES AÑOS SECOS

Para analizar la ocurrencia de años secos, se estimó el índice de caudales estandarizado (ICE):

ÍNDICE ICE

Mediante una metodología similar al cálculo del IPE, se determina el valor ICE para series de caudales medios mensuales acumulados de tres meses consecutivos, para todos los meses del año en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito, Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral.

Las funciones de distribución empleadas fueron la log-Logística de tres parámetros para las estaciones Aconcagua en Chacabuquito y Aconcagua en Romeral, mientras que para la estación Aconcagua en San Felipe se empleó la distribución Log-Normal de dos parámetros. Para un nivel de significancia del 5%, se muestran los resultados del test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17: Resultados test de Kolmogorov-Smirnov, α = 0,05, para distribución de caudales acumuladas cada 3 meses en estaciones de interés

Estación	Función de distribución	Estadístico de Prueba	Valor Critico	Resultado Test
Aconcagua en Chacabuquito	Log-Logística (3p)	0,0305	0,0476	Aceptado
Aconcagua en San Felipe	Log-Normal (2p)	0,0308	0,0476	Aceptado
Aconcagua en Romeral	Log-Logística (3p)	0,0198	0,0476	Aceptado

A continuación, se muestra gráficamente en la Figura 3-11 el cálculo del ICE para las estaciones de interés. Este cálculo se hizo cada tres meses para las series de caudales medios mensuales, para todos los meses del año. En la figura, las líneas rojas horizontales son el valor ICE desde el cual se considera una sequía según la resolución DGA N° 1.674 de 2012.

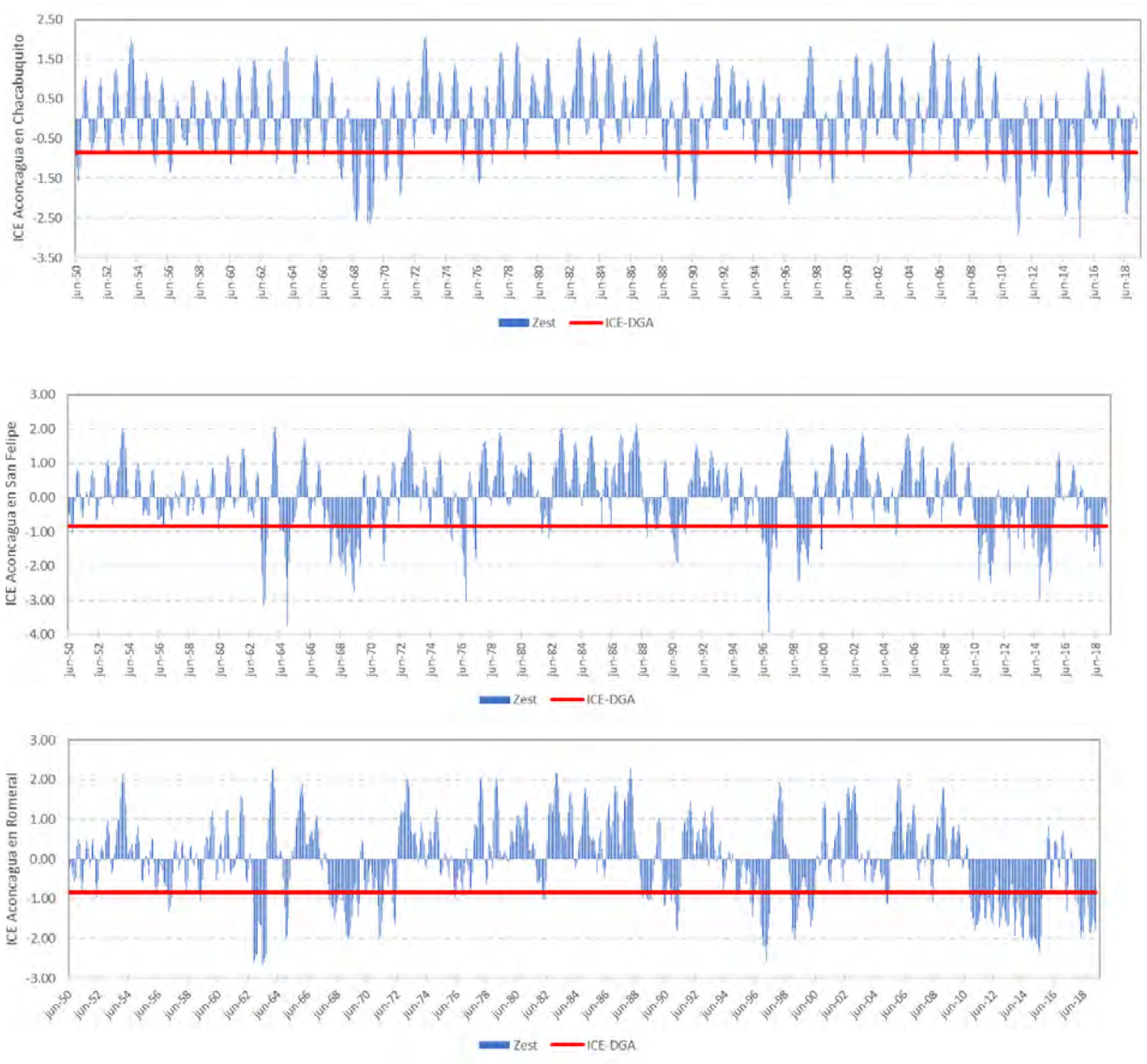


Figura 3-11: Valores ICE para tres meses de caudales medios mensuales en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito, Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Romeral

Se observa claramente que se han producido sequías hidrológicas en la cuenca a inicios y finales de los años 60, en la década del 90 (periodo entre 1996 − 2000) y a partir del año 2010 hasta la actualidad, llegando en el año 2015 a tener un índice de -3 para las tres estaciones analizadas.

La ocurrencia de estos eventos, más el desarrollo de las actividades productivas en la cuenca muestran que existe una disminución en la disponibilidad del recurso hídrico en Aconcagua. Esta disminución de la disponibilidad, se observa de forma marcada en la estación Romeral (que se encuentra a la salida de la segunda sección).

3.3 MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACONCAGUA – MOS ACN 2019

El modelo de operación del sistema, también conocido con MOS, ha sido actualizado y recalibrado en varias ocasiones, para diversas aplicaciones y por varios consultores, la última actualización oficial fue realizada por DICTUC entre 2007 y 2009 para la DOH; y consideró un periodo de análisis entre abril 1950 y marzo 2006. A partir de este modelo, se ha realizado un análisis de brechas con el propósito de evaluar la aplicación del modelo existente en la simulación de los escenarios requeridos por la DGA para este estudio.

3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO MOS EXISTENTE

El MOS es una herramienta usada en la cuenca Aconcagua porque representa el sistema superficial, los sistemas de riego y su vinculación con los sistemas subterráneos; y así caracteriza la situación de la cuenca evaluando, el efecto de la incorporación de obras de regulación, el cambio en la eficiencia del uso del agua en riego y el aumento en el uso del agua subterránea sobre la cantidad y distribución de los recursos hídricos de la cuenca.

La metodología empleada en la simulación del MOS permite generar caudal en diversos puntos de interés de la cuenca. Para los sectores de riego se incluyen procesos como el reuso de derrames de riego, lo que se traduce en una mayor eficiencia a nivel de sector. Los retornos desde los sectores de riego y las descargas desde los acuíferos, en conjunto con las capacidades máximas de transmisión de los mismos en lugares determinados, permiten representar las recuperaciones experimentadas por el río Aconcagua.

Las series de recarga generadas consideran la recarga proveniente de los sectores de riego por percolación profunda de los excedentes del riego y de las precipitaciones, además de la infiltración desde los tramos de río. A pesar de las capacidades de simulación del MOS, la componente subterránea simulada por el modelo, es una aproximación al sistema que en ningún caso permite determinar niveles freáticos en régimen transitorio. Por otro lado, la componente subterránea ha sido representada por un modelo tipo caja negra que se restringe a la ecuación de continuidad y considera las propiedades físicas de los acuíferos solamente en las secciones de entrada y salida que conforman los embalses subterráneos.

Todos estos procesos son representados por una serie de elementos regidos por la ecuación de continuidad y vinculados entre sí a través de sus respectivas entradas y salidas. Los principales elementos son: sectores de riego, áreas de contribución, tramos de río y nodos de distribución, embalses superficiales, canales de trasvase, acuíferos y demandas. A continuación, la descripción de cada uno de los elementos que representan el sistema del Aconcagua:

1 Sectores de riego:

De acuerdo al estudio "Modelo de Simulación Hidrogeológico, Valle del río Aconcagua" de la DOH – Ingendesa, 1998 (Ref. 16), el modelo posee definidos 20 sectores de riego, estos sectores fueron definidos considerando los siguientes aspectos: división legal del río, ubicación de bocatomas de canales de riego, zonas de pérdida / recuperación del río, ubicación de embalses existente y en proyecto, captaciones y entregas de canales de trasvase y proyectos de explotación de agua subterránea. Posteriormente, los sectores de riego fueron incrementados en 13, siendo un total de 33 sectores.

Los sectores de riego tienen como entradas: la demanda según tipo de cultivo, y la precipitación directa; y como salida: la evapotranspiración, aportes al acuífero y los sobrantes.

El agua de riego corresponde a un porcentaje del caudal afluente al nodo asociado donde se concentran las captaciones del sector que puede ser limitado a la capacidad total de captación y transporte por parte de las bocatomas y canales matrices, o a los derechos constituidos en el sector de riego abastecido. El caudal bombeado para el riego del sector desde el elemento acuífero asociado se determina en función de los derechos constituidos.

El modelo calcula las demandas de agua para el riego mensualmente en cada sector basándose en las demandas por evapotranspiración de los cultivos y en las eficiencias del método de riego y de conducción del canal matriz. Para ello se considera en cada sector un patrón de cultivos y las áreas netas de la superficie dedicada a cada uno de ellos.

La precipitación sobre el sector se determina afectando la lluvia mensual de la estación índice asociada al sector de riego por un coeficiente que refleja la lluvia media sobre el sector. Las estaciones índices son Putaendo en Resguardo Los Patos, San Felipe y Limache. La estadística de Putaendo en Resguardo Los Patos se utiliza en los sectores S03 y S04, la de San Felipe se emplea en los sectores S01, S02, S05, S06, S07, S08 y S09, y la de Limache se usa en los demás sectores, desde S10 a S20 (ver Figura 3-12).

2 Áreas de contribución:

Se consideran dos tipos de áreas aportantes: cuencas de entrada (Qce), que se refieren a las cuencas que se encuentran ubicadas aguas arriba de un nodo y cuencas laterales cuyos caudales están asociados a un sector de riego (Qcs). Las Qce corresponden a series de caudales de cuencas de cabecera; dependiendo de la ubicación de la cuenca pueden corresponder a registros históricos corregidos/rellenados, y otros a una generación sintética. Las series históricas de caudales medios mensuales corregidas/rellenadas que se utilizan en el modelo son las controladas en las estaciones Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal, Pocuro en Sifón y Putaendo en Resguardo Los Patos.

Las Qcs corresponden todos a series generadas sintéticamente; en el caso de este tipo de cuenca se optó por sintetizar las series, para lo cual se agruparon en dos tipos: aquellas con régimen pluvio-nival o mixto, y las de régimen pluvial.

- En las cuencas de régimen mixto se aplicó un modelo de transposición de caudales que considera el área, la altura media de la cuenca y la precipitación, además de una serie de caudales que corresponde a la estadística base (ver también sección 3.3.3).
- En las cuencas de régimen pluvial se aplicó el modelo de generación de caudales medios mensuales en cuencas pluviales (MPL) desarrollado por el Ing. Pablo Isensee (DOH-Ingendesa, 1998, Ref. 16), utilizando la estadística de precipitaciones mensuales de las estaciones San Felipe, Putaendo en Resguardo Los Patos y Limache; ponderadas por factores de traslado a la cuenca de interés y los parámetros obtenidos de la calibración realizada en la cuenca del embalse Los Aromos (ver también sección 3.3.3).

La Figura 3-14 muestra la ubicación de las áreas de contribución que considera el MOS.

3 Tramos de río y nodos de distribución:

Los elementos tipo nodo reciben y distribuyen agua desde y hacia otros elementos del sistema, actuando como conectores de la malla. Su funcionamiento es el más simple del sistema, ya que el cálculo se basa en coeficientes de reparto de los caudales de salida asociados al nodo. Desde el punto de vista de la recarga interesan los nodos asociados a tramos de río, puesto que en ellos se definen además coeficientes que representan la infiltración desde los cursos superficiales. El sistema posee un total de 46 nodos (considerando el detalle de la primera sección).

En el MOS, un tramo de río queda determinado por un nodo inicial y un nodo final. Las entradas al tramo son todos los caudales afluentes al nodo inicial menos las extracciones en ese punto y las salidas corresponden a las percolaciones asociadas al tramo y el caudal efluente. Los flujos afluentes asociados al nodo inicial pueden ser de cualquier tipo; tales como, afloramientos desde elementos acuíferos, retornos desde sectores de riego, el caudal de una cuenca lateral o simplemente el flujo efluente del tramo de río de aguas arriba. En los nodos de cabecera, el caudal afluente puede ser la estadística de las estaciones fluviométricas seleccionadas (completada) o generada según corresponda.

La ecuación de balance permite definir el caudal saliente de un tramo como el caudal entrante al nodo inicial menos el caudal captado por los canales del sector, menos la eventual percolación del río en su lecho y más el caudal que retorna de las áreas regadas del sector.

La percolación en cada uno de los tramos del río se estimó utilizando la ley de Darcy; se aplicó esta consideración en el estrato filtrante del lecho del río; y se calcula a partir del caudal afluente al nodo inicial, después de restar todas las extracciones correspondientes a ese nodo en la malla.

4 Embalses superficiales:

Los elementos embalses operan como volúmenes de almacenamiento superficial que obedecen a la ecuación de continuidad. Sus entradas son flujos afluentes superficiales, y sus salidas son: caudales demandados por riego o por otras demandas, la evaporación desde el espejo de agua y vertidos eventuales (excedentes). Para la simulación del embalse es necesario conocer: la capacidad útil máxima, la curva de superficie (espejo de agua) versus el volumen almacenado, volumen muerto y las reglas de operación.

En el MOS existente se encuentran implementados 10 elementos embalse, que considera: 2 que se encuentran actualmente en operación que son Los Aromos y Chacrillas y 8 proyectados que son: Juncal, Potrero escondido, Puntilla del Viento, Catemu, Minillas, Las Peñas, Rabuco, Pucalán; de los 10 embalses existentes, ninguno se encuentra activo en el MOS existente. Además, hay que tener en cuenta que los embalses no consideran pérdidas por infiltración, sólo salidas por demanda y evaporación.

5 Canales de trasvase entre secciones legales:

Estos elementos captan el recurso en un nodo para transportarlo a otros puntos y satisfacer una determinada demanda. El caudal que captan se considera en los coeficientes de reparto del nodo en función de los derechos constituidos, limitado a la capacidad del canal o de la captación.

Es importante mencionar que estos elementos no consideran pérdidas por infiltración.

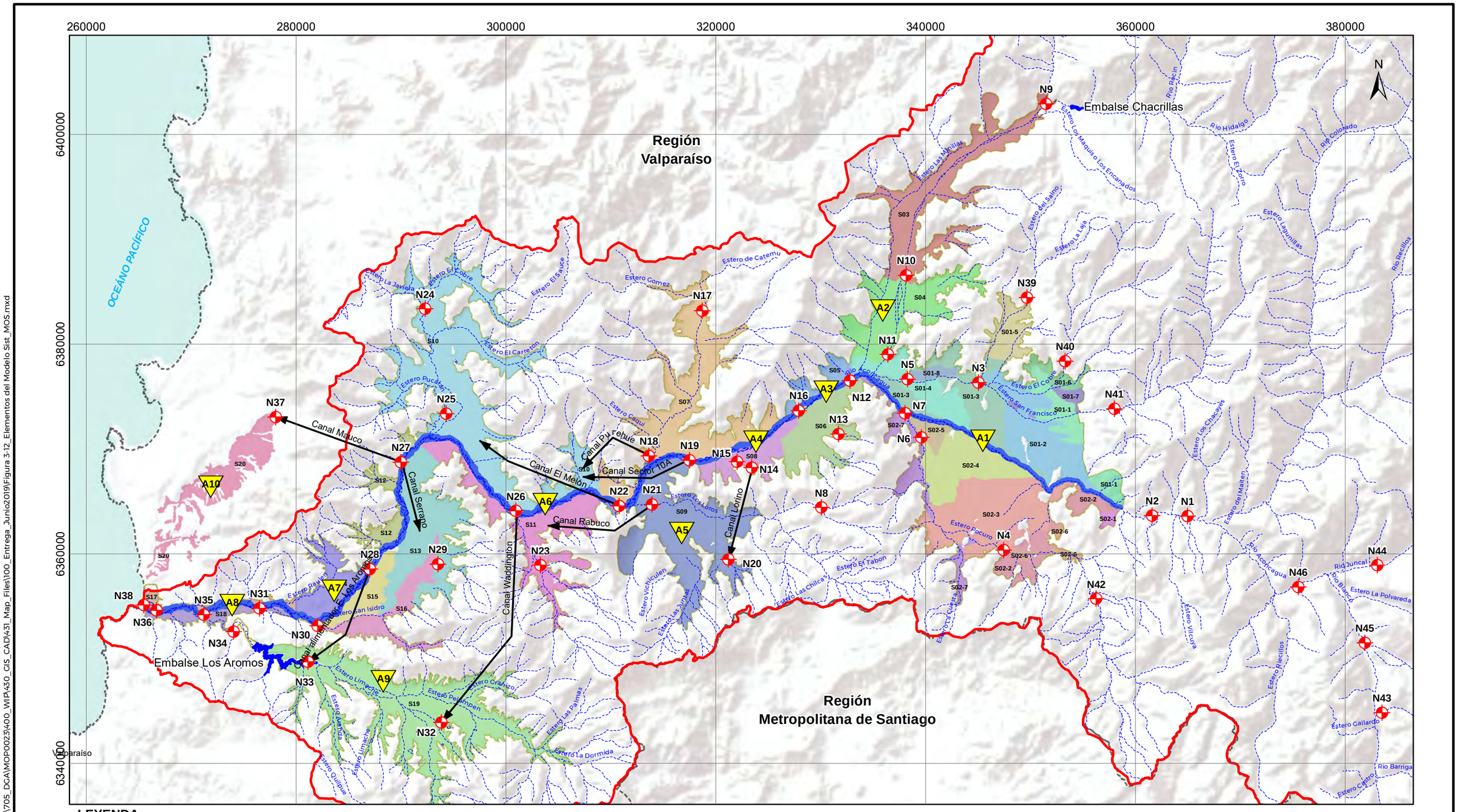
6 Acuíferos:

Los elementos acuíferos operan en el MOS como volúmenes de almacenamiento subterráneo, tienen como entradas: caudales subterráneos desde otros acuíferos, recargas desde los sectores de riego, y percolaciones desde los tramos de río; y como salidas: flujos subterráneos efluentes y los afloramientos eventuales. Estos elementos satisfacen además la ley de Darcy, por lo que consideran un volumen de almacenamiento variable en el tiempo.

7 Demanda:

Se refiere a las demandas de los sectores de riego, que se encuentran limitadas por los derechos otorgados en cada sección.

La Figura 3-12 muestra la ubicación de los elementos del MOS y la Figura 3-13 muestra el diagrama unifilar del sistema Aconcagua:



LEYENDA

- Acuíferos MOS
- Nodos
- Canal Alimentador
- Red hidrográfica
- Límite de sectores de riego
- Área de estudio

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

Gobierno de Chile
gob.cl

Elementos del modelo de operaciones del sistema - MOS

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 3-12
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\cisc1200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 3-12_Elementos del Modelo Sist_MOS.mxd

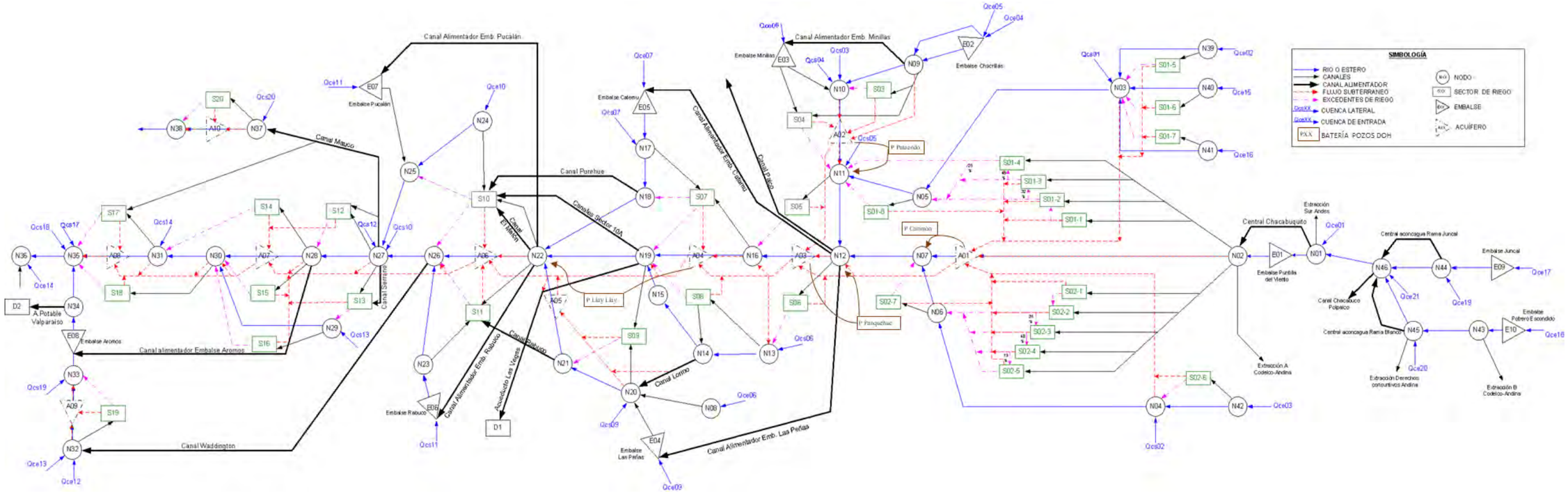


Figura 3-13: Diagrama unifilar del modelo de operación del sistema – MOS

270000 300000 330000 360000 390000 420000

6420000 6390000 6360000 6330000

N

Región Valparaíso

Región Metropolitana de Santiago

República de Argentina

OCEÁNO PACÍFICO

La Ligua

Concón

Valparaíso

Quilpué

Nogales

La Calera

Hijuelas

Quillota

Catemu

Panquehue

San Felipe

santa María

Curimón

San Esteban

San Rafael

Los Andes

Llay Llay

Rinconada

Calle Larga

Embalse Chacrillas

Putaendo

CE1 CE2 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8 CE9 CE10 CE11 CE12 CE13 CE14 CE15 CE16 CE17 CE18 CE19 CE20 CE21

CL1 CL2 CL3 CL4 CL5 CL6 CL7 CL9 CL10 CL11 CL12 CL13 CL14 CL17 CL18 CL19 CL20

Estero Chalaco · Río Colorado · Río de Los Tranquilla · Estero del Bajío · Estero de Los Leones · Estero de Las Lagunillas · Río Recillos · Estero de La Cañada · Río Putaendo · Estero Catemu · Estero San Felipe · Río Aconcagua · Estero Pocuro · Estero Viluco · Estero Riecillos · Estero Ellenos · Estero de Navarro · Estero Los Maitenes · Río Juncal · Río Blanco · Estero La Polvareda · Río Los Leones · Estero Potrero Escondido · Río Barriga · Estero Las Palmas · Estero Limache · Estero San Isidro · Estero Quilpué

LEYENDA

- Localidades
- Red hidrográfica
- Límite internacional
- Límite regional
- Límite acuífero
- Área de estudio

0 15 30 km

1:510,000

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

Gobierno de Chile

gob.cl

Áreas de cuencas de contribución al MOS

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 3-14
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\clscl200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 3-14_Area de cuencas de contribucion_MOS.mxd

3.3.2 ANÁLISIS DE BRECHAS, GAP-ANÁLISIS

A partir de la revisión del modelo MOS existente, se encontraron limitaciones en el modelo; algunas serán consideradas en la actualización de la herramienta en el presente estudio y otras se recomienda sean consideradas en posteriores actualizaciones. Estas limitaciones deben ser consideradas en el análisis de los resultados del modelo.

1 Representación de funcionamiento de baterías de pozos DOH:

Actualmente MOS-ACN simula sólo extracciones de 2 fuentes, superficiales a través de sectores de riego, trasvase de canales y descargas de embalses o subterráneas a través de bombeos desde el acuífero por riego u otros usos. En la realidad, a partir del año 2012, la DOH opera 3 baterías de pozos ubicados en Curimón, Panquehue y Llay llay, las cuales extraen agua desde el acuífero y entregan lo bombeado al río Aconcagua y sus tributarios o canales aledaños, generando un caudal disponible superficial extra no considerado y por consiguiente una baja en el volumen disponible del acuífero. En la versión del modelo existente, esta consideración no se encuentra implementada y esto puede reflejarse en una menor disponibilidad de agua en el río.

2 Sistema de turnos:

La cuenca del Aconcagua ha experimentado de forma recurrente periodos de escasez hídrica; por tal motivo la DGA con las juntas de usuarios han establecido un sistema de turnos, con el objetivo de garantizar un mínimo de caudal disponible en el río sobre todo para usuarios de la Tercera y Cuarta sección. La conceptualización original del MOS no considera el sistema de turnos, debido principalmente a la escala de tiempo en que se realiza, que es a nivel horario; mientras que el MOS genera caudales a nivel medio mensual; sin embargo, se considera que en periodos prolongados de sequías (cómo la de los últimos 10 años) el efecto de esta restricción puede expresarse en el aumento del caudal sobrante de la primera sección para ser captado en la tercera y cuarta sección.

3 Demandas por riego por sector agrícola:

La situación con respecto a las demandas de riego recae principalmente en la falta de actualización de los sectores de riego y sus demandas asociadas. La última actualización de las demandas de riego fue realizada por DICTUC en 2009 (Ref. 13), y provee información hasta el año 2006. Por lo tanto, fue necesario revisar en estudios antecedentes disponibles si es que la demanda por riego ha sufrido cambios importantes que impacten los resultados del MOS.

De la revisión del estudio "Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua" (CNR, 2016) se conoce que a partir del año 2007 se ha producido un incremento de los cultivos sobre todo en la tercera y cuarta sección; pero además se han implementado nuevas tecnologías que permiten que se siembren cultivos inclusive durante los meses de invierno, a estos tipos de cultivos se les denominan "cultivos invernadero". El estudio menciona que en las comunas de Limache y Quillota hay 876 hectáreas de tomate, que se cultiva bajo plástico y que demanda agua para riego durante los meses de mayo y junio. Esto resulta particularmente relevante dado que el aumento de cultivos de invernadero produce demandas que pueden extenderse por un mayor número de meses en el año. La actualización de las demandas para riego por cultivo se encuentra fuera del alcance de este estudio, ya que implica un estudio agronómico específico y la actualización de la cantidad de hectáreas por tipo de cultivo.

4 Sectores de riego:

La geometría de los sectores de riego, al igual que las demandas, tiene como última actualización el año 2006 (DICTUC, 2009, Ref. 13). Esto quiere decir que las superficies de riego de cada sector, su geometría, cantidad de hectáreas sobre acuífero y fuera de éste (sectores de riego en cerros), método de riego de cada uno y consideraciones operacionales del sistema se encuentren probablemente desactualizadas y no sean representativas de la situación actual.

Esto resulta relevante dado que la definición de las extracciones desde el acuífero (bombeos) se realiza en base a la definición geométrica de los sectores. La actualización de la geometría de los sectores de riego se encuentra fuera del alcance de este estudio; sin embargo, se recomienda realizarla para una próxima actualización.

5 Derechos de agua superficial de uso industrial:

Con respecto a los derechos de agua superficial de uso industrial con derecho permanente y continuo, se identifica en el MOS que las extracciones asociadas a este tipo de uso sólo han sido consideradas como demandas en la primera sección.

Es importante considerar en el MOS el valor del caudal real extraído y no el valor del derecho concedido; porque es posible que el caudal del derecho sea mayor que el real extraído y que se sobreestimen las extracciones reduciendo la disponibilidad de agua en la primera sección. También es necesario conocer si en otras de las secciones legales, existen extracciones de derechos de agua de uso industrial, para que sean consideradas en el MOS; este tipo de uso puede disminuir la disponibilidad de agua en las secciones legales.

Con el objetivo de la actualización del modelo se solicitaron, a la DGA, los derechos de uso industrial y las patentes de pago por no uso, para confirmar si estos derechos son usados en su totalidad o parcialmente; sin embargo, la información recibida correspondió a los derechos de uso y no fue posible identificar el uso real de estos derechos, por lo que se consideró mantener las extracciones que consideraba el MOS para el caso de uso industrial.

6 Análisis de consistencia derechos superficiales:

El MOS utiliza como restricciones para las extracciones superficiales, los derechos superficiales concedidos; así, es importante actualizar los derechos concedidos por sección legal, sobre todo derechos para uso agrícola porque son los más abundantes (derechos por canal).

Se compararon los derechos superficiales del MOS con los derechos por canal mostrados en el estudio "Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua" (CNR, 2016), encontrándose algunas diferencias que deben ser actualizadas o verificadas a partir de un catastro actualizado, el cual ha sido solicitado a la DGA como parte de este estudio.

La DGA ha proporcionado los derechos de agua superficial por canal y por sección legal, los cuales serán utilizados en la actualización del MOS.

7 Embalses:

MOS considera en su conceptualización el elemento embalse; el modelo considera 10 embalses, de los cuales, 2 se encuentran en operación actualmente: Los Aromos y Chacrillas. Los 8 embalses restantes se conceptualizaron para evaluar el almacenamiento de los superávits de agua en la cuenca, con el objetivo de regulación y de manejo de sequías (mejoras a la seguridad de riego en el valle).

El MOS existente posee, como parte de código de modelación, características de Volumen máximo, volumen muerto, función de área − volumen, a partir de la cual se estima el área del espejo de agua asociado al volumen del embalse del mes en evaluación, esta área será utilizada para estimar las pérdidas por evaporación. Sobre el embalse Los Aromos se dispone de información para actualizar la función área − volumen; mientras que para la implementación del embalse Chacrillas, sólo se dispone del volumen máximo, que equivale a 31,5 Hm^3 y volumen muerto, que es 0,26 Hm^3; por lo tanto, se utiliza en la modelación la función del modelo existente.

También se actualiza en el MOS, las tasas de evaporación; utilizando la información proporcionada por la DGA y reportada en la sección 3.1, se utilizará como tasas de evaporación mensual, las reportadas en la estación Quillota, cuya evaporación media anual es 1.197,6 mm.

Con respecto a pérdidas por filtración, MOS no las considera en el código y de la información recibida se conoce que el embalse Chacrillas registra filtraciones en cuatro puntos de interés aguas abajo del embalse. Así, se consideró importante modificar el código del MOS para incluir estas pérdidas y que se reporten en el nodo 11 (que se ubica aguas abajo del embalse Chacrillas), esta implementación se realizará para el modelo se simulación de escenarios que es el que incluye al embalse Chacrillas.

8 Representatividad de modelo MPL:

El MOS requiere como dato de entrada, el caudal proveniente de las cuencas laterales que es generado de forma sintética utilizando el modelo pluvial MPL.

El MPL genera caudales a nivel diario (los cuales son acumulados y mensualizados), utilizando como área de contribución una parcela de suelo a la cual se le calcula un grado de saturación y en base a esta variable se define una escorrentía directa (por estar el suelo saturado), evapotranspiración (pérdida de agua desde el suelo), e infiltración que luego puede generar percolación profunda (flujo sub-superficial).

La conceptualización del MPL considera que la mayor cantidad del flujo se genera de manera instantánea y es una fracción de la precipitación; sin embargo, la limitación más importante del modelo MPL es que no considera un tiempo de retención para el flujo sub-superficial (que es el que se produce por infiltración y es retenido por el suelo de acuerdo a sus características). Al no tener la retención del flujo sub-superficial, el modelo genera caudales muy altos (cuando hay precipitaciones) y un flujo nulo cuando no se produce precipitación, con excepción de cuando se producen meses extremadamente húmedos.

En MOS, el caudal considerado por cuencas de entrada es la suma de la contribución superficial y la componente sub-superficial; por lo cual, el resultado es comparable con la realidad. En el caso de las cuencas laterales, el flujo superficial y sub-superficial ingresan por separado; en el caso del flujo sub-superficial se considera que éste ingresa directamente al acuífero. En este caso, el caudal ingresado es esperable que presente un comportamiento de flujo base (es decir, aproximadamente constante con un retraso con respecto a los eventos de precipitación); sin embargo, el modelo MPL no logra reflejar este comportamiento. En otras palabras, en cuencas laterales la mayor parte del flujo (cercano al 99% en volumen) es ingresado de manera superficial, y sólo una fracción ingresa de manera subterránea y respondiendo sólo a meses extremadamente húmedos.

Sería recomendable, actualizar el modelo precipitación – escorrentía para la generación de caudales, pero es necesario disponer de información adicional para la calibración de dicho modelo; por lo tanto, a pesar de la limitación del modelo pluvial, se mantendrá como generador de caudales para las cuencas laterales, realizando una re-calibración de los parámetros del modelo existente en base a los datos disponibles en la cuenca del estero Limache (ver sección 3.3.3).

9 Piscinas de infiltración:

En los últimos años la DOH ha implementado un plan piloto de construcción de piscinas de infiltración en las inmediaciones del río Aconcagua, sector Curimón y sector Las Vegas; con el fin de generar un aumento en la recarga al acuífero en tiempos de mayor disponibilidad en el curso superficial. Estas obras particulares no se encuentran representadas en el MOS existente; pero implica que existe una extracción de caudal desde el río para llenar las piscinas de infiltración. Estas extracciones significan una disminución de la disponibilidad de caudal en el río, pero como ocurre en tiempo de superávit se espera que no impacte en el abastecimiento de las demandas de los nodos del sistema.

3.3.3 ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MOS

La actualización del MOS considera como objetivo principal la ampliación del periodo de análisis con datos de entrada de precipitación y caudal hasta marzo del 2019. A continuación, se enumeran las actualizaciones implementadas sobre el modelo MOS existente, los criterios asumidos y las modificaciones realizadas para eliminar en lo posible algunas de las brechas identificadas (ver sección 3.3.2).

- Se consideró utilizar la misma topología del modelo DICTUC 2009; y se mantienen todos los parámetros correspondientes a sectores de riego, embalses, nodos, acuíferos, canales y cuencas (de entrada y laterales).
- Se modificó el código actual del MOS para ampliar el periodo de análisis hasta marzo 2019; y se logró compilar exitosamente un nuevo ejecutable que mantiene las opciones del MOS-ACN de DICTUC 2009. La actualización del MOS considera un periodo de análisis entre abril 1950 y marzo 2019, es decir que incorporó trece años adicionales de datos de precipitación y caudal con respecto al modelo de DICTUC 2009.
- Se actualizó la serie histórica de las estaciones pluviométricas: San Felipe, Resguardo Los Patos y Limache (ver sección 3.1: Caracterización meteorológica); así como también la tasa de evaporación, utilizando como datos los registros de la estación Quillota.
- Se actualizó la serie histórica de las estaciones fluviométricas: Aconcagua en Chacabuquito, Juncal en Juncal, Pocuro en Sifón, Putaendo en Resguardo Los Patos (ver sección 3.2: Caracterización fluviométrica).
- Para considerar, al menos de forma parcial, la limitación sobre Demandas por riego por sector agrícola, se actualizan las demandas de los sectores de riego de la tercera y la cuarta sección durante los meses de inicio del invierno (abril y mayo), en base a la información del estudio "Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua. CNR, 2016".

  Este documento indica que en la tercera y la cuarta sección hay cultivos del tipo invernadero como, por ejemplo, el tomate, que se cultiva en Limache y Quillota (876 hectáreas) y que demanda agua para riego durante los meses de mayo y junio. Además, mencionan que este tipo de cultivo se incrementa a partir del año 2007, lo quiere decir que las demandas del MOS existente, no consideran las demandas de los cultivos invernadero, porque la última actualización de la topología fue realizada en el año 2006.

  Por tal motivo, se consideró importante incorporar las demandas del cultivo del tomate invernadero en las demandas del MOS para los meses de abril y mayo en los sectores de riego de la tercera y cuarta sección. Se incorporó la demanda de este cultivo en específico, porque se dispone de información sobre extensión de área y el periodo en el cual se cultiva. Para calcular la demanda del cultivo del tomate, se utilizó como referencia las especificaciones del "Manual del cultivo del tomate bajo

invernadero (INIA, 2017)", que menciona factores Kc típicos para estimar la evapotranspiración de la planta y las necesidades netas de riego para el tomate en invernadero; así, se incrementó la demanda por riego en los meses de abril y mayo en el MOS, de la siguiente forma: +10 mm en el mes de abril y +40mm en el mes de mayo, para la tercera y cuarta sección, sólo durante el periodo 2007 − 2019 (periodo en el que se conoce la existencia de este tipo de cultivo). Para los periodos anteriores, se mantuvo las demandas que poseía el modelo MOS existente. Como se mencionó en la sección 3.3.2, no es alcance de este estudio actualizar las demandas por riego, pero la incorporación de esta demanda en específico mostró que la disponibilidad de agua decrece en las secciones mencionadas por lo que se evidencia la importancia de realizar una actualización de estos parámetros en el MOS.

- Se actualizan las demandas por bombeos de los acuíferos para el periodo 1991 − 2019. La actualización de las extracciones subterráneas se realizó a partir del catastro de derechos de agua subterránea recibidos de la DGA, ponderado por el factor de uso según actividad económica, utilizando los derechos aprobados, pendientes, con recurso de consideración y otros. Los caudales de pozos calculados en base a derechos se agregan al MOS según su tipo de uso. En el caso de los pozos de uso agrícola, se sumó todo el bombeo de cada sector de riego, que a su vez tienen un acuífero asociado. Para los demás usos (agua potable, industrial y minería) se suman por acuífero y se extraen directamente desde el acuífero en el que está ubicado cada pozo.

  En la ejecución del MOS, se deben configurar ciertas opciones, entre éstas se define: el tipo de limitación en captación de sectores de riego. Existe la opción que determina esta limitación según la capacidad definida del canal en base al porcentaje de distribución del nodo y el caudal afluente. Otra alternativa limita según demanda, que para ciertos sectores de riego de la tercera y cuarta sección redefine el caudal en función de la demanda con un factor de corrección para asegurar una mejor seguridad de riego de esos sectores determinados. Para las simulaciones se utiliza la primera opción, para ajustarse a la disponibilidad de agua en los nodos.

  Además, se puede elegir entre tres tipos de bombeos de riego: la primera alternativa calcula el bombeo necesario para suplir completamente la demanda, la segunda utiliza el bombeo en riego ya definido, y la tercera utiliza el bombeo independiente del déficit, en esta opción se bombea el caudal impuesto y después de suplir toda la demanda del sector de riego, si hubiera excedentes, se puede elegir destinarlos al río o enviarlos al acuífero. Para las simulaciones, se elige que los excedentes sean enviados al acuífero, esta condición representa que los bombeos sean los efectivamente utilizados, y da preferencia a las fuentes superficiales.

  Las extracciones de la DOH se consideran según bombeo real en la medida que esta información estuvo disponible. Para el inicio del derecho, se consideró en general la fecha de ingreso. En la Figura 3-15 se muestran las extracciones subterráneas totales.

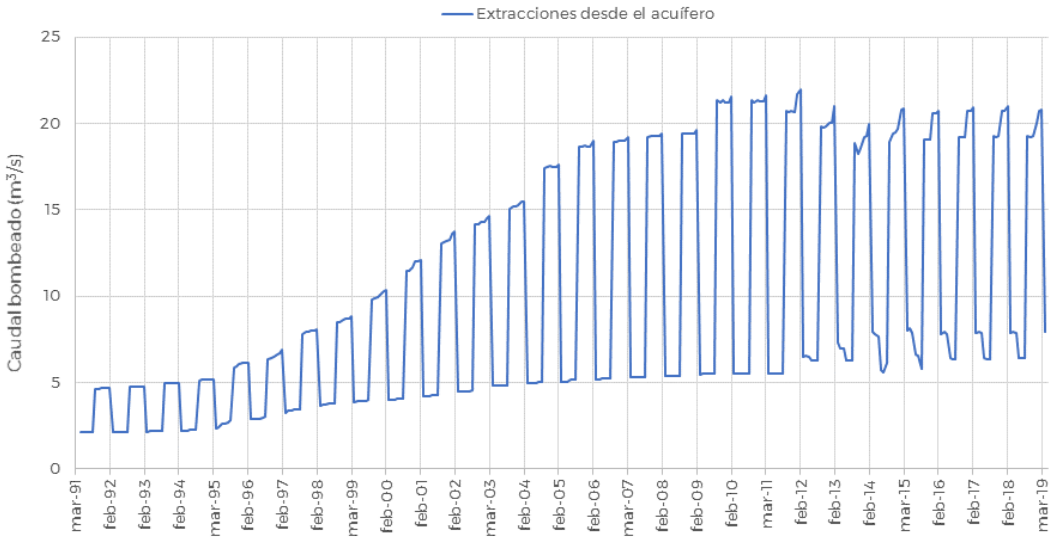


Figura 3-15: Actualización de las demandas por bombeo para el periodo 1991 – 2019

- Con el propósito de mejorar la representación del funcionamiento del sistema Aconcagua se incorpora al MOS existente, las extracciones de las baterías de pozos DOH que se ubican en Curimón, Panquehue y Llay llay. En el MOS se representan como un caudal afluente al: nodo 7, para el caso de los pozos que se ubican en Curimón (100% del total extraído del acuífero 1), al nodo 12, en el caso de los pozos que se encuentran en Panquehue (100% del total extraído del acuífero 3) y al nodo 22, en el caso de los pozos Llay llay (40% del total extraído del acuífero 5). Esta modificación considera que el agua de los pozos es entregada al río Aconcagua y sus tributarios o canales aledaños, generando un caudal disponible superficial extra no considerado anteriormente y por consiguiente también produce una baja en el volumen disponible del acuífero. Se incorpora además bombeo para agua potable por el convenio con ESVAL. Para las nuevas extracciones proyectadas por la DOH que se evalúan en el Escenario 2 y 3 (ver Capítulo 5) situadas en los acuíferos de San Felipe y Llay llay, se consideran estas mismas reglas.
- Con respecto a las áreas de contribución, se mantiene el esquema del MOS existente, en el cual se consideran dos tipos de cuencas: cuencas de entrada y cuecas laterales. Para las cuencas de entrada, el cálculo del caudal medio mensual se realiza siguiendo la metodología descrita en la Tabla 3-18 (ver también Figura 3-14).

Tabla 3-18: Metodología utilizada para la generación de caudales en las cuencas de entrada (CE)

Cuenca	Nombre	Tipo	Estimación de Caudal
CE1	Cuenca inter. entre C. Los Quilos y Embalse Puntilla del Viento	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Aconcagua en Chacabuquito
CE2	Estero Jahuel	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Resguardo Los Patos
CE3	Pocuro en Sifón	Pluvial	Estadística Pocuro en Sifón
CE4	Cuenca río Rocín Superior	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Resguardo Los Patos
CE5	Cuenca intermedia entre Resguardo los Patos y Rocín Superior	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Resguardo Los Patos
CE6	Cuenca Embalse Minillas	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE7	Cuenca Embalse Tabón	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE8	Cuenca Embalse Las Peñas	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE9	Cuenca Catemu Alto	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE10	Cuenca Los Litres Alto	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE11	Cuenca Embalse Pucalán	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE12	Cuenca Pelumpen Alto	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE13	Cuenca Embalse Lliu lliu	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE14	Lajarilla	Pluvial	Cálculo con modelo pluvial (1)
CE15	Estero El Cobre	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Resguardo Los Patos
CE16	Estero San Francisco	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Resguardo Los Patos
CE17	Río Juncal, antes embalse Juncal	Nival	Estadística Río Juncal en Juncal
CE18	Embalse Potrero Escondido	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Aconcagua en Chacabuquito
CE19	Cuenca intermedia entre Juncal y Central Aconcagua	Nival	Cálculo en base a transposición de caudales con Aconcagua en Chacabuquito
CE20	Cuenca intermedia entre embalse P. Escondido y C. Aconcagua	Nival	Regresión lineal en base a caudales de Aconcagua en Chacabuquito
CE21	Cuenca inter. Central Aconcagua y Bocatoma C. Los Quilos	Nival	Regresión lineal en base a caudales de Aconcagua en Chacabuquito

Notas:

1. El modelo pluvial considerado es el modelo MPL, el cual es descrito en los párrafos siguientes.

Fuente: DICTUC, 2009.

- En el caso en que el caudal medio mensual de la cuenca de entrada se ha estimado por transposición, se tienen las siguientes consideraciones:
  - La transposición realizada en las cuencas de entrada de la parte alta que utilizan las estaciones fluviométricas Aconcagua en Chacabuquito y Río Juncal en Juncal (CE1, CE17, CE18, CE19, CE20, CE21) consideran las extracciones por derechos que ocurren en la parte alta. Así, la cuenca de entrada 17 se estima directamente como el caudal de la estación Río Juncal en Juncal, para las demás cuencas se distribuye el caudal registrado por la estación Río Aconcagua en Chacabuquito al cual se le descuenta el caudal de la estación Río Juncal en Juncal. Luego, se distribuye el caudal restante según las siguientes relaciones:

    $Q_{CE1} = 0{,}64 * Q_{Chacabuquito}$

    $Q_{CE18} = 0{,}0412 * Q_{Chacabuquito}$

    $Q_{CE19} = 0{,}1092 * Q_{Chacabuquito}$

    $Q_{CE20} = 0{,}1332 * Q_{Chacabuquito} + 0{,}81$ (Meses de invierno, de marzo a octubre inclusive).

    $Q_{CE20} = 0{,}1332 * Q_{Chacabuquito} + 1{,}31$ (Meses de verano, de noviembre a febrero inclusive).

    $Q_{CE21} = 0{,}0764 * Q_{Chacabuquito} + 3{,}57$ (Meses de verano, de octubre a marzo inclusive).

    $Q_{CE21} = 0{,}0764 * Q_{Chacabuquito}$ (Meses de invierno, de abril a septiembre inclusive).

    De las expresiones anteriores, se obtiene que la cuenca de entrada CE20 posee un caudal de extracción que varía entre 0,81 m^3/s y 1,31 m^3/s, el cual corresponde a Andina, mientras en la cuenca de entrada CE21 tiene una extracción de 3,57 m^3/s, el cual corresponde a extracciones de canales de la zona.
  - Los caudales mensuales para las cuencas de entrada de la segunda y tercera sección se generan por transposición de caudales entre las cuencas controladas (Aconcagua en Chacabuquito, Putaendo Resguardo Los Patos, Juncal en Juncal y Pocuro en Sifón), utilizando las siguientes expresiones (DICTUC 2009).

    $$Q_{CE2} = 0{,}0429 \cdot Q_{R.LosPatos} + 0{,}0357$$

    $$Q_{CE4} = 0{,}7867 \cdot Q_{R.LosPatos} - 0{,}1168$$

    $$Q_{CE5} = Q_{R.LosPatos} - Q_{CE4}$$

    $$Q_{CE15} = 0{,}1013 \cdot Q_{R.LosPatos} + 0{,}1132$$

    $$Q_{CE16} = 0{,}1822 \cdot Q_{R.LosPatos} + 0{,}2748$$

- Para las cuencas de entrada que se ubican en la cuarta sección, se generan caudales utilizando el modelo MPL debido a su comportamiento marcadamente pluvial.
- Para todas las cuencas laterales: se genera caudales medio mensuales mediante el modelo pluvial MPL. El MPL fue implementado utilizando el programa GoldSim y los parámetros originales del modelo según lo indica el informe DICTUC 2009, posteriormente con datos adicionales en la cuenca Limache se procede a su actualización y re-calibración. A continuación, se describen los principales criterios asumidos para la implementación del modelo pluvial MPL.

MODELO PLUVIAL MPL[2]

El modelo MPL calcula en escala diaria el grado de saturación final conociendo como dato inicial, el grado de saturación al inicio del día y los valores diarios de infiltración, percolación y evapotranspiración iniciales. La infiltración diaria queda definida a través de la intensidad media diaria de las precipitaciones, supuesta constante dentro del mes, y la capacidad de infiltración del suelo. La intensidad media diaria de las precipitaciones se obtiene dividiendo la precipitación mensual por el número de días del mes. Luego, con el grado de saturación al final del día, se calculan los nuevos valores de infiltración, percolación y evapotranspiración. Con estos valores actualizados se calcula la escorrentía superficial y subterránea al final del día. Finalmente, la escorrentía mensual se obtiene sumando los valores de escorrentía diarios. El proceso se repite para todos los meses del período de análisis.

Se debe destacar que estudios anteriores hacen referencia a la utilización de una versión modificada del modelo MPL llamada MQM con el objetivo de diferenciar el flujo subterráneo del superficial ya que originalmente el MPL asigna todo el flujo subterráneo como un aporte basal a la superficie. En la actualidad no fue posible encontrar bibliografía sobre el modelo MQM; por lo que se optó por continuar utilizando el modelo MPL asignando parte del flujo subterráneo a la superficie y dejando un remanente al medio subterráneo. Esto se logra con la incorporación de un coeficiente que varía entre 0 y 1 que debe ser calibrado; donde 0 indica que no existe aporte subterráneo al flujo superficial y 1 indica que todo el flujo subterráneo aporta a la superficie (recuperando la conceptualización original del MPL).

Con el fin verificar que la implementación de la lógica del MPL, utilizando el programa GoldSim, fue satisfactoria se utiliza los parámetros originales del modelo según lo indica el informe DICTUC 2009 y se determina que el coeficiente de calibración tiene un valor de 0,99; este valor indica que la componente subterránea sólo está compuesta por el 1% del flujo subterráneo disponible.

[2] Modelo de simulación hidrogeológico del valle del río Aconcagua, realizado DOH – INGENDESA, 1998.

La Figura 3-16 y Figura 3-19 muestra la comparación entre los caudales obtenidos por el modelo MPL en el estudio de DICTUC 2009 y los obtenidos con la implementación en GoldSim por WSP. Se observa que se reproduce el hidrograma y la estacionalidad del flujo en ambas cuencas simuladas, a pesar de que los caudales máximos son ligeramente mayores en el modelo GoldSim se considera que la implementación es satisfactoria y que puede ser utilizado para generar caudales en las cuencas laterales y de entrada según se indica en la Tabla 3-18.

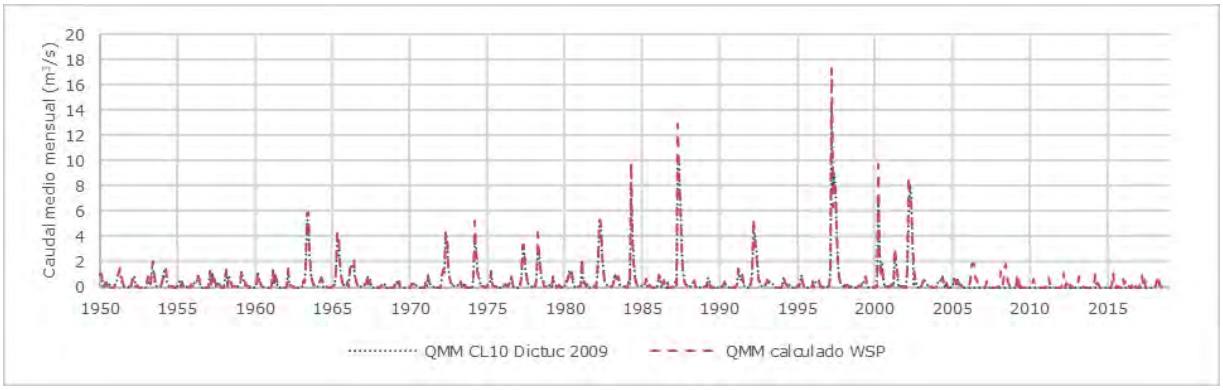


Figura 3-16: Comparación entre caudal MPL WSP y DOH 2009 para CL10

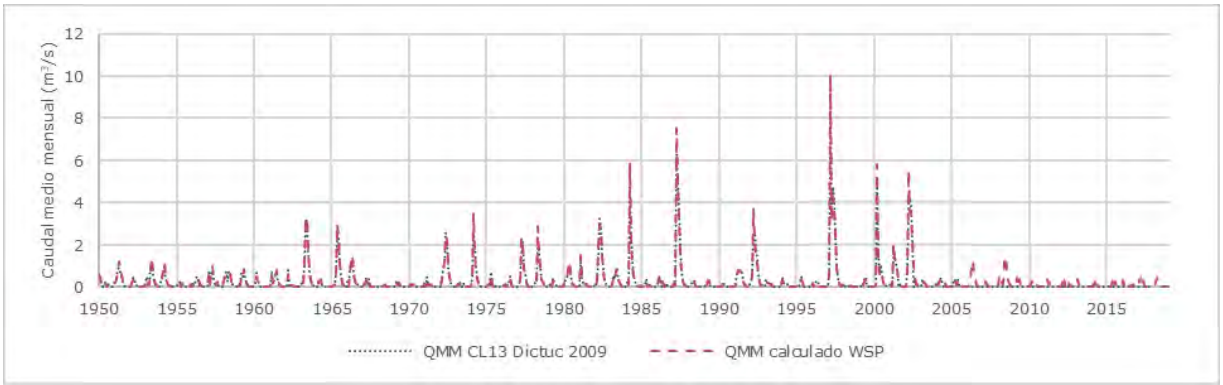


Figura 3-17: Comparación de caudal MPL WSP y DOH 2009 para CL13

Después de verificar que la implementación del MPL fue satisfactoria, se procedió a generar caudales de ingreso al embalse Los Aromos (simulación realizada para ESVAL en el marco de la elaboración de los Planes de desarrollo), utilizando como datos de ingreso: la precipitación registrada en la estación Limache, la evaporación registrada en la estación Quillota, tasa de pérdidas por infiltración e ingresos desde canales alimentadores y como dato de control los volúmenes almacenados en el embalse Los Aromos. Este ejercicio permitió determinar que era necesario realizar una recalibración de los parámetros utilizados en el modelo MPL, sobre todo para la generación de caudales en las cuencas que se ubican en la tercera y cuarta sección.

Para la re-calibración del MPL y la generación de caudales en las cuencas de la tercera y cuarta sección, se tuvieron las siguientes consideraciones:

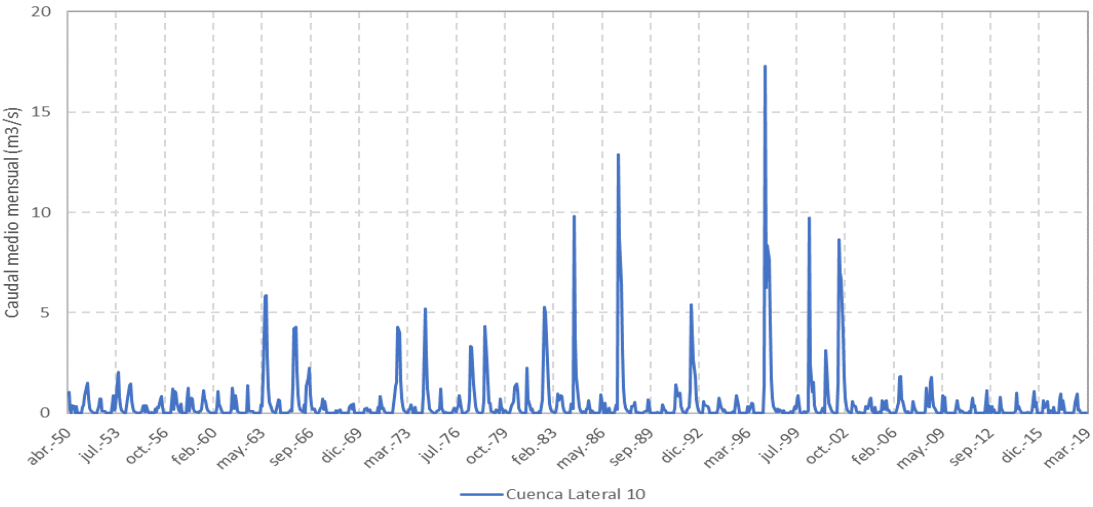
- Se mantienen todos los parámetros utilizados en el modelo DICTUC 2009, con excepción del parámetro "Pmin", para estimar la recarga superficial y subterránea, que se consideró como un 9% durante la implementación del modelo en GoldSim. En base a la re-calibración del modelo MPL para el embalse Los Aromos se encontró que el parámetro "Pmin" del modelo original sobre estimaba los caudales instantáneos en la Tercera y Cuarta sección; por tal motivo se decidió utilizar para las cuencas de la cuarta sección, el resultado de la calibración en la cuenca del estero Limache, un "Pmin" de 6%, y para las cuencas de la tercera sección un "Pmin" que varíe entre 7% y 9% (según la ubicación de la cuenca lateral). El detalle del valor de "Pmin" utilizado en cada cuenca se encuentra en la Tabla 3-19:

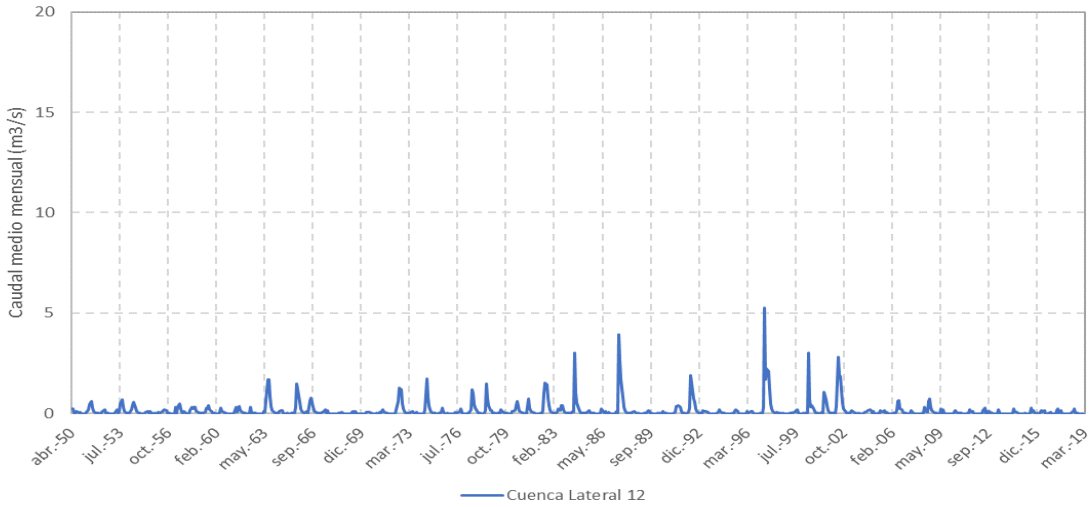
Tabla 3-19: Valores de Pmin utilizados en la simulación de caudales a partir del modelo MPL

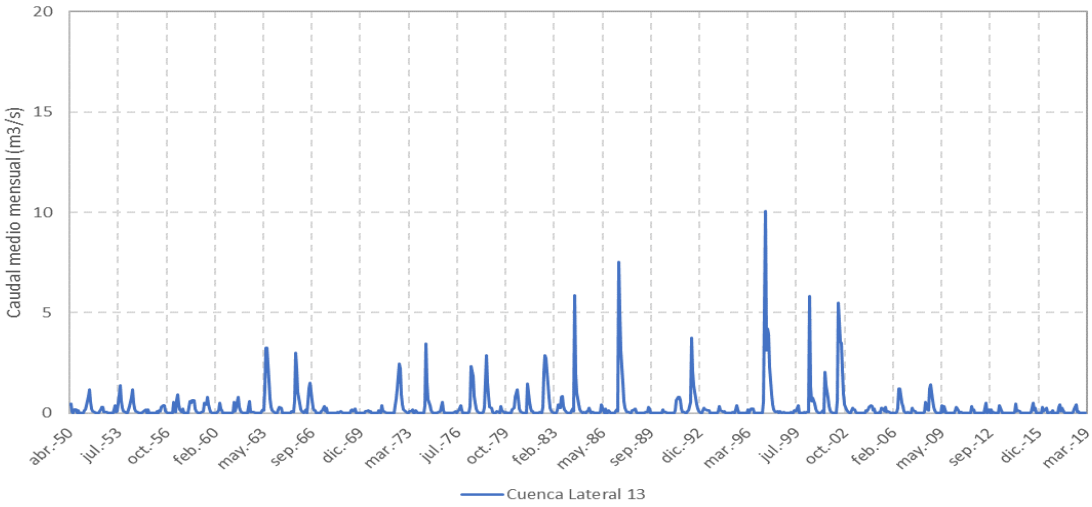
Tipo Cuenca	N°	Pmin [%]	Tipo Cuenca	N°	Pmin [%]
Cuenca entrada	6	9	Cuenca Lateral	5	9
Cuenca entrada	7	9	Cuenca Lateral	6	9
Cuenca entrada	8	9	Cuenca Lateral	7	9
Cuenca entrada	9	9	Cuenca Lateral	9	9
Cuenca entrada	10	8	Cuenca Lateral	10	8
Cuenca entrada	11	8	Cuenca Lateral	11	8
Cuenca entrada	12	6	Cuenca Lateral	12	7
Cuenca entrada	13	6	Cuenca Lateral	13	7
Cuenca entrada	14	6	Cuenca Lateral	14	7
Cuenca Lateral	1	9	Cuenca Lateral	17	6
Cuenca Lateral	2	9	Cuenca Lateral	18	6
Cuenca Lateral	3	9	Cuenca Lateral	19	6
Cuenca Lateral	4	9	Cuenca Lateral	20	7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la calibración del modelo MPL implementado para el embalse Los Aromos (ESVAL, 2019).

De la simulación del modelo MPL se obtuvieron los siguientes resultados en cuencas laterales de la cuarta sección (la ubicación de las cuencas laterales se muestra en la Figura 3-14).


Caudal medio mensual (m3/s)
20
15
10
5
0
abr.-50
jul.-53
oct.-56
feb.-60
may.-63
sep.-66
dic.-69
mar.-73
jul.-76
oct.-79
feb.-83
may.-86
sep.-89
dic.-92
mar.-96
jul.-99
oct.-02
feb.-06
may.-09
sep.-12
dic.-15
mar.-19
Cuenca Lateral 10


Caudal medio mensual (m3/s)
20
15
10
5
0
abr.-50
jul.-53
oct.-56
feb.-60
may.-63
sep.-66
dic.-69
mar.-73
jul.-76
oct.-79
feb.-83
may.-86
sep.-89
dic.-92
mar.-96
jul.-99
oct.-02
feb.-06
may.-09
sep.-12
dic.-15
mar.-19
Cuenca Lateral 12


Caudal medio mensual (m3/s)
20
15
10
5
0
abr.-50
jul.-53
oct.-56
feb.-60
may.-63
sep.-66
dic.-69
mar.-73
jul.-76
oct.-79
feb.-83
may.-86
sep.-89
dic.-92
mar.-96
jul.-99
oct.-02
feb.-06
may.-09
sep.-12
dic.-15
mar.-19
Cuenca Lateral 13

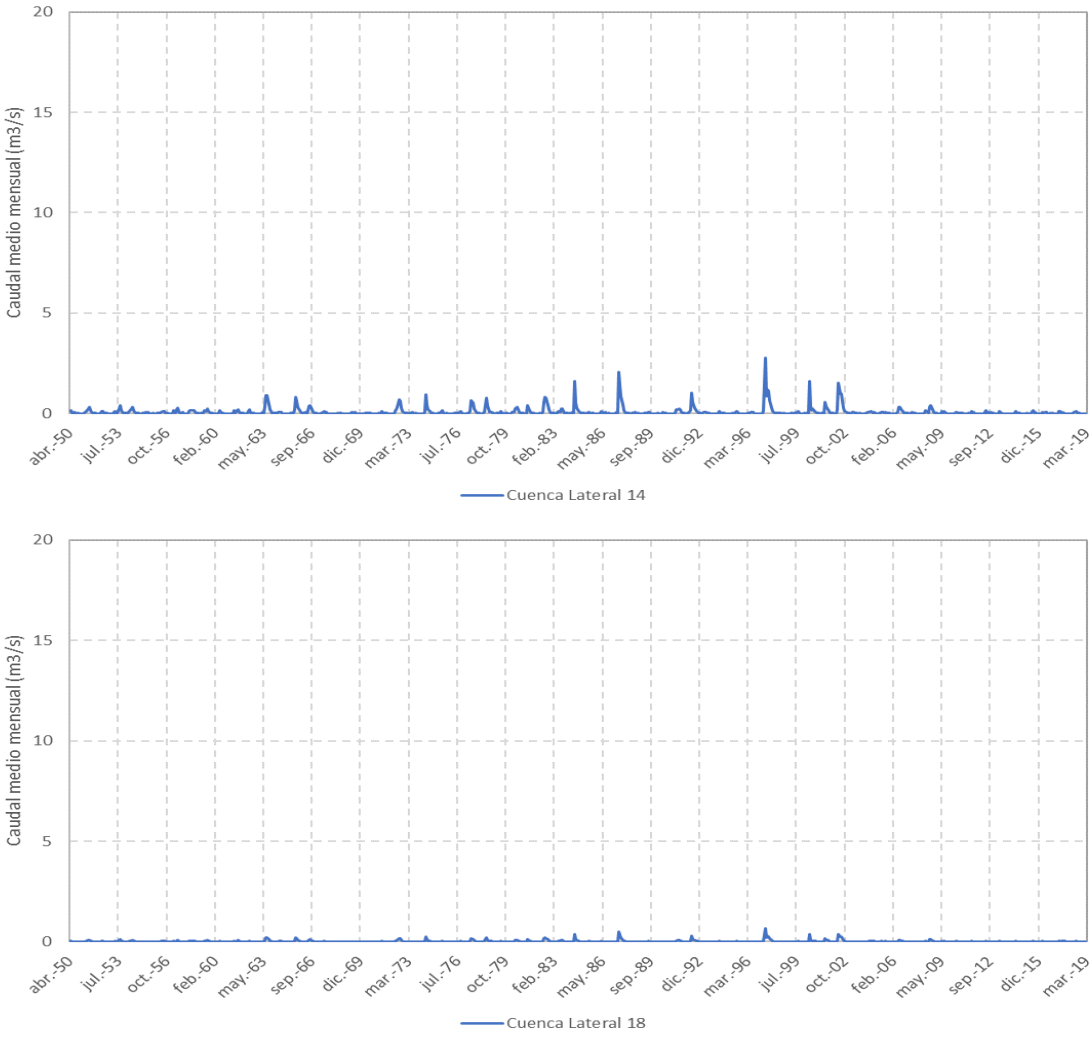


Figura 3-18: Caudales mensuales simulados con MPL en cuencas laterales de la cuarta sección

- Para estimar la escorrentía de los sectores de riego, de la tercera y cuarta sección, el valor de "Pmin" se fija en 6%.
- Se utilizó como datos de evaporación, el registro de evaporación de la estación Quillota cuya evaporación media anual (EMA) es de 1.197,6mm. La Tabla 3-20 muestra la tasa de evaporación mensual.

Tabla 3-20: Evaporación promedio en la estación Quillota

Estación	Evaporación promedio mensual (mm)												EMA (mm)
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	
Quillota	72,8	38,7	24,9	29,8	41,5	66,4	110,5	147,9	191,5	194,7	154,9	123,9	1.197,6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA.

3.3.4 RESULTADOS DEL MODELO MOS

A partir de la actualización, los resultados obtenidos proporcionaron los caudales en los nodos de interés, además de una extensión de la serie de recarga superficial y subterránea. Los valores de recarga proporcionados por el MOS ACN 2019 fueron comparados con los resultados del modelo hidrogeológico; y se obtuvo una diferencia del -9,3% (pérdida volumétrica por secado de celdas), la cual se considera aceptable. A partir de los resultados verificados, se realizan las siguientes comparaciones:

- Se contrastan los resultados obtenidos para los nodos que coinciden con puntos de control fluviométrico. En este caso se presentan los resultados para el nodo 7 y su comparación con los registros de caudal de la estación Río Aconcagua en San Felipe (Figura 3-19 y Figura 3-20), y el nodo 22 con respecto a río Aconcagua en Romeral (Figura 3-22 y Figura 3-23).

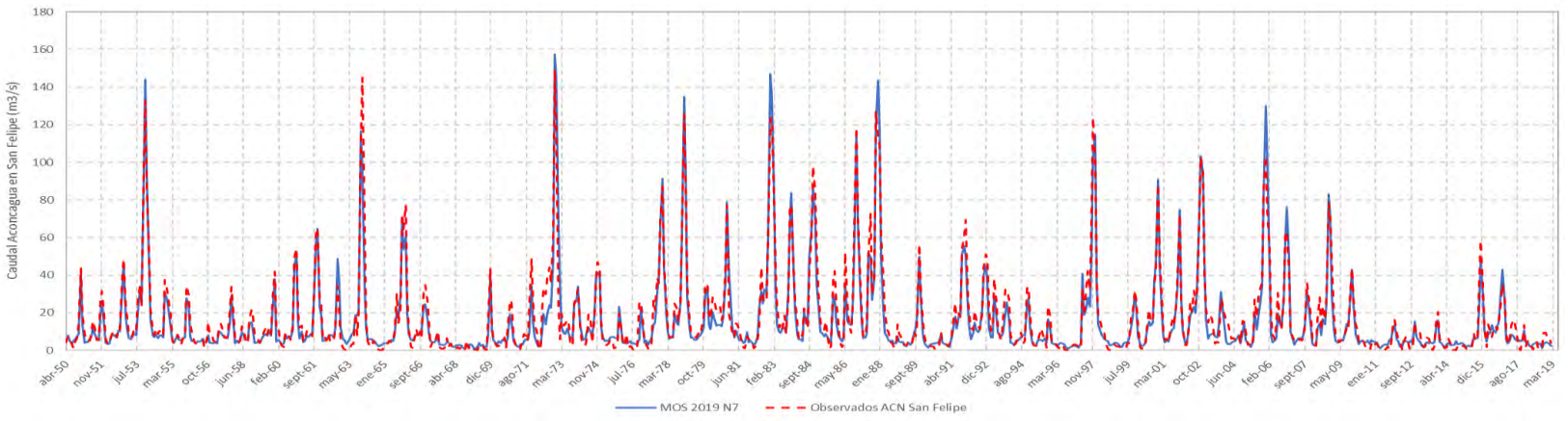


Figura 3-19: Comparación caudales medio mensuales N07 y estación DGA río Aconcagua en San Felipe, periodo completo

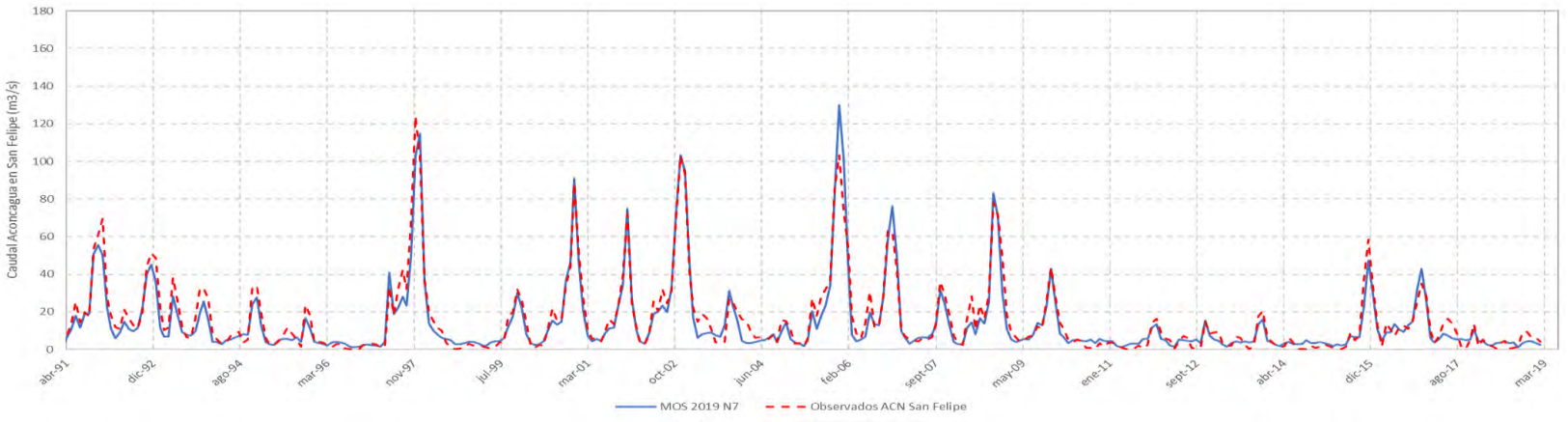


Figura 3-20: Comparación caudales medio mensuales N07 y estación DGA río Aconcagua en San Felipe, periodo modelo hidrogeológico

- Para la primera sección, se observa que existe un buen grado de ajuste entre los caudales observados y los simulados por el MOS en el nodo 7, más aún al focalizarse en el periodo de extensión (2006 – 2019) se observa una buena representación tanto en tendencias como en variabilidad estacional. Esto permite concluir que el MOS es capaz de representar el comportamiento de la primera sección en cuanto a caudal disponible en el cauce del río Aconcagua.
- Al estimar el NRMS entre los caudales simulados y observados, se obtuvo un 4,2% un valor estadísticamente aceptable; de la Figura 3-19 se observa que los caudales simulados por MOS sobreestiman ligeramente los caudales máximos ocurridos en los años 1953, 1962, 1972, 1978, 1982, 1987, 2005, 2006, 2008 y 2016 que ocurren en su mayoría en el mes de diciembre.
- Se analizó de forma independiente los caudales simulados y observados que se encuentran en el río durante el periodo septiembre – marzo y se obtuvo un NRMS de 4,9%. También se realizó la regresión lineal entre los caudales simulados y observados obteniéndose un buen coeficiente de regresión entre ambas series, lo que indica que ambas series tienen el mismo comportamiento (ver Figura 3-21).

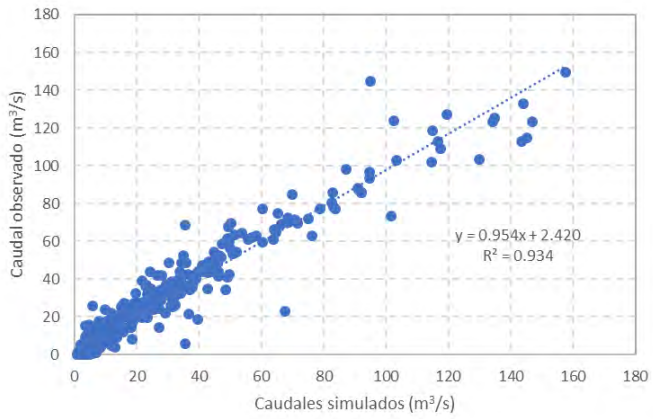


Figura 3-21: Regresión lineal entre caudales observados y simulados en el nodo 07 – Aconcagua en San Felipe (periodo septiembre – marzo)

- Para la segunda sección, la Figura 3-22 muestra que existe un buen grado de ajuste entre los caudales observados en la estación Aconcagua en Romeral y los simulados por el MOS en el nodo 22, más aún si se observa el periodo de extensión (2006 – 2019), los caudales simulados representan de forma adecuada la variabilidad estacional del hidrograma y la tendencia de los caudales observados. Así, se concluye que el MOS es capaz de representar el comportamiento de la segunda sección en cuanto a caudal disponible en el cauce del río Aconcagua.

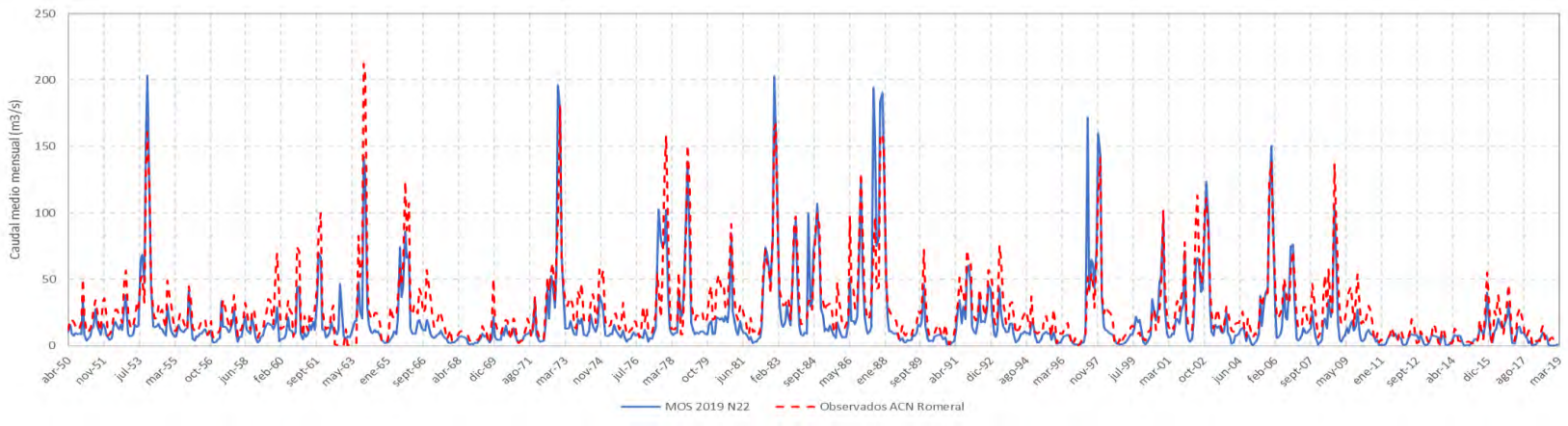


Figura 3-22: Comparación caudales medio mensuales N22 y estación DGA río Aconcagua en Romeral, periodo completo

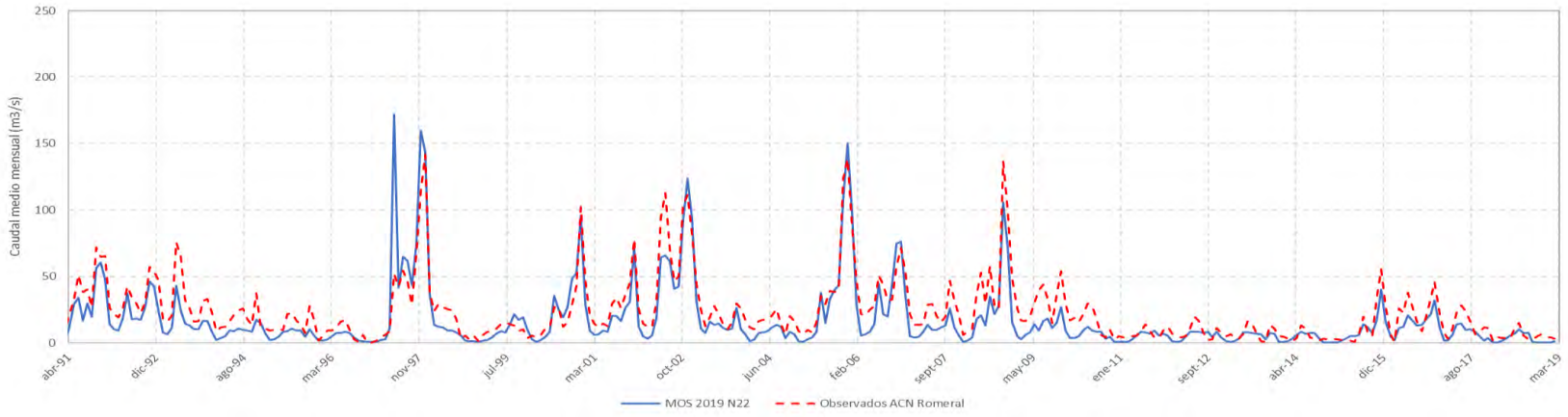


Figura 3-23: Comparación caudales medio mensuales N22 y estación DGA río Aconcagua en Romeral, periodo modelo hidrogeológico

- El NRMS entre los caudales simulados y observados es 7,5% un valor estadísticamente aceptable; de la Figura 3-22 se observa que los caudales simulados por MOS sobreestiman los caudales máximos ocurridos en los años: 1953, 1962, 1972, 1982, 1984, 1987, 1997, 2002 y 2005 que ocurren en su mayoría en el mes de diciembre.
- Se analizó de forma independiente los caudales simulados y observados que se encuentran en el río durante el periodo septiembre − marzo y se obtuvo un NRMS de 7,3%; lo que indica que el ajuste entre los caudales simulados y observados mejora en el caso de los caudales bajos. También se realizó la regresión lineal entre los caudales simulados y observados obteniéndose un buen coeficiente de regresión entre ambas series, lo que indica que ambas series tienen el mismo comportamiento (ver Figura 3-24).

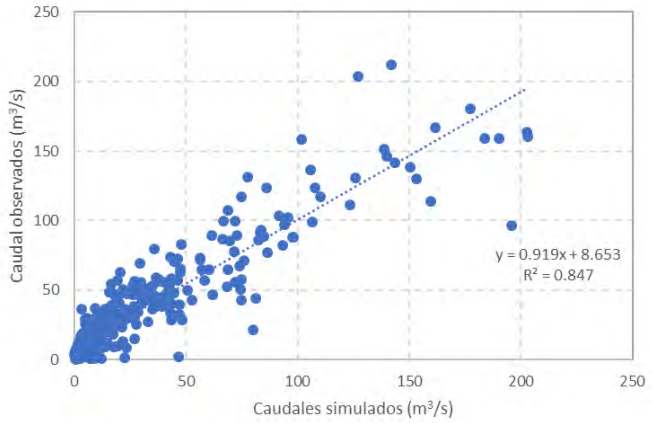


Figura 3-24: Regresión lineal entre caudales observados y simulados en el nodo 07 – Aconcagua en Romeral

Al no existir información fluviométrica con una cantidad de datos suficiente para la tercera y cuarta sección del río, y dado el buen ajuste de la primera y segunda sección, se procede a aceptar los resultados del MOS ACN 2019 como herramienta para obtener las series de recarga final para todas las secciones de la cuenca.

El modelo MOS entrega las entradas a los distintos acuíferos a través de los distintos mecanismos de recarga presentes, ya sea por excesos en los sectores de riego, infiltración en canales, percolación desde el río, etc. En este caso se considera como recarga el valor neto que entra a los distintos acuíferos por los distintos mecanismos. A continuación, se presenta la serie que recoge la suma desde todas las entradas superficiales (Figura 3-25).

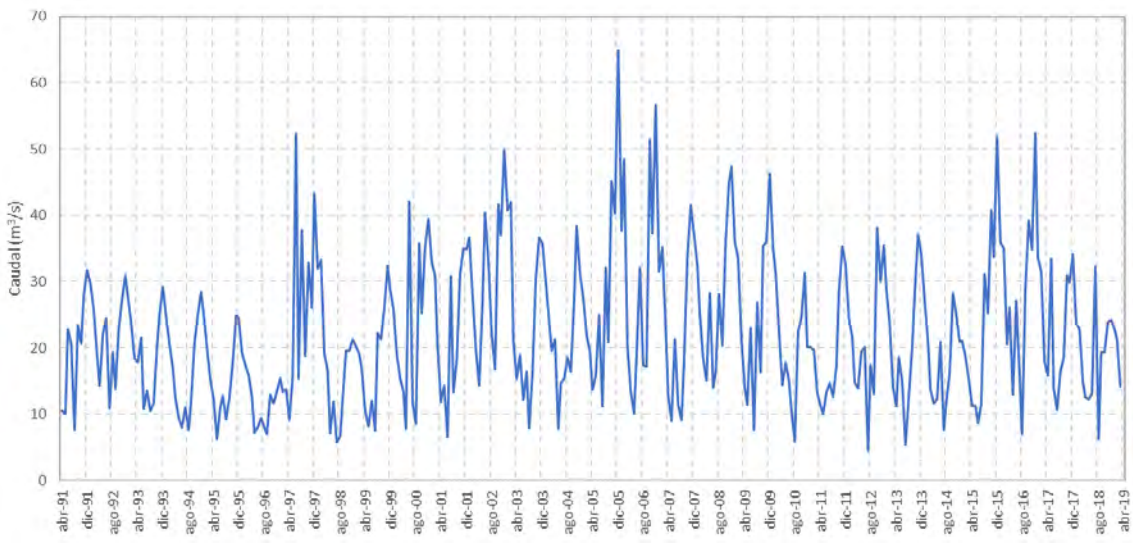


Figura 3-25: Salidas de MOS ACN 2019 a acuíferos (todas las fuentes)

Estadísticamente hablando, esta serie presenta una media para el periodo 1991-2019 de 22,04 m^3/s y de 19,04 m^3/s para el periodo 1991-2001, valor ligeramente mayor a los 18,63 m^3/s presentados por DICTUC 2009 (incrementa en un 2%).

Se debe hacer la distinción que esta serie no es la que finalmente es ingresada al modelo hidrogeológico ya que existen condiciones de bordes (tramos de río) que calculan parte de estos flujos en base a los distintos estados de las celdas del modelo. Por lo anterior, para el modelo hidrogeológico se genera una segunda serie que sólo considera los aportes impuestos, principalmente recargas provenientes de riego, canales y lluvia mientras en el caso de la recarga de los ríos, ésta sólo es impuesta para algunos nodos particulares (en la parte alta de los cursos principales).

Dicho lo anterior, las series de recarga tanto superficial como subterránea generadas por MOS ACN 2019 van en directa relación con las 71 zonas de recarga que tiene el modelo hidrogeológico. A continuación, se presenta el contraste entre las series de recarga utilizadas por DICTUC 2009 y lo logrado con la actualización del MOS al año 2019 (Figura 3-26 y Figura 3-27):

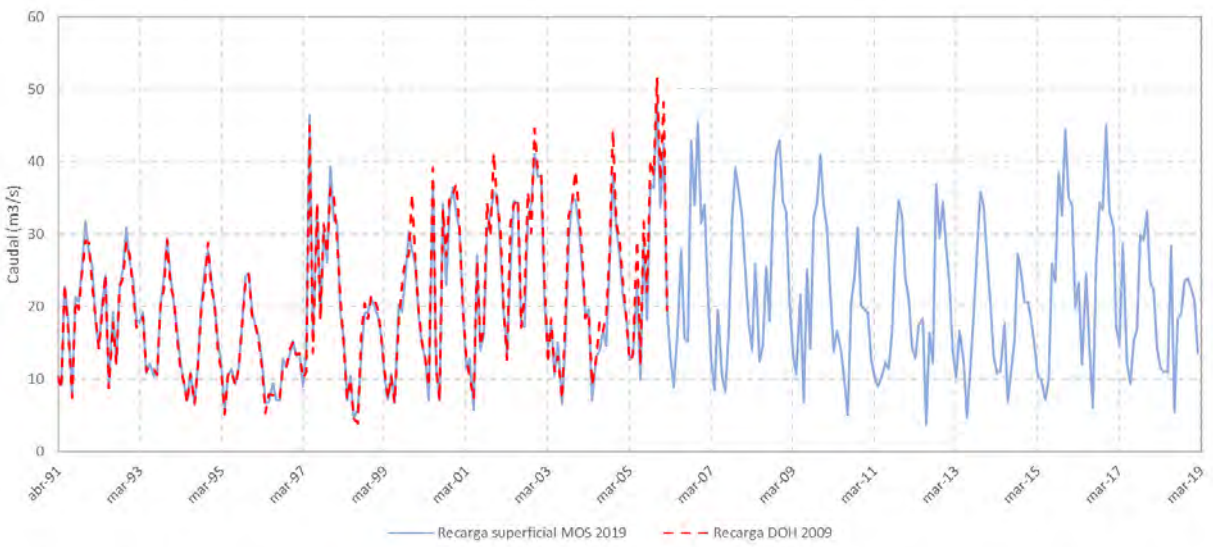


Figura 3-26: Comparación serie de recarga superficial WSP (2019) y DICTUC (2009)

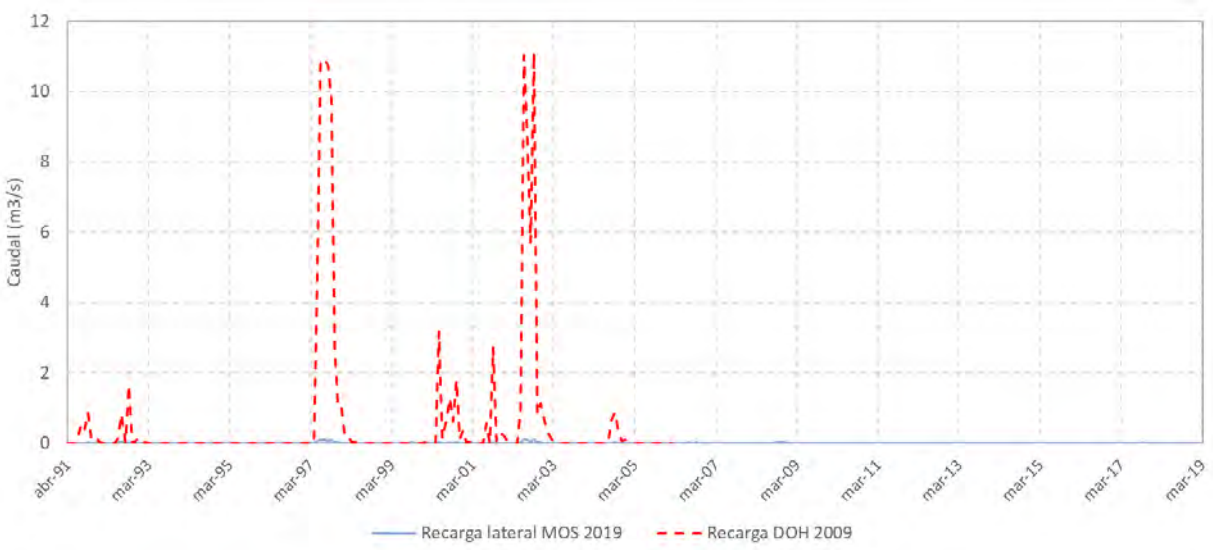


Figura 3-27: Comparación serie de recarga subterránea WSP (2019) y DICTUC (2009)

En el caso de la recarga superficial el ajuste obtenido replica lo obtenido por DICTUC 2009 y la extensión posterior presenta un comportamiento dentro de lo esperado. La media de la recarga superficial del periodo 1991 – 2006 fue de 20,62 m^3/s en el estudio de DICTUC 2009 y lo obtenido en esta actualización para el mismo periodo fue de 20,16 m^3/s; la media aumenta ligeramente a 20,70 m^3/s si se considera el periodo completo de la serie de recarga (1991 – 2019).

En el caso de la recarga subterránea es posible observar una clara diferencia la cual se explica principalmente por la utilización del coeficiente que asigna sólo un 1% del caudal subterráneo disponible al flujo que genera la recarga del mismo medio. Esta diferencia se considera aceptable sustentando en que lo presentado por DICTUC 2009 no presenta un comportamiento esperable de recarga subterránea donde lo esperable es un flujo basal con un nivel de recesión con respecto a las precipitaciones en la zona. Por lo tanto, el problema principal radica en la conceptualización utilizada por parte del MPL del medio subterráneo y la asignación de una parte de éste como recarga subterránea. La serie de recarga subterránea presentada por DICTUC 2009 tiene una media de 0,625 m^3/s la cual es entregada principalmente durante la ocurrencia de caudales peaks asociados a eventos de precipitación extremos consecutivos. Por otro lado, lo generado por WSP tiene una media de 0,006 m^3/s.

Cabe señalar que, la recarga subterránea en DICTUC 2009 constituye menos de un 3% del volumen total ingresado al acuífero mientras tanto lo estimado en el presente estudio constituye un 0,3% del volumen total entrante para el mismo periodo, en otras palabras, tanto en la actual actualización como en estudios anteriores la recarga subterránea entrante al sistema por cuencas laterales es marginal.

Otro resultado interesante que se extrae del MOS se refiere a la seguridad de riego por sección legal, el MOS permite conocer cuando se abasteció el 100% de la demanda de cada uno de los sectores de riego; y cuando no pudo abastecerse, el porcentaje de demanda que fue abastecido. La Figura 3-28 muestra el grado de satisfacción de la demanda promedio por sección legal; los valores mostrados son el promedio mensual de la serie de 69 años que fue simulada en el modelo de calibración.

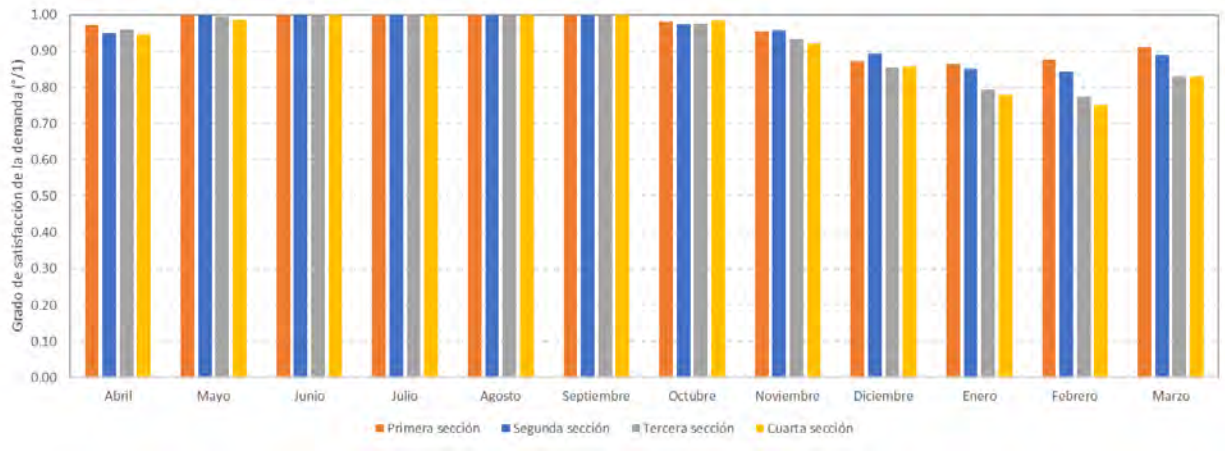


Figura 3-28: Grado de satisfacción de la demanda por sección legal

Se observa claramente que en el periodo octubre − abril, el grado de satisfacción de la demanda es menor que 1, produciéndose los valores más bajos en los meses de enero y febrero (0,82 promedio para toda la cuenca), luego comienza a incrementarse hasta conseguir en mayo nuevamente la satisfacción de la demanda cercana al 100%. El periodo entre junio y septiembre tiene un grado de satisfacción 1, lo que quiere decir que las demandas pueden ser abastecidas, pero es también el periodo donde no hay demandas para riego o éstas son mínimas.

Comparando los grados de satisfacción por sección, se observa que la cuarta sección es la que posee los grados de satisfacción más bajos, llegando hasta 0,75 en el mes de febrero (en promedio).

En general, los resultados obtenidos de la actualización del modelo MOS, nos indican que es un modelo representativo del sistema de la cuenca del río Aconcagua y que a pesar de sus limitaciones (ver sección 3.3.2) logra simular los caudales en el río y la serie de recarga que es utilizada en el modelo hidrogeológico. Igualmente, los resultados del MOS permiten la optimización del manejo del recurso hídrico en la cuenca y la planificación de medidas de manejo del agua futuros (mediante la simulación de escenarios); importantes para el desarrollo de la cuenca y sus usuarios.

4 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

4.1 REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL EXISTENTE

4.1.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La caracterización geológica regional comprende la identificación de las unidades geológicas que afloran en la cuenca del Aconcagua, las estructuras que afectan la zona de estudio y una descripción de sus características geomorfológicas. La información usada como referencia para este apartado corresponde a la Hoja Quillota-Portillo (Rivano et al., 1993) y al estudio de DOH (2009) (Ref.13) elaborado por DICTUC, que además de la Hoja señalada, utilizó también el Mapa Geológico de Chile (Sernageomin, 2002) y el estudio de Ingedos (2006)[3].

La geología del área de estudio está compuesta principalmente por rocas volcánicas interestratificadas con sedimentos marinos y continentales, con edades entre el Triásico superior y el Mioceno superior (290 a 4 Ma). Existen también variados cuerpos intrusivos datados entre el Paleozoico superior y el Plioceno (155 a 5 Ma). Sobre estas rocas, se disponen los depósitos sedimentarios no consolidados recientes, cuyo origen se asocia a procesos de erosión, transporte y sedimentación aluvial y fluvial. En la Figura 4-1 se presenta el mapa geológico de la zona de estudio, mientras que las unidades geológicas se describen a continuación.

3 Ingedos (2006). Estudio Geofísico en el Valle del Aconcagua en la Región de Valparaíso. Dirección, Coordinación e Interpretación.

260000 290000 320000 350000 380000

6420000 6390000 6360000 6330000

Región Valparaíso

Región Metropolitana de Santiago

OCEANO PACIFICO

La Ligua
Nogales
Ja
La Calera
Hijuelas
Catemu
Panquehue
San Felipe
santa María
Curimón
San Esteban
Qac
San Rafael
Los Andes
Rinconada
Calle Larga
Llay Llay
Qr
Quillota
Concón
Valparaíso
Quilpué
Jmi4
Tc
Kvn
Klc
Ks
Klp
Tf_b
Qac

N

0 7.5 15 30 KM
1:550,000

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

LEYENDA

- Fallas y lineamientos
- Qf Depósito fluvial
- Qac Depósito aluvial-coluvial
- Qac (a)
- Qac (b)
- Qt Terrazas continentales
- Qg Sedimentos glaciales
- PQd Sedimentos eólicos
- Tc Formación confluencia
- Tf (a) Formación Farellones
- Tf (b) Formación Farellones
- Tch1 Unidad Río Cerro Blanco
- Tch2 Unidad Portezuelo del Azufre
- Tch3 Unidad Tambillos
- Tpd Intrusivo riodacítico
- Olh Intrusivo hipabisales
- KTcl Unidad Fredes
- KTsl Unidad San Lorenzo
- Ks Formación Salamanca
- Kilc Unidad La Campana
- Ki1 Unidad Chalinga
- Ki1 (a) Unidad Chalinga
- Ki1 (b) Unidad Chalinga
- Klc Formación Las Chilcas
- Klc (a)
- Klp Formación Los Pelambres
- Kiqh Unidad Quebrada Herrera
- Kich Unidad Chagres
- Kvn Formación Veta Negra
- Kicr Formación Cristo Redentor
- Kp Formación Lo Prado
- Ksj Formación San José
- Ksj
- Jrd Formación Río Damas
- Jh Formación Horqueta
- Jmi4 Unidad Puerto Oscuro
- Jmi3 Unidad Tranquila
- Jlc Formación Cerro Calera-Miembro La Cruz
- Jlr Formación Cerro Calera-Miembro Los Rodeos
- Ja Formación Ajial
- Ja (a) Formación Ajial
- Pzc Unidad Cocha
- ah Alteración hidrotermal

SIMBOLOGÍA

- Localidades
- Red hidrográfica
- Límite internacional
- Área de estudio
- Límite regional

Mapa geológico de la Cuenca del Aconcagua.
Fuente: Modificado de DOH (2009) y Hoja Quillota Portillo (Rivano et. al, 1993).

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-1
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\clsci200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-1_Mapa geológico de la Cuenca del Aconcagua.mxd

4.1.1.1 ROCAS ESTRATIFICADAS

Formación Ajial (Ja)

Corresponde a una secuencia volcánica, redefinida por Piracés (1976), que está constituida por lavas con intercalaciones de tobas, brechas y rocas sedimentarias lenticulares que subyace concordantemente a la Formación Cerro Calera. En base a su fauna fósil se asigna a la Formación Ajial una edad de entre 172 a 204 Ma (Jurásico). Aflora en una franja de elongación NS hacia el oeste de la zona de estudio.

Formación Cerro Calera (Jlr, Jlc)

Definida por Piracés (1976), la Formación Cerro Calera corresponde a una secuencia sedimentaria marina transicional que sobreyace en forma concordante a la Formación Ajial y subyace a rocas volcánicas de la Formación Horqueta. Se dispone en una franja elongada NS y discontinua, cuyos afloramientos se ven interrumpidos por los sedimentos que rellenan los valles.

Se distingue el miembro superior La Cruz (Jlc) compuesto principalmente de areniscas, areniscas tobáceas e intercalaciones de calcarenitas hacia su base; y el miembro inferior Los Rodeos (Jlr), compuesto principalmente por calcarenitas y calcilutitas con algunas intercalaciones de conglomerados finos a medios hacia la base.

En base a la fauna existente se le ha asignado una edad bajociano medio y superior (172 a 165 Ma). En el área de estudio aflora de manera restringida al sur de la localidad de La Calera.

Formación Horqueta (Jh)

Esta Formación, definida por Piracés (1976), corresponde a una unidad volcanoclástica continental que se apoya concordantemente sobre la Formación Cerro Calera y subyace de la misma forma a la Formación Lo Prado. Está constituida principalmente por lavas, que alternan con tobas, areniscas, brechas y conglomerados de colores rojizos. Se le asigna una edad Jurásico superior, Batoniano-Malm (165-145 Ma). En la zona de estudio se observan afloramientos aislados en la cercanía de Quillota, ubicados al oeste de las rocas de la Formación Lo Prado (Kp).

Formación Lo Prado (Kp)

Piracés (1976) denomina Formación Lo Prado a los estratos de origen marino-volcánico que afloran en el sector norte del río Aconcagua y que corresponden a andesitas, brechas volcánicas y tobas con intercalaciones de areniscas, areniscas calcáreas y conglomerados marinos. De acuerdo a su fauna fósil, Corvalán (1964) le asigna una edad Cretácico inferior (138 Ma). En el área de estudio esta Formación se distribuye en una franja alargada en dirección NS, que cruza el valle del río Aconcagua a la altura del estero Rabuco.

Formación Veta Negra (Kvn)

Corresponde a una gruesa secuencia continental, que se dispone concordantemente sobre la Formación Lo Prado. Se distinguen dos miembros: Miembro Inferior Purehue, constituido por lavas andesititas y brechas, con intercalaciones calcáreas hacia la base y Miembro Superior Ocoa, que corresponde a lavas porfíricas andesíticas (ocoítas), con intercalaciones de volcarenitas. Basándose en correlaciones con la formación Colimapu, se le asigna una edad de entre 125 a 90 Ma, del Cretácico medio. Los afloramientos de esta formación abarcan una gran extensión en el área de estudio y se extienden en una franja orientada en dirección NS que cruza el río Aconcagua a la altura de la localidad de Llay llay. Conforma las mayores alturas de la Cordillera de la Costa entre Catemu y La Calera.

Formación Las Chilcas (Klc)

La Formación Las Chilcas se dispone concordantemente sobre la Formación Veta Negra y subyace, discordantemente a la Formación Lo Valle. Corresponde a una secuencia volcanosedimentaria constituida por brechas claras y oscuras, tobas rojizas, areniscas tobáceas negras, lutitas rojas alternando con tobas, brechas y conglomerados. Dataciones radiométricas (K-Ar) indican una edad Cretácica inferior (140 Ma). Esta Formación se distribuye en forma continua al Este de los afloramientos de la Formación Veta Negra.

Formación San José (Ksj)

Secuencia calcárea marina fosilífera, compuesta por calcarenitas y calcilutitas con algunas intercalaciones de biorruditas. Se observa un afloramiento menor en el extremo suroriente de la cuenca, cerca de la frontera con Argentina. Se le asigna una edad cretácica.

Formación Cristo Redentor (Kicr)

Secuencia de sedimentitas terrígenas de color rojo predominante que aflora en el lado argentino de la frontera en el sector del Cristo Redentor y que en Chile se presenta sólo en el sector fronterizo formando un área triangular reducida de unos 1,5 Km^2 de extensión. Corresponde a niveles de volcarenitas y conglomerados finos a medios intercalados con niveles de calcilutitas y areniscas calcáreas con frecuentes estructuras estromatoliticas. Su edad sólo puede ser establecida litoestratigráficamente por sus relaciones de contacto con las unidades infra y suprayacente. La secuencia, por apoyarse en Argentina concordantemente sobre el Grupo Mendoza (equivalente a la Fm, San José), se asigna al Hauteriviano Inferior.

Formación Los Pelambres (Klp)

La Formación Los Pelambres se distingue ampliamente al Este de la línea de la mega falla Pocuro y del valle del río Aconcagua, como una gruesa franja de orientación NS a lo largo de la Cordillera de Los Andes. Se compone de rocas de origen volcánico y marino-continental: lavas andesíticas, tobas, volcarenitas, conglomerados y rocas carbonatadas de edad Neocomiana (Cretácico Inferior).

Formación Salamanca (Ks)

Corresponde a una secuencia de origen volcánico continental, que comprende lavas andesíticas y dacíticas, brechas volcánicas y tobas con escasos niveles de conglomerados y volcarenitas. Se le atribuye una edad Cretácico Superior. En la zona de estudio, sus afloramientos se observan hacia el NE de la cuenca alrededor de la mega falla Pocuro, en el sector del río Putaendo; desde esa zona, se extiende hacia el norte por varios kilómetros fuera de la zona de estudio en una franja elongada de dirección NS.

Formación Farellones (Tf)

Corresponde a una secuencia de rocas volcanoclásticas continentales constituidas por brechas, tobas, lavas basálticas y andesíticas, conglomerados, tufitas y lutitas. De acuerdo a dataciones radiométricas se le asigna una edad Miocena−Pliocena (23 a 2 Ma). En la zona de estudio se observa al Este de la mega falla Pocuro, en el extremo nororiente de la cuenca del Aconcagua, aunque se extiende ampliamente en la Cordillera de los Andes.

Se distingue una unidad Tf (a) ignimbritas y tobas riolíticas, con volarenitas intercaladas y Tf (b) Lavas dacíticas, andesíticas y basálticas, brechas piroclásticas, domos riodacítico; volcarenitas, limolitas y conglomerados rojos subordinados.

Formación Caleta Horcón (Th)

La Formación Caleta Horcón corresponde a una secuencia sedimentaria marina poco consolidada, que aparece muy bien expuesta a lo largo del acantilado costero entre Viña del Mar y Cachagua y en algunos cortes de esteros y quebradas cercanos a la costa. Está compuesta predominantemente por areniscas, en partes arcillosas, por arcillolitas y limolitas, aunque también es posible observar niveles de coquinas. Cubre en discordancia depositacional a las unidades más antiguas estratificadas e intrusivas que afloran a lo largo de la Cordillera de la Costa en el sector y son a su vez cubiertas por depósitos eólicos que enmascaran su distribución tierra adentro. En algunos sectores, es posible observar como estos depósitos gradan a gravas continentales de origen fluvio aluvional. En base a su contenido fosilífero se le ha asignado una edad miocena (15 Ma). En el mapa de la zona de estudio aparece un afloramiento muy pequeño y delgado, que bordea la línea de costa inmediatamente al sur de la desembocadura del río Aconcagua. Sin embargo, a la escala del mapa la formación no se distingue dado que la delimitación de la cuenca la cubre.

Formación Confluencia (Tc)

Secuencia de origen continental constituida por conglomerados, areniscas brechas y limonitas poco consolidadas del Mioceno- Plioceno. Se distribuyen en terrazas altas con potencias de 50-100 m, que muestran una distribución superficial parcialmente concordante con la hidrografía actual. Se dispone en forma discordante sobre rocas jurásicas y paleozoicas y está cubierta por sedimentos eólicos y aluvionales más recientes. En la zona de estudio, se observan afloramientos en el sector costero, en todo el valle de Limache y en las cercanías de Quillota.

4.1.1.2 ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas constituyen tres unidades diferenciables según su ubicación geomorfológica: el Batolito de la Costa, el Batolito Central y el Batolito de Los Andes. Estos cuerpos ígneos comprenden edades que van desde el Paleozoico hasta el Terciario superior (400 a 15 Ma).

BATOLITO DE LA COSTA

Unidad Cochoa (Pzc)

En la zona de estudio el Batolito de la Costa está representado por las rocas intrusivas paleozoicas de Unidad Cochoa (Pzc) que aflora en el borde costero al sur de la desembocadura del río Aconcagua y se extiende ampliamente hacia el sur por fuera del mapa. Corresponde a tonalitas, granodioritas y granitos subordinados, de grano medio a grueso con textura orientada. De acuerdo a su similitud litológica con otras unidades, sus relaciones de contacto con los granitoides jurásicos y dataciones radiométricas, se le asigna una edad Carbonífero Superior (315-298 Ma).

BATOLITO CENTRAL

El Batolito Central está constituido por cuerpos intrusivos que se distribuyen en una franja longitudinal ubicada inmediatamente al Este del Batolito de la Costa. Comprende rocas generadas en 2 ciclos intrusivos distintos: uno durante el Jurásico superior (155 Ma) y otro durante el Cretácico superior- Terciario inferior (65 Ma).

Los intrusivos jurásicos presentes en el área forman parte de la Superunidad Mincha, como las Unidad Puerto Oscuro (Jmi4) y Unidad *Tra*nquila (Jmi3), que corresponden a dioritas cuarcíferas, monzogranitos, gabros, sienogranitos, sienitas cuarcíferas, granodioritas y tonalitas ubicados al norte y sur del río Aconcagua, a la altura de Concón, en los cerros Mauco de Aconcagua y Colorado.

Las rocas intrusivas cretácicas cortan formaciones paleozoicas, triásicas y jurásicas, incluyendo la Formación Horqueta. En la zona de estudio, los intrusivos cretácicos se agrupan en la Superunidad Illapel, que corresponden a gabros, dioritas, granodioritas, dioritas cuarcíferas, monzonitas y sienogranitos del Cretácico Inferior: Unidad la Campana (Kilc), Unidad Chalinga (Ki1a y KiIb), Unidad Quebrada Herrera (Kiqh) y Unidad Chagres (Kich) y rocas del Cretácico Superior que corresponden a pórfidos andesíticos y dioríticos de la Unidad San Lorenzo (KTsl) y dioritas, tonalitas y monzodioritas, de la Unidad Fredes (KTcl).

BATOLITO DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Este batolito aflora como numerosos apófisis y cuerpos de tamaño pequeño o regular que se distribuyen en una franja longitudinal hacia el Este de la zona de estudio. Comprende principalmente dioritas, granitos y, en menor cantidad, granodioritas. Dataciones radiométricas confirman una edad terciario superior (15 Ma) para estas rocas.

En la zona de estudio, se observan los afloramientos de intrusivos hipabisales y cuellos volcánicos basálticos (Olh), intrusivos riodacíticos (Tpd), y los cuerpos intrusivos asociados a la Superunidad Chalinga, que comprenden los pórfidos dacíticos blancos de la Unidad Tambillos (Tch1), pórfidos cuarzo-feldespáticos amarillos de grano fino de la Unidad Portezuelo del Azufre (Tch2) y las monzodioritas, monzonitas, dioritas y monzogranitos subordinados de la Unidad Río Cerro Blanco (Tch3).

4.1.1.3 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Los depósitos no consolidados presentes en la zona de estudio corresponden a sedimentos eólicos antiguos (paleodunas) compuestos principalmente por gravas y arenas aluviales (PQd), depósitos fluviales (Qf), sedimentos aluviales y coluviales (depósitos de rellenos de valles) (Qac), sedimentos glaciales (Qg) y una unidad informal de terraza, en parte sin sedimentos (Qt)

Paleodunas (PQd)

Corresponden a sedimentos eólicos antiguos, que se reconocen en la costa en zonas discretas. Forman superficies suavemente onduladas que cubren parcialmente las terrazas costeras, depositándose sobre los depósitos de la Formación Horcones y sobre unidades más antiguas como los granitoides de la superunidaes Cochoa y Mincha.

Sedimentos coluviales y aluviales (Qac)

Corresponden a depósitos de tipo coluvial y aluvial que se extienden en forma importante a lo largo del área de estudio, relacionados a los cursos de agua principales. Están formados por acumulaciones de gravas y ripios, regular a mal estratificados y por arenas y limos, con buena estratificación.

Entre estos depósitos, se distinguen aquellos de tipo conos de deyección Qac(a), los que suelen evolucionar año a año según la abundancia e intensidad de las precipitaciones.

Los depósitos de colapso gravitacional Qac(b), que corresponden a deslizamientos en masa de grandes proporciones, actualmente estabilizados y colonizados por vegetación en la mayoría de los casos. Los principales se ubican a lo largo de la Megafalla Pocuro y se estima que se habrían generado debido a movimientos sísmicos, en que dicha falla podría haber constituido una zona de inestabilidad. Igualmente, llama la atención la relación espacial entre estos depósitos de derrumbe y las terrazas del borde oriental de la cuenca San Felipe-Los Andes (Qt).

Sedimentos fluviales Q(f)

Corresponden a los depósitos fluviales más recientes asociados a los cursos de los ríos Aconcagua y Putaendo. Conforma el depósito sedimentario de mayor relevancia en el este estudio dado que aloja al acuífero principal de la cuenca. Mayores antecedentes se detallan en el apartado de caracterización hidrogeológica.

Terrazas continentales, en parte sin sedimentos (Qt) - unidad informal

Se utiliza este término geomorfológico para denominar unas acumulaciones de depósitos semiconsolidados que se desarrollan al Este de la ciudad de Los Andes. Consisten en grandes terrazas de extensión continua que afloran en el borde oriental del valle y comprenden acumulaciones de arenas medias y conglomerados finos a medios. Se distinguen del relleno de la cuenca por encontrarse topográficamente más altos y por presentar un notable escarpe que alcanza hasta decenas de metros.

Sedimentos glaciales (Qg)

Sedimentos glaciales y fluvioglaciales, depósitos morrénicos retrabajados, graciares de roca y escombros crionivales y sedimentos morrénicos retrabajados.

4.1.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Dentro de un contexto regional, la cuenca del río Aconcagua se encuentra en una zona de transición entre dos dominios geomorfoestructurales: los valles transversales por el norte, y las cuencas de Santiago y Rancagua por el sur, en donde se desarrolla la Depresión Central. De esta manera, es posible encontrar características de ambos dominios en la zona de estudio.

El valle del Aconcagua y sus valles afluentes tienen un claro control estructural, de forma que las fallas que afectaron la zona a fines del Terciario generaron zonas de debilidad en las rocas que presentan poca resistencia a la erosión, facilitando la circulación de los cauces. Estas estructuras son las responsables de las variaciones en el curso del río Aconcagua y, por lo tanto, de la disposición del valle. Se observan dos direcciones preferenciales: NO y NE, presentes en todo el valle y que determinan la morfología actual de la cuenca.

Por otra parte, la litología también juega un papel importante en el modelamiento de la cuenca, debido a las diferentes durezas y tasas de erosión que se asocia a cada tipo litológico. De esta forma, la profundidad y ancho del valle en rocas intrusivas será menor debido a la mayor dureza de éstas, con respecto a las rocas sedimentarias.

Entre Los Andes y San Felipe, la zona se puede caracterizar como una pequeña depresión central, con un valle de 15 x 15 km^2 aproximadamente, delimitado al oriente por la Falla Pocuro y al poniente por la zona de falla Los Ángeles, donde comenzaría la Cordillera de la Costa. En esta zona, el valle cuenta con tres cauces de importancia: el río Aconcagua que es el curso principal y los esteros Pocuro y San Francisco.

Inmediatamente, al oeste de San Felipe la morfología del valle cambia radicalmente, tomando características más similares a los valles transversales ubicados hacia el norte. El valle del Aconcagua se vuelve estrecho, de unos 2 km en promedio, manteniendo su ancho relativamente constante hasta el norte de Quillota. Este cambio coincide con el afloramiento de los cuerpos intrusivos cretácicos, que dan cuenta de la mayor exhumación de esta zona comparada con la anterior.

Hacia el sector de Quillota el valle se vuelve a ensanchar alcanzando poco más de 5 km, debido principalmente al afloramiento de rocas sedimentarias de edad Jurásica, representadas por las formaciones Ajial, Cerro Calera y Horqueta. Aguas abajo, un nuevo angostamiento del valle coincide con la aparición del batolito Jurásico, ocurriendo además un cambio en la dirección del valle de NS a EO.

Hacia las zonas bajas del valle se observan depósitos terciarios semiconsolidados, al igual que ocurre en los valles transversales, lo que evidencia una menor erosión en los últimos 2 millones de años. Estos depósitos terciarios presentan mayores alturas que el relleno más reciente, quedando en algunos casos "aislados" de una eventual recarga por parte de la red de drenaje actual.

Finalmente, cabe destacar que el valle de Limache presenta una configuración más antigua que el resto del valle del Aconcagua, evidenciada por los depósitos terciarios que lo cubren en toda su extensión. Hacia la confluencia del estero Limache con el río Aconcagua se observa una erosión sobre los depósitos terciarios de la Formación Confluencia, dando origen a una estrecha y profunda incisión de unos 50 m aproximadamente.

4.1.3 ESTRUCTURAS

El valle del río Aconcagua presenta un importante control estructural que se ve reflejado en su geomorfología y en la distribución de las unidades geológicas. Según Rivano et al. (1996[4]), dentro de la zona de estudio se identifican dos grandes dominios estructurales, correspondientes a Dominio Costero y Dominio Central, separados por límites morfológicos y geológicos. El Dominio Cordillerano, no se identifica, por lo general, en el área de este estudio.

Dominio Costero

Este dominio coincide con las Planicies Litorales y al borde occidental de la Cordillera de la Costa, extendiéndose, desde la costa hasta el sector de los esteros Rabuco y Los Litres, por el este. Está compuesto por terrenos del Mesozoico inferior-medio y por rocas intrusivas del Paleozoico superior en su extremo sur (Concón), que son intruidas por granitoides jurásicos.

En general, se trata de un ambiente tectónico con importante deformación compresiva, que habría generado accidentes de rumbo de dirección predominante NNW.

Dominio Central

Corresponde a la zona ubicada entre el borde oriental de la Cordillera de la Costa y la traza de la falla Pocuro, en la que se encuentran las rocas volcano-sedimentarias cretácicas de las Formaciones Lo Prado, Veta Negra, Las Chilcas y la mitad occidental de la Formación Salamanca, que han sido intruidas por granitoides del Cretácico y Paleógeno, respectivamente.

Es una zona de deformación menor, que sólo genera suaves plegamientos en las rocas volcanoclásticas y favorece el desarrollo de fallas de extensión. Los plegamientos son suaves, con radios de curvatura de varios centenares de metros o kilómetros. Las grandes masas batolíticas, que presentan una resistencia natural a los esfuerzos, junto con la escasez y poca potencia de los niveles sedimentarios de menor competencia, favorecen que los procesos de deformación ocurran en forma discreta y local.

[4] Geología de la Hoja Quillota – Portillo. SERNAGEOMIN.

4.1.4 SISTEMAS DE FALLAS

En la zona de estudio se observan numerosas fallas de gran extensión, que de acuerdo a sus sistemas de orientación bien definidos se pueden agrupar en 3 familias según su patrón de direcciones preferenciales.

- Sistemas de fallas NS - NNW: Corresponden a las fallas más relevantes a nivel regional, encontrándose bien representadas en el dominio Central, y cuyo elemento principal corresponde a la zona de falla Pocuro.

  La megafalla Pocuro se ubica en el límite oriental de la zona de estudio, tiene una dirección NS y una extensión de carácter regional, extendiéndose más de 100 km hacia el norte de Los Andes. Hacia el sur se continúa con la Falla San Ramón. Corresponde a una zona de fallas extensivas, con un esquema de fracturamiento intenso; a lo largo de su traza principal se observan zonas de alteración hidrotermal.

- Sistema de fallas NWN - NW: Se observa de preferencia en la parte norte de los dominios Costero y Central, evidenciado por fallas normales, subaralelas y de corto trayecto. Generalmente los planos de falla que se ubican en estas direcciones son verticales a subverticales, y no se presentan muy bien desarrollados, lo que dificulta observar la presencia de estrías que pudieran confirmar el desplazamiento de rumbo.

- Sistema de fallas NNE - NE: Este conjunto de fallas es poco notable y aparece como fallas conjugadas asociadas a los otros dos sistemas. Un ejemplo es la zona de falla Los Ángeles, ubicada entre los valles de Putaendo y Catemu y que es responsable de las direcciones preferenciales de estos valles, marcando el límite oriental de la Cordillera de la Costa. Corresponde a un set de fallas subparalelas de orientación NNE que en algunas zonas pone en contacto rocas intrusivas cretácicas con rocas de la Formación Las Chilcas. Presenta algunas zonas de alteración hidrotermal restringidas a los bordes de los cuerpos intrusivos.

4.1.5 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

En el valle del río Aconcagua se han definido cuatro unidades hidrogeológicas principales correspondientes a diferentes tipos de depósitos sedimentarios que cubren las unidades rocosas a lo largo de los diferentes cauces de agua superficial. Las unidades sedimentarias se pueden diferenciar por su granulometría y forma de deposición que resulta en características hidráulicas distintas. De acuerdo a la nomenclatura utilizada en el modelo hidrogeológico de la Ref. 13, se han asignado las letras A, B, C y D a estas unidades.

Entre las cuatro UH, las unidades B y D presentan la mayor extensión a lo largo del valle del río Aconcagua. De forma local, por ejemplo, en los sectores acuíferos Aconcagua Desembocadura y Limache se observan además leves discrepancias de las principales UH que se abordarán con mayor detalle en la descripción de los perfiles hidrogeológicos correspondientes a dichos sectores (Sección 4.1.9).

El conjunto de las diferentes unidades rocosas que subyacen a los sedimentos y afloran en los bordes de los valles, se considera como una unidad hidrogeológica. Parcialmente existen en el valle pozos habilitados en los depósitos sedimentarios y también en la parte más somera de las unidades rocosas correspondiente a una zona de roca fracturada. Sin embargo, no se conocen pozos que presentan un aporte de agua subterránea importante desde la zona rocosa, por lo que se considera las unidades rocosas como una unidad hidrogeológica de muy baja permeabilidad y poco interés de extracción de agua.

Las cuatro unidades de depósitos sedimentarios se presentan a continuación:

UNIDAD A

Esta unidad está constituida por sedimentos de granulometría heterogénea y abundante matriz de arenas finas, limos y arcillas. Aproximadamente, el 35% del volumen total corresponde a clastos de fragmentos volcánicos, cuyo tamaño fluctúa entre las arenas medias y las gravas finas. Además, presenta fracciones subordinadas de ripios y bolones, los cuales corresponden a menos de un 10% del volumen total del sedimento. Por otro lado, también cuenta con la participación de arcillas, que le otorgan un carácter de regular permeabilidad. El origen de dichos sedimentos recae en la acción depositacional del estero Pocuro, probables efectos de desborde del río Aconcagua durante crecidas y posibles flujos rápidos que irrumpieron en el valle desde el sur y surponiente. El espesor de esta unidad es variable entre 5 y 80 m, aproximadamente.

Esta unidad se distribuye hacia el sur y poniente de la ciudad de Los Andes, adosándose en la vertiente del valle y desplegándose casi hasta el río Aconcagua. Los flancos sur y surponiente del estero Pocuro son prácticamente colindantes a estos sedimentos. Hacia el sur de San Felipe, estos sedimentos se acuñan contra la vertiente oeste del valle, mientras que hacia el norte se engranan con los sedimentos de la Unidad B.

UNIDAD B

Corresponde a sedimentos de gruesa a mediana granulometría, de ripios gravosos con una matriz arenosa, la cual puede exhibir pequeñas cantidades de limo arcilloso en algunos sectores. Los clastos son mayoritariamente de origen volcánico y en menor grado intrusivo o sedimentario. Su esfericidad y redondeamiento aumentan gradualmente en la dirección del escurrimiento. En general, esta unidad presenta buena permeabilidad, a excepción de algunas áreas donde el aumento de material fino (limo y arcilla) desde estructuras secundarias empobrece sus características hidrogeológicas. Las permeabilidades estimadas a partir de las pruebas de bombeo disponibles en el valle y asociadas a la unidad se encuentran principalmente entre 10 y 100 m/d. Algunas pruebas sin embargo entregaron resultados fuera de este rango con un valor mínimo de 0,2 m/d y un valor máximo de 630 m/d.

A lo largo del valle del río Aconcagua estos depósitos representan la principal unidad acuífera. La unidad presenta espesores entre 50 y 100 m en grandes partes del valle del río Aconcagua. Localmente, por ejemplo, cerca de San Felipe, la potencia de la unidad puede alcanzar hasta 200 m.

La unidad se emplaza a lo largo y ancho del valle del río Aconcagua desde Los Andes hasta la desembocadura. Hacia el sur del sector entre Los Andes y San Felipe, se interdigita y subyace a los rellenos de la Unidad A; hacia el noroeste, engrana con los depósitos de la Unidad C y sobreyace a lo largo de todo el valle a los depósitos de la Unidad D.

UNIDAD C

Esta unidad está compuesta principalmente por sedimentos de tamaño de gravas medias a arenas finas. Presenta una abundante matriz limosa con moderada cantidad de arcilla, lo cual le otorga baja permeabilidad. También se observan ripios, bolones y bloques aislados. La fracción clástica de estos depósitos es de origen volcanoplutónica y presenta muy bajo redondeamiento y esfericidad. El origen de estos sedimentos es esencialmente gravitacional, asociado a corrientes de barro.

Estos rellenos se encuentran solamente en el extremo nororiente del valle en el entorno del estero San Francisco, entre San Esteban y San Felipe, desplegándose hacia el este a modo de abanico debido a su modo de ocurrencia. En el área de engrane con la Unidad B, es posible que su espesor varíe entre los 25 y 50 m y que hacia el noroeste aumente levemente para luego acuñarse contra la vertiente del valle.

UNIDAD D

Contiene sedimentos de fina granulometría del tipo arenas limosas o limos arcillosas con una abundante matriz de arcilla, la cual representa aproximadamente un 50% del volumen total de los depósitos. Se encuentran a lo largo de todo el valle y corresponden a los sedimentos más antiguos de la estructura geomorfológica del río Aconcagua. Son sedimentológicamente correlacionables con la Unidad A, sin embargo, presentan diferencias en cuanto a su origen. Es probable que los rellenos de la Unidad D sean el resultado de flujos laháricos que irrumpieron por el valle debido a los deshielos. Por otra parte, también es posible que la gran cantidad de finos se haya depositado por el retrabajo de depósitos glaciares acumulados en las cabeceras del valle y por el transporte de fracciones finas de depósitos morrénicos como consecuencia del derretimiento de hielos.

Los depósitos de esta unidad subyacen a lo largo de todo el valle a los sedimentos de la Unidad B, y sobreyacen directamente al basamento rocoso en grandes partes del valle. Según la información geofísica existiría una depresión entre Los Andes y San Felipe con profundidades del basamento rocoso de hasta 400 m (Ref. 15). Los mayores espesores de la Unidad D alcanzando 250 m estarían asociados al relleno de esta fosa entre Los Andes y Curimón, posiblemente en un ambiente lagunar antiguo. En la mayor parte del valle el espesor de la Unidad D se encuentra entre 10 y 100 m.

Dada su baja permeabilidad, la unidad presenta generalmente un interés bajo para la extracción de agua subterránea. A lo largo del valle no existe una prueba de bombeo que se puede asignar a esta unidad, ya que los pozos se encuentran habilitados principalmente en la Unidad B. Valores de permeabilidad de referencia de literatura de unidades similares correspondientes a sedimentos limosos, entregan un rango típico de permeabilidad de 0,01 a 1 m/d (Brassington, 2007). Localmente, un aumento de la porción arenosa o gravosa dentro de la unidad, sin embargo, podría aumentar también la permeabilidad y resultar en un aporte significativo de agua subterránea.

260000 290000 320000 350000 380000 410000

6420000 6390000 6360000 6330000

N

Región de Valparaíso

La Ligua

OCÉANO PACÍFICO

Nogales

La Calera

Hijuelas

Quillota

Concón

Valparaíso

Quilpué

Limache

Olmué

Estero El Carreton

Estero de Catemu

Estero Catapilco

Estero Pelumpén

Estero La Minillas

Catemu

Llay Llay

San Felipe

Panquehue

santa María

Curimón

San Esteban

San Rafael

Rinconada

Los Andes

Calle Larga

Estero Chalaco

Río Rocín

Río Hidalgo

Estero de Los Azules

Quebrada Mancilla

Quebrada Honda

Río Recillos

Estero San Francisco

Río Colorado

Río Juncalillo

Río Blanco

Río Juncal

Río Barriga

Estero Riecillos

Estero Quebrada Honda

Región Metropolitana de santiago

República de Argentina

0 7.5 15 30 KM

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

SIMBOLOGÍA

- Localidades
- Límite internacional
- Red hidrográfica
- Área de estudio
- Límite modelo
- Límite regional

LEYENDA

- Unidad A
- Unidad B
- Unidad C
- Basamento Rocoso

Gobierno de Chile

gob.cl

Mapa de unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Aconcagua

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-2
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\clscl200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-2_Unidades Hidrogeológicas.mxd

4.1.6 PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO

La profundidad del basamento rocoso sobre el que se disponen los rellenos sedimentarios no consolidados de la cuenca, fue determinada inicialmente sobre la base de los antecedentes de pozos y estudios geofísicos recopilados y analizados por Dictuc (2009) para DOH (Ref. 13). En dicho estudio, se generó la superficie de contacto entre el basamento y los rellenos sedimentarios. Esta información fue posteriormente incorporada en el modelo numérico de flujo subterráneo que representa el funcionamiento de la cuenca, permitiendo delimitar la geometría del sistema.

A grandes rasgos, se puede apreciar que la mayor profundidad se encuentra en el valle comprendido entre Los Andes y San Felipe, donde el basamento alcanza más de 300 m en la zona central. Se observan también en el sector noreste de este valle una serie de cerros islas que reflejan un alto en el basamento. Las mayores profundidades que se observan en este sector aparecen como un lineamiento de dirección NW de unos 15 km de longitud, que se extiende desde la confluencia de los valles de Putaendo y San Felipe hasta aproximadamente unos 5 km al oeste de Los Andes y estaría representando un antiguo valle principal mucho más estrecho y acotado que el de la actualidad, en un probable régimen de erosión y transporte de sedimentos (Ref. 13). Entre los cerros islas se puede apreciar otro paleocauce de menores proporciones que probablemente drenara las aguas del sector noreste del valle (Ref. 13).

El valle de Putaendo presenta también profundidades importantes, que alcanzan los 260-300 m en su parte alta y media. Acercándose a la confluencia con el río Aconcagua, se observa que el basamento disminuye hasta 210-250 m; disminuyendo aún más notablemente al acercarse a Panquehue, donde alcanza los 110-150 m. Este alzamiento podría estar asociado a la actividad tectónica de la falla Los Ángeles, contemporánea a la formación del valle que alzó el bloque oriental por sobre el occidental (Ref. 13). Si bien podría haber otras explicaciones para el alzamiento observado, como por ejemplo un problema de resolución de los datos, que no sería la suficiente para mostrar la existencia de un cauce muy angosto, de todas formas, es posible ver que existe una clara correlación entre este alto del basamento y el cambio en la litología del valle desde rocas volcano-sedimentarias de la Formación Las Chilcas a rocas intrusivas más duras asociadas al Batolito Cretácico de la Cordillera de la Costa (Ref. 13).

Hacia aguas abajo, desde Panquehue hasta antes de Hijuelas e incluyendo el valle de Llay llay, el basamento alcanza profundidades máximas de 200-250 m, con excepción de la confluencia del estero Llay llay con el río Aconcagua, donde se observa una profundización de hasta 300 m, que localmente alcanza hasta 350 m (en color azul más oscuro).

Hacia el valle de Catemu, sin embargo, el basamento disminuye a profundidades de 150-200 m en la parte media y continúa somerizándose hasta 50-100 m en las partes más altas de este valle.

En el valle principal del río Aconcagua entre Hijuelas y hasta un poco más hacia aguas abajo de La Calera, el basamento se profundiza nuevamente hasta alcanzar 250-300 m en la zona más central del valle. Hacia el norte de La Calera, el valle de Nogales muestra profundidades menores a 200 m en su parte media, que siguen disminuyendo hacia la zona alta del valle hasta alcanzar profundidades de 50-100 m, en incluso menores a 50 m en la cabecera.

Continuando hacia aguas abajo de La Calera (donde el basamento estaba a 250-300 m), se observa un agostamiento importante del valle y un rápido alzamiento del basamento hasta profundidades de 100-150 m (color amarillo), para luego volver a ensancharse en forma significativa dando paso al valle de Quillota.

Ya en el valle Quillota, el basamento se encuentra a profundidades no mayores a 150-200 m, aunque muy localmente se observan zonas de hasta 250 m de profundidad (color azul medio). En la zona media baja de este valle, se vuelven a observar alzamientos intermitentes del basamento (en color amarillo).

Aguas abajo, en el sector de la confluencia del estero Rautén con el río Aconcagua, el valle se vuelve a angostar en forma considerable, toma una dirección EW y el basamento muestra profundidades muy menores (50-100 m). Ya en dirección a la desembocadura, el valle continúa siendo angosto y el basamento se encuentra en torno a los 100-150 m, aunque localmente alcanza el rango 150-200 m.

En el marco del presente trabajo y con el objetivo de corroborar el modelo conceptual de la cuenca del Aconcagua, en lo que respecta a la profundidad del basamento, se ha comparado el mapa elaborado en el estudio de Dictuc con la información obtenida de los nuevos pozos perforados en la cuenca.

Tal y como se observa en la Tabla 4-1, entre 2011 y 2017 se tiene constancia de la perforación de un total de 56 nuevos sondeos, de los cuales, 40 disponen de la información sobre la litología atravesada y profundidad de la perforación.

Únicamente, en 10 de los sondeos perforados se alcanzó el basamento rocoso. No obstante, la información de profundidad alcanzada, del resto de los sondeos, ha sido también considerada, ya que permite establecer que el basamento se encuentra a una profundidad superior a la profundidad de los sondeos.

En el acuífero 1 de San Felipe, entre 2013 y 2016 se perforaron 6 nuevos pozos (Tabla 4-1). De los seis (6) nuevos sondeos 4 atravesaron el basamento rocoso, según la información recogida en los expedientes y dos de ellos no logró alcanzar el basamento.

Los sondeos sondaje Koerner nº3 y sondaje Koerner nº2, propiedad de la compañía ESVAL, se ubican en el margen izquierdo del río Aconcagua, al suroeste de la ciudad de Los Andes. Estos pozos alcanzaron el basamento a una profundidad de 175 y 200 m, respectivamente, si bien, según la información que se extrapola del mapa del basamento (Ref. 13) el piso del acuífero se encuentra en torno a 167 m de profundidad, se puede afirmar que, en este tramo, se puede aceptar el modelo conceptual como correcto en lo referente a la profundidad del basamento.

Los sondajes El Sauce nº4 y El Sauce nº5 situados en la margen derecha del río Aconcagua, alcanzaron el basamento a una profundidad de 70 y 80 m respetivamente, dónde el mapa del basamento alcanza una profundidad de 155 m, de forma que en este sector se estaría sobre estimando el espesor del acuífero, en casi el doble de su espesor.

El sondeo sondaje San Esteban n°4 situado también en el margen derecho del río Aconcagua, aguas abajo de los sondajes del Sauce, fue perforado a una profundidad de 102 m, sin que se llegara a alcanzar la base del acuífero, mientras que la información proporcionada por el mapa del sustrato, ubica el basamento a una profundidad de 96 m. Entendiendo que se trata de un mapa de carácter regional, se puede considerar válida la información del mapa del sustrato.

Finalmente, en el sondaje Nº3 El Tambo, no se alcanzó el sustrato a la profundidad a la que se perforó el sondeo (120 m) lo que indica que el basamento se encuentra a una profundidad superior. El mapa del sustrato del Dictuc-2009, indica para esta ubicación una profundidad del basamento del orden de 133 m, lo que sería confirmado por el sondaje Nº3 El Tambo.

En el acuífero 4 de Catemu, se tiene constancia de la perforación de 8 nuevos sondajes entre 2014 y 2016 (Tabla 4-1). En ninguno de ellos se alcanzó el basamento.

El sondaje Catemu nº3, ubicado en el margen izquierdo del estero de Catemu, al norte de la localidad de Catemu, se perforó hasta una profundidad de 32 m, sin alcanzar el piso del acuífero. La información proporcionada por el mapa del basamento en este punto, indica que el basamento estaría a una profundidad del orden de los 30 m, lo que permitiría validar el mapa en este sector.

Los sondeos sondaje Llay llay 3, sondaje Llay llay 2 y sondaje Llay llay 1, junto con los pozos pozo nº6 Bustos, pozo nº5 Bustos y pozo nº4 Bustos, todos de propiedad de ESVAL, se encuentran situados en el margen derecho del río Aconcagua, aguas arriba de la confluencia del estereo Llay llay. Atendiendo a la información extrapolada del mapa del basamento, este sector del sistema, corresponde a uno de los tramos dónde el acuífero alcanza un mayor espesor, pudiendo alcanzar los 350 m de profundidad, si bien los citados sondeos se ubican en un área donde se cifra la profundidad del basamento entre 195 y 255 m. La profundidad de perforación en estos sondeos es de 100 m, salvo en el sondeo sondaje Llay llay 1, que se perforó hasta los 90 m. De esta forma, los nuevos sondeos no confirman el modelo conceptual, al menos si permiten establecer que el basamento se encuentra a profundidad superiores a los 100 m.

Finalmente, en el sondeo sondaje nº1 Las Vegas, ubicado aguas abajo de los sondeos anteriores, en el margen derecho del río Aconcagua, con una profundidad de perforación de 100 m, confirma de igual forma que el basamento se encuentra a una profundidad superior a los 100 m, en un área dónde el mapa del basamento indica que la profundidad del acuífero es del orden de 240 m.

En el acuífero 6 Nogales-Hijuelas se tiene constancia de la existencia de un nuevo sondaje: Sondaje La Peña Nº1, el cual alcanzó el basamento a una profundidad de 146 m, contrastando con el valor de profundidad que arroja el mapa de Dictuc en el que para esta zona se considera una profundidad del basamento de 64 m.

En el acuífero 7 de Quillota se tiene constancia de la existencia de 4 nuevos sondeos ubicados en el margen izquierdo del río Aconcagua, al suroeste de Quillota, tres de los cuales fueron perforados en 2011 y un cuarto perforado en 2017 (Tabla 4-1).

Los sondeos sondaje Las Viñas nº1, sondaje Las Viñas nº3 y sondaje Las Viñas nº2 se perforaron a una profundidad de 60 m sin atravesar el basamento rocoso. La información que se desprende del mapa de basamento rocoso, implica que la base del acuífero estaría a una profundidad comprendida entre los 100 y los 130 m, información, por tanto, que no se contradice con la información aportada por estos sondeos.

El sondeo sondaje Las Viñas nº4 se perforó hasta alcanzar el zócalo a los 86 m, dónde el mapa del basamento indica que la profundidad del zócalo es de casi 104 m. Si bien existe una diferencia del orden de 20 m entre ambos datos, tal y como se ha referido anteriormente, a la escala regional a la que se trabaja, se podría considerar que este sondeo verifica el espesor considerado para el acuífero en este sector.

En el acuífero de la desembocadura del Aconcagua (acuífero 8) se tiene información de 20 nuevos sondeos, perforados entre 2014 y 2016, de los cuales 4 alcanzaron el basamento rocoso y los 16 restantes quedaron por encima del mismo (Tabla 4-1). Los sondeos que alcanzaron el zócalo (sondaje Foster 28, sondaje Foster 27, sondaje Arega 25 y sondaje Acedo 13), se ubican aguas arriba de la desembocadura del estero Limache en el río Aconcagua y presentan profundidades entre 31 y 67 m, mientras que el mapa del basamento arroja para estos puntos profundidades comprendidas entre 92 y 150 m, lo que implica que, en este sector, el modelo conceptual sobrestima el espesor del sistema acuífero.

El resto de sondeos perforados en el último sector acuífero (acuífero 8) se perforaron hasta alcanzar profundidades que se encuentran entre 40 y 80 m (Tabla 4-1), mientras que la información que se desprende del mapa indica que el zócalo del acuífero estaría entre 80 y 157 m de profundidad. Si bien, esta información no es contradictoria con la información arrojada por el mapa, el análisis conjunto de estos datos con los sondeos que, si alcanzaron el zócalo, reflejan, que posiblemente el modelo conceptual del acuífero 8 Aconcagua desembocadura está sobre estimado (Ref. 13), por lo que será necesario revisar la superficie del basamento en base a los nuevos antecedentes generados.

En términos generales y en base a la información recopilada sobre la profundidad del basamento, se puede concluir que la geometría del sistema, analizada en términos de la profundidad del basamento, es válida en todo el ámbito de la zona de estudio. Sin embargo, en el acuífero 8 Aconcagua desembocadura, sería recomendable, en próximos trabajos, revisar si la profundidad del zócalo debe ser modificada en general, o por el contrario, las discrepancias identificadas en lo nuevos antecedentes, podrían corresponder a elevaciones de carácter local del granito de la costa.

Tabla 4-1: Resumen de nuevos antecedentes de profundidad del basamento.

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (M)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Profundidad del basamento (m)	Profundidad basamento Dictuc-2009 (m)	Confirmación del modelo conceptual
1- San Felipe	VPC050342	Sondaje Nº3 El Tambo	2012	120	6.372.935	343.129	>120	133,5	Si
	s/d	Sondaje Nº4 El Sauce	2013	70	6.366.497	355.139	70	155,8	No
	VPC050224	Sondaje Nº5 El Sauce	2013	80	6.366.637	355.102	80	155,8	No
	s/d	SONDAJE SAN ESTEBAN Nº4	2016	102	6.367.086	353.187	>102	96,2	No
	VPC050231	Sondaje Koerner Nº 2	2017	210	6.365.009	348.356	200	167,3	Próximo
	VPC050231	Sondaje Koerner Nº 3	2017	180	6.365.014	348.216	175	167,3	Próximo
2-Puteando	ND05034389	Sondaje Nº2 Granalla	2012	250	6.389.083	338.316	>250	271,4	Si
4-Catemu	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 1 (LAS VEGAS)	2015	90	6.366.264	313.086	>90	247,5	Si
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 2 (LAS VEGAS)	2015	100	6.366.080	313.029	>100	255,6	Si
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 3 (LAS VEGAS)	2015	100	6.365.926	312.962	>100	196,0	Si
	VPC050331	Pozo Nº4 Bustos	2016	100	6.366.008	312.992	>102	196,0	Si
	VPC050331	Pozo Nº5 Bustos	2016	100	6.366.158	313.030	>102	255,6	Si
	VPC050331	Pozo Nº6 Bustos	2016	100	6.366.004	313.101	>101	256,4	Si
	s/d	sondaje nº1 Las Vegas	2014	100	6.365.670	311.559	>100	241,0	Si
	VPC050339	SONDAJE CATEMU Nº3	2016	32	6.371.986	316.320	>32	30,0	Próximo
6- Nogales-Hijuelas	VPC0504297	Sondaje La Peña Nº1	2017	155	6.376.385	293.793	146	63,8	No
7-Quillota	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº1	2011	60	6.358.391	287.749	>60	101,8	Si
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº2	2011	60	6.358.278	287.928	>60	100,7	Si
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº3	2011	60	6.358.174	288.110	>60	131,7	Si
	s/d	Sondaje Las Viñas Nº4	2017	105	6.358.328	287.517	86	103,9	Próximo

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (M)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Profundidad del basamento (m)	Profundidad basamento Dictuc-2009 (m)	Confirmación del modelo conceptual
8-Aconcagua-desembocadura	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 27	2015	63	6.354.441	272.043	60	146,0	No
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 28	2015	70	6.354.440	271.932	67	146,9	No
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 29	2015	62	6.354.354	272.308	>63	139,6	Si
	s/d	Fuente Sondaje Nº9	2014	40	6.354.101	271.134	>40	126,4	Si
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 13	2014	31	6.354.275	270.935	31	150,7	No
	VPC0505267	SONDAJE ACEDO 12	2014	49	6.354.152	270.894	>49	132,3	Si
	VPC0505268	SONDAJE AREGA 25	2015	53	6.354.018	270.948	53	92,6	No
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 17	2015	60	6.354.009	270.595	>60	109,5	Si
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 18	2015	57	6.354.005	270.842	>57	92,6	Si
	VPC0505268	SONDAJE GAETE 24	2015	80	6.354.155	270.292	>80	141,0	Si
	VPC0505268	SONDAJE GAETE 22	2015	83	6.354.288	270.154	>60	156,8	Si
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 11	2014	48	6.354.435	270.125	>48	156,8	Si
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 10	2014	50	6.354.433	269.833	>50	148,6	Si
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 15	2014	50	6.354.457	268.366	>50	130,6	Si
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 14	2014	52	6.354.378	268.493	>52	161,1	Si
	s/d	Fuente Sondaje Nº6	2014	47	6.354.239	267.861	>47	79,9	Si
	s/d	Pozo Nº1 Marzan	2016	70	6.354.643	274.071	>70	123,1	Si
	s/d	Pozo Nº2 Marzan	2016	70	6.354.491	274.089	>70	123,1	Si
	s/d	Pozo Nº3 Marzan	2016	70	6.354.668	273.900	>70	135,0	Si
	VPC0505268	Pozo Nº 8 Manterola	2015	40	6.354.463	270.019	>40	135,5	Si

Fuente: Elaboración propia.

260000
280000
300000
320000
340000
360000
6380000
6360000
6340000
N
Región
Valparaíso
OCEÁNO PACÍFICO
ND05034389
Sondaje N°2 Granalla
VPC0504297
Sondaje La Peña N°1
VPC050339
SONDAJE CATEMU N°3
VPC050342
Sondaje N°3 El Tambo
VPC0505268
SONDAJE FOSTER 28
VPC0505268
SONDAJE FOSTER 27
VPC0505268
SONDAJE ACEDO 13
VPC0505268
SONDAJE MANTEROLA 10
VPC0505267
SONDAJE MAGGI 14
VPC0505267
SONDAJE MAGGI 15
s/d
Fuente Sondaje N°6
s/d
Pozo N°3 Marzan
s/d
Pozo N°1 Marzan
s/d
Pozo N°2 Marzan
s/d
SONDAJE SAN
ESTEBAN N°4
VPC050224
Sondaje N°5 El Sauce
s/d
Sondaje N°4 El Sauce
VPC050331
SONDAJE LLAY LLAY 1 (LAS VEGAS)
VPC050331
Pozo N°5 Bustos
VPC050331
Pozo N°6 Bustos
VPC050231
Sondaje Koerner N° 2
VPC050231
Sondaje Koerner N° 3
VPC0504106
Sondaje Las Viñas N°3
VPC0504106
Sondaje Las Viñas N°2
VPC0504106
Sondaje Las Viñas N°1
s/d
Sondaje Las Viñas N°4
VPC050331
SONDAJE LLAY LLAY 2 (LAS VEGAS)
VPC050331
Pozo N°4 Bustos
VPC050331
SONDAJE LLAY LLAY 3 (LAS VEGAS)
s/d
sondaje N°1 Las Vegas
VPC0505268
Pozo N° 8 Manterola
VPC0505268
SONDAJE MANTEROLA 11
VPC0505268
SONDAJE GAETE 22
VPC0505268
SONDAJE GAETE 24
VPC0505268
SONDAJE ACEDO 17
VPC0505267
SONDAJE ACEDO 12
VPC0505268
SONDAJE FOSTER 29
s/d
Fuente Sondaje N°9
VPC0505268
SONDAJE AREGA 25
Región
Metropolitana de Santiago
0
10
20
km
1:325,000

SIMBOLOGIA

- Si - confirmación MC
- No - confirmación MC
- Próximo
- Red hidrográfica
- Área de estudio

Superficie del basamento (mbnt)
DICTUC-2009

- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 - 340

N° de expediente: VPC0505268
Nombre del pozo: SONDAJE ACEDO 18

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

Gobierno de Chile
gob.cl

Profundidad del Basamento en Modelo VM ACN 2019

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-3
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\CLSCL2005ERV01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\4x00_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-3_Profundidad del basamento VM ACN 2019.mxd

4.1.7 PERMEABILIDAD

En el informe elaborado por Dictuc en 2009 para la DOH (Ref. 13) se diferenciaron tres layers en la vertical, en base a la información obtenida de la estratigrafía, pruebas de bombeo de los pozos existentes y de información de los estudios geofísicos, aunque tal y como se indica en el citado informe el criterio que predominó para definir los distintos layers fue la granulometría y su variación en profundidad.

Los criterios utilizados para la definición de zonas de permeabilidad para cada uno de los layers fue la siguiente:

- En la layer 1 la discretización de zonas de permeabilidad se efectuó en base a la geomorfología (CICA, 1978: planos n° 02-G-011-a, b, c), relacionando las unidades geomorfológicas con unidades sedimentarias que reflejaran las condiciones de transporte y deposición de los sedimentos, asignando características granulométricas y valores de parámetros hidrogeológicos del relleno en superficie, considerando sus características geomorfológicas.
- En los layer 2 y 3 se confeccionaron polígonos en base a los datos interpretados de las pruebas de bombeo y a la información estratigráfica de los pozos, los cuales fueron relacionados a su vez con unidades sedimentarias.
- En las zonas de borde de cuenca y en las proximidades de los cerros isla, dónde realmente el layer 3 no existe y a fin de conceptualizar un modelo más acorde de la realidad, se realizarón ajustes en la zonificación de los polígonos de permeabilidad del layer 3, asignándole la permeabilidad de los layers superiores.

Finalmente, la zonificación de permeabilidades definida para los distintos layers fue confirmada con el análisis de los caudales específicos (Q E), calculados a partir de las pruebas de bombeo para los pozos que se consideraron representativos de un layer. Se consideraron representativos de un layer, los pozos en los que el 80% de la criba se encontraba dentro del layer en cuestión.

Considerando los criterios expuestos, se estableció seis rangos de conductividad hidráulica, los cuales correspondían a los siguientes valores:

- Muy baja: 0,1-1 m/d,
- Baja: >1-6 m/d,
- Media: >6-40 m/d,
- Alta: >40-100 m/d,
- Muy alta: >100-1.000 m/d.

En los nuevos antecedentes generados entre 2011 y 2017 se han identificado un total de 40 sondajes en los que se dispone de ensayos de bombeo. En función de la profundidad de estos sondajes y de la distribución espacial de las capas del modelo se han correlacionado los valores de permeabilidad con las capas, con el fin analizar el grado de ajuste del modelo conceptual a los nuevos antecedentes que ha sido posible recopilar en el marco del presente estudio.

Para proceder con este análisis, en primer lugar, se procedió a correlacionar la información de los nuevos sondajes con el o los layers correspondientes. Para ello se tomó en consideración, por un lado, la información correspondiente a la habilitación de los sondeos y en concreto, la información referente a la disposición en profundidad de la criba y por otro, la distribución en profundidad de los layers en la ubicación concreta de cada uno de los pozos en los que se dispone de información, la cual se ha obtenido exportando las superficies de las capas del modelo MODFLOW.

En la Tabla 4-2 se recoge la información de los nuevos sondeos en los que se dispone de resultados de ensayos de bombeo. Los valores de permeabilidad consignados a cada sondeo se han obtenido dividiendo el valor de transmisividad por el espesor total del tramo ranurado. Para la asignación de los layers se ha considerado la cota mínima alcanzada por la criba de los sondeos, pero con la salvedad, de que para asignar un layer a un tramo del sondeo, la criba debe atravesar más del 20% del espesor total del layer.

Una vez asignado el/los layers a cada uno de los sondeos se ha procedido a comparar los valores de permeabilidad con los rangos establecidos para esta variable en el modelo conceptual. Es importante tener en cuenta que, los ensayos de bombeo han sido realizados a columna completa y que este hecho, junto con el hecho de que la distribución de la columna de habilitación (porcentaje de tramo ranurado vs porcentaje de tramo ciego) puede influir en la interpretación de los ensayos de bombeo, hace que los valores de permeabilidad se consideren como valores aproximados, es decir, que en los casos en los que lo valores medidos en campo, están próximos a los rangos de permeabilidad conceptual, aunque no se ubiquen exactamente dentro del rango, se han considerado como validantes del modelo conceptual.

A continuación, se describen los resultados del análisis realizado:

- En el acuífero 1 San Felipe se han identificado 4 nuevos sondeos que disponen de ensayos de bombeo, perforados entre 2013 y 2017, con profundidades que varían entre 70 y 210 m. Estos sondeos se identifican con el nombre de obra:
    - Sondaje n°4 El Sauce.
    - Sondaje n°5 El Sauce.
    - Sondaje Koerner Nº 2.
    - Sondaje Koerner Nº 3.

Los sondeos Koerner n°3 y Koerner n°2 han sido asignados al layer 3 y los otros dos (sondaje n°4 El Sauce y sondaje n°5 El Sauce) han sido asignados al layer 2. En el caso del layer 3 los valores de permeabilidad obtenidos en los nuevos antecedentes se pueden considerar que confirman el modelo conceptual, aunque se encuentran un poco por encima del valor superior del rango. Por el contrario, los valores de permeabilidad asignados al layer 2 no confirmarían el rango de permeabilidades del modelo conceptual.

- En el acuifero2 Putaendo, se ha localizado un sondeo (Sondaje Nº2 Granalla), perforado en 2012, con una profundidad de 250 m y en el cual se efectuó una prueba de bombeo. Atendiendo a la profundidad de este sondeo y la distribución de su grilla, ha sido asignado al layer 3 en su totalidad. Con un valor de permeabilidad de 32,5 m/d, valor que confirmaría el rango de permeabilidad asignada en el modelo conceptual a este punto, que, en este caso, sería el rango de permeabilidad medio (>6-40 m/d).
- En el acuífero 4 Catemu se han identificado 8 nuevos sondeos, perforados entre 2014 y 2016, con profundidades entre 32 y 100 m, en los que se dispone de información de permeabilidad:
    - Pozo Nº4 Bustos.
    - Pozo Nº5 Bustos.
    - Pozo Nº6 Bustos.
    - Sondaje Catemu Nº3.
    - Sondaje Llay Llay 1 (Las Vegas).
    - Sondaje Llay Llay 2 (Las Vegas).
    - Sondaje Llay Llay 3 (Las Vegas).
    - Sondaje nº 1 Las Vegas.

  Los sondeos Nº4 Bustos, Nº6 Bustos, Llay Llay 2 y 3 y el sondaje nº 1 Las Vegas han sido asignados en su totalidad al layer 2. En cuatro de estos sondajes el rango de permeabilidad correspondiente en el modelo conceptual es de grado medio (>6-40 m/d) y 3 de estos sondajes (Pozo Nº4 Bustos, Pozo Nº6 Bustos y Sondaje Llay Llay 2) estarían confirmando el modelo conceptual. Estando el cuarto sondeo (Sondaje Llay Llay 3), ligeramente por debajo del valor asignado en el modelo conceptual. En sondaje nº1 Las Vegas, el rango de permeabilidad conceptual, asignado a la capa 2, corresponde al rango clasificado como muy bajo (>1,1-1 m/d). El valor obtenido en la prueba de permeabilidad se encontraría muy próximo a este valor, por lo que se considera que este sondaje, también valida el modelo conceptual. Los sondajes Pozo Nº5 Bustos y Llay Llay 1, fueron asignados a los layers 1 y 2. El sondaje Llay Llay 1, estaría confirmando el rango de permeabilidad conceptual de ambas capas, que en este caso coincide en el rango de permeabilidad media (>6-40 m/d). El sondaje Nº5 Bustos presenta un valor de permeabilidad muy

próximo al valor de permeabilidad conceptual asignado para el layer 2 en esta zona ((>6-40 m/d), por lo que se ha considerado que también confirma el modelo conceptual. Finalmente, el sondaje Catemu Nº3, quedaría asignado al layer 3, presentando la prueba de permeabilidad, un valor muy próximo al rango de permeabilidad asignada en el modelo conceptual, que en este caso sería el rango de permeabilidad baja (>1-6 m/d).

- En el sector acuífero 6 Nogales-Hijuelas, se han identificado dos nuevos sondajes con información de permeabilidad:
    - Sondaje La Peña nº1 y
    - Sondaje La Calera nº7 Planta oriente,

  Estos sondajes fueron perforados en 2017 y 2016, con una profundidad de 155 m el primero y de 88 m, el segundo. El sondaje de Sondaje La Peña nº1 ha sido asignado en su totalidad al layer 3 y sondaje La Calera nº7 Planta oriente al layer 2. En sentido estricto, ninguno de los dos sondeos estaría confirmando el rango de permeabilidades correspondiente. No obstante, en el caso del sondaje La Peña nº1 el valor de permeabilidad obtenido de la prueba de permeabilidad es muy próximo al valor superior del rango de permeabilidad conceptual, por lo que se considera que en este caso y teniendo en cuenta la particularidad indicada en párrafos anteriores sobre la ejecución de las pruebas de permeabilidad, sería aceptable la validación del modelo conceptual.

- En el acuífero 7 Quillota se han identificado tres nuevos sondajes que disponen de ensayos de bombeo, ubicados en el margen izquierdo del río Aconcagua:
    - Sondaje Las Viñas Nº1.
    - Sondaje Las Viñas Nº2.
    - Sondaje Las Viñas Nº3.

  Los tres sondeos fueron perforados en 2011 y alcanzaron una profundidad de 60 m. Atendiendo a la distribución de las cribas, los tres sondajes han sido asignados a los layers 1 y 2. Los valores promedio de permeabilidad obtenidos en las respectivas pruebas de permeabilidad, coinciden en establecer que el rango de permeabilidades asignado en el modelo conceptual para los dos layers superiores (>6-40 m/d), en este caso, son superiores a los estimados en las pruebas. No obstante, es importante destacar que los valores de permeabilidad calculados están próximos al límite inferior del rango y que, siguiendo el criterio indicado al inicio del análisis, en el caso de los sondeos Sondaje Las Viñas Nº2 y Nº3, se considera que validan el valor de permeabilidad del modelo conceptual.

- En el acuífero 8 Aconcagua-desembocadura se han identificado un total de 23 nuevos sondeos con información de permeabilidad, perforados entre 2014 y 2016, con profundidades entre 31 y 80 m. Estos sondeos se identifican con los siguientes nombres:
    - Fuente Sondaje Nº6
    - Fuente Sondaje Nº9
    - Pozo Nº 8 Manterola
    - Pozo Nº19 Manterola
    - Pozo Nº 20 Manterola
    - Pozo Nº 21 Manterola
    - Pozo Nº1 Marzan
    - Pozo Nº2 Marzan
    - Pozo Nº3 Marzan
    - Pozo Nº6 Curauma
    - Sondaje Acedo 12
    - Sondaje Acedo 13
    - Sondaje Acedo 17
    - Sondaje Acedo 18
    - Sondaje Arega 25
    - Sondaje Foster 27
    - Sondaje Foster 28
    - Sondaje Foster 29
    - Sondaje Gaete 24
    - Sondaje Maggi 14
    - Sondaje Maggi 15
    - Sondaje Manterola 10
    - Sondaje Manterola 11

  Seis de estos sondeos se han asignado en su totalidad al layer 1 (Sondajes Acedo 12 y 13, POZO nº6 Curauma, Sondeo Arega 25, Fuente Sondaje Nº9 y Sondaje Manterola 11), de los cuales cinco (Sondajes Acedo 12 y 13, Sondeo Arega 25, Fuente Sondaje Nº9 y Sondaje Manterola 11) se encuentran ubicados en un sector al que se le asignó una permeabilidad conceptual media (>6-40 m/d). El pozo Nº6 Curuama se encuentra ubicado en un área clasificado como de permeabilidad alta (>40-100 m/d).De los cinco sondeos, 3 (Sondajes Acedo 12, Fuente Sondaje Nº9 y Sondaje Manterola 11) confirman el modelo conceptual y dos (Sondajes Acedo 13, Sondeo Arega 25), presentan un valor de permeabilidad promedio muy superior al valor conceptual si bien, estos sondeos se ubican muy próximo al área del layer 1, caracterizada como de alta permeabilidad (>40-100m/d) en el tramo situado justo

aguas arriba de la desembocadura del estero Limache. Finalmente, el sexto sondaje (Pozo Nº6 Curauma), ubicado en el sector del layer 1, presentaría valores inferiores al extremo inferior del rango de permeabilidad consignado para este tramo. Adicionalmente, se han identificado 2 sondeos (Pozo Nº19 Manterola, Sondaje Manterola 10), cuya habilitación permite asignarlos al layer 2 en su totalidad, pero en este caso los valores de permeabilidad obtenidos de los ensayos de bombeo no coinciden, con las permeabilidades obtenidas en los ensayos de bombeo. Finalmente, se han identificado 2 sondeos nuevos (Fuente Sondaje Nº6 y Maggi 15), los cuales han sido asignados en su totalidad al layer 3. Los resultados obtenidos en las pruebas de ambos sondeos, confirmarían el rango de permeabilidad media asignada en el modelo conceptual para el layer 3 de este sector acuífero, si bien uno de los sondeos muestra un valor de permeabilidad ligeramente superior al límite superior del rango. En el resto de nuevos sondeos ubicados en este sector acuífero, la disposición en la vertical de la criba, no permite asignarlos a un único layer. Dado el contraste de permeabilidades entre el rango asignado al layer 2 (>0,1-1 m/d) y los rangos asignados a los layers superior e inferior, clasificados como medio − alto (>6-40 y >40-100 m/d), no se considera apropiado utilizar los resultados para determinar la validez del modelo conceptual.

En resumen, ha sido posible contar con veintitrés nuevos sondeos con información de permeabilidad, distribuidos en los acuíferos: San Felipe, Puteando, Catemu, Nogales-Hijuelas, Quillota y Aconcagua-desembocadura, de los cuales, en veintidós de los sondeos, es decir el 53% de los nuevos antecedentes, confirman los rangos de permeabilidad del modelo conceptual. Del resto de los sondeos, en solo 9, es decir en 21% de los nuevos sondeos, es posible afirmar que los valores de permeabilidad obtenidos en los ensayos, no confirman el modelo conceptual. En el resto de los casos, no es posible asignar los valores obtenidos en los ensayos a un único layer, y el contraste de permeabilidades entre las capas, hace que no sea correcto contrastar la información de los ensayos con el modelo conceptual.

Tabla 4-2: Resumen de nuevos antecedentes de permeabilidad

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (m)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Transmisividad (m^2/d)	Permeabilidad (m/d)	Capa asignada	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C1	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C2	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C3	Confirma Modelo conceptual
1- San Felipe	VPC050231	Sondaje Koerner Nº 2	2017	210	6.365.009	348.356	12.400	176,7	L3			>40-100	Si
	VPC050231	Sondaje Koerner Nº3	2017	180	6.365.014	348.216	12.400	172,4	L3			>40-100	Si
	s/d	Sondaje Nº4 El Sauce	2013	70	6.366.497	355.139	121,22	5,3	L2		>40-100		No
	VPC050224	Sondaje Nº5 El Sauce	2013	80	6.366.637	355.102	25.608	556,7	L2		>40-100		No
2-Puteando	ND05034389	Sondaje Nº2 Granalla	2012	250	6.389.083	338.316	3.368	32,5	L3			>6-40	Si
4-Catemu	VPC050331	Pozo Nº4 Bustos	2016	100	6.366.008	312.992	1054	16,7	L2		>6-40		Si
	VPC050331	Pozo Nº5 Bustos	2016	100	6.366.158	313.030	633	9	L1-L2	>40-100	>6-40		Si
	VPC050331	Pozo Nº6 Bustos	2016	100	6.366.004	313.101	2.874	13,3	L2		>6-40		Si
	VPC050339	SONDAJE CATEMU Nº3	2016	32	6.371.986	316.320	96,53	8,4	L3			>1-6	Si
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 1 (LAS VEGAS)	2015	90	6.366.264	313.086	461	7,9	L1-L2	>6-40	>6-40		Si
	VPC050331	SONDAJE LLAY LLAY 2 (LAS VEGAS)	2015	100	6.366.080	313.029	322	5,2	L2		>6-40		Si
	VPC0505268	SONDAJE LLAY LLAY 3 (LAS VEGAS)	2015	100	6.365.926	312.962	70	1	L2		>6-40		No
	s/d	sondaje nº1 Las Vegas	2014	100	6.365.670	311.559	298,8	4,1	L2		>0,1-1		Si
6- Nogales-Hijuelas	VPC0504297	Sondaje La Peña Nº1	2017	155	6.376.385	293.793	400	4,4	L3			>0,1-1	Si
	s/d	SONDAJE LA CALERA Nº7 PLANTA ORIENTE	2016	88	6.370.359	295.398	21	0,4	L2		>6-40		No
7-Quillota	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº1	2011	60	6.358.391	287.749	129,6	0,7	L1-L2	>6-40	>6-40		No
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº2	2011	60	6.358.278	287.928	34,992	4,6	L1-L2	>6-40	>6-40		Si
	VPC0504106	Sondaje Las Viñas Nº3	2011	60	6.358.174	288.110	205,632	3,6	L1-L2	>6-40	>6-40		Si
8-Aconcagua-desembocadura	s/d	Fuente Sondaje Nº6	2014	47	6.354.239	267.861	945	63	L3			>6-40	Si
	s/d	Fuente Sondaje Nº9	2014	40	6,354,101	271.134	385	18,3	L1	>6-40			Si

Acuífero	Número de expediente	Nombre del pozo	Año de construcción	Profundidad (m)	Utm Norte WGS 84	Utm Este WGS 84	Transmisividad (m^2/d)	Permeabilidad (m/d)	Capa asignada	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C1	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C2	Rango Permeabilidad Modelo conceptual C3	Confirma Modelo conceptual
	VPC0505268	Pozo Nº 8 Manterola	2015	40	6.354.463	270.019	487	26,7	L1-L2	>6-40	>0,1-1		Si
	s/d	Pozo Nº 20 Manterola	2015	80	6.354.684	270.033	86,79	1,4	L1-L2-L3	>6-40	>0,1-1	>6-40	-
	s/d	Pozo Nº 21 Manterola	2015	70	6.354.590	270.167	36,55	0,8	L1-L2	>6-40	>0,1-1		-
	s/d	Pozo Nº1 Marzan	2016	70	6.354.643	274.071	119	25,8	L1-L2	>40-100	>0,1-1	>1-6	-
	VPC0505268	Pozo Nº19 Manterola	2015	60	6.354.628	269.819	254,24	6,5	L2		>0,1-1		No
	s/d	Pozo Nº2 Marzan	2016	70	6.354.491	274.089	6	0,2	L1-L2-L3	>40-100	>0,1-1	>1-6	-
	s/d	Pozo Nº3 Marzan	2016	70	6.354.668	273.900	35	0,9	L1-L2	>40-100	>0,1-1		-
	s/d	Pozo Nº6 Curauma	2016	57,5	6.354.704	273.721	440	12,9	L1	>40-100			No
	VPC0505267	SONDAJE ACEDO 12	2014	49	6.354.152	270.894	686,4	35,2	L1	>6-40			Si
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 13	2014	31	6.354.275	270.935	13.554,5	630,4	L1	>6-40			No
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 17	2015	60	6.354.009	270.595	967,33	30,1	L1-L2	>6-40	>0,1-1		Si
	VPC0505268	SONDAJE ACEDO 18	2015	57	6.354.005	270.842	780,48	21,1	L1-L2	>6-40	>0,1-1		Si
	VPC0505268	SONDAJE AREGA 25	2015	53	6.354.018	270.948	2.164,8	108,2	L1	>6-40			No
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 27	2015	63	6.354.441	272.043	255,48	8,2	L1-L2	>40-100	>0,1-1		-
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 28	2015	70	6.354.440	271.932	460,47	11	L1-L2	>40-100	>0,1-1		-
	VPC0505268	SONDAJE FOSTER 29	2015	62	6.354.354	272.308	81,44	2,6	L1-L2	>40-100	>0,1-1		-
	VPC0505268	SONDAJE GAETE 24	2015	80	6.354.155	270.292	1.195,5	23	L1-L2	>6-40	>0,1-1		Si
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 14	2014	52	6.354.378	268.493	922,72	46,1	L2-L3		>0,1-1	>6-40	-
	VPC0505267	SONDAJE MAGGI 15	2014	50	6.354.457	268.366	318,4	22,7	L3			>6-40	Si
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 10	2014	50	6.354.433	269.833	113	13	L2		>0,1-1		No
	VPC0505268	SONDAJE MANTEROLA 11	2014	48	6.354.435	270.125	583,38	37,6	L1	>6-40			Si

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 PIEZOMETRÍA

Con ocasión del presente estudio, utilizando los mismos registros oficiales en pozos de monitoreo que el estudio de la DOH de 2009 (Ref. 13), se actualizó el mapa de igual altura piezométrica, en este caso representativo de la última temporada de riego. El mapa de isopiezas actualizado es representativo del acuífero libre que se anida básicamente en la Unidad Hidrogeológica B (Figura 4-4). Las presentes curvas equipotenciales del nivel de agua subterránea fueron desarrolladas manualmente y se ajustan al contexto hidrogeológico del valle, lo que le confiere continuidad y sentido al escurrimiento, teniendo en cuenta, entre otros, la superficie de terreno, de forma que los sectores de afloramiento de la napa sean consistentes con el conocimiento del valle. El agua subterránea escurre en forma paralela a la dirección del flujo principal del valle (ríos Aconcagua y Putaendo), desde las curvas equipotenciales de mayor energía a las de menor energía.

En la Figura 4-4 se puede observar que la separación de las curvas equipotenciales trazadas es de 10 m, partiendo desde aguas arriba con la equipotencial de 680 msnm hasta la curva de 10 msnm en la parte baja. En el sector de la desembocadura se han agregado adicionalmente las curvas de 5 y 15 msnm. No se trazaron curvas en las subcuencas laterales donde la información básica es insuficiente.

Con la actualización realizada en general se confirma el trabajo realizado por la DOH en 2009, fundamentalmente no varían las equipotenciales de la napa subterránea en la II y III sección de riego. La escala espacial utilizada no permite dar cuenta en general de los descensos menores que se observan a partir del año 2010 en dichas secciones, en cambio, donde si hay diferencias importantes es en la cuarta y primera sección de riego donde los niveles se han profundizado hasta poco más de 5 y 30 m respectivamente. La forma de las isopiezas se ha modificado substancialmente entre Los Andes y San Felipe (acuífero 1) con el desarrollo de un cono de depresión al surponiente del río Aconcagua debido a la gran cantidad de pozos que se reconocen en esa zona.

También en general se confirma el comportamiento del río Aconcagua. El río Aconcagua es el mayor curso superficial de la cuenca, y a lo largo de su trazado muestra un comportamiento variable en la interrelación con la napa subterránea.

La bibliografía disponible indica que el río dentro de la primera sección de riego del valle recarga significativamente al acuífero, tal como se desprende de las distintas corridas de aforos efectuadas con ocasión del estudio Ingendesa de 1998 (Ref. 16), las que muestran infiltración del río de hasta 12 m^3/s para este tramo (Enero de 1997). La permeabilidad de los materiales de relleno que conforman la cubeta sedimentaria favorece en general la infiltración, que se vuelve efectiva en la mayor parte del tramo, dada la importante profundidad a la que ocurre el agua subterránea. El acuífero está desconectado del río Aconcagua en la mayor parte de la primera sección de riego.

Desde aproximadamente la salida de la primera sección de riego se establece un importante grado de conexión entre el río Aconcagua y el acuífero que se mantiene hasta la parte más baja del valle. Partiendo con la segunda sección de riego del valle, la evidencia histórica existente (estudios de pérdidas y recuperaciones) muestra consistentemente al interior de ésta un río bastante ganador, con un caudal de afloramiento en el río de entre 7 y 8 m^3/s (Ref. 16).

La napa continúa escurriendo en conexión con el río Aconcagua en las dos últimas secciones (tercera y cuarta), alternándose tramos de río de pérdidas y recuperaciones, resultando de esta manera que la magnitud del intercambio neto entre el acuífero y el río en toda la longitud de su cauce no es en términos relativos importante (en contraste con las dos primeras secciones de riego).

270000 285000 300000 315000 330000 345000

6390000 6375000 6360000 6345000

OCEANO PACÍFICO

Región Valparaíso

Región Metropolitana de Santiago

Putaendo

3240 7110 B29
236.06 mnsm

3240 7110 B27
223.19 mnsm

3240 7110 B28
211.69 mnsm

3240 7110 D39
211.49 mnsm

3240 7110 D38
180.32 mnsm

3240 7110 D27
160.71 mnsm

3250 7110 B36
139.75 mnsm

3250 7110 B28
129.68 mnsm

3240 7100 C13
245.77 mnsm

3240 7100 C15
255.87 mnsm

3240 7040 A3
588.19 mnsm

3240 7040 B8
600.12 mnsm

3240 7040 C1
520.34 mnsm

3240 7050 D2
489.09 mnsm

3240 7030 C6
661.98 mnsm

3240 7040 D13
636.88 mnsm

3240 7040 D10
659.3 mnsm

3240 7040 D9
656.42 mnsm

3240 7050 C8
380.03 mnsm

3240 7100 D9
326.2 mnsm

3250 7100 A15
290.22 mnsm

3250 7120 D13
40.97 mnsm

3250 7120 C6
-7.31 mnsm

3250 7110 B34
112.78 mnsm

3250 7110 B37
106.01 mnsm

3250 7110 A22
94.34 mnsm

3250 7110 A21
94.34 mnsm

3250 7110 C19
65.67 mnsm

3250-7120 D12
20.47 mnsm

3250 7120 C71
14.6 mnsm

3250 7120 C69
11.45 mnsm

3250 7120 C38
4.15 mnsm

3250 7120 C67
1.02 mnsm

3250 7120 C73
6.17 mnsm

Estero Comex
Estero de Catemu
Estero El Carretón
Estero La Laja
Estero del Sauino
Estero Pocuro
Estero Las Chinchas
Estero Los Loros
Estero Las Palmas
Estero Ulmacha
Estero Lliullín
Estero de La Vida
Río Putaendo
Río Putaendo Alto
Estero Las Minitas

LEYENDA

- Niveles disponibles para el análisis
- Curvas
- Flujo
- Red hidrográfica
- Límite modelo
- Área de estudio

0 7.5 15 km

1:275,000

Gobierno de Chile
gob.cl

Mapa Piezométrico de la Cuenca del Aconcagua
(Período de riego 2018-2019)

PREP.: E.A.G.	FECHA: Junio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-4
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01		

Path: \\clsci200serv01\22-Projects\705_DCA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-4_Mapa Piezométrico Marzo2019.mxd

4.1.9 PERFILES HIDROGEOLÓGICOS

A continuación, se describen las condiciones hidrogeológicas de la cuenca del Aconcagua representadas a través de 16 perfiles, los cuales se han hecho coincidir con las ubicaciones que cuentan con mayor cantidad de información geológica. Los perfiles incorporan, como referencia la superficie del basamento considerada hasta el momento en el modelo conceptual y la propuesta de modificación que propone WSP, en base a los nuevos antecedentes recopilados en el marco del presente estudio.

Así mismo, en los perfiles creados se ha incorporado el nivel piezométrico obtenido de la extrapolación de la superficie piezométrica actualizada a 2019.

En la siguiente Tabla se india la distribución de los perfiles realizados en los diferentes acuíferos administrativos.

Tabla 4-3: Distribución de perfiles en los acuíferos administrativos.

Acuífero Administrativo	Perfiles
1 San Felipe	Perfil A Transversal
	Perfil B Longitudinal
2 Putaendo	Perfil C Longitudinal
	Perfil D Transversal
	Perfil E Transversal
3 Panquehue	Perfil F Longitudinal
4 Catemu	
	Perfil G Transversal
6 Nogales-Hijuelas	Perfil H Longitudinal
	Perfil I Longitudinal
7 Quillota	Perfil J Longitudinal
	Perfil K Longitudinal
8 Aconcagua-Desembocadura	Perfil L Longitudinal
	Perfil M Transversal
	Perfil N Transversal
9 Limache	Perfil O Transversal
	Perfil P Longitudinal

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen los perfiles:

Perfil A-A´

El perfil A-A′ (Figura 4-5) refleja la hidrogeología en el centro del sector Acuífero 1, transversal al valle del río Aconcagua, desde el estero Pucuro al lado sur hasta el estero San Francisco al lado norte. En la parte sur del perfil se puede observar la presencia de la UH A con espesores hasta aproximadamente 40 m en la zona de los sondajes Rinconada. En el sondaje Rinconada 849-A, la unidad se caracteriza principalmente por la presencia de una alta porción de bolones que no provoca un confinamiento del acuífero principal que se albergue en la Unidad B. La Unidad B alcanza espesores de aproximadamente 50 m en la zona de Rinconada. La descripción litológica del sondaje Rinconada 849-A, sin embargo, indica una elevada porción de arcilla y limos en las gravas y arenas de esta unidad acuífera. La UH D que se presenta como limo y arena arcillosa en la zona de Rinconada tiene un espesor de aproximadamente 80 m y subyace a la unidad acuífera.

Hacia el centro del perfil, en el entorno del sondaje Miraflores 1, que a la vez corresponde a centro de la depresión del basamento rocoso en el sector Acuífero 1, el espesor de la UH B se mantiene relativamente parejo a 50 m, mientras la UH D aumenta su espesor y alcanza aproximadamente 170 m. A partir de la zona del río Aconcagua, desaparece la Unidad A y la Unidad B presenta un aumento significativo de su espesor a aproximadamente 95 m en el sondaje El Llano Chepical.

Al límite norte del perfil, en la zona del estero San Francisco, la UH B engrana lateralmente con la Unidad C que se presenta en el valle del río Aconcagua sólo en esta zona. Esta unidad alcanza espesores hasta 50 m, su granulometría heterogénea, y una elevada porción de material fino le entregan una media a baja permeabilidad a la unidad.

En términos generales, el centro del sector Acuífero 1, representado en el perfil B, muestra condiciones hidráulicas medias a buenas. El espesor alto de los depósitos sedimentarios en esta zona sin embargo se debe principalmente a la Unidad D, por lo que el espesor del acuífero no supera las otras zonas dentro del mismo sector Acuífero 1. Las permeabilidades estimadas a partir de las pruebas de bombeo en los pozos Rinconada 849-A y Miraflores 1 corresponden a valores moderadas de 42 y 15 m/d respectivamente para la unidad acuífera B. Los niveles piezométricos disponibles en esta zona del sector acuífero muestran al lado sur del río Aconcagua que el nivel se encuentra levemente por debajo del contacto entre las Unidades A y B, indicando que la Unidad A se encuentra seca en esta zona. En el centro del perfil cerca del sondaje Miraflores la profundidad del nivel piezométrico se encuentra entorno a los 80 m, por lo que se espera un espesor saturado del acuífero de aproximadamente 50 m. Al lado norte del río Aconcagua también se espera el nivel piezométrico a profundidades entorno a los 80 m.

En el sector central del perfil, se ha sugerido una ligera modificación de la profundidad del zócalo, la cual se deriva de la información proporcionada por los sondeos que se proyectan en el perfil B-B′, tal y como se explica en el próximo apartado.

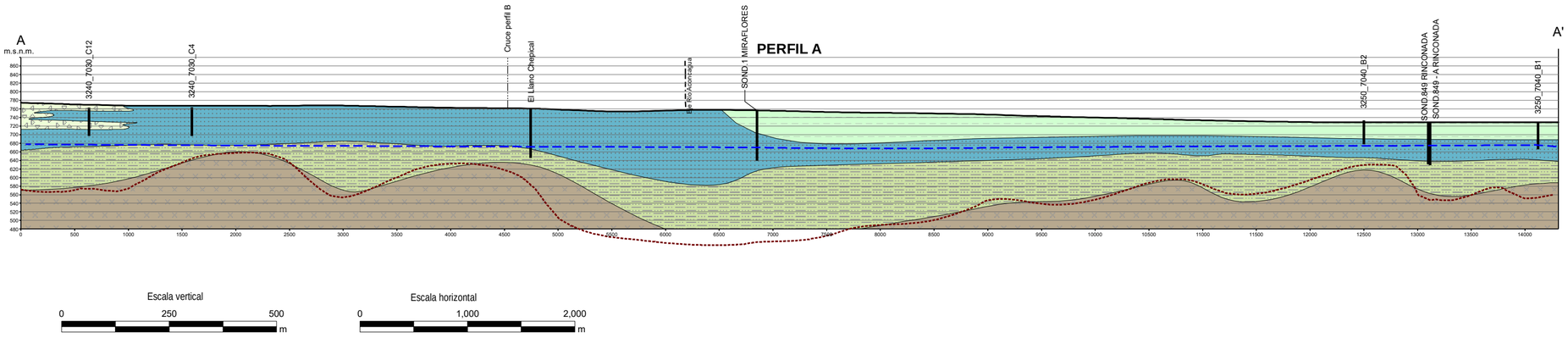
Perfil B-B´

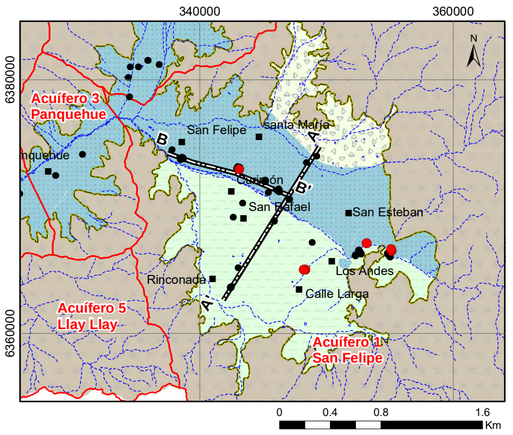
Este perfil sigue la dirección de flujo del río Aconcagua desde la parte central del sector Acuífero 1 hasta la confluencia con el estero Pocuro (Figura 4-5).

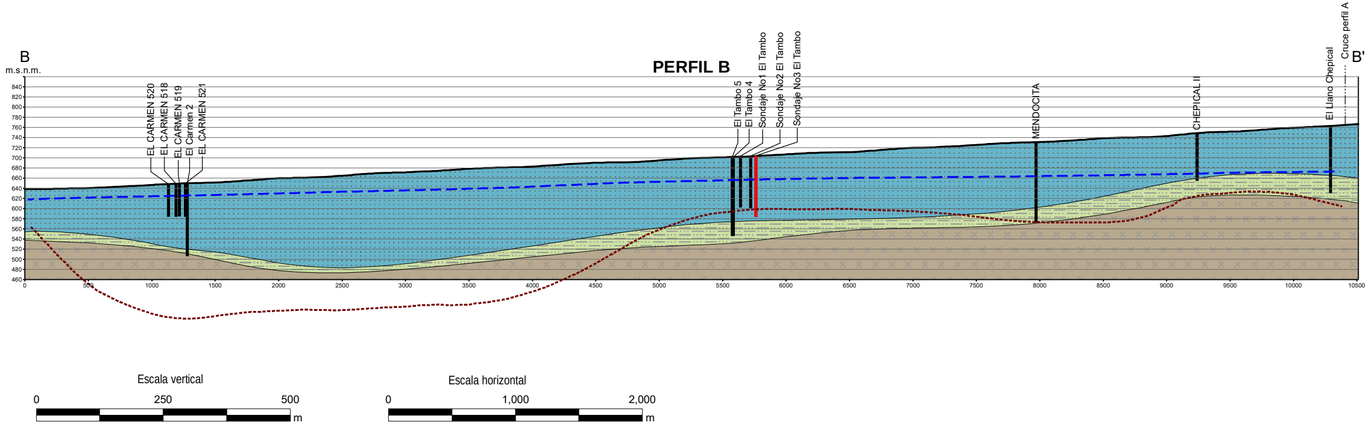
A lo largo del perfil se puede observar la presencia de la unidad acuífera B sobreyaciendo a la unidad D. El espesor de la unidad B se encuentra entre 95 y 160 m presentando su valor máximo en la zona de El Tambo. El espesor de la unidad D se reduce gradualmente de oriente a poniente de 50 m en la zona de El Chepical, a 10 m en la zona entre los sondajes El Tambo y El Carmen, para mantenerse con este espesor hasta la parte final del perfil.

En general se pueden constatar buenas condiciones hidráulicas al acuífero a lo largo del perfil. Las permeabilidades disponibles a partir de las pruebas de bombeo en los pozos del sector se encuentran en un rango entre 14 y 203 m/d. Considerando sin embargo los niveles piezométricos, se puede observar que el espesor saturado del acuífero se encuentra limitado en la parte oriente del perfil a unos 10 m y aumenta hasta alcanzar 100 m en la parte final en la zona de El Carmen.

En el área central del perfil B-B′ se ha propuesto una modificación de la ubicación del basamento en profundidad, en base a la información proporcionada por los sondajes El Tambo Nº 3, 4 y 5, ya que la columna litológica de estos sondeos no se atraviesa el basamento. Por el contrario, en el extremo occidental del perfil B-B′, se observa el fenómeno contrario, ya que el sondeo de el Carmen N521 parece alcanzar la roca del zócalo en profundidad.







SIMBOLOGIA

Unidades hidrogeológicas

- Unidad A
- Unidad B
- Unidad C
- Unidad D
- Basamento Rocoso

LEYENDA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

LEYENDA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Gobierno de Chile
gob.cl

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero San Felipe

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-5
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\ctec200serv01\22 Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_CIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-5_Perfiles hidrogeológicos sector acuífero San Felipe.mxd

Perfil C-C´

El perfil C-C´ (Figura 4-6) presenta las unidades hidrogeológicas desde las captaciones correspondientes a los pozos Granalla No.1 y 2 hasta cerca de la confluencia del río Putaendo con el río Aconcagua. A lo largo del perfil se reconoce la Unidad acuífera B y la Unidad D, de características de acuitardo, que juntos representan los depósitos sedimentarios en este valle, igual que en el valle del río Aconcagua.

La UH B presenta espesores altos de aproximadamente 200 m en la parte norte del perfil en el lugar de los sondajes Granalla que se reducen a 80 m en la parte final del perfil.

La litología del sondaje Granalla No. 2 muestra para la Unidad B arenas gravosas con una porción variable de material fino. A partir de 205 m de profundidad se observa en los sedimentos un aumento de arcilla, superando los 50% por lo que se asigna los sedimentos hasta el fondo del sondaje a la Unidad D.

Se dispone de información piezométrica actualizada únicamente en el tramo final del acuífero Pateando, correspondiente a la parte final del perfil C, donde se observa que la profundidad de los niveles es de aproximadamente 40 m. El espesor saturado en esta zona se encuentra entre 130 y 200 m.

Respecto a la ubicación del basamento no se ha considerado ninguna modificación.

Perfil D-D´

En el perfil D-D´ (Figura 4-6) transversal al valle se pueden observar los mayores espesores de la Unidad B en el centro del valle entre los dos cauces superficiales y una disminución de su espesor hacia los bordes del valle.

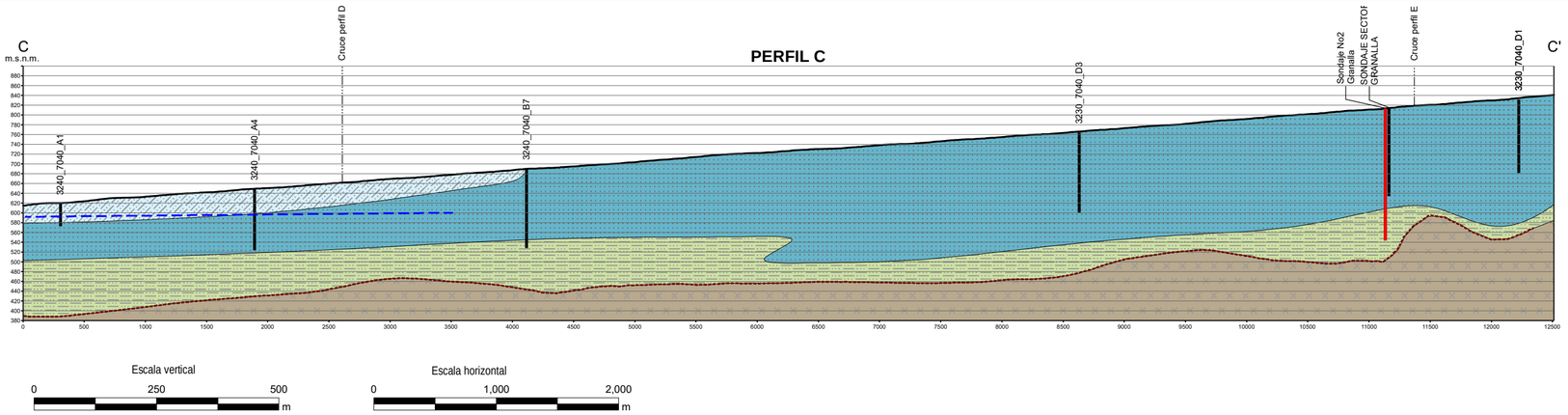
En la parte final del valle Putaendo, se indica la existencia de una subcapa superficial de la Unidad B con mayores porcentajes de finos con un espesor de aproximadamente 40 m. Si esta subcapa se encuentra saturada localmente, la presencia de estos finos puede reducir la permeabilidad del acuífero, en lugares donde esta subcapa se encuentra localmente saturada.

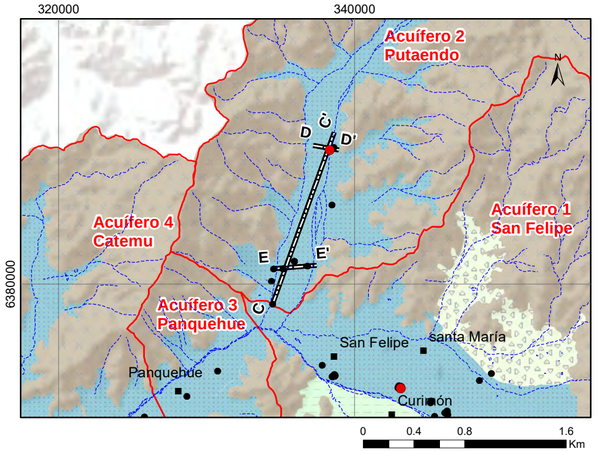
En esta sección se ha propuesto una ligera modificación de la profundidad del basamento con respecto a la superficie del basamento elaborada en el estudio de Dictuc-2009, deriva de la información proporcionada por el sondeo Nº 2 Granalla.

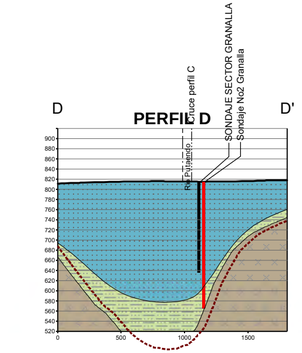
Perfil E-E´

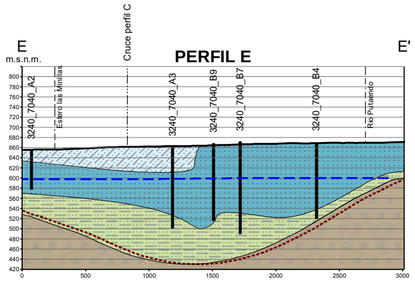
En el perfil E-E´ (Figura 4-6) se puede apreciar la extensión lateral de esta subcapa alcanzando aproximadamente 1,5 km. En el perfil se observa además el sondaje 3240 7040 B4 que define el basamento a una profundidad de aproximadamente 130 m, siendo el único sondaje alcanzando el basamento en el sector acuífero Putaendo.

En resumen, dada la permeabilidad media a alta con valores entre 33 y 192 m/d estimada a partir de las pruebas de bombeo en los pozos Granalla y una potencia del acuífero saturada que varía entre 70 y 160 m, aproximadamente, se espera generalmente moderadas a buenas condiciones hidrogeológicas del en este sector.











'ENDA

Unidades hidrogeológicas

- Unidad B (con mayor material fino)
- Unidad B
- Unidad D
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Putaendo

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-6
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\cis\200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\x00_WIP\x30_GIS_CAD\x31_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-6_Perfiles hidrogeológicos sector acuiferoPutaendo.mxd

Perfil F-F´

El perfil F-F´ se extiende desde el sector acuífero Panquehue hasta cerca de la confluencia entre el río Aconcagua y el estero de Catemu (Figura 4-7). A lo largo del perfil se observa la continuación de la sucesión de las unidades B y D sobreyaciendo al basamento, situación similar que en la salida del sector acuífero San Felipe. Desde el sector Panquehue hasta la entrada al acuífero Catemu se esperan espesores relativamente homogéneos de aproximadamente 50 m para la Unidad B y aproximadamente 140 m para la Unidad D.

Los sondajes 3240 7050 D4, 3240 7050 C10 y 3240 7050 C13 que alcanzan atravesar la Unidad B indican primero un leve aumento del espesor de la unidad a 70 m y después una reducción a 40 m aproximadamente. Los niveles piezométricos se encuentran a una profundidad inferior a 5 m en todo el perfil. El acuífero presenta una granulometría básicamente arenosa, con fracciones subordinadas de gravas y ripios y una matriz con escasos finos. Los sedimentos de la Unidad B, experimentan leves aumentos de finos en su fracción matricial hacia los flancos del valle; esto se produce debido a los aportes de las vertientes, que se presentan cubiertas por coluvios. Estos materiales, a su vez, forman depósitos tipo escombreras de una granulometría bastante heterogénea, de manera que en las áreas de engrane con los sedimentos fluviales (Unidad B), aportan finos que pueden disminuir la permeabilidad del acuífero localmente.

La estratigrafía del relleno en el valle del estero de Catemu está formada por una alternancia de sedimentos finos a medios del rango arenas con matriz abundante de limo arcilla y depósitos gruesos del tipo gravas ripiosas con fracción arenosa subordinada. Estos últimos provienen de la acción depositacional del estero Catemu, mientras que los primeros se originan del aporte de los cursos ocasionales de escurrimiento superficial en las áreas de tributación. Granulométricamente, los detritos gruesos del valle Catemu se pueden correlacionar a la Unidad B, sin llevar en consideración a la génesis de estos rellenos. La información litológica disponible del sondaje Catemu No. 3 indica hasta su profundidad final de 32 m una porción alta de material fino con dos capas de arena gravosa de espesores de aproximadamente 5 m.

La permeabilidad disponible, a partir de las pruebas de bombeo, indican un valor promedio, relativamente bajo del orden de 8 m/d.

La información de litología disponible, no modifica la ubicación del basamento rocoso en profundidad.

Perfil G-G′

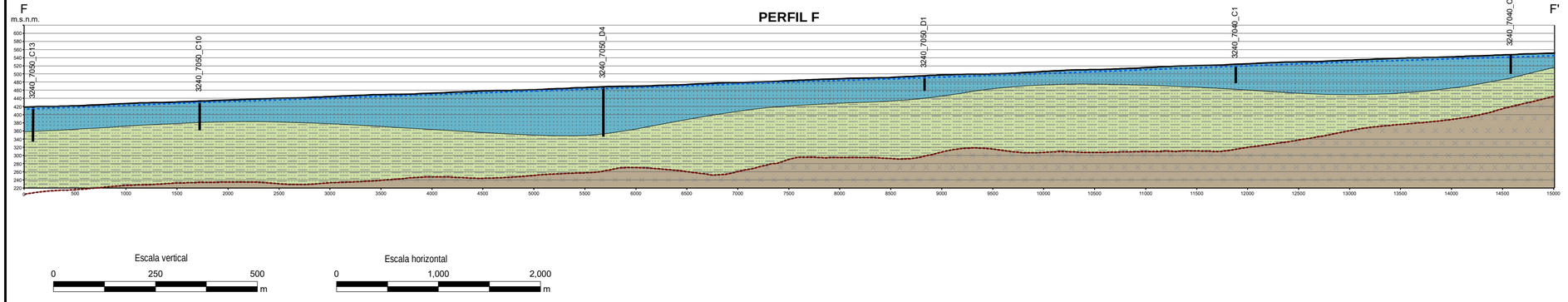
El perfil G-G´ corresponde a un perfil transversal al valle del río Aconcagua en la zona Las Vegas (Figura 4-7). El perfil se ha elaborado a partir de la descripción litológica de los pozos Las Vegas y Bustos al lado oriente y el sondaje Planta Las Vegas al lado poniente del río Aconcagua. En la descripción de los sondajes Las Vegas No 1 a No 3 se identificó en la parte final un fuerte aumento de material fino dentro de los sedimentos que se podría indicar el contacto entre la Unidad B y la Unidad D.

Lo anterior sugiere una potencia del acuífero de la Unidad B de aproximadamente 90 m al lado oriente del río Aconcagua. En el sondaje Planta Las Vegas no se observó dicho aumento de material fino por lo que se interpretó que este sondaje no llegó al fondo del acuífero de la Unidad B. Para la unidad D se estima que su espesor puede superar los 100 m en la zona de Las Vegas.

Dada la potencia alta de la unidad acuífera se esperan generalmente buenas condiciones hidrogeológicas en zona de los pozos Bustos y Las Vegas, sin embargo, las permeabilidades estimadas a partir de las pruebas de bombeo en estos pozos se encuentran en un rango bajo para la Unidad B con valores entre 1 y 17 m/d.

Los niveles piezométricos se encuentran a una profundidad inferior a 5 m, lo que supone un espesor saturado del orden de 220 m

Los nuevos sondeos en esta zona, no alcanzan el basamento, pero en todos ellos se confirma que el basamento se encuentra a una profundidad superior a los 100 m.

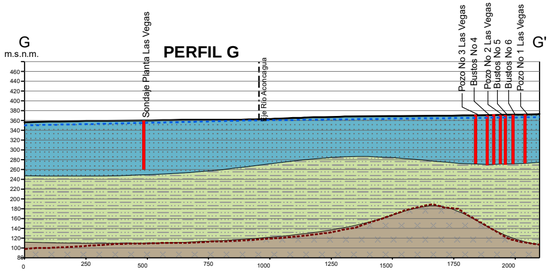


Escala vertical

0 250 500 m

Escala horizontal

0 1,000 2,000 m

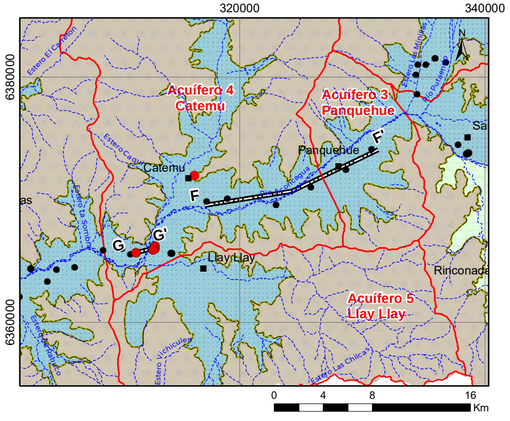


Escala vertical

250 500 m

Escala horizontal

0 500 1,000 m



LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Unidad B
- Unidad D
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Gobierno de Chile

gob.cl

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Catemu

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-7
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01		

Path: \\clsc1200serv01\22.Projects\705_DGA\MOP0023\400_WPR\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-7_Perfil hidrogeológico acuífero Catemu.mxd

Perfil H-H´

La situación hidrogeológica en esta parte del valle del río Aconcagua, donde los niveles piezométricos se encuentran principalmente inferiores a los 5 m de la superficie, se describe principalmente a través de la información de los pozos de Hijuelas, Pachacama, Artificio y Oriente.

En la parte oriente del perfil (Figura 4-8) se considera además el sondaje 3250 7100 B3, que indica una profundidad del basamento de aproximadamente 200 m.

Hacia el poniente en la zona de los pozos Torrejón del predio de las Hijuelas se estima una profundidad del basamento de aproximadamente 170 m. Entre los depósitos sedimentarios que sobreyacen el basamento se espera un espesor de la unidad acuífera (Unidad B) de aproximadamente 60 m y un espesor de la Unidad D de 110 m. Después, hacia los pozos Pachacama, las condiciones de los sedimentos para la extracción de agua subterránea se empeoran.

Por un lado, se espera un aumento de material fino en la Unidad B en el sector de la desembocadura del estero Rabuco que contribuye al río Aconcagua desde el lado sur cerca de los pozos Pachacama. Por otro lado, se observa un levantamiento del basamento, llegando a los bordes del valle, que reduce el espesor de los depósitos sedimentarios en la zona de Pachacama. La presencia del basamento en la zona está confirmada en el sondaje Pachacama No. 7 a una profundidad de 52 m, mientras que en los otros pozos que tienen la misma profundidad de 60 m, sin embargo, no se ha alcanzado el basamento.

Para la Unidad B, los pozos indican un espesor entre 30 y 40 m. Dentro de la serie de pozos de Pachacama, se puede observar un aumento de caudal de operación en la dirección de flujo del río Aconcagua, indicando las mejores condiciones hidrogeológicas hacia el norponiente del sector.

Hacia los pozos del recinto oriente, en la parte final del perfil, se puede observar de nuevo un aumento del espesor de los depósitos sedimentarios a aproximadamente 150 m, de los cuales 90 m corresponden a la Unidad B y los 60 m restantes a la Unidad D.

A pesar del aumento del espesor de la unidad acuífera B hacia los pozos de Artificio y Oriente, las permeabilidades no indican mejores condiciones hidrogeológicas en esta zona. Las permeabilidades observadas en la zona de Pachacama se encuentran principalmente en un rango de valores moderado entre 13 y 47 m/d, mientras que en la zona de los pozos Artificio y Oriente las pruebas hidráulicas indican valores bajos principalmente entre 1 y 7 m/d.

En todo el perfil, el nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie, con profundidades inferiores a los 5 m. Por otro lado, la información litológica de los sondeos confirma la ubicación, en profundidad, del basamento.

Perfil I-I´

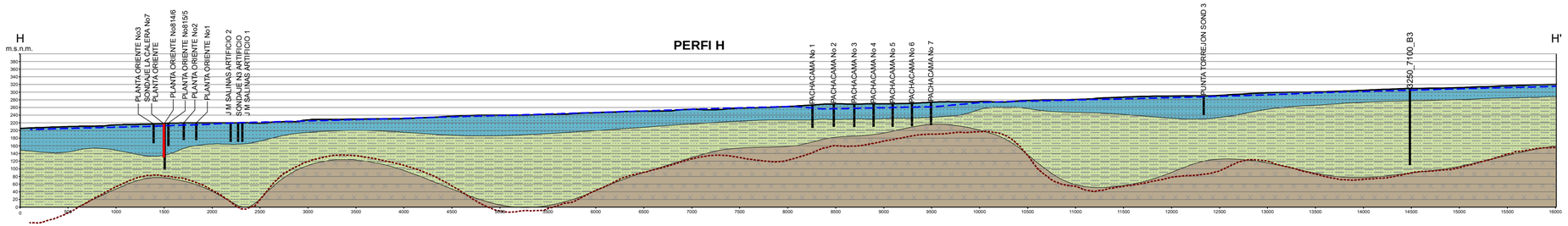
Este perfil representa las condiciones hidrogeológicas a lo largo del valle del estero Los Litres (Figura 4-8). Los detritos emplazados en este valle se conforman por estrato arcillo-limosos con una fracción subordinada de arenas que pueden alcanzar el rango de gravas finas.

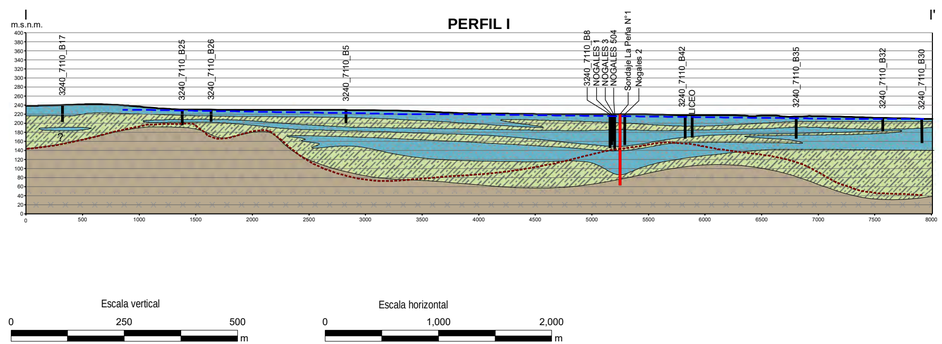
A partir del perfil, se han reconocido dos a tres niveles de gravas ripiosas con abundante matriz arenosa, los cuales presentan buena continuidad en sentido longitudinal al valle, exhibiendo un notorio aumento de espesores en el sector terminal del valle.

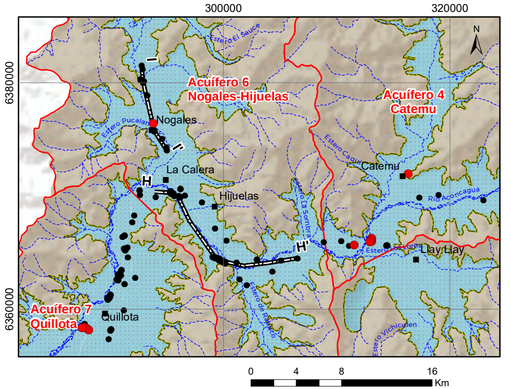
En los sondajes Nogales se observan estos niveles de grava entre aproximadamente 35 y 70 m y 80 y 135 m. Estas capas de gravas arenosas podrían presentar características de un acuífero, similares a las de la Unidad B en el valle del río Aconcagua.

Los caudales bajos observados en estos pozos de aproximadamente 10 l/s, sin embargo, indican también una mayor porción de material fino en las gravas que reduce la permeabilidad de las capas con valores entre 4 y 7 m/d, estimados a partir de las pruebas de bombeo de los pozos. Los niveles piezométricos observados en el valle del estero Los Litres no superan los 10 m de profundidad.

El nivel piezométrico se encuentra a una profundidad inferior a 5 m en toda la sección. La Información del sondeo La Peña nº1, confirma la profundidad del basamento a 146 m de la superficie.







LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Unidad B
- Gravas
- Sedimentos finos
- Unidad D
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Gobierno de Chile

gob.cl

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Nogales e Hijuelas

PREP.:	E.A.G.	FECHA:	Julio 2019	PROYECTO:	Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua
DIB.:	J.R.G.	N° PROY.:	MOP0023	CLIENTE:	Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación
APR.:	E.A.G.	N° TAREA:	01		

Figura 4-8

Path: \\clsc200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIPA\50_GIS_CAD\ArcSI_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-8_Perfil hidrogeológico acuífero Hijuelas.mxd

Perfil J-J´

Este perfil hidrogeológico resume las condiciones hidrogeológicas en la vertiente oeste del valle del río Aconcagua del sector, donde se encuentran los pozos de Sargento Aldea, Angamos, Charravata, Covarrubias, Parrones y Las Viñas (Figura 4-9)

En el perfil se puede apreciar la continuación de las Unidades B y D sobreyaciendo al basamento rocoso, ya observado aguas arriba del valle en los sectores acuíferos anteriores.

La unidad acuífera B, que se encuentra saturada a partir de los 5 metros de profundidad aproximadamente, presenta a lo largo del perfil espesores que se limitan principalmente a valores entre 40 y 50 m, a excepción de la zona del predio Alfaro donde la unidad muestra un aumento a 90 m.

La profundidad del basamento está confirmada en el sondaje Las Viñas 4 al final del perfil con 71 m. Se observa a lo largo del perfil profundidades del basamento más altas de 130 m en la parte norte y central del perfil y aproximadamente 80 m en las zonas de los pozos de Parrones y Las Viñas.

El nivel piezométrico se mantiene en este sector del acuífero Quillota a profundidades inferiores a 5 m.

Perfil K-K´

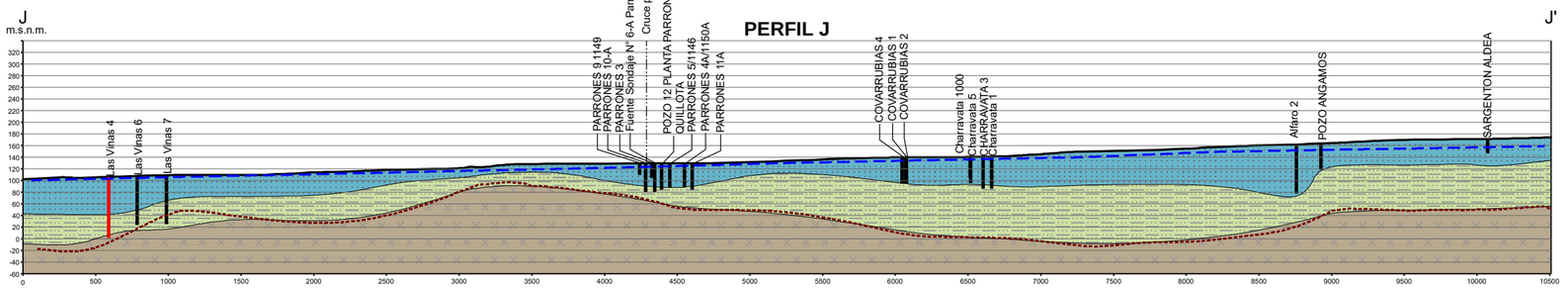
El perfil K-K´ visualiza las unidades hidrogeológicas desde el centro del valle del río de Aconcagua hasta el cauce actual al borde oeste del valle a la altura de los pozos de Parrones (Figura 4-9).

Se puede observar en el perfil un leve aumento del espesor de la unidad acuífera B de 40 a 50 m hacia el centro del valle. El principal aumento de los espesores de los depósitos sedimentarios se debe sin embargo a la Unidad D, cuyas potencias aumentan de aproximadamente 40 a 110 m.

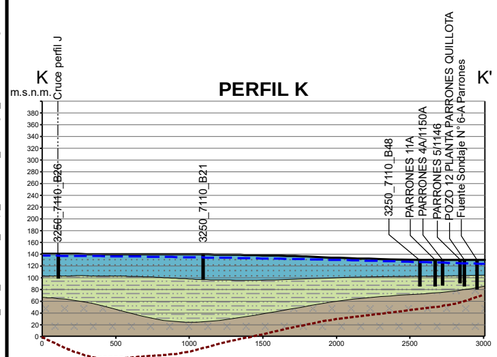
Los pozos en el sector acuífero Quillota presentan caudales que se encuentran principalmente entre 5 y 20 l/s y permeabilidades inferiores a 30 m/d. En comparación con sectores acuíferos más arriba en el valle del río Aconcagua, se ha registrado en este sector acuífero una disminución de la granulometría en la Unidad B con una mayor porción de arena frente a la de grava. Considerando un espesor saturado entre 40 y 50 m en grandes partes del sector, se esperan condiciones hidrogeológicas moderadas para la extracción de agua subterránea.

Los nuevos antecedentes recopilados sugieren que la profundidad del basamento en este sector es algo inferior a la estimada en el estudio de Dictuc-2009.

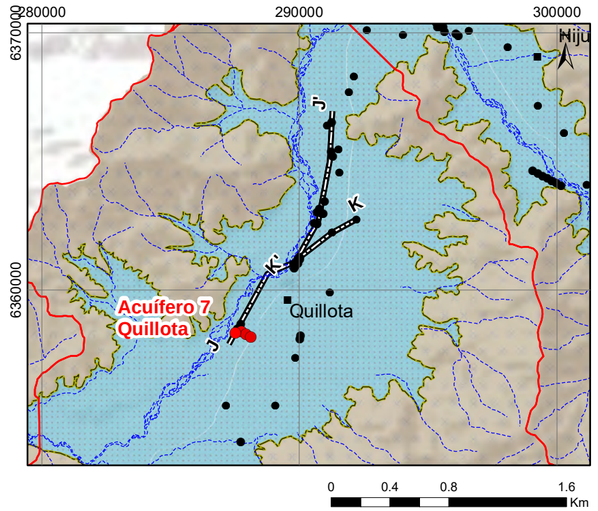
Al igual que en el perfil J, los niveles piezométricos se encuentran a profundidades inferiores a los 5 m.











LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Unidad B
- Unidad D
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Quillota

PREP.:	E.A.G.	FECHA:	Julio 2019	PROYECTO:	Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua
DIB.:	J.R.G.	N° PROY.:	MOP0023		
APR.:	E.A.G.	N° TAREA:	01	CLIENTE:	Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación

Figura 4-9

Path: \\cl-scl200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-9_Perfil hidrogeológico acuífero Quillota.mxd

Antes de continuar con los siguientes perfiles de la parte baja del valle (Figura 4-10), denominados perfiles L-L′, M-M′ y N-N´, se debe tener presente que, este sector presenta un cambio en la estructura del sistema hidrogeológico en comparación con los sectores superiores del valle del río Aconcagua, ya que no se ha podido identificar una capa continua de la Unidad D por debajo del acuífero. En la parte oriente del sector la unidad acuífera que se compone de gravas y arenas con variables porciones de material fino, sobreyace directamente al basamento y presenta las características de un acuífero libre. En la parte oriente del sector la unidad acuífera de gravas y arenas se encuentra separada por una capa de material fino que provoca finalmente la presencia de dos sistemas acuíferas diferentes, correspondientes a un sistema somero de tipo libre y un sistema profundo de tipo confinado.

El acuífero libre está constituido por aproximadamente un 70% de materiales fluviales tipo grava y ripio con proporciones variables de arena y prácticamente ausencia de fracciones finas. Este acuífero somero corresponde a un relleno bastante permeable y de buena capacidad de almacenamiento. Lo anterior indica que el río Aconcagua actúa como agente erosivo y depositacional a la vez.

Dentro del acuífero confinado se describen dos subestratos, uno de mayor permeabilidad en la parte superior y sedimentos semi-consolidados, emplazados bajo el anterior, con mayor porcentaje de finos y, por ende, menor permeabilidad. El subestrato inferior del acuífero confinado podría asociarse posiblemente a depósitos sedimentarios de edad Terciaria que afloran también en los bordes del valle y que no fueron removidos por eventos erosivos posteriores a su depositación (Cáceres et. al., 2009).

La situación hidrogeológica desde la zona central, en dirección a la desembocadura del río se representa a través de los perfiles L (longitudinal al valle), M y N (transversal al valle). Estos perfiles se pueden apreciar a partir de la Figura 4-10.

Perfil L-L´

Al lado oriente de este perfil, se estima que las gravas y arenas que sobreyacen directamente al basamento, alcanzan en la zona de los pozos Marzan y Curauma espesores importantes de 130 m. Hacia el poniente, en la zona de la siguiente serie de pozos correspondientes a los pozos Foster, los pozos Foster 27 y 28 indican un alzamiento del batolito de la costa con la presencia de rocas graníticas a partir de 60 y 68 m respectivamente.

La presencia de la capa de material fino que separa el acuífero, se observa más abajo del río Aconcagua a partir de los pozos Acedo y Arega.

El espesor de la capa acuífera somera se limita a lo lardo del perfil a los primeros 15 m de profundidad, mientras que la capa confinante de material fino aumenta su espesor de 10 m en la zona de los pozos Acedo y Arega a 50 m en la zona del pozo Maggi 16.

La profundidad del basamento podría modificarse localmente, en base a la información proporcionada por cuatro pozos en la zona Acedo / Arega con valores entre sólo 26 y 54 m, aumentando hacia el sur del cauce actual del río. Desde allí hacia el poniente, se espera sin embargo de nuevo un aumento de la profundidad del basamento a aproximadamente 130 m. El sistema acuífero profundo por lo tanto aumenta su espesor de unos 10 a 30 m en la zona de los pozos Acedo / Arega a aproximadamente 100 m en la zona de los pozos Manterola y Maggi 14 y 15, para luego reducirse de nuevo a unos 60 m en la zona del pozo Maggi 16.

Los niveles piezométricos próximos a la cota 0 m snm, como es lógico en la zona de desembocadura, se encuentra a profundidades inferiores a los 5 m de la superficie.

Perfiles M-M´ y N-N´

Los dos perfiles corresponden a secciones transversal al valle del río Aconcagua, el perfil M al inicio de la separación de la unidad acuífera y el perfil N unos 2,5 km hacia la desembocadura en la zona de los pozos Maggi.

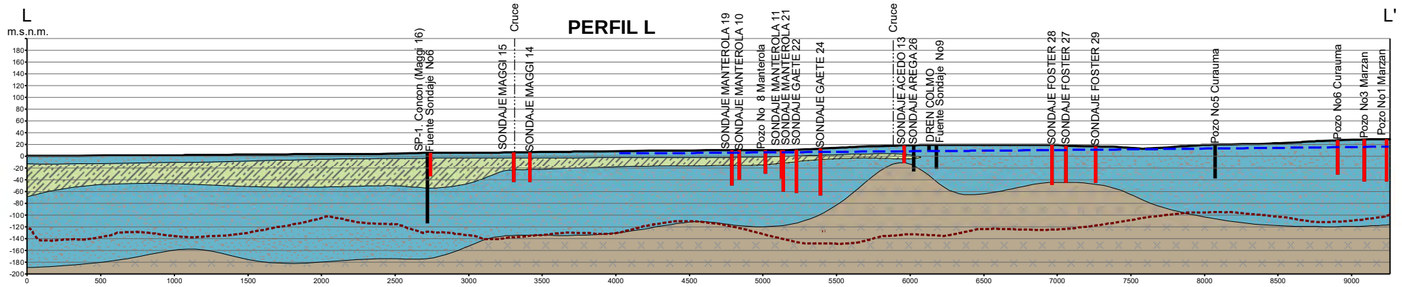
En el perfil M se puede observar un alzamiento del basamento en el centro del valle que está confirmada por la presencia de roca granítica fracturada en la descripción de los pozos Acedo 13 y Arega 26 a profundidades de sólo 28 y 26 m respectivamente. Hacia ambos lados se puede observar una profundización del basamento hasta que los rellenos sedimentarios se acuñan en el borde del valle. Los sondajes Acedo 18 y Arega 25 al lado sur del valle confirman la presencia del basamento a 51 y 54 m. La capa confinante de material fino presenta espesores bajos al lado sur del perfil de aproximadamente 10 m, separando los dos acuíferos. Sin embargo, las profundidades del nivel piezométrico en los pozos indica que la capa del acuífero somero se encuentra seca.

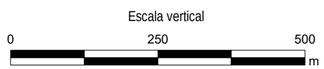
En la descripción litológica del pozo Acedo 13 la capa confinante no ha sido identificada. Lo anterior indica que en esta zona el acuífero somero todavía no está desarrollado.

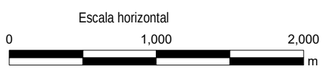
En el perfil N se puede observar una separación de los dos acuíferos por la capa confinante que presenta espesores de aproximadamente 20 m en los dos pozos Maggi 14 y 15. El basamento se espera en el centro de este perfil a aproximadamente 130 m, por lo que el acuífero inferior confinado podría alcanzar espesores de 100 m. Hacia los bordes del valle, los sedimentos que alberguen los acuíferos se acuñan a los afloramientos rocosos.

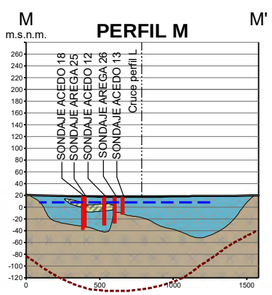
En resumen, el sector acuífero Aconcagua Desembocadura presenta condiciones hidrogeológicas moderadas a buenas. Las permeabilidades estimadas a partir de las pruebas de bombeo disponibles y que se pueden asignar principalmente al acuífero inferior confinado, se encuentran generalmente entre 10 y 60 m/d en el sector. Los caudales de los pozos se encuentran principalmente entre 10 y 30 l/s, aumentan localmente hasta 60 l/s.

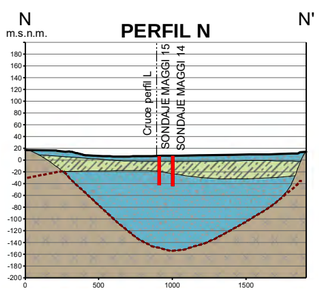
Para el acuífero somero se esperan generalmente buenas permeabilidades, probablemente más altas que para el acuífero inferior, sin embargo, no se cuenta con una prueba de bombeo que se puede asignar a este acuífero. En el tramo final del sector se espera que el acuífero somero está directamente conectado con el mar, por lo que la cuña salina podría penetrar a esta unidad acuífero y reducir su transmisividad.

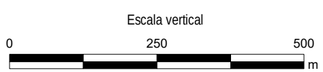


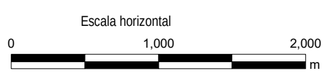


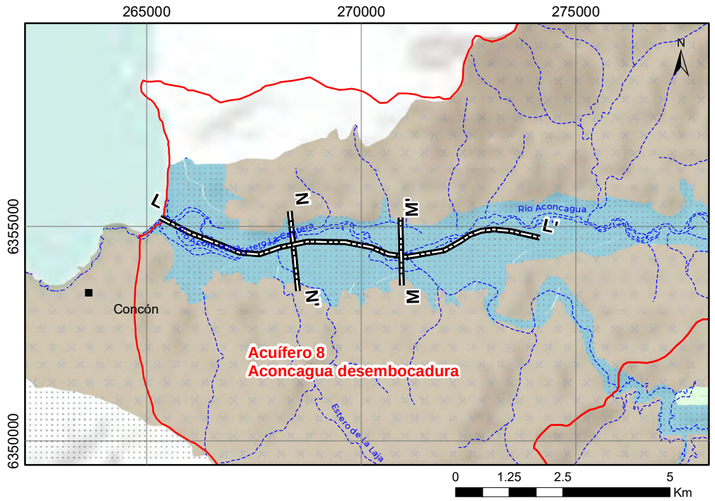












LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Gravas
- Sedimentos Finos
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Gobierno de Chile
gob.cl

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Aconcagua Desembocadura

PREP.:	E.A.G.	FECHA:	Julio 2019	PROYECTO:	Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua
DIB.:	J.R.G.	N° PROY.:	MOP0023	CLIENTE:	Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación
APR.:	E.A.G.	N° TAREA:	01		

Figura 4-10

Path: \\cl-sci200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-10_Perfiles hidrogeológicos acuífero Aconcagua Desemb.mxd

Perfiles O-O´ y P-P´

Se han identifican cuatro capas estratigráficas con distintas características hidrogeológicas que se extienden de manera prácticamente continua por el valle. La extensión de estás capas se visualizan en los perfiles O, transversal al estero Pelumpen y P, longitudinal al mismo, en la Figura 4-11.

Las capas, según ubicación desde la superficie, presentan las características que se describe a continuación:

a) Primera capa: está conformada en su mayoría por sedimentos limo-arcillosos, que son el producto del retrabajo de antiguas llanuras aluviales. La potencia máxima estimada para este estrato es de 30 m, según los sondajes del perfil O. Hacia aguas abajo, en el perfil P, esta capa se acuñe y desaparezca en la zona del Sondaje Limache No. 6 y del dren Lenox, según la descripción litológica en ambos puntos.

Se espera una baja permeabilidad para esta capa con características de un acuitardo.

b) Segunda capa: presenta una fracción clástica formada por ripios con matriz arenosa fina y limos arcillosos. Dichos sedimentos se emplazan por debajo de la primera capa y presentan una buena continuidad lateral y longitudinal. La potencia de este estrato fluctúa entre 15 y 40 m aproximadamente en general. En el perfil O esta capa presenta un espesor de aproximadamente 35 m. En el Sondaje Limache No. 6 del perfil P se puede observar un aumento importante de arcilla a partir de los 19 m de profundidad que indica el fondo de esta capa en esta zona.

Se estima que esta capa presenta una buena permeabilidad y características de un acuífero de tipo semi-confinado y libre en la parte sin existencia de la primera capa.

c) Tercera capa: corresponde a rellenos de finos, esencialmente arcillas, con fracciones subordinadas de bolones o ripios. Específicamente en el sector central y hacia las cabeceras, estos sedimentos pasan a estar formados por ripios y bolones aislados con una abundante matriz de arenas finas y gran cantidad de arcillas y limos. La potencia de este nivel varía entre 15 a 30 m. El mayor espesor se advierte hacia el centro del valle y las potencias menores hacia el sector sureste del mismo. En el perfil O, presenta un espesor de aproximadamente 15 m. En el perfil P, el sondaje No. 6 y el Dren Lenox no alcanzan el fondo de esta capa, sin embargo, se espera una potencia similar a los 15 m también en esta zona del sector.

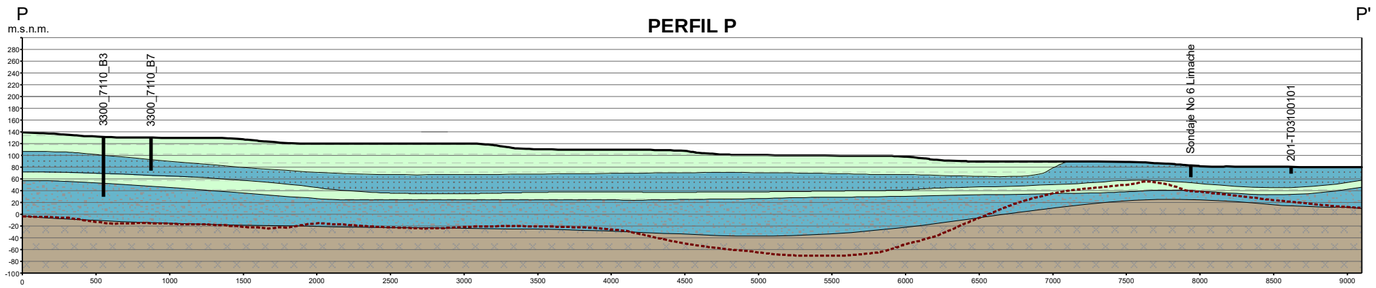
Se espera una baja permeabilidad de los sedimentos de esta capa que está separando las dos capas acuíferas (segunda y cuarta capa) en el sector.

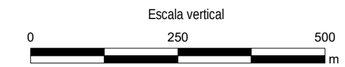
d) Cuarta capa: se caracteriza por su granulometría gruesa, como ripios, gravas, arenas y una matriz arenosa fina con muy pocos limos arcillosos. Este estrato se encuentra por debajo de la capa 3 y sobreyace el basamento rocoso. Para la capa se esperan potencias entre 20 y 50 m, sin embargo, no se cuenta con un sondaje que alcanza el fondo de la capa.

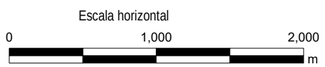
En base a su granulometría se espera una buena permeabilidad y características de un acuífero confinado de esta capa.

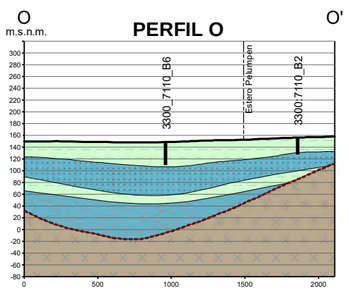
En el sector se cuenta con los resultados de dos pruebas de bombeo en el Sondaje No. 6 y el Dren Lenox que indican permeabilidades moderadas a altas de 37 y 132 m/d. Según la profundidad de las dos captaciones, estos valores se pueden asignar a la capa dos. Dada una granulometría similar, se espera para la capa cuatro permeabilidades en un rango similar, mientras que las capas uno y tres tienen características de un acuitardo con permeabilidades menores.

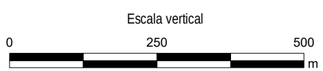
En base a las permeabilidades y espesores de las dos capas acuíferos entre aproximadamente 40 y 80 m, se esperan moderadas condiciones hidrogeológicas en este sector acuífero.

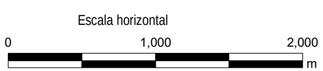


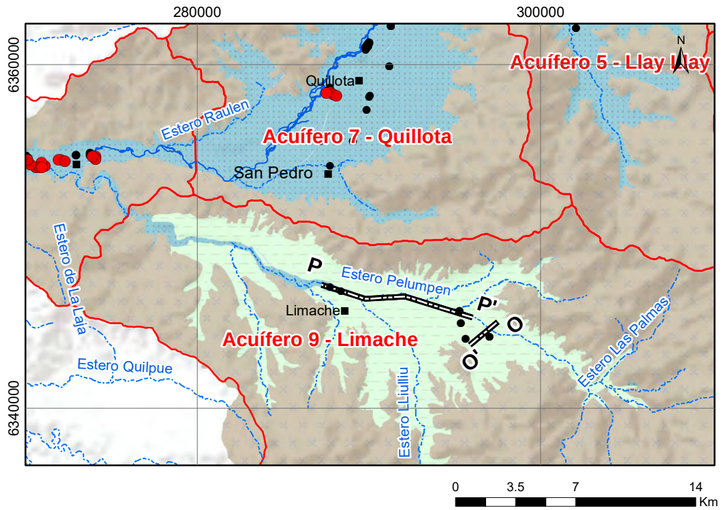












LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Sedimentos finos
- Sedimentos ripiosos con matriz arenosa
- Gravas arenosas y limosas
- Basamento Rocoso

SIMBOLOGIA PERFILES

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Nivel piezométrico período de riego 2018-2019
- Basamento DICTUC 2009

SIMBOLOGIA UBICACION

- Pozos perforados antes 2011
- Pozos perforados entre 2011 y 2017
- Trazado perfiles hidrogeológicos
- Límite sectores acuíferos

Hidrografía regional

- Estero
- Río

Gobierno de Chile
gob.cl

Perfiles hidrogeológicos sector acuífero Limache

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-11
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\cl-sci200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-11_Perfiles hidrogeologicos sector acuifero Limache.mxd

4.1.10 EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES SUBTERRÁNEOS

La Dirección General de Aguas cuenta con una serie de pozos de monitoreo del nivel del agua subterránea en la cuenca del Aconcagua. Dichos pozos disponen de estadísticas de medición mensual que en algunos casos se remontan a la década del 60; la mayoría de los pozos se encuentran vigentes en la actualidad.

En base a la información disponible, en esta sección se presenta un análisis de la evolución de los niveles en cada sector acuífero de la cuenca.

A continuación, la Figura 4-12 muestra la ubicación de los pozos de monitoreo DGA en la cuenca, mientras que en la Tabla 4-4 se muestra su identificación y características de importancia. En dicha tabla, se presentan agrupados por acuífero y se indica en cada caso si el registro del pozo ha sido utilizado también para calibrar el modelo numérico del presente estudio. Cabe señalar que las coordenadas que se presentan corresponden a aquellas utilizadas en el modelo VM ACN 2008, que se encuentran en datum PSAD56 y que son las mismas consideradas en el modelo VM ACN 2019 que se desarrolla en este estudio.

240000 270000 300000 330000 360000 390000 420000

6420000 6390000 6360000 6330000

N

OCEÁNO PACÍFICO

Región Valparaíso

República de Argentina

Región Metropolitana de Santiago

Acuífero 2 Putaendo

Acuífero 1 San Felipe

Acuífero 3 Panquehue

Acuífero 4 Catemu

Acuífero 5 Llay Llay

Acuífero 6 Nogales-Hijuelas

Acuífero 7 Quillota

Acuífero 8 Aconcagua desembocadura

Acuífero 9 Limache

Perfil Putaendo -1
El Asiento
Perfil San Felipe
Tierras Blancas
Fundo Los Castaños
Misión de María
Fundo Los Pinos
Fundo Las Peñas
Fundo Las Viñas
Fundo La Esperanza
Fundo La Quimera
Fundo Las Mercedes
Fundo Los Maitenes
Fundición Chagres
A.P. Llaillay -2
A.P. Llaillay -1
A. Romeral
A. La Sombra
A. Los Aromos
Fundo Esperanza
A. El Melón
A. Nogales
Pucalán de Nogales
Fundo El Carmen
Conchalí
A. Manuel Rodriguez -2
Parcela 5
Parcela San Antonio
Callejón Zaravia
Calle Santa María
Parcela 12 La Cruz
Fundo Esmeralda -3
A. Manuel Rodriguez -3
A. Manuel Rodriguez -1
Fundo Florence
Hijuela Principal
Fundo Santa Adriana
Fundo San Roque
Lajarillas
Lajarillas
Con Con
Con Con
Con Con
Con Con
Con Con
Acuífero 8 Aconcagua desembocadura
A. La Victoria -2
A. La Victoria -3
A. La Victoria -1
Tabolango (1)
Las Cruzadas
A. El Cajón
A. Los Laureles
Fundo El Rocío
Rabuco (2)
A. Las Pataguas
Fundo El Progreso
A. Las Pataguas
San Isidro Puente
Fundo Esmeralda -2
Fundo Esmeralda -1
San Carlos Pelumpén

0 7.5 15 30 km

1:510,000

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

LEYENDA

- Pozo de monitoreo DGA
- Red hidrográfica
- Límite internacional
- Área de estudio
- Límite modelo
- Límite regional

Acuífero estudiado en Septiembre 2017

- Acuífero 1 - San Felipe
- Acuífero 2 - Putaendo
- Acuífero 3 - Panquehue
- Acuífero 4 - Catemu
- Acuífero 5 - Llay Llay
- Acuífero 6 - Nogales-Hijuelas
- Acuífero 7 - Quillota
- Acuífero 8 - Aconcagua desembocadura
- Acuífero 9 - Limache

Gobierno de Chile
gob.cl

Ubicación pozos de Monitoreo DGA en la cuenca del Aconcagua

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 4-12
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\clscl200serv01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WIP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\100_Entrega_Junio2019\Figura 4-12_Ubicación pozos de Monitoreo DGA en la cuenca del Aconcagua.mxd

Tabla 4-4: Pozos Monitoreo DGA

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. numérico	Rol Corfo	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM PSAD 56 (m)		Prof. Hab. (m)	Prof. Perf. (m)
								Este	Norte		
1 - San Felipe	Fundo La Esperanza	si	3240 7030 C11	05410010-8	ago-76	oct-17	795,2	348.578	6.366.615	132	132
	Fundo La Quimera	si	3240 7040 D9	05410018-3	dic-68	abr-19	726,4	343.275	6.367.710	100	100
	Fundo Las Mercedes	si	3250 7030 A1	05410017-5	may-69	oct-17	763,2	346.456	6.364.829	127,5	127,5
	Fundo Las Peñas	si	3240 7030 C6	05410011-6	ene-69	abr-19	742,5	345.330	6.370.415	118,5	135
	Fundo Las Viñas	si	3240 7040 D11	05410015-9	ene-69	abr-19	716	342.840	6.369.497	80	80
	Fundo Los Castaños	si	3240 7040 D13	05410020-5	feb-86	abr-19	680,3	341.400	6.374.106	90	90
	Fundo Los Maitenes	si	3250 7040 B2	05410021-3	feb-69	jul-18	727,4	343.213	6.365.570	90	90
	Fundo Los Pinos	si	3240 7030 C7	05410019-1	abr-69	jul-18	737	345.600	6.371.450	105	105
	Misión de María	si	3240 7040 D10	05410014-0	oct-68	abr-19	722,1	343.583	6.370.652	90	90
	Perfil San Felipe	si	3240 7040 B8	05415008-3	nov-83	abr-19	620,8	337.170	6.376.591	118,5	119,5
	Tierras Blancas	no	3240 7040 D12	05410016-7	feb-69	abr-92	665,8	339.151	6.371.901	47	47
2 - Putaendo	El Asiento	si	3240 7040 B4	05414007-K	mar-68	oct-17	668,7	336.990	6.381.576	139	139
	Perfil Putaendo -1	si	3240 7040 A3	05414008-8	oct-67	abr-19	660	335.350	6.381.401	180	204
3 - Panquehue	Fundo Santa Adriana	si	3240 7040 C1	05420006-4	dic-67	abr-19	524	328.838	6.372.799	20	20
	Hijuela Principal	si	3240 7040 C2	05420007-2	abr-69	jul-18	547,2	330.934	6.374.475	40,5	45
4 - Catemu	A. Romeral	si	3240 7100 D3	05423024-9	sept-70	oct-17	352,9	310.590	6.366.370	80	80
	A.P. Llaillay -1	si	3240 7050 C8	05422003-0	ene-74	abr-19	382,3	314.590	6.366.010	50	80
	Fundición Chagres	si	3240 7050 C4	05420008-0	ene-71	oct-99	418,9	316.885	6.369.344	40	40
	Fundo San Roque	si	3240 7050 D2	05420009-9	oct-69	abr-19	492,5	325.849	6.370.494	50	50
5 - Llay llay	A.P. Llaillay -2	si	3250 7050 A7	05422005-7	sept-72	oct-17	383,5	316.710	6.364.715	70	80
6 - Nogales - Hijuelas	A. El Melón	si	3240 7110 B29	05424008-2	jun-74	abr-19	242,1	294.250	6.381.016	9	9
	A. La Sombra	si	3240 7100 D9	05423018-4	mar-74	abr-19	328,3	307.432	6.366.480	10	10
	A. Los Aromos	si	3240 7100 D8	05423022-2	mar-74	jul-18	310,9	305.340	6.366.250	8	8
	A. Manuel Rodríguez -1	si	3240 7100 C15	05423017-6	may-74	abr-19	257,4	299.374	6.366.580	10	10
	A. Manuel Rodríguez -2	si	3240 7100 C14	05423021-4	oct-74	ene-18	246,3	298.584	6.368.074	9	9
	A. Manuel Rodríguez -3	si	3240 7100 C13	05423023-0	may-74	abr-19	247,8	299.246	6.368.545	8	8
	A. Nogales	si	3240 7110 B27	05424007-4	jun-74	abr-19	230,1	294.082	6.378.307	12	12
	Conchalí	si	3240 7100 C11	05424012-0	ene-71	jul-18	235,4	298.262	6.369.791	58	95
	Fundo El Carmen	si	3240 7110 D39	05424010-4	mar-74	abr-19	213,5	296.709	6.373.328	12	12
	Fundo Esperanza	si	3250 7100 B13	05423020-6	mar-74	oct-17	322,4	306.834	6.364.010	13	13
	Fundo Florence	si	3250 7100 A1	05423014-1	ene-67	jul-18	280,5	301.636	6.364.810	88	266
	Parcela 5	si	3240 7110 D8	05423016-8	mar-65	oct-17	200,8	293.720	6.369.250	23	78
	Pucalán de Nogales	no	3240 7110 B28	05424006-6	may-74	ene-19	218,6	291.840	6.377.545	10	10
	Rabuco (2)	si	3250 7100 A15	05423019-2	abr-74	abr-19	298,1	302.240	6.362.495	22	22

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. numérico	Rol Corfo	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM PSAD 56 (m)		Prof. Hab. (m)	Prof. Perf. (m)
								Este	Norte		
7 - Quillota	A. El Cajón	si	3250 7110 C11	05426009-1	mar-68	oct-18	95,5	288.061	6.353.635	40	40
	A. Las Pataguas	no	3250 7110 B35	05426014-8	mar-74	oct-17	136,8	294.015	6.360.862	7	7
	A. Las Pataguas	no	3250 7110 B34	05426022-9	mar-74	abr-19	115	292.233	6.357.590	8	8
	Calle Santa María	si	3240 7110 D25	05425005-3	dic-68	oct-17	158,2	291.731	6.364.920	44	54
	Callejón Zaravia	si	3240 7110 D27	05425004-5	ago-89	abr-19	174,8	291.667	6.367.018	46,3	55
	Fundo El Progreso	si	3250 7110 B28	05426007-5	mar-71	abr-19	132,6	292.196	6.361.726	60	213
	Fundo Esmeralda -1	si	3250 7110 A21	05426005-9	ago-71	abr-19	96,5	289.231	6.355.890	71,6	80
	Fundo Esmeralda -2	si	3250 7110 A22	05426006-7	ago-71	abr-19	96,6	289.212	6.355.905	48	48
	Fundo Esmeralda -3	si	3250 7110 A10	05426011-3	jul-67	oct-17	97,5	287.519	6.356.740	39	40
	Las Cruzadas	si	3250 7110 C19	05426020-2	feb-86	abr-19	77,6	285.590	6.353.780	48	49
	Parcela 12 La Cruz	no	3250 7110 B36	05426015-6	mar-74	abr-19	142	293.863	6.363.923	7	7
	Parcela San Antonio	si	3240 7110 D38	05425006-1	jun-74	abr-19	182,6	291.498	6.369.305	10	10
	San Isidro Puente	si	3250 7110 B37	05426016-4	mar-74	abr-19	108,6	290.018	6.357.729	8	8
8 - Aconcagua Desembocadura	A. La Victoria -1	si	3250 7120 D12	05426012-1	abr-74	abr-19	28	274.950	6.355.050	20	21
	A. La Victoria -2	si	3250 7120 C69	05426017-2	jul-73	abr-19	18	272.250	6.354.080	20	21
	A. La Victoria -3	si	3250 7120 C71	05426018-0	abr-74	abr-19	20,5	273.500	6.354.680	18	18
	Con Con	si	3250 7120 C41	05428004-1	nov-70	sept-98	3	267.695	6.354.550	49	49
	Con Con	si	3250 7120 C38	05428005-K	sept-70	abr-19	8	269.070	6.354.300	36,5	40
	Con Con	si	3250 7120 C39	05428006-8	sept-70	oct-17	8	268.850	6.354.612	6	6
	Con Con	si	3250 7120 C42	05428007-6	may-71	dic-96	3	267.708	6.354.480	8,1	8,1
	Con Con	si	3250 7120 C6	05428008-4	nov-69	abr-19	2,5	267.350	6.354.890	49,3	53
	Lajarillas	si	3250 7120 C73	05426019-9	jul-73	ene-19	11	270.420	6.354.740	14,8	18,2
	Lajarillas	si	3250 7120 C67	05428010-6	jul-73	abr-19	9	269.750	6.354.450	15	15
	Tabolango (1)	si	3250 7120 D13	05426021-0	abr-74	abr-19	47	279.490	6.354.534	10	25
9 - Limache	A. Los Laureles	si	3250 7110 C9	05427009-7	dic-67	abr-94	73,5	285.440	6.348.860	14	40
	Fundo El Rocío	si	3300 7110 B1	05427011-9	may-68	oct-17	118,94	290.830	6.343.813	45,8	48
	San Carlos Pelumpén	si	3300 7110 B3	05427012-7	sept-65	abr-18	135,9	295.519	6.345.296	81	97

Fuente: Elaboración propia.

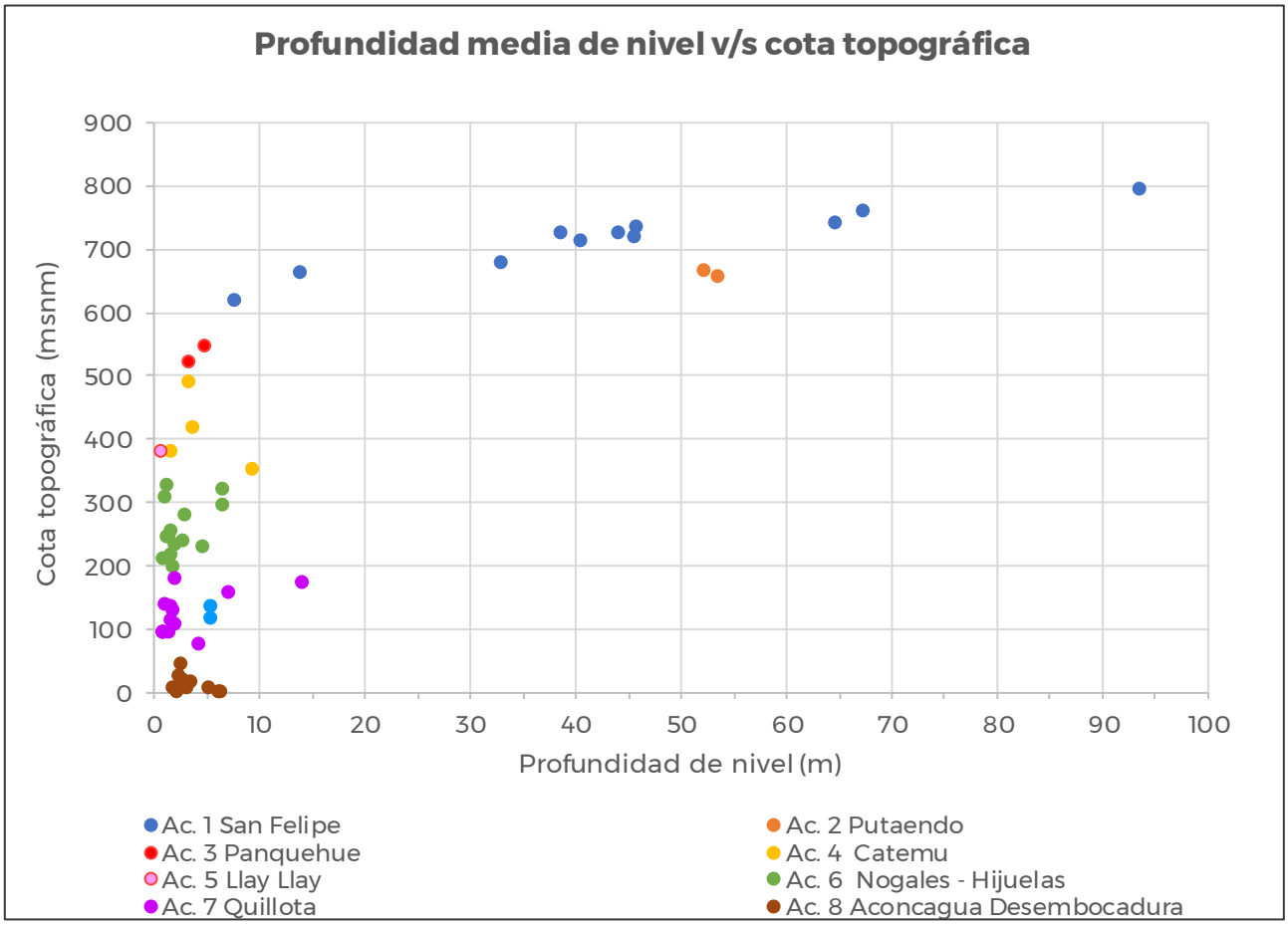
Nota 1: La información facilitada por la DGA indica mayormente registros hasta abril de 2019, sin embargo, en muchos casos el último dato válido es anterior a esa fecha, luego de lo cual el registro indica "0".

Nota 2: Las coordenadas de la tabla están en PSAD 56 y corresponden a las del modelo VM ACN 2008, con lo cual el pozo Llay llay − 1 corresponde al Ac. Catemu. De acuerdo a información de la DGA, el pozo Llay llay-1 tiene otras coordenadas y se encuentra en el Ac. Llay llay

En la Figura 4-13 se observa de manera gráfica la profundidad de los niveles en la cuenca, sobre la base de los promedios históricos de niveles estáticos registrados en los pozos de monitoreo de la DGA. Se observa que en el Acuífero 1 – San Felipe (círculos rojos), las profundidades de nivel promedio muestran una importante correlación con la altura topográfica, de tal forma que en los sectores más altos (800 msnm) la profundidad de nivel es mayor y alcanza en promedio casi los 95 m. Por otra parte, en las zonas bajas del acuífero en comento (600 msnm) se observan niveles más someros, menores a 10 m de profundidad.

Así también, en el Acuífero 2 – Putaendo (círculos azules con bordes negro) se observan profundidades promedio entre 50-55 m, asociadas a una altura algo mayor a los 650 msnm.

En el resto de los pozos de observación DGA, ubicados desde el Acuífero 3 - Panquehue hasta el Acuífero 8 - Aconcagua Desembocadura, se observan valores en general someros, menores a 10 m de profundidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-13: Profundidad de nivel promedio en los pozos de monitoreo DGA, según su cota topográfica.

En lo que sigue, se presenta la evolución de niveles en cada sector acuífero.

4.1.10.1 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 1 SAN FELIPE

La Tabla 4-5 muestra un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-14 donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica San Felipe, representativa de la zona.

Tabla 4-5: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 1 San Felipe.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En modelo	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Núm. datos	Prof. Máx. (m)	Prof. Mín. (m)	Prof. Prom. (m)
1 San Felipe	Fundo La Esperanza	si	05410010-8	ago-76	oct-17	58	117,10	74,65	93,5
	Fundo La Quimera	si	05410018-3	dic-68	abr-19	255	70	25,52	44
	Fundo Las Mercedes	si	05410017-5	may-69	oct-17	179	84,00	33,45	67,22
	Fundo Las Peñas	si	05410011-6	ene-69	abr-19	136	95,20	41,60	64,5
	Fundo Las Viñas	si	05410015-9	ene-69	abr-19	222	63,82	23,13	40,30
	Fundo Los Castaños	si	05410020-5	feb-86	abr-19	122	48,86	14	32.7
	Fundo Los Maitenes	si	05410021-3	feb-69	jul-18	205	53,19	24,32	38,51
	Fundo Los Pinos	si	05410019-1	abr-69	jul-18	230	71,00	20,35	45,68
	Misión de María	si	05410014-0	oct-68	abr-19	223	66,21	23,9	45,4
	Perfil San Felipe	si	05415008-3	nov-83	abr-19	254	21,1	3,7	7,4
	Tierras Blancas	no	05410016-7	feb-69	abr-92	133	27,40	3,62	13,81

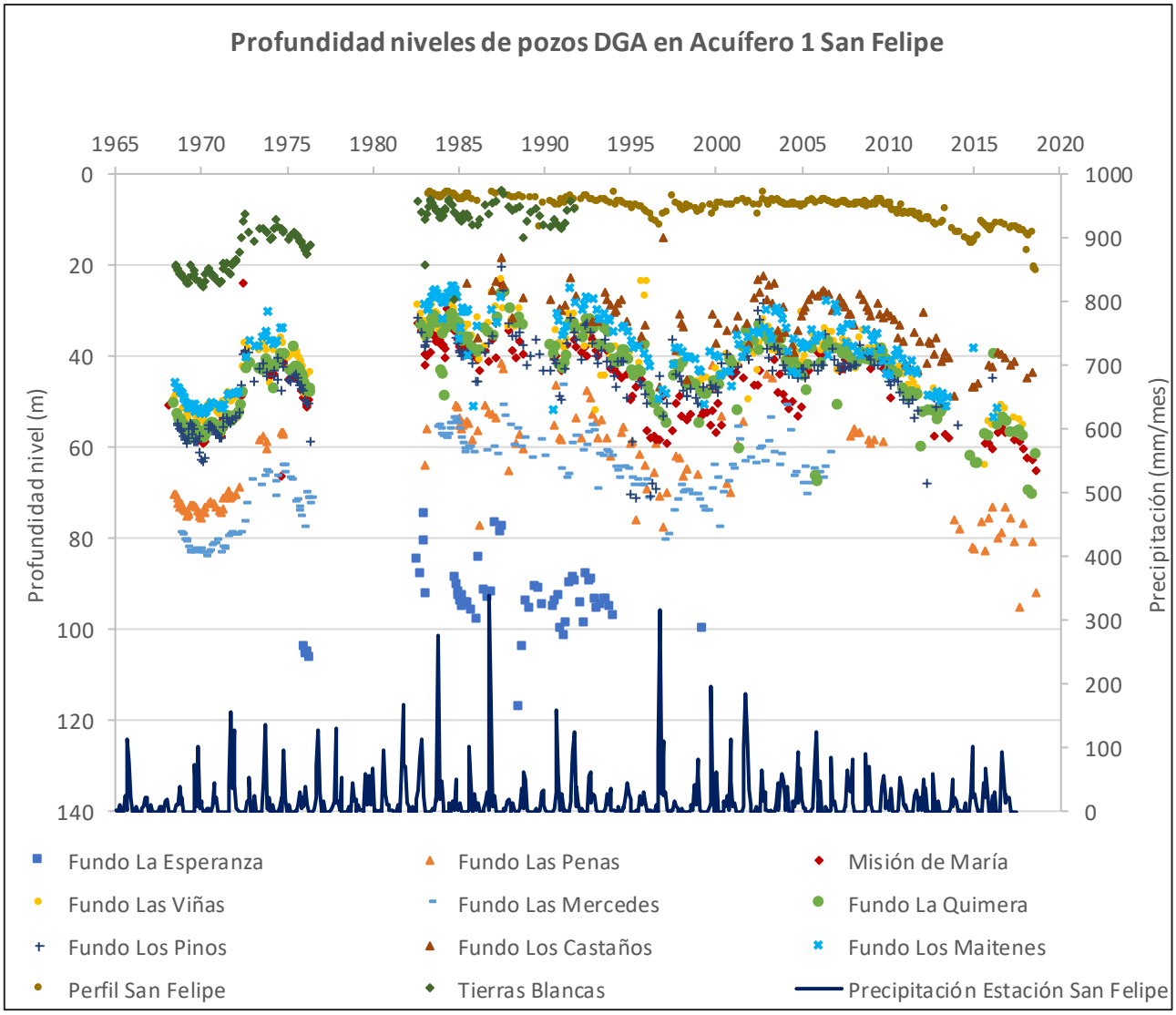
Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Fundo La Esperanza aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, desde enero de 2015 los datos registrados son "0", por lo que no se consideran válidos.

Nota 2: Fundo Las Mercedes aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de marzo de 2007.en adelante los registros son "0".

Nota 3: Fundo Los Maitenes aparece con último registro en julio de 2017, sin embargo, el último registro válido es de enero de 2017.en adelante los registros son "0".

Nota 4: Fundo Los Pinos aparece con último registro en julio de 2018, sin embargo, desde septiembre de 2014 sólo ha habido 2 registros válidos de un total de 18, los 16 restantes son "0", siendo el último válido en octubre de 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 1 San Felipe.

En este sector las mayores profundidades de nivel se observan en la zona alta del valle, lo que se ve reflejado en el pozo de monitoreo Fundo La Esperanza, cuyo registro muestra variaciones irregulares entre 80-100 m de profundidad, sin un patrón definido. El registro de este pozo es discontinuo y se encuentra interrumpido desde el año 1999.

Por otra parte, en la zona más baja del valle se observan niveles someros, reflejados en el pozo Perfil San Felipe, cuyo registro se inicia el año 1983 y se mantiene con oscilaciones menores en torno a 5 m de profundidad hasta aproximadamente el año 2010. A partir de esa fecha se observa un descenso sostenido de los niveles, llegando hasta casi los 15 m el año 2015 para luego recuperarse unos 3 metros el año 2016 y posteriormente volver a disminuir hasta el último registro de abril de 2019 donde alcanza poco más de 20 m de profundidad.

En el resto de los pozos de monitoreo de este valle, se observan niveles entre aproximadamente 20-80 m de profundidad, observándose una importante correlación entre la cota topográfica y la profundidad del agua subterránea. Además, los pozos muestran patrones de oscilación bastante similares:

- Se observa un descenso entre los años 1968 y 1969, consecuencia de la sequía que se produjo durante ese período. Hacia finales de 1971, los niveles comienzan a recuperarse y a partir del año 1974 se observan oscilaciones, pero sin una tendencia definida. En el año 1976, el nivel vuelve a descender en forma significativa (del orden de 5-8m) en todos los pozos hasta que el registro se interrumpe el año 1977.
- Al retomarse las mediciones el año 1983, se observa en primer lugar que ha ocurrido una recuperación del orden de 15 m en los pozos durante el período sin registro. En adelante los niveles muestran un comportamiento oscilante y con una tendencia levemente descendente hasta el año 1993, en donde el descenso se vuelve más pronunciado hasta el año 1997. Este último descenso coincide con la ocurrencia de otra sequía de importancia y que afectó a gran parte de la zona central del país.
- A partir del año 1997 y hasta el año 2003, asociado a períodos de mayores precipitaciones, se observa una tendencia general al alza de los niveles, sobrepuesta a las oscilaciones particulares de cada pozo, que alcanzan magnitudes de hasta 10 m. Entre el año 2003 al 2005 los niveles vuelven a disminuir y luego entre 2005 hasta inicio de 2007 vuelven a aumentar.
- Desde inicio de 2007 y hasta la fecha, los niveles muestran un descenso sostenido, sólo interrumpido por un leve ascenso observado entre finales de 2016 y comienzos de 2017. El descenso observado en la última década alcanza del orden de 20 m en algunos pozos.

4.1.10.2 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 2 PUTAENDO

En la Tabla 4-6 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-15, donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica Resguardo Los Patos, representativa de la zona.

En el acuífero de Putaendo existen 2 pozos de monitoreo DGA, que se ubican a unos 4 km de la desembocadura del río Putaendo al río Aconcagua, por lo que son representativos de la zona más baja de este valle.

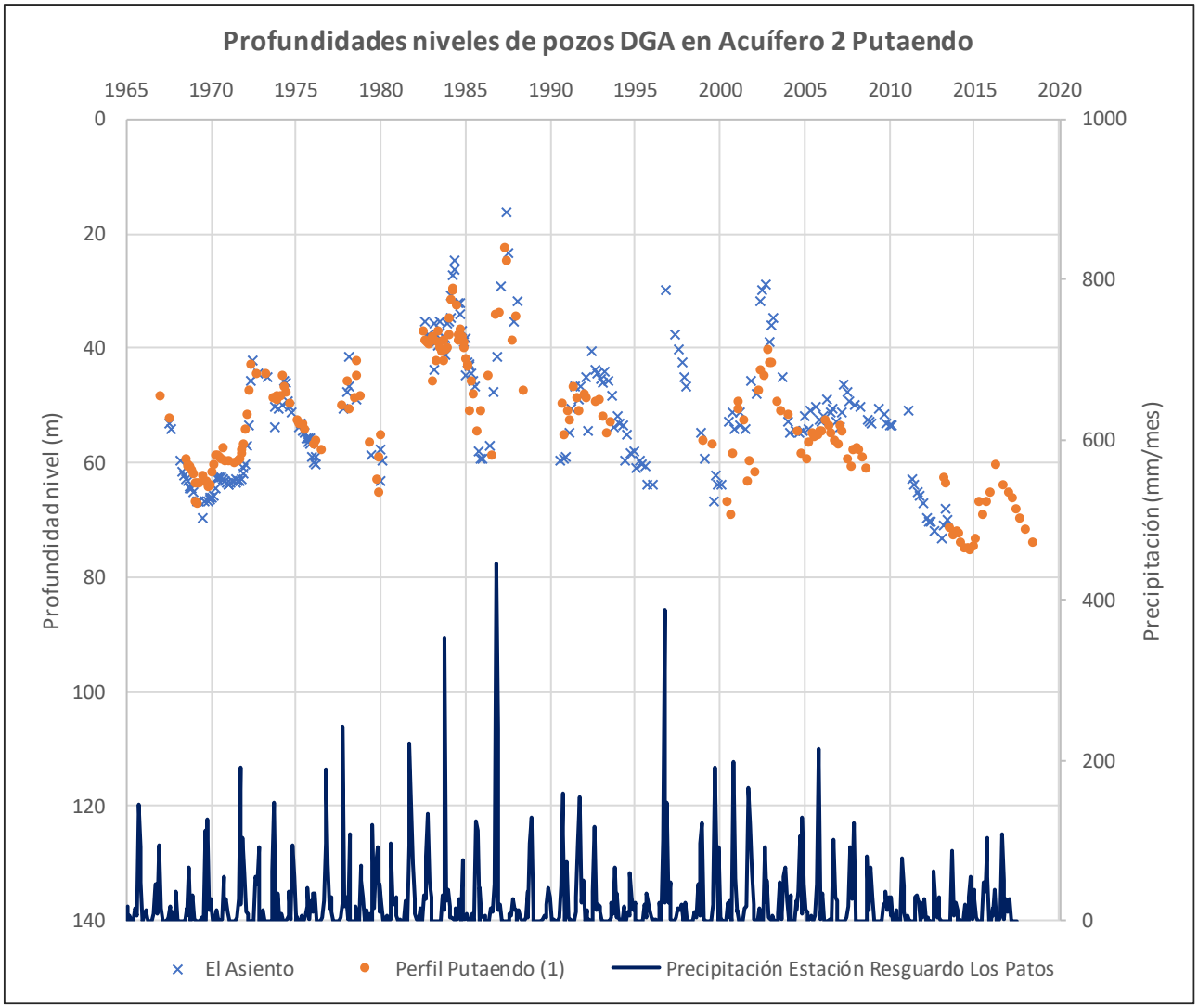
Se observa en la Figura 4-15 que el nivel del agua subterránea oscila principalmente entre los 30-70 m de profundidad, mostrando fluctuaciones que se asocian a los períodos secos y húmedos, con recuperaciones importantes asociadas a los períodos de mayores lluvias. Así también, se aprecia una clara disminución de los niveles a partir de 2010 conjuntamente con la disminución de las precipitaciones; mostrando oscilaciones de nivel entre 60-75 m de profundidad.

Tabla 4-6: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 2 Putaendo.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En modelo numérico	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Prom. (m)
2 Putaendo	El Asiento	si	05414007-K	mar-68	oct-17	228	73,10	16,16	51,98
	Perfil Putaendo -1	si	05414008-8	oct-67	abr-19	193	75,40	22,82	53,3

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El Asiento aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de marzo de 2014. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-15: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 2 Putaendo.

4.1.10.3 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 3 PANQUEHUE

En el acuífero de Panquehue existen 2 pozos de monitoreo DGA, Fundo Santa Adriana y Hijuela principal, que se ubican en el margen derecho del Río Aconcagua.

En la Tabla 4-7 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-16, donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica San Felipe, representativa de la zona.

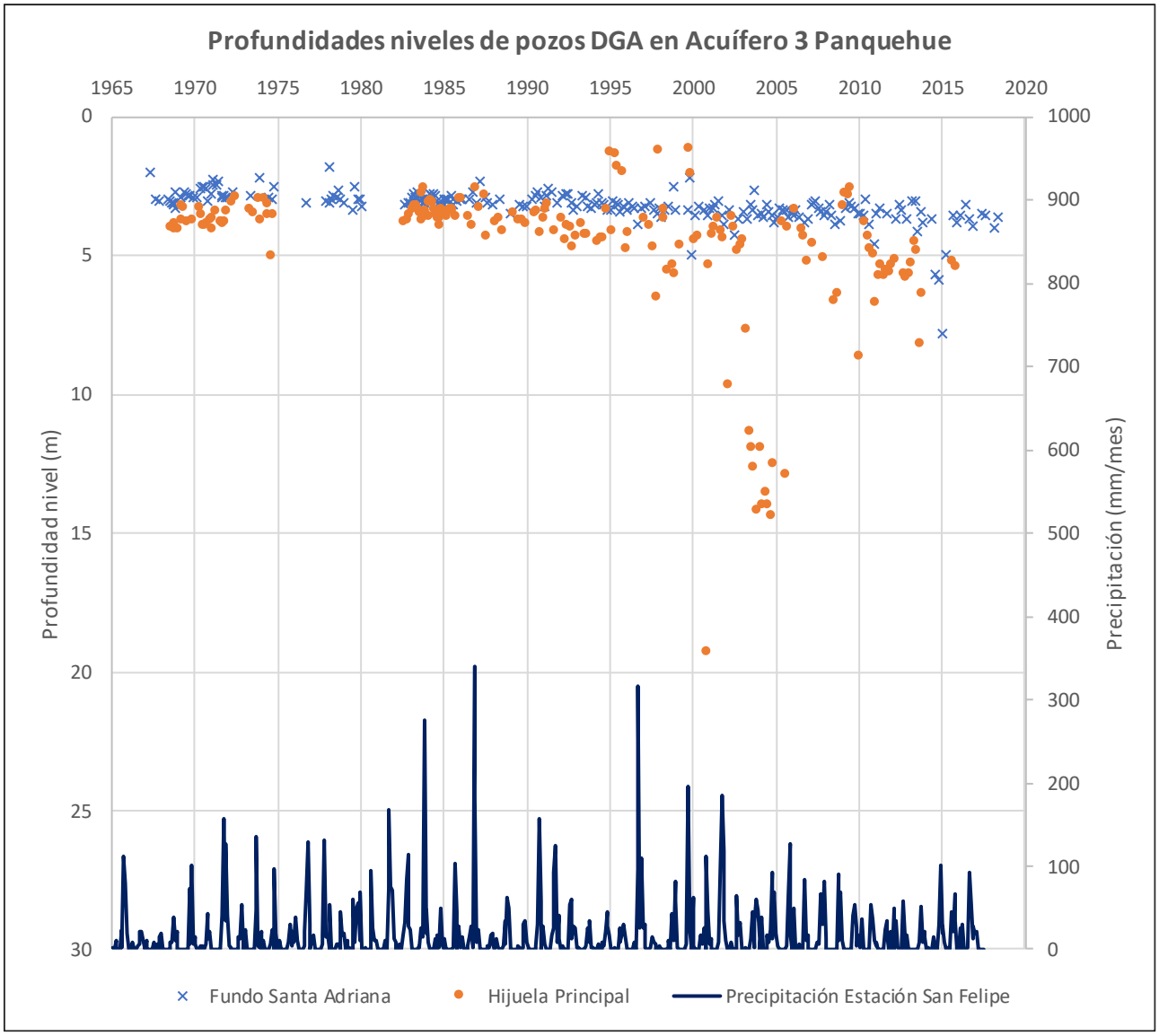
Se observa en la Figura 4-16 que el nivel del agua subterránea en el sondeo Fundo Santa Adriana se mantiene bastante estable en todo su registro histórico desde 1967 hasta 2019, con profundidades inferiores a 5 m, salvo algunos registros puntuales, con profundidades superiores que parecen corresponder a errores de medida. En líneas generales se observa una ligera tendencia descendente, del orden 1-2 m desde el inicio del registro. El sondeo Hijuela Principal, registra oscilaciones estacionales más acusadas, que parecen haberse incrementado paulatinamente, coincidiendo con un incremento del descenso del nivel piezométrico. Entre 1995 y 2000 se registraron valores con profundidades inferiores a 2 metros, aparentemente anómalos, ya que no parecen estar relacionados con un incremento de las precipitaciones. De igual forma, entre el año 2000 y 2005, se registran descensos anómalos de entre 10 y 15 m que parecen corresponder con niveles dinámicos.

Tabla 4-7: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 3 Panquehue

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En modelo numérico	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Prom. (m)
3 Panquegue	Fundo Santa Adriana	si	05420006-4	dic-67	abr-19	235	7,84	1,81	3,2
	Hijuela Principal	si	05420007-2	abr-69	jul-18	186	19,3	1,2	4,7

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Hijuela Principal aparece con último registro en julio de 2018, sin embargo, desde enero de 2015 sólo hay dos datos, el resto de los datos registrados son "0", por lo que no se consideran válidos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-16: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 3 Panquehue

4.1.10.4 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 4 CATEMU

En la Tabla 4-8 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-17, donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica San Felipe, representativa de la zona.

El pozo de monitoreo Fundo San Roque, representativo de la zona más alta del Acuífero 4 – Catemu, muestra un patrón muy estable de niveles con oscilaciones entre 2-5 m de profundidad, observándose además una tendencia menor a la profundización del nivel.

En la parte media del acuífero el pozo Fundición Chagres mostró, a inicios de la década del 70, profundidades de nivel muy estables con variaciones entre 5-7 metros, hasta que el registro se interrumpió en 1974. Al retomar el registro el año 1986, se comienza a observar un comportamiento de niveles similar al del pozo Fundo San Roque con niveles más someros entre 2-5 m, que se mantienen hasta el año 1999 en que el pozo de monitoreo detiene sus registros hasta la actualidad.

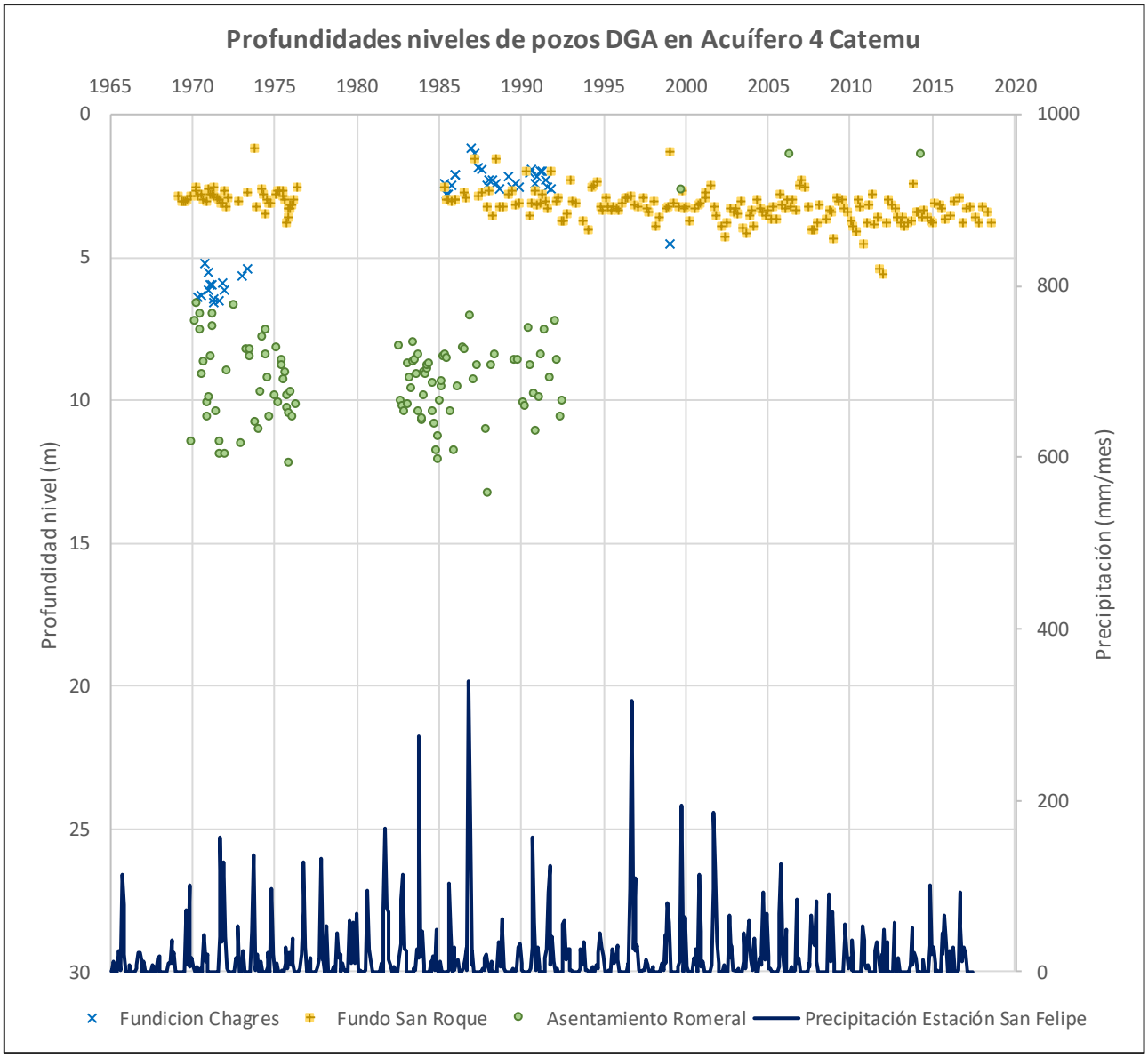
Continuando hacia aguas abajo, antes de la localidad de Romeral, el pozo de monitoreo Asentamiento Romeral muestra desde el inicio de su registro el año 1969 hasta abril de 1993, una profundidad del agua subterránea que varía entre los 6 y 13 m bajo el nivel del terreno, presentando oscilaciones amplias en relación a los pozos de aguas arriba, sin tendencia definida. Luego, entre 2000 y 2015, se presentan solo 3 registros, con niveles más someros (1,4 a 2,7 m). Se estima que este cambio en el patrón de niveles podría deberse a que en el primer período de registros existían explotaciones de pozos cercanos, que habrían afectado el nivel en esa época.

Tabla 4-8: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 4 Catemu

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. Num.	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
4 Catemu	A. Romeral	si	05423024-9	sept-70	oct-17	110	13,29	1,42	9,24
	Fundición Chagres	si	05420008-0	ene-71	oct-99	43	6,58	1,18	3,52
	Fundo San Roque	si	05420009-9	oct-69	abr-19	220	5,56	1,20	3,18

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Asentamiento Romeral aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de enero de 2015. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-17: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 4 Catemu

4.1.10.5 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 5 LLAY LLAY

En el acuífero de Llay llay existen 2 pozos de monitoreo DGA, AP-Llay llay (2) y Llay llay (1), ya que como se indicó en apartados anteriores, este último punto, dado su ubicación geométrica, estaría dentro del acuífero 5 Llay llay. En la Tabla 4-9 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-18, donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica San Felipe, representativa de la zona.

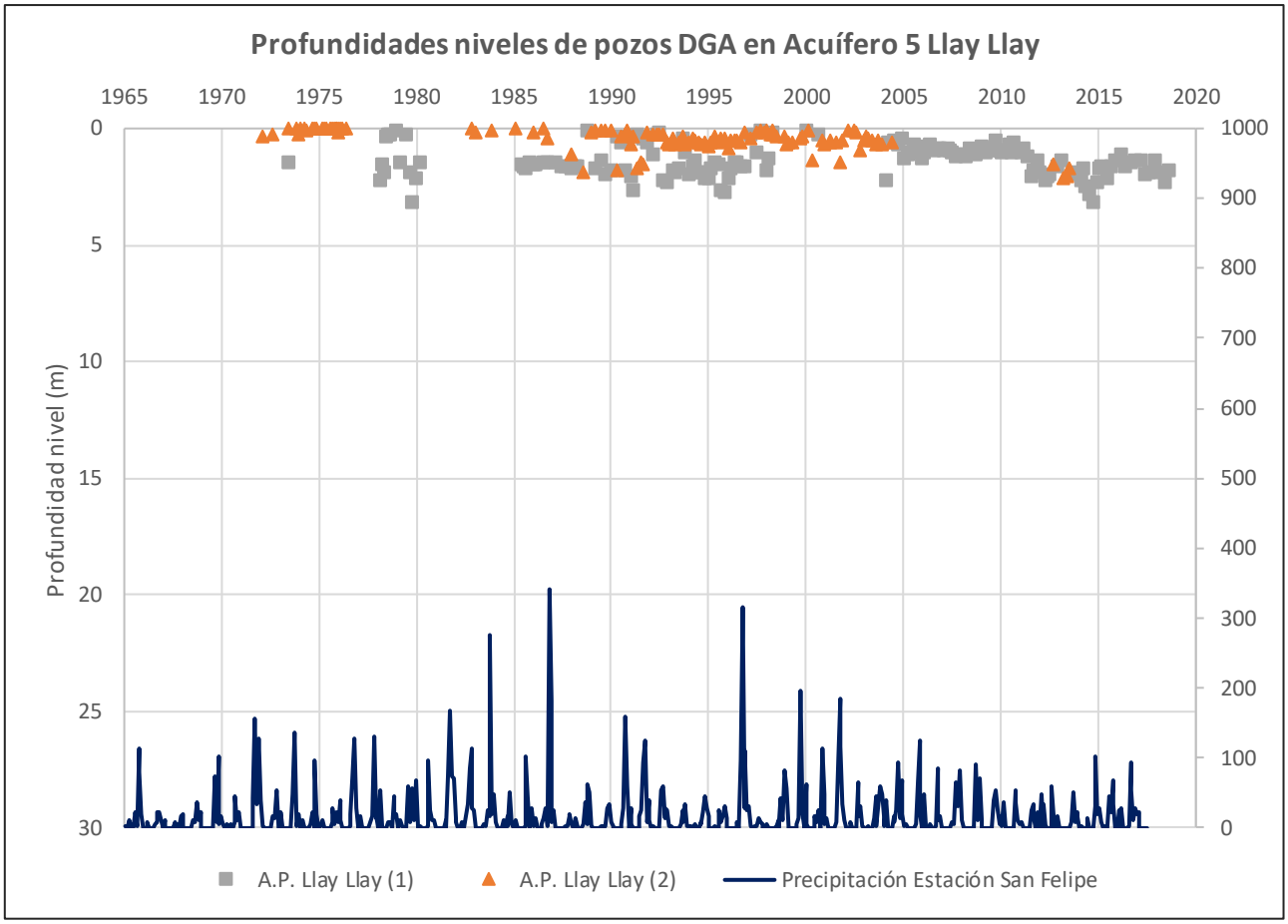
Se observa en la Figura 4-18 que el nivel del agua subterránea en el sondeo Llay llay (1) dispone de un registro casi continuo desde 1974 con una tendencia general levemente descendente que se ha visto más acrecentada a partir de 2015, siendo en la actualidad la profundidad del orden de dos metros, si bien a lo largo de la serie registrada, existen datos que registran descensos superiores, estos parecen responder a la variación estacional. El sondeo Llay llay (2) presenta dos saltos en la información, el primero de ellos entre 1976 y 1983 y el segundo entre 2005 y 2013, pero en términos generales presenta una tendencia muy similar a la registrada en el sondeo Llay llay (1).

Tabla 4-9: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 5 Llay llay.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. Num.	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
5 Llay-llay	AP Llayllay (1)	si	05422003-0	ene-74	abr-19	156	3,15	0,07	1,4
	AP Llayllay (2)	si	05422005-7	sept-72	oct-17	117	2,14	0	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Nota: AP Llay-llay (2) aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de marzo de 2014. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-18: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 5 Llay llay.

4.1.10.6 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 6 NOGALES – HIJUELAS

Sector Romeral-La Calera

En el valle del río Aconcagua entre el sector de Romeral y La Calera se encuentran, ordenados desde aguas arriba hacia aguas abajo, los pozos de monitoreo: Asentamiento La Sombra, Fundo Esperanza, Asentamiento Los Aromos, Rabuco (2), Fundo Florence, Manuel Rodríguez 1, 2 y 3, Conchalí y Parcela 5 (Figura 4-12). Los datos relevantes de estos pozos se presentan en la Tabla 4-10, mientras que la evolución de sus niveles en el tiempo se observa de manera gráfica en la Figura 4-19.

En el gráfico se destacan los pozos Rabuco 2 y Fundo Esperanza por ser los registran un nivel del agua subterránea más profundo que el resto. El nivel en estos pozos se observa bastante regular entre 6 y 7,5 m, aunque puntualmente se observan valores más profundos que probablemente estén reflejando niveles dinámicos, aunque en líneas generales se observa una ligera tendencia al descenso. Se estima que el registro más profundo que muestran estos pozos en relación a otros del mismo sector puede deberse a su ubicación más alejada del lecho del río.

Del resto de los pozos, la mayoría muestran en general valores menores a 2 m con una muy leve tendencia a la disminución de niveles a partir del año 2010, aproximadamente. La excepción son los pozos Fundo Florence y Conchalí, que si bien muestran en general valores menores a 4-5 m con oscilaciones sin un patrón definido. En el caso de Fundo Florence, se observan un patrón muy irregular de oscilaciones y una tendencia a la disminución de niveles a partir del año 1995, aproximadamente. En el caso del pozo Conchalí, el patrón es más regular desde el inicio del registro hasta el año 2005, donde comienza un descenso de los niveles y oscilaciones irregulares.

Tabla 4-10: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales – Hijuelas, sector Romeral – La Calera.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. Num.	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
6 Nogales - Hijuelas	A. La Sombra	si	05423018-4	mar-74	arb-19	243	4,30	0,20	1,1
	A. Los Aromos	si	05423022-2	mar-74	jul-18	241	8,55	0,03	0,82
	A. Manuel Rodríguez -1	si	05423017-6	may-74	arb-19	244	6,57	0,48	1,39
	A. Manuel Rodríguez -2	si	05423021-4	oct-74	ene-18	176	3,61	0,17	1,04
	A. Manuel Rodríguez -3	si	05423023-0	may-74	abr-19	235	3,51	0,08	1,33
	Conchalí	si	05424012-0	ene-71	jul-18	209	6,52	0,38	1,85
	Fundo El Carmen	si	05424010-4	mar-74	abr-19	215	2,31	0,14	0,77
	Fundo Esperanza	si	05423020-6	mar-74	oct-17	120	8,84	0,47	6,39
	Fundo Florence	si	05423014-1	ene-67	jul-18	170	9,85	0,49	2,71
	Parcela 5	si	05423016-8	mar-65	oct-17	259	7,04	0,01	1,63
	Rabuco (2)	si	05423019-2	abr-74	abr-19	276	9,03	4,62	6,36

Fuente: Elaboración propia.

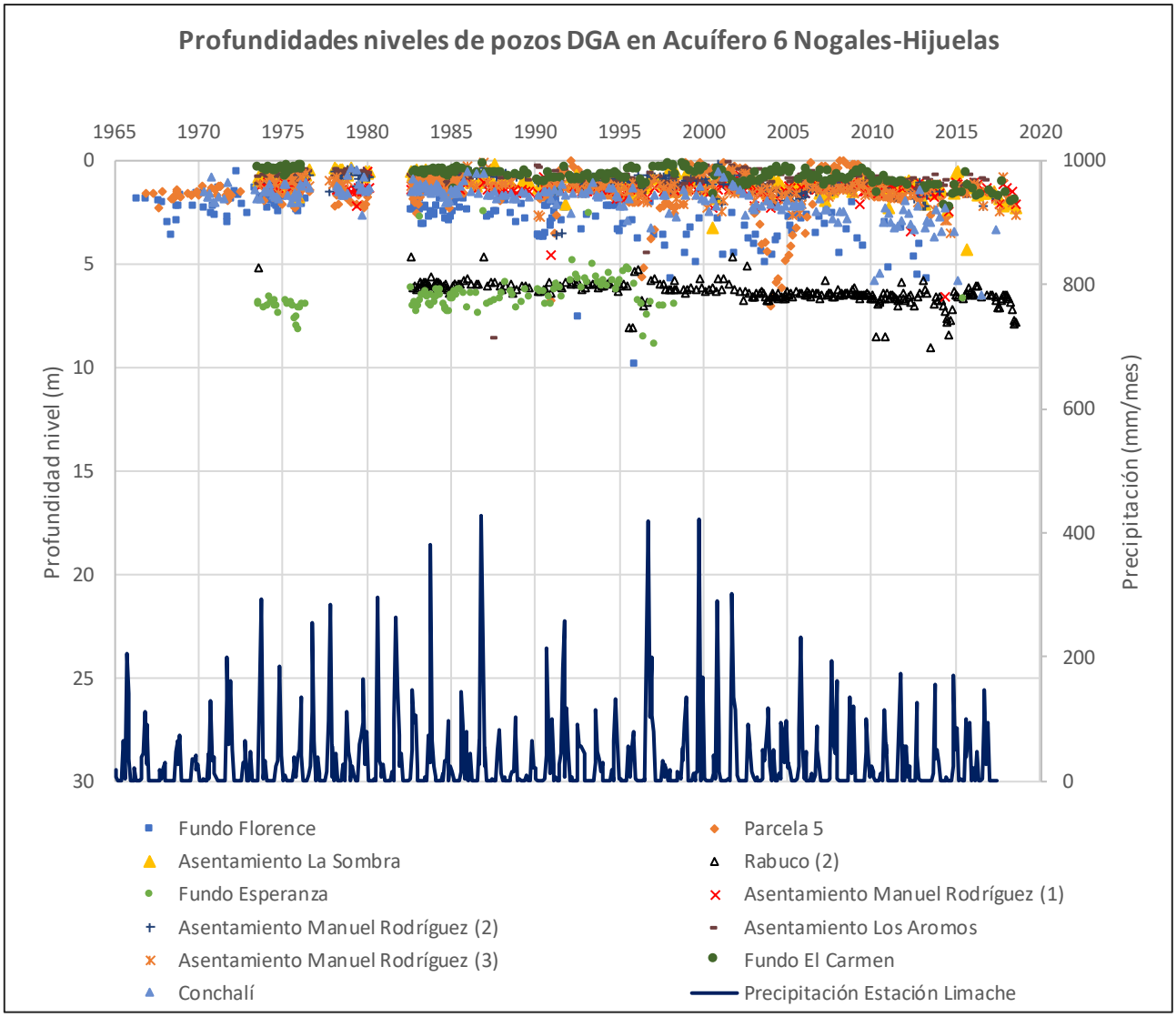
Nota 1: Los Aromos aparece con último registro en julio de 2018, sin embargo, el último registro válido es de julio de 2017. En adelante los registros son "0".

Nota 2: Conchalí aparece con último registro en julio de 2018, sin embargo, el último registro válido es de enero de 2018. En adelante los registros son "0". Entre enero de 2015 y enero de 2018, hubo 4 registros válidos y 9 registros en "0".

Nota 3: Fundo Esperanza aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de febrero de 2016. En adelante los registros son "0".

Nota 4: Fundo Florence aparece con último registro en julio de 2018, sin embargo, el último registro válido es de enero de 2014. En adelante los registros son "0".

Nota 5: Parcela 5 aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, el último registro válido es de julio de 2014. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-19: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales – Hijuelas, sector Romeral-La Calera.

Sector Nogales y El Melón

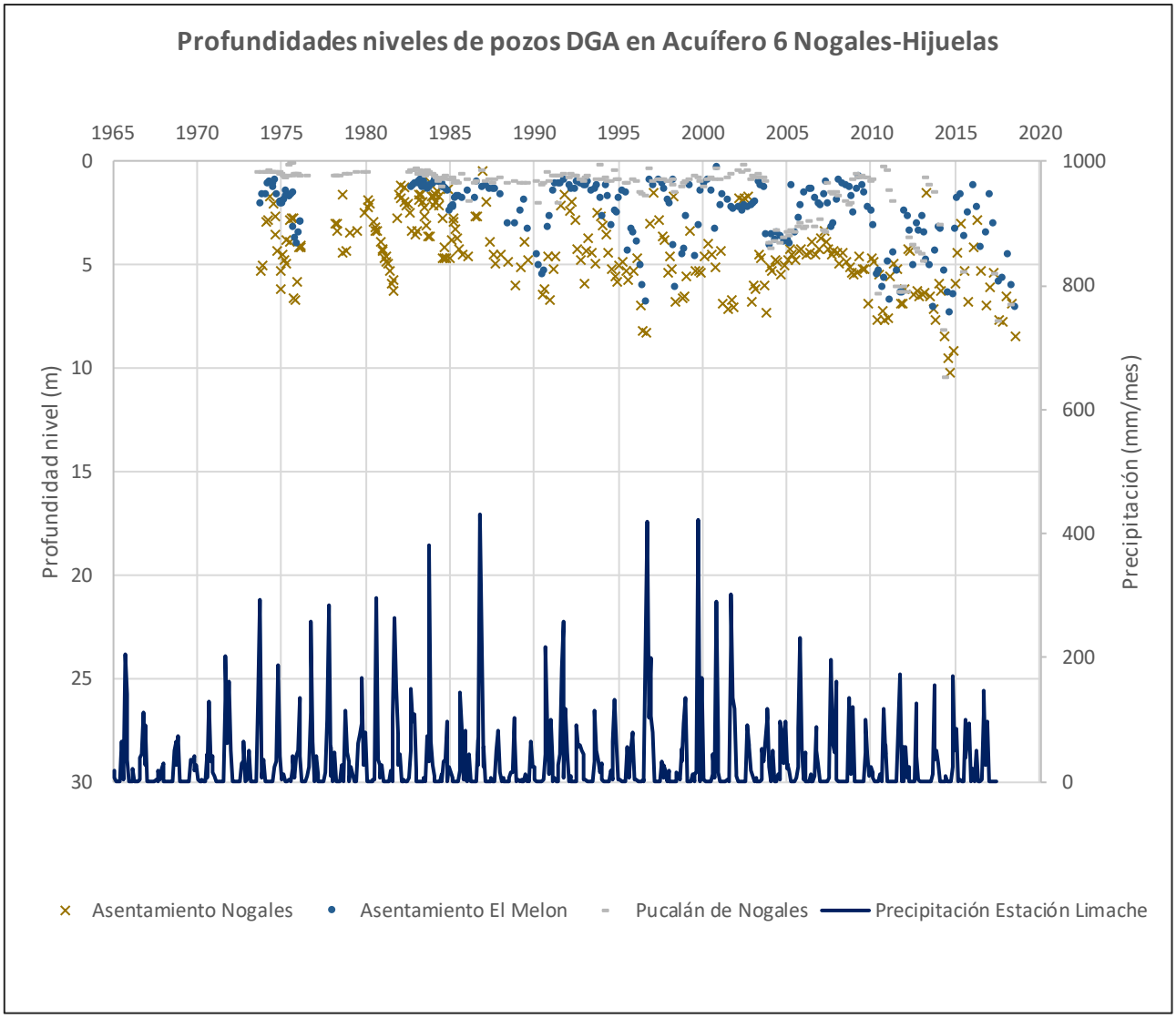
En el sector del valle del estero El Melón se encuentran los pozos de monitoreo Asentamiento El Melón, Asentamiento Nogales y Pucalán de Nogales (Figura 4-12), en los cuales se observan siempre niveles menores a 10 m. Estos pozos tienen una profundidad similar entre 9 y 12 m, sin embargo, los niveles presentan un comportamiento diferente, lo que se puede observar en el gráfico de la Figura 4-20.

Tabla 4-11: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales – Hijuelas, sector Nogales y El Melón.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. Numérico	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
6 Nogales - Hijuelas	A. El Melón	si	05424008-2	jun-74	abr-19	230	7,34	0,30	2,48
	A. Nogales	si	05424007-4	jun-74	abr-19	263	10,22	0,50	4,44
	Pucalán de Nogales	no	05424006-6	may-74	ene-19	217	10,39	0,01	1,43

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En Pucalán de Nogales, entre marzo de 2015 y enero de 2019, existen sólo 4 registros válidos y 10 registros en "0".



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-20: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 6 Nogales – Hijuelas, sector Nogales- El Melón.

El pozo Pucalán de Nogales muestra un nivel de agua subterránea bastante regular con oscilaciones muy menores en torno a 1 m de profundidad entre los años 1974 hasta mediados de 2004. En esa fecha, se observa un descenso brusco de un poco más de 3 m para luego ir recuperando su nivel en forma sostenida hasta julio de 2011. En adelante, el registro se muestra con oscilaciones sin un patrón definido, moviéndose entre 0,2 m y 10 m.

En el Pozo Asentamiento Nogales se observa hasta aproximadamente el año 1995 que el nivel de la napa oscila en forma constante sin un patrón definido, variando en el rango 1,1-6,8 m de profundidad; para luego variar en un rango algo mayor (1,8-8,3 m) hasta el año 2004. Luego, entre 2005 y 2010, se observa un período con niveles bastante regulares y oscilaciones pequeñas en torno a los 5 m de profundidad. A partir del año 2010, se vuelve a observar una amplitud en el registro, con oscilaciones sin un patrón definido. La tendencia general es al descenso.

Para el caso del pozo Asentamiento El Melón, el cual se ubica cerca de la ciudad El Melón, las oscilaciones del nivel de agua subterránea son irregulares y se han registrado períodos en que el nivel desciende cerca de 5 m y períodos en que se ha mantenido relativamente constante en torno a 1 m de profundidad. A partir del año 2010, las oscilaciones son mayores, variando en el rango 1-10 m, aproximadamente. La tendencia general del registro es al descenso.

4.1.10.7 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 7 QUILLOTA

En la Tabla 4-12 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo de monitoreo en el acuífero. Dada la cantidad de pozos y las tendencias observadas, la evolución de niveles se presenta por medio de 2 gráficos (Figura 4-21 y Figura 4-22), donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica Limache, representativa de la zona.

En la Figura 4-21 se representan la mayoría de los pozos de la zona, que muestran niveles someros del orden de 2 m de profundidad, mientras que en la Figura 4-22 se representan los pozos con niveles más profundos en el rango 5-15 m.

Tabla 4-12: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 7 Quillota.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En modelo numérico	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
7 Quillota	A. El Cajón	si	05426009-1	mar-68	oct-18	240	8,26	0,28	1,31
	A. Las Pataguas	no	05426014-8	mar-74	oct-17	236	5,15	0,35	1,48
	A. Las Pataguas	no	05426022-9	mar-74	abr-19	248	5,48	0,11	1,51
	Calle Santa María	si	05425005-3	dic-68	oct-17	187	13,86	3,74	6,93
	Callejón Zaravia	si	05425004-5	ago-89	abr-19	155	20,37	10,62	13,90
	Fundo El Progreso	si	05426007-5	mar-71	abr-19	235	4,16	0,60	1,7
	Fundo Esmeralda -1	si	05426005-9	ago-71	abr-19	268	4,32	0,12	0,67
	Fundo Esmeralda -2	si	05426006-7	ago-71	abr-19	219	2,96	0,05	0,60
	Fundo Esmeralda -3	si	05426011-3	jul-67	oct-17	229	2,79	0,02	0,71
	Las Cruzadas	si	05426020-2	feb-86	abr-19	166	22,05	1,26	4,1
	Parcela 12 La Cruz	no	05426015-6	mar-74	abr-19	246	2,86	0,10	1,0
	Parcela San Antonio	si	05425006-1	jun-74	abr-19	245	5,05	0,54	1,9
	San Isidro Puente	si	05426016-4	mar-74	abr-19	250	3,93	0,44	1,84

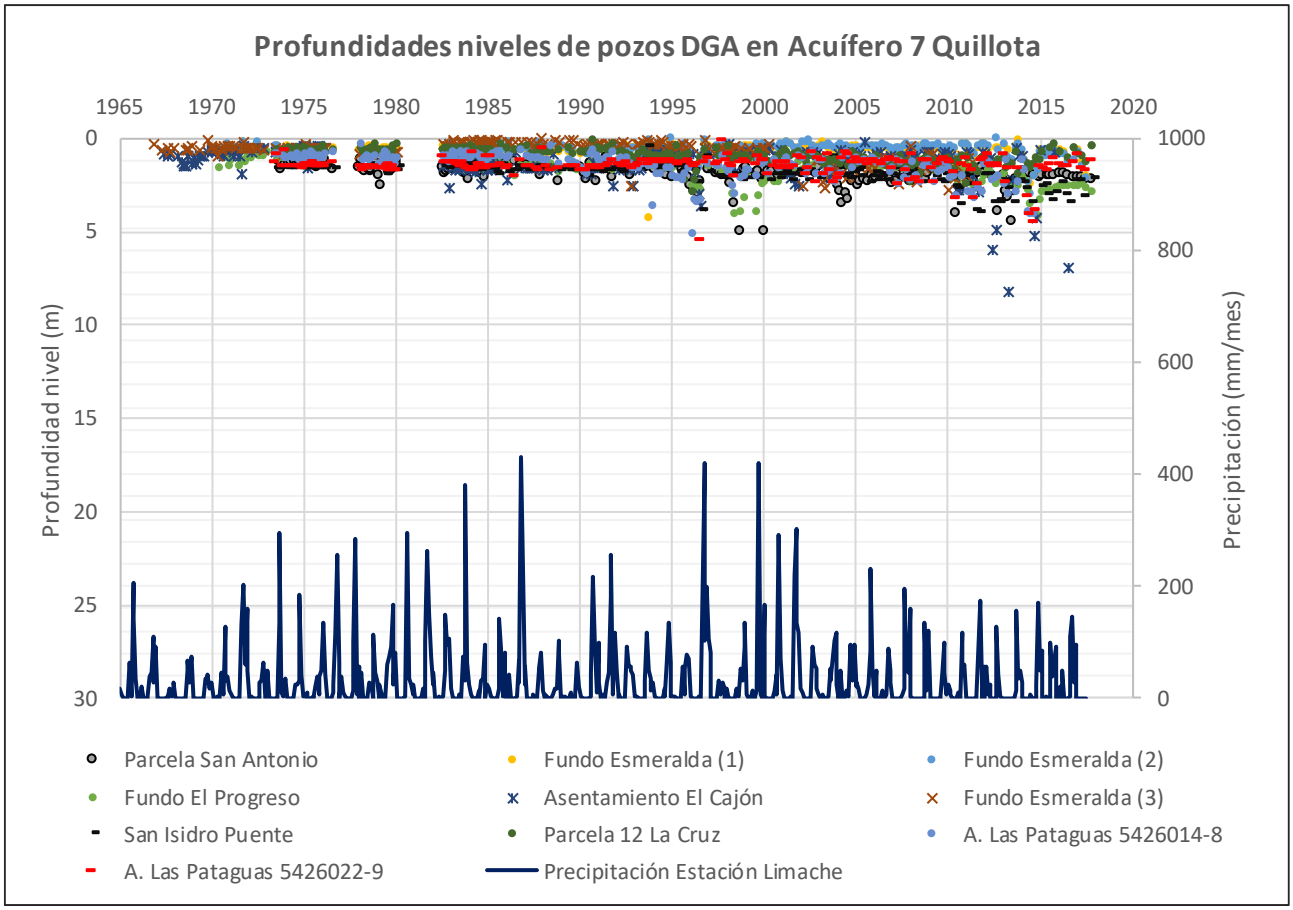
Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Asentamiento El Cajón aparece con último registro en octubre de 2018, sin embargo, su último registro válido es de abril de 2017. Entre septiembre de 2014 y abril de 2017 hay 6 datos y 6 registros que son "0".

Nota 2: Asentamiento Las Pataguas (5426014-8) aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, su último registro válido es de julio de 2017. Entre junio de 2015 y julio de 2017 sólo hay 2 datos, el resto de registros (8) son "0".

Nota 3: Calle Santa María aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, su último registro válido es de julio de 2011. En adelante los registros son "0".

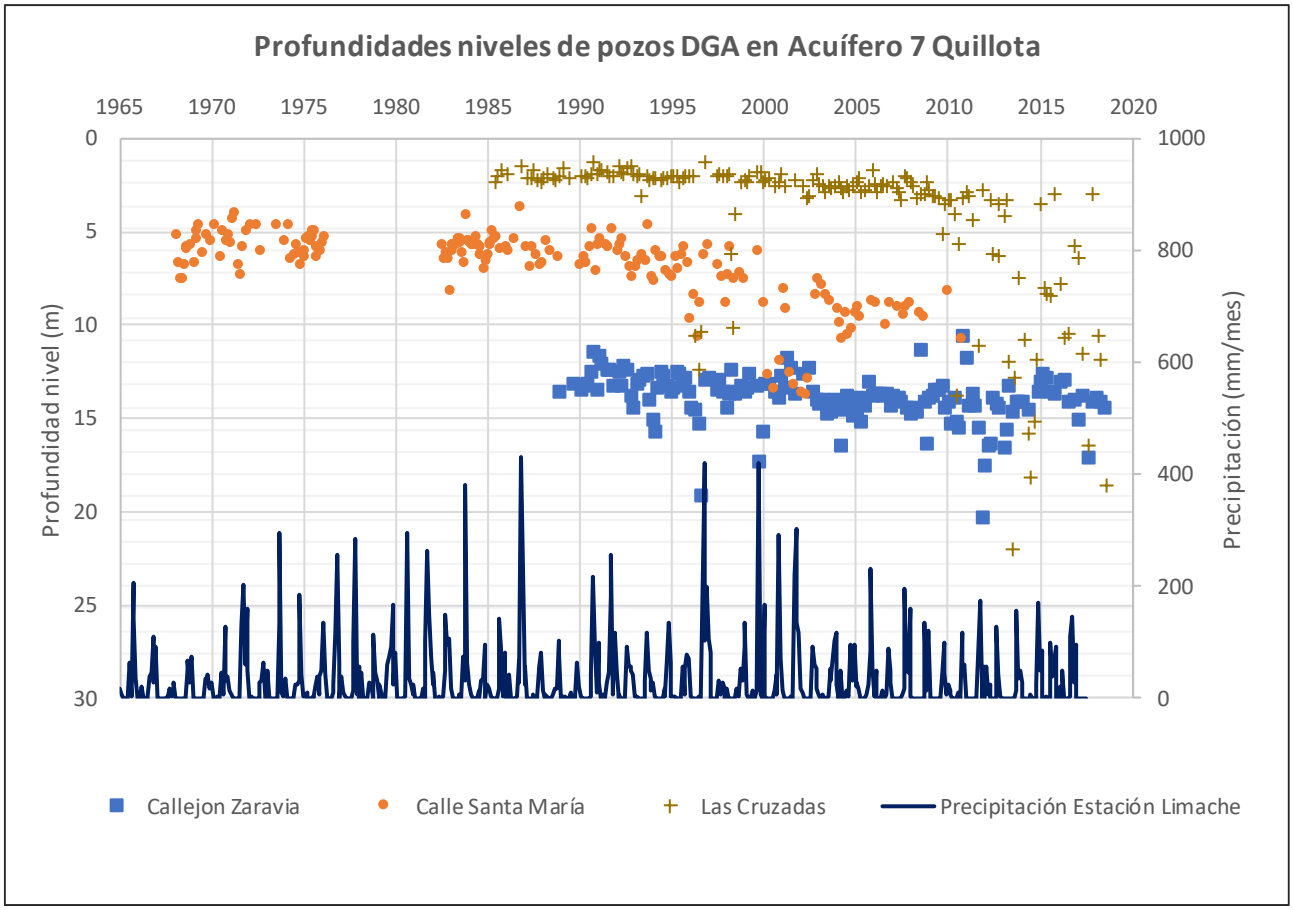
Nota 4: Fundo Esmeralda (3) aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, su último registro válido es de enero de 2012. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-21: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA (Grupo 1) en Acuífero 7 Quillota.

Como se observa en la Figura 4-21 el nivel del agua subterránea se encuentra muy estable a menos de 1,5 m de profundidad hasta el año 1980. A partir de esa fecha, se observa una tendencia general a la disminución del nivel, aunque muy paulatina, mostrando niveles menores a 2 m hasta el año 1995 aproximadamente y menores a 2,5 m hasta el año 2010. A partir del año 2010, se observa un registro algo más disperso y una tendencia a seguir profundizando en algunos pozos, que de todas maneras mantiene los niveles menores a 4 m. Particularmente, algunos pozos muestran a lo largo del registro niveles de mayor profundidad, que podrían asociarse a niveles dinámicos o errores en la medición y no representan la tendencia general del acuífero en la zona.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-22: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA (Grupo 2) en Acuífero 7 Quillota.

En la Figura 4-22 se observa la evolución de niveles en los pozos con registro de mayor profundidad. En el caso de Callejón Zaravia, los niveles oscilan en torno a los 15 m de profundidad, mostrando oscilaciones que responden directamente a los períodos de lluvia. En general, este pozo muestra una tendencia menor a la disminución de niveles, apreciable a lo largo de todo el registro.

En la misma figura, el pozo Calle Santa María cuenta con un registro desde finales de la década del 60 hasta el año 2010 aproximadamente. Se observan una clara tendencia descendente desde los 5 m de profundidad en los primeros años hasta valores en torno a 10 m al final del registro.

Se presenta también en la Figura 4-22 el caso particular del pozo Las Cruzadas, que, si bien presentaba niveles menores a 3 m y una tendencia muy leve al descenso hasta el año 2010, al igual que el resto de los pozos del sector; desde ese año ha mostrado un registro muy irregular, con una amplia oscilación en los niveles llegando incluso bajo los 20 m de profundidad.

4.1.10.8 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 8 ACONCAGUA DESEMBOCADURA

En este sector hidrogeológico se ha identificado un acuífero superior y un acuífero inferior, por lo que los pozos de monitoreo se encuentran habilitados de forma de representar ambos niveles. Particularmente, los pozos "Con Con 05428004-1", "Con Con 05428005-K" y "Con Con 05428008-4" se encuentran habilitados en el acuífero inferior, mientras que el resto se encuentran habilitados en el acuífero superior. La ubicación de todos ellos se puede ver en la Figura 4-12, presentada con anterioridad.

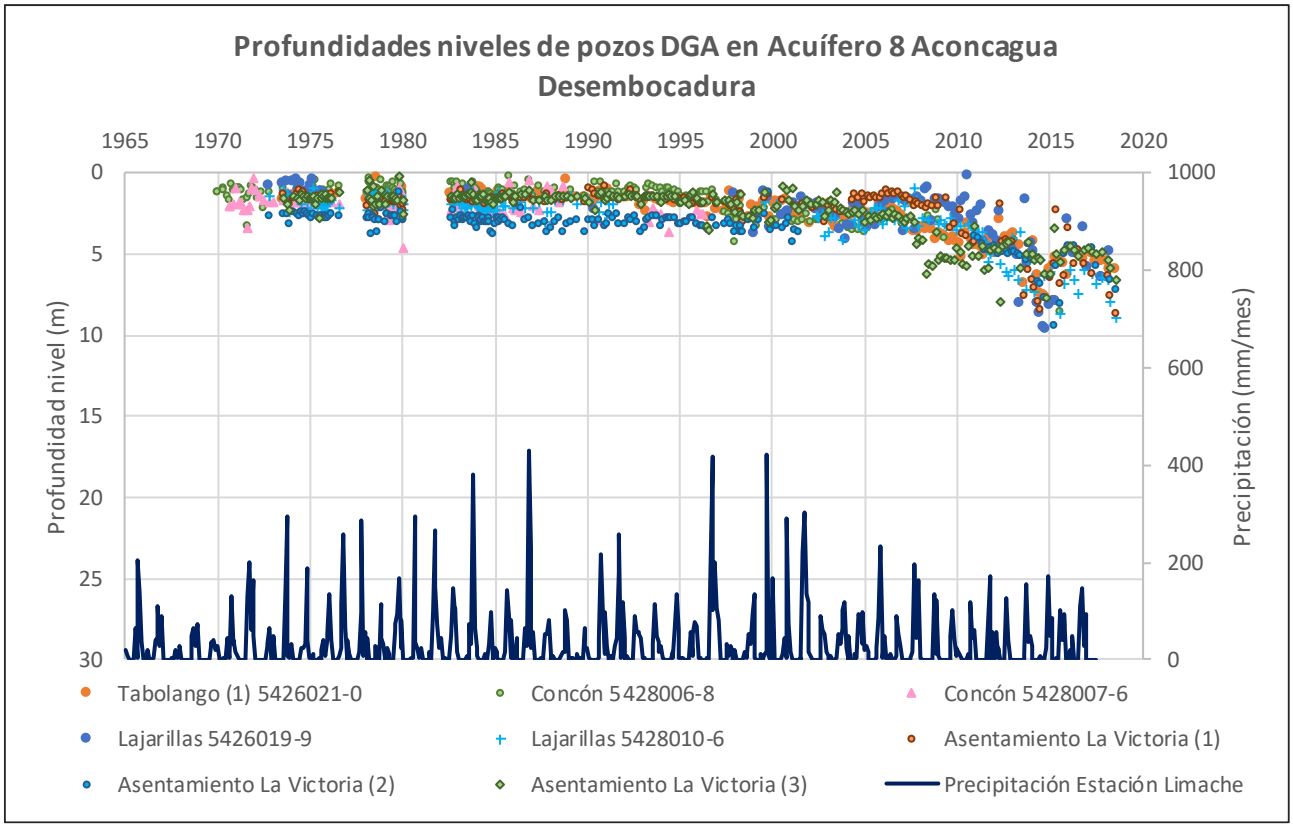
En la Tabla 4-13 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-23 (acuífero superior) y la Figura 4-24 (acuífero inferior), donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica Limache, representativa de la zona.

Tabla 4-13: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura.

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En modelo numérico	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Porf. Prom. (m)
8 Aconcagua Desembocadura	A. La Victoria -1	si	05426012-1	abr-74	abr-19	225	8,72	0,86	2,2
	A. La Victoria -2	si	05426017-2	jul-73	abr-19	196	9,47	1,16	3,34
	A. La Victoria -3	si	05426018-0	abr-74	abr-19	255	7,92	0,23	2,5
	Con Con	si	05428004-1	nov-70	sept-98	159	24,67	0,30	6,09
	Con Con	si	05428005-K	sept-70	abr-19	266	16,21	0,28	5,1
	Con Con	si	05428006-8	sept-70	oct-17	218	8,54	0,27	1,67
	Con Con	si	05428007-6	may-71	dic-96	111	4,60	0,38	1,95
	Con Con	si	05428008-4	nov-69	abr-19	211	27,91	0,34	6,01
	Lajarillas	si	05426019-9	jul-73	ene-19	125	9,68	0,23	2,80
	Lajarillas	si	05428010-6	jul-73	abr-19	185	8,91	0,94	2,9
	Tabolango (1)	si	05426021-0	abr-74	abr-19	250	7,69	0,35	2,5

Fuente: Elaboración propia.

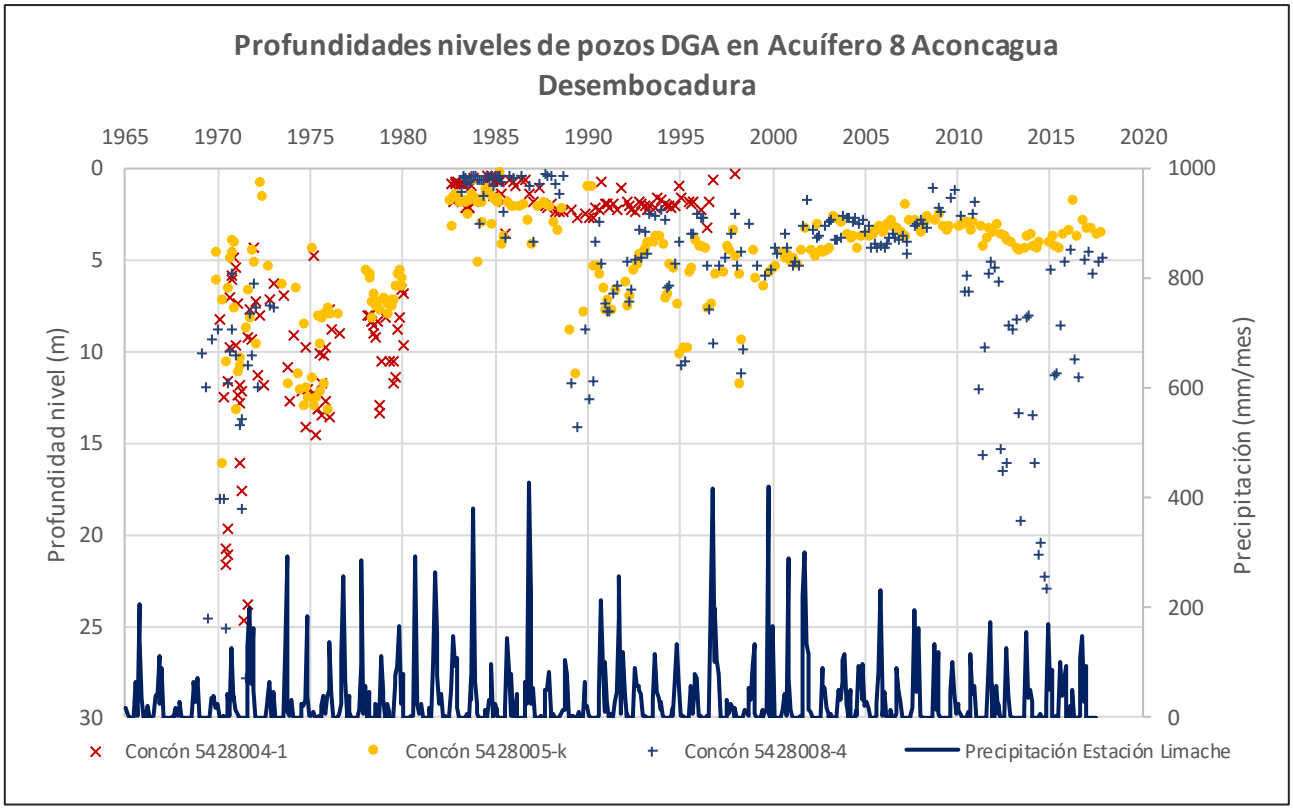
Nota 1: Con Con (05428006-8) aparece con último registro en oct de 2016, sin embargo, su último registro válido es de abril 2016. En adelante los registros son "0".



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-23: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura, en acuífero superior

En la Figura 4-23 se muestra el registro de niveles en los pozos representativos del acuífero superior. Se observa que hasta el año 2008, aproximadamente, los niveles se encontraban a profundidades menores a 3 metros, con un registro muy regular, sin grandes oscilaciones y con una leve tendencia al descenso. A partir del año 2008 se produce un aumento visible en la tasa de descenso, que en el año 2015 profundiza el nivel hasta casi 10 m en algunos pozos. Luego, en los años 2015-2018, se observa una recuperación de los niveles hasta aproximadamente los 5-6,5 m de profundidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-24: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 8 Aconcagua Desembocadura, en acuífero inferior

El nivel estático del acuífero inferior muestra un comportamiento bastante irregular: en los primeros años de registro se observan grandes oscilaciones, variando en el rango 5-25 m los primeros años y 5-15 m desde aproximadamente 1973 hasta la interrupción del registro que se produce en 1980. A contar del año 1982 aproximadamente, el nivel estático presenta una recuperación importante, manteniéndose a menos de 5 m de profundidad hasta el año 1989, con niveles regulares y someros al igual que el acuífero superior.

En el caso del pozo Con Con 05428004-1, estos niveles someros se mantienen hasta 1998, cuando se interrumpe su registro. En los otros 2 pozos, se vuelve a presentar oscilaciones con amplitudes entre 5 a 10 m hasta el año 2000.

En el caso del pozo Con Con 05428005-K, a partir del año 2000 y hasta el final del registro se observan niveles someros, menores a 5, con una tendencia al aumento hasta 2010 y luego estabilizado hasta 2018. Por otra parte, el pozo Con Con 05428008-4 sigue un comportamiento similar, con niveles someros y ascendentes desde el año 2000 hasta 2010, para luego dar paso a un registro errático y con fuertes oscilaciones entre 5 m y casi 25 m de profundidad.

4.1.10.9 EVOLUCIÓN DE NIVELES EN ACUÍFERO 9 LIMACHE

En la Tabla 4-14 se presenta un resumen de los datos relevantes del registro de cada pozo, mientras que su evolución se presenta en forma gráfica en la Figura 4-25, donde se observa también la estadística de precipitación mensual de la estación meteorológica Limache, representativa de la zona.

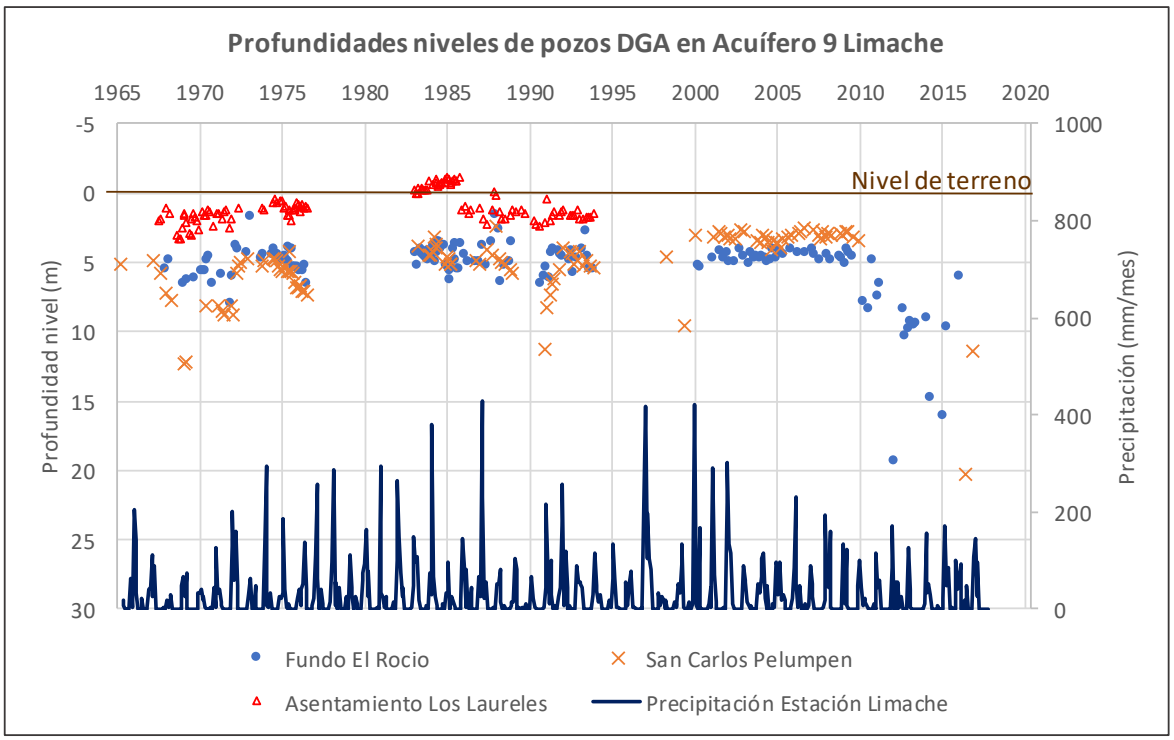
Tabla 4-14: Datos relevantes de estadística de niveles en pozos monitoreo DGA en Acuífero 9 Limache

Acuífero	Pozo Monitoreo DGA	En mod. Num.	Código BNA	Inicio registro	Fin registro	Num. Datos	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Prom. (m)
9 Limache	A. Los Laureles	si	05427009-7	dic-67	abr-94	96	3,32	0,05	1,50
	Fundo El Rocío	si	05427011-9	may-68	oct-17	157	19,40	1,64	5,31
	San Carlos Pelumpén	si	05427012-7	sept-65	abr-18	119	20,28	2,38	5,14

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: San Carlos Pelumpén aparece con último registro en abril de 2018, sin embargo, su último registro válido es de abril de 2017. Entre mayo de 2010 y abril de 2017, sólo hay 3 valores el resto de registros (9) son "0".

Nota 2: Fundo El Rocío aparece con último registro en octubre de 2017, sin embargo, su último registro válido es de julio de 2016. Entre septiembre de 2014 y julio de 2016 sólo hay 4 valores el resto de registros (5) son "0".



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-25: Evolución de niveles en pozos de monitoreo DGA en Acuífero 9 Limache

El pozo Asentamiento Los Laureles se ubica en la parte media del valle de Limache y cuenta con registro hasta abril de 1994, que en general muestra profundidades de nivel muy someras con valores menores a 3 m. Se observa una tendencia al aumento desde el inicio de las mediciones el año 1967 hasta el año 1986, mostrando incluso afloramientos del agua subterránea desde mediados de 1983 hasta inicios de 1986. A partir de esa fecha los niveles disminuyen y se mantienen estables en el rango 1-2 m, salvo dos afloramientos en marzo y mayo de 1988 y otro nivel que "casi" aflora en junio de 1991.

Los pozos Fundo el Rocío y San Carlos de Pelumpén se ubican hacia las zonas altas del valle y muestran, en términos generales y sólo hasta el año 2010, profundidades que varían entre 7,5-2,5 m con una tendencia al ascenso (dejando de lado algunos valores puntualmente bajo los 10 m en el pozo San Carlos Pelumpén que posiblemente sean dinámicos). En el registro entre el año 2000 y 2010 se vuelve evidente la diferencia de niveles entre ambos pozos, donde el pozo Fundo El Rocío muestra siempre profundidades levemente mayores. A partir del año 2010, el registro se vuelve errático con variaciones en el rango 5-20 m sin un patrón definido, presumiblemente asociado a niveles dinámicos.

4.2 DESCRIPCIÓN Y REVISIÓN DEL MODELO MODFLOW EXISTENTE (VM ACN 2008)

Durante los años 2007 y 2008, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), con el objetivo de desarrollar una herramienta de apoyo para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del Aconcagua, encargó a DICTUC S.A., el estudio hidrogeológico denominado "Modificación de los modelos DGA Visual Modflow-MOS y MOS-PS para determinación disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, primera y segunda etapa" (Ref. 13).

Lo anterior se sustentaba en que el análisis preliminar de la información generada por la DOH durante los años previos (geofísica y pruebas de bombeo) consideraba que potencialmente existiría una "mayor oferta de recursos hídricos" disponibles para ser otorgados en derechos de aprovechamiento. Este concepto se basó en que el modelo que la DGA manejaba entonces (2001) no consideraba información hidrogeológica actualizada que indicaría que los acuíferos tendrían mayores espesores saturados en la zona de San Felipe y por consecuente mayores flujos de agua subterránea desde esta unidad hacia el embalse subterráneo de la segunda sección de riego.

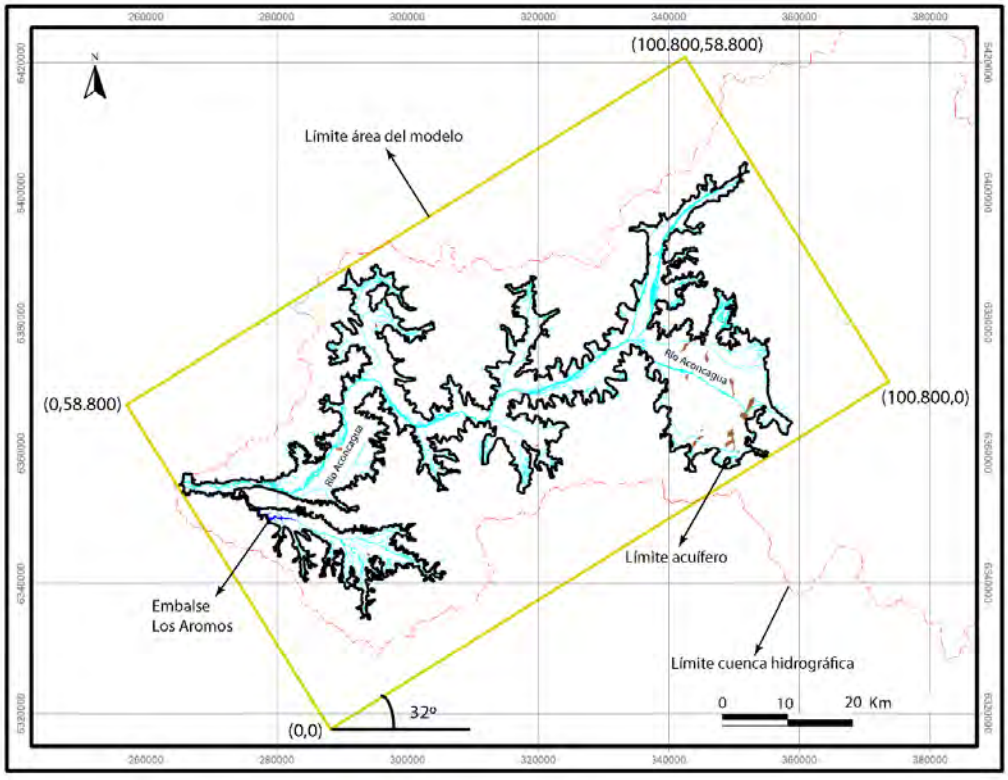
El estudio de la DOH (Ref. 13) consideró la modificación del modelo MOS (Modelo de Operación del Sistema) del sistema fluvial del valle del Aconcagua (ACN) y los 5 modelos Visual Modflow (VM) del sistema hidrogeológico utilizados por la Dirección General de Aguas (DGA) de 2001, ajustándose a los nuevos antecedentes generados, corrigiendo y actualizando su configuración. De esta forma se generó una nueva herramienta integrada (MOS ACN 2008 y VM ACN 2008) con fines de apoyo en la toma de decisiones para el tratamiento de los recursos hídricos del valle. En el desarrollo de ese estudio, además de la recopilación y análisis de datos acorde con los objetivos, se consideró la discusión de los

resultados parciales con la contraparte técnica, equipo de asesores y distintos organismos, los cuales incluyeron a profesionales de la DGA.

Cabe señalar que, la calibración y la simulación de los diversos escenarios para cada modelo por separado (MOS ACN 2008 y VM ACN 2008), requirió de su operación en forma conjunta, debido a que los resultados de recarga al acuífero obtenidos desde el MOS ACN 2008 se utilizaron como dato de entrada para VM ACN 2008. Esto permitió verificar los resultados de la operación de ambas herramientas por si solas, para un mismo recurso y sobre la misma unidad de control o cuenca, verificando así la consistencia de ambos modelos respecto de algunos parámetros subterráneos.

Con respecto al modelo hidrogeológico numérico (VM ACN 2008), el valle completo fue representado en un dominio rectangular de 58,8 km de ancho por 100,8 km de largo, rotado 32° en sentido antihorario (Figura 4-26). El tamaño de las grillas es uniforme con celdas de 100 m x 100 m en toda el área, originando una malla de trabajo regular conformada por 588 filas y 1.008 columnas. El modelo posee 3 estratos con características hidrogeológicas variables.

Se estima en general que la orientación utilizada y el refinamiento areal adoptado (subdivisión regular con celdas de 100 m x 100 m) es adecuado considerando el tamaño del dominio, y su variabilidad litológica, la dirección del flujo subterráneo principal y la capacidad de los ordenadores de esa época. El refinamiento en profundidad (3 capas) es representativo para el valle principal, pero se aleja en algunos sectores tributarios laterales donde se requeriría más detalle. En cuanto al paso temporal, con periodos de stress mensuales se obtiene una buena representación de las variaciones estacionales de la recarga y del bombeo.



Fuente: Ref. 13

Figura 4-26: Relación de coordenadas en la representación del acuífero en el modelo

La geometría del modelo se basó en la definición supervisada de la base de cada capa en alrededor de 600 perfiles esquemáticos trazados en el software HydroGeoAnalyst (HGA), tipo corredor o buffer donde se proyectaron los mapeos de pozos e información geofísica levantada previamente. El nivel de terreno en el valle tiene una resolución adecuada tomada desde las cartas de la Comisión Nacional de Riego (CNR) con curvas de nivel topográficas cada 10 m. Se observa buena concordancia entre estos perfiles y sus secciones asociadas en el modelo numérico. Las conexiones entre las celdas del modelo numérico, es óptima, reflejando el cuidado que se tuvo durante la construcción del mismo. Para la inclusión de una cuña salina en la desembocadura, se requeriría mayores estudios de la interface entre el agua dulce y salada (perfilajes de conductividad).

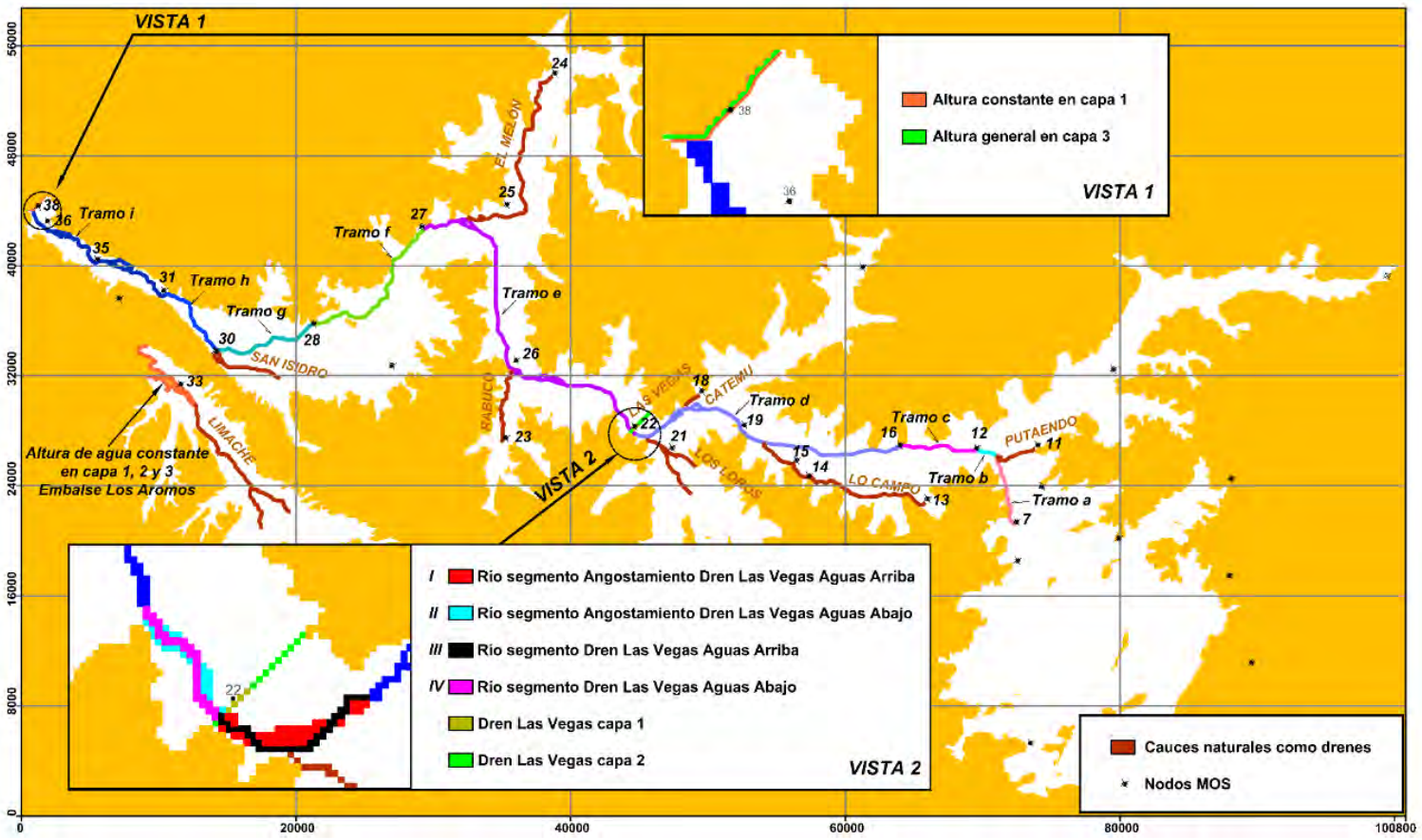
En la Tabla 4-15 se muestra un resumen de las principales características del modelo numérico VM ACN 2008. La ubicación de las condiciones de borde del modelo se presenta en la Figura 4-27. El detalle de la construcción y calibración del modelo original se puede apreciar en los documentos de la Ref. 13 y en la Ref. 1. Como se observa en la Tabla 4-15, la galería subterránea Las Vegas es representada a través de una condición de borde tipo dren, cuyas dimensiones y cotas fueron proporcionadas por ESVAL. El caudal promedio que colectaba la galería era entonces de aproximadamente 1.600 l/s (valor conque fue calibrado dicho modelo) y su conductancia de dren calibrada es de 500 m^2/d.

Tabla 4-15: Características principales del modelo VM ACN 2008.

Característica	Descripción
Régimen	• Transitorio con stress period mensuales entre abril de 1991 y marzo de 2006
Dominio	• Rectangular de 58,8 x 100,8 km por lado • Rotado en 32° (sentido antihorario) • De toda la cuenca del río Aconcagua, acotado lateralmente por un borde impermeable (contacto roca-relleno), salvo en salidas hacia aguas abajo • Borde impermeable de fondo (basamento rocoso)
Grilla	• datum Psad 56 • 588 filas x 1008 columnas • Celdas cuadradas de 100 m^2 y altura variable • 1.788.112 celdas, de las cuales 352.275 están activas (considerando los 3 layers) • 3 capas con características hidrogeológicas variables
Tipo de acuífero por capa	• Capa 1: No confinado • Capa 2 y 3: Convertible
Recarga	• Recarga lateral: flujo desde 16 cuencas laterales aportantes al modelo subterráneo representado como 10.758 pozos de inyección distribuidos por los bordes del acuífero • Recarga superficial: recarga proveniente de excedentes de riego y de precipitaciones
Pozos de bombeo	4.467 pozos según derechos de agua catastrados y campaña de terreno
Pozos de observación	56 pozos con información de niveles (DGA)
Condiciones de borde	• Drenes: Cauces naturales y galería subterránea Las Vegas • Altura de agua constante: Descarga del acuífero superior en desembocadura (0 m.s.n.m) y descarga al embalse Los Aromos en Limache (57 m.s.n.m) • Borde de carga general: Salida del acuífero inferior al mar en desembocadura Río: río Aconcagua (desde el nodo 7 del MOS ACN 2008 hasta su desembocadura)

Característica	Descripción
Solver	SAMG: • Error de cierre (BCLOSE) = 0,03 • DAMP = -2 • DUP = 1 • DLOW = 0,1
Otros	• Recarga aplicada sobre la capa 1 (activa) • Rehumedecimiento de celdas desactivado

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

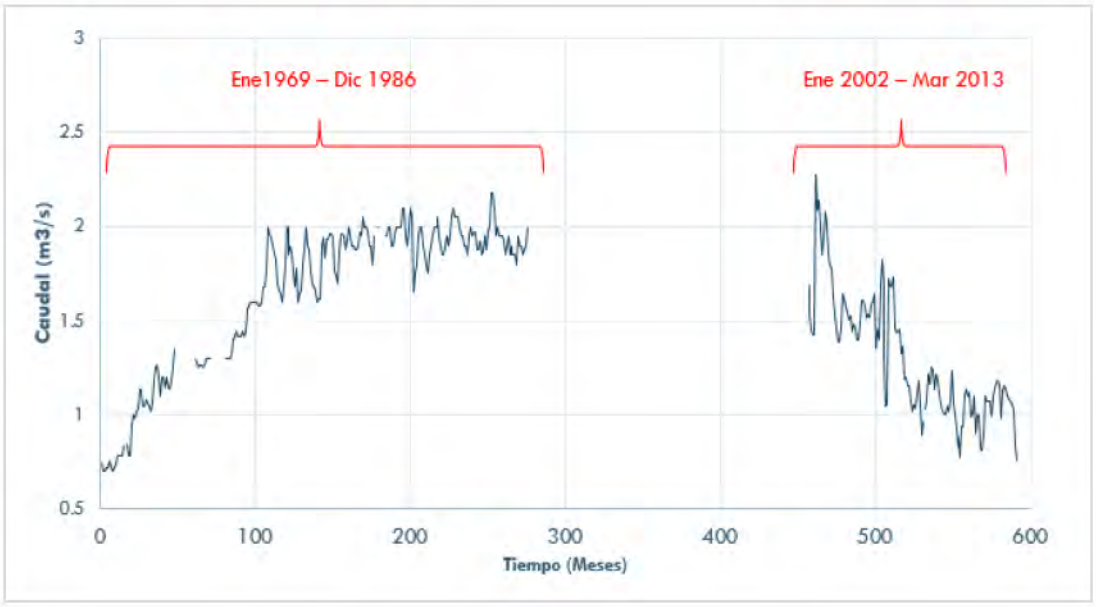
Figura 4-27: Ubicación condiciones de borde en el modelo

Durante los últimos años, la DGA adoptó este modelo como una herramienta de apoyo para la administración de los recursos hídricos de la cuenca del Aconcagua, tal como se indica en el informe SDT 387 de 2016 (Ref. 1), la cual permitió aumentar la disponibilidad subterránea en las secciones superiores de riego de la cuenca en base a derechos de aprovechamiento provisionales.

De la revisión exhaustiva del modelo matemático llevada a cabo por WSP, se pueden extractar los siguientes comentarios principales:

1) VM ACN 2008 fue elaborado rigurosamente sobre la base de un robusto modelo hidrogeológico conceptual reuniendo las mejores prácticas de modelación disponibles entonces, cuidando:
    a. Los errores de convergencia que se mantienen en el tiempo bajo el 1% de error.
    b. La preservación de las variables impuestas, recarga (superficial y lateral) y extracciones.
    c. La consistencia de las propiedades hidrogeológicas calibradas con el modelo conceptual. La permeabilidad varía espacialmente entre 0,1 y 600 m/d y los almacenamientos de largo plazo (Sy) varían entre 1 y 12%.
    d. La consistencia de los flujos principales calculados por el modelo, en particular los afloramientos en la segunda sección de riego del valle y,
    e. El nivel de ajuste y tendencia de los niveles de agua subterránea computados, en contraste con los valores observados.

2) No obstante, es susceptible de mejorar como cualquier herramienta de este tipo, con una mayor base de datos subyacente, en especial:
    a. El caudal promedio mensual observado en la galería Las Vegas durante el periodo 2010-2012 fue del orden de 1.000 l/s, que representa una disminución respecto a los caudales logrados históricamente (promedio de 1.600 l/s). Incluso se controlaron caudales menores a los 600 l/s en meses puntuales, lo que representa una disminución relevante en una de las fuentes de abastecimiento más importantes para ESVAL en la V Región (Figura 4-28, Ref. 6).



Fuente: Ref. 6

Figura 4-28: Caudal observado en dren Las Vegas

b. Una mejor representación de la interacción del embalse Los Aromos con el sistema subterráneo a la salida del acuífero de Limache, esto se lograría con la condición de borde de Lago en lugar del borde de altura conocida utilizado (fijo en el espacio y constante en el tiempo con una cota correspondiente al espejo de agua promedio del embalse), de esta forma se resolvería el balance hídrico superficial del embalse, el subterráneo del acuífero y la relación entre ambos elementos (flujos de descarga subterránea en el embalse).

c. Un mejor control del volumen bombeado efectivamente desde el valle, en particular de los pozos destinados para riego.

d. Aforos en el río Aconcagua y sus afluentes, de manera de cuantificar recuperaciones para tramos específicos como blanco de calibración.

e. El modelo disponible no representa bien la complejidad hidrogeológica de los acuíferos de Limache y LLay llay, la discretización en profundidad (3 capas) se adapta bien al valle principal pero no a estos tributarios laterales, aspecto que podría ser subsanado hoy en día con modflow USG que levanta la restricción de tener igual discretización en profundidad para todo el dominio, es decir puede haber sectores locales con un mayor número de capas. Se observa que los ajustes en los pozos de observación de estos sectores, en particular Limache, se desvían considerablemente en los meses anteriores a marzo de 2006 (Ref. 13, pozos 3250 7110 C9 y 3300 7110 B1).

4.3 ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MODFLOW (VM ACN 2019)

El modelo VM ACN 2019 fue elaborado sobre la base del modelo elaborado por DICTUC el año 2009 (VM ACN 2008) (Ref. 13), contemplando la extensión a marzo de 2019 de la información de entrada requerida. El modelo VM ACN 2019 mantiene la misma geometría y parámetros hidrogeológicos de su antecesor, los cuales están respaldados por un robusto estudio conceptual hidrogeológico realizado en la cuenca del río Aconcagua (Ref. 13).

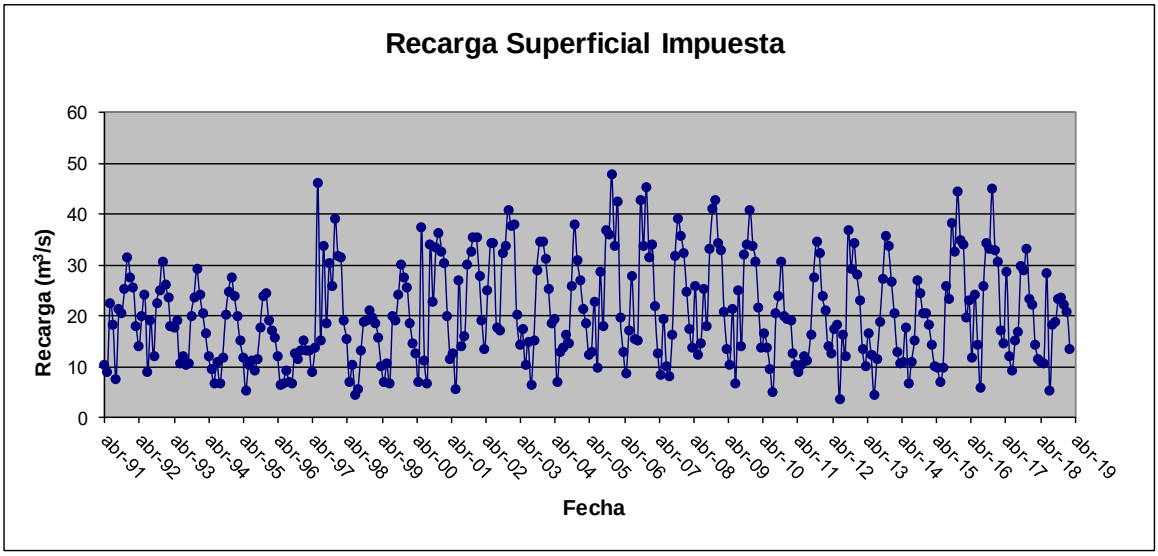
A fines de lograr una mayor representatividad de la galería subterránea Las Vegas perteneciente a ESVAL, se modificó a su alrededor la condición de borde de río, según los ciclos de sequía registrados en la cuenca, buscando reproducir la variación observada en la producción del dren.

4.3.1 EXTENSIÓN DEL MODELO

La actualización, como se ha mencionado anteriormente, consistió básicamente en la extensión hasta marzo de 2019 de la información de entrada al modelo. En esta sección se resume los principales cambios realizados sobre el modelo antecesor VM ACN 2008.

1) El período de modelación se extendió entre abril de 1991 hasta marzo de 2019, considerando 336 períodos de estrés (mensuales).

2) La recarga superficial ocupada en VM ACN 2019 fue generada a partir del programa MOS ACN 2019 (Capítulo 3), el cual también corresponde a una actualización de la versión anterior elaborada por el DICTUC en 2008 (MOS ACN 2008). Este programa permite representar el sistema superficial, los sistemas de riego y la vinculación general con los sistemas subterráneos. La serie de recarga generada considera la recarga proveniente de los sectores de riego por percolación profunda de los excedentes del riego y de las precipitaciones, además de la infiltración desde los tramos de río. De este modo, se obtiene una recarga superficial actualizada para las 71 zonas de recarga definidas en el modelo. En la Figura 4-29 se muestra la serie de recarga superficial utilizada durante la etapa de extensión del modelo. La recarga superficial promedio para el periodo entre abril de 1991 y marzo de 2019 es de 20,7 m^3/s (Tabla 4-16).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-29: Serie de recarga superficial considerada desde el MOS.

Tabla 4-16: Asignación de recarga superficial en el modelo.

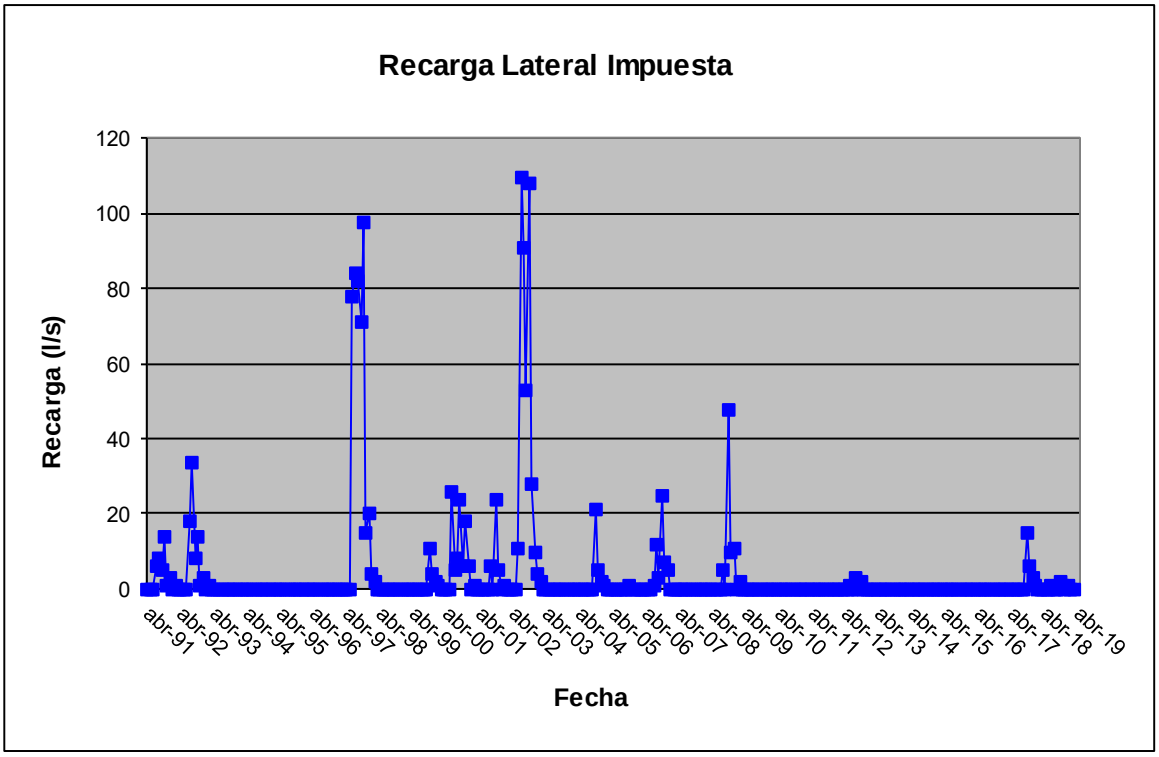
Código de Propiedad	Nombre de Propiedad	Sector de Riego	Superficie (Km^2)	Recarga Promedio (mm/año)	Caudal Promedio de Ingreso (m^3/d)
2	S01	S01-1	13,12	1.022,2	36.741,4
3	S02	S01-2	41,71	1.094,8	125.102,4
4	S03	S03	36,13	843,5	83.491,7
5	S04	S04	24,03	869,6	57.248,0
6	S05	S05	7,59	0,0	0,0
7	S06	S06	29,41	1,3	108,8
8	S07	S07	53,29	512,5	74.820,0
9	S08	S08	16,46	659,0	29.716,4
10	S09	S09	52,24	497,1	71.146,0
11	S10	S10	83,93	450,1	103.499,0
12	S11	S11	32,19	867,5	76.502,4
13	S12	S12	10,56	336,6	9.737,8
14	S13	S13	48,95	378,4	50.743,4
15	S14	S14	14,81	465,6	18.893,2
16	S15	S15	12,02	562,8	18.535,1
17	S16	S16	20,72	297,4	16.883,0
18	S17	S17	0,67	6.599,5	12.114,1

Código de Propiedad	Nombre de Propiedad	Sector de Riego	Superficie (Km^2)	Recarga Promedio (mm/año)	Caudal Promedio de Ingreso (m^3/d)
19	S18	S18	5,68	948,2	14.756,0
20	S19	S19	52,19	646,2	92.397,8
21	S21	S01-3	33,63	990,0	91.214,6
22	S22	S01-4	20,73	686,4	38.980,9
23	S23	S01-5	5,60	613,5	9.412,4
24	S24	S01-6	3,01	1.553,0	12.807,2
25	S25	S01-7	3,76	1.850,8	19.065,8
26	S26	S01-8	4,09	2.056,9	23.049,0
27	S28	S02-2	14,66	1.533,7	61.602,1
28	S29	S02-3	51,16	1.523,7	213.573,1
29	S30	S02-4	34,48	1.324,2	125.087,5
30	S31	S02-5	6,57	1.357,3	24.432,0
31	S32	S02-6	2,88	1.236,1	9.753,3
32	S33	S02-7	7,54	1.690,1	34.913,6
33	N03 (estero Quilpué)	--	0,69	6.596,7	12.470,4
34	N04 (estero Pocuro)	--	1,65	1.431,1	6.469,5
35	N09 (río Putaendo superior)	--	5,12	691,5	9.699,9
36	N10 (río Putaendo inferior)	--	4,75	1.510,8	19.660,9
37	N20 (estero Los Loros)	--	0,86	222,1	523,3
38	N32 (estero Limache)	--	1,14	284,9	890,0
39	N02 (río Aconcagua superior)	--	3,63	10.438,6	103.814,0
40	S27	S02-1	0,79	2.617,0	5.664,1
41	S01N	S01-1	2,67	185,3	1.355,3
42	S02N	S01-2	4,67	162,6	2.080,9
43	S03N	S03	23,62	82,5	5.335,7
44	S04N	S04	20,26	63,8	3.543,6
45	S05N	S05	4,58	0,0	0,0

Código de Propiedad	Nombre de Propiedad	Sector de Riego	Superficie (Km^2)	Recarga Promedio (mm/año)	Caudal Promedio de Ingreso (m^3/d)
46	S06N	S06	5,80	0,0	0,0
47	S07N	S07	33,58	56,5	5.197,2
48	S08N	S08	4,59	132,1	1.661,4
49	S09N	S09	29,47	33,2	2.684,1
50	S10N	S10	54,83	44,8	6.734,6
51	S11N	S11	20,73	190,8	10.838,7
52	S12N	S12	5,54	50,1	760,6
53	S13N	S13	12,00	41,5	1.365,1
54	S14N	S14	7,81	58,1	1.244,2
55	S15N	S15	6,63	71,5	1.299,1
56	S16N	S16	1,74	50,9	242,5
57	S17N	S17	5,82	104,6	1.667,4
58	S18N	S18	6,47	124,9	2.213,6
59	S19N	S19	71,45	24,8	4.852,8
60	S21N	S01-3	7,87	126,7	2.731,0
61	S22N	S01-4	5,31	89,9	1.308,2
62	S23N	S01-5	10,45	75,2	2.152,6
63	S24N	S01-6	3,55	114,6	1.115,0
64	S25N	S01-7	0,25	210,0	143,8
65	S26N	S01-8	0,47	148,0	190,5
66	S28N	S02-2	6,75	123,6	2.285,0
67	S29N	S02-3	14,75	146,4	5.917,1
68	S30N	S02-4	3,13	150,4	1.289,4
69	S31N	S02-5	0,88	131,6	317,3
70	S32N	S02-6	1,96	89,8	482,2
71	S33N	S02-7	8,15	80,7	1.802,0
72	S27N	S02-1	0,85	160,4	373,6
Total			1.149,07		1.788.705 m^3/d (20,7 m^3/s)

Fuente: Elaboración propia.

3) En la nueva conceptualización de los aportes laterales por lluvia, de acuerdo al Capítulo 3, éstos se incorporan en su mayoría a la escorrentía superficial por lo que el ingreso hacia el embalse subterráneo desde esta componente es despreciable, obteniéndose en este caso una recarga total lateral promedio de aproximadamente 4 l/s en el período entre Abril de 1991 a Marzo de 2019. En la Figura 4-30 se muestra la serie de recarga lateral utilizada durante la etapa de extensión del modelo. Esta recarga se materializa mediante 10.758 pozos de inyección, todos ubicados frente a las áreas aportantes laterales en los bordes del modelo (Ref. 13) (Tabla 4-17).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-30: Serie de recarga lateral considerada desde el MPL.

Tabla 4-17: Asignación de recarga lateral en el modelo

Sector	Recarga Promedio (m^3/día)	Número de Pozos al Pie del Sector	Nombre de los Pozos	Recarga Promedio (caudal unitario m^3/día)
CL1	42,2	813	CL1_1, CL1_2, ..., CL1_813	0,052
CL2	50,7	950	CL2_1, CL2_2, ..., CL2_950	0,053
CL3a	19,0	221	CL3a_1, CL3a_2, ..., CL3a_221	0,086
CL3b	28,5	235	CL3b_1, CL3b_2, ..., CL3b_235	0,121
CL4a	15,1	325	CL4a_1, CL4a_2, ..., CL4a_325	0,047
CL4b	8,0	620	CL4b_1, CL4b_2, ..., CL4b_620	0,013
CL5	0,0	167	CL5_1, CL5_2, ..., CL5_167	0,000
CL6	0,0	549	CL6_1, CL6_2, ..., CL6_549	0,000
CL7a	0,0	464	CL7a_1, CL7a_2, ..., CL7a_464	0,000
CL7b	0,0	452	CL7b_1, CL7b_2, ..., CL7b_452	0,000
CL9a	3,2	482	CL9a_1, CL9a_2, ..., CL9a_482	0,007
CL9b	4,5	217	CL9b_1, CL9b_2, ..., CL9b_217	0,021
CL10a	0,4	118	CL10a_1, CL10a_2, ..., CL10a_118	0,004
CL10b	3,6	272	CL10b_1, CL10b_2, ..., CL10b_272	0,013
CL10c	8,8	794	CL10c_1, CL10c_2, ..., CL10c_794	0,011
CL11	23,1	724	CL11_1, CL11_2, ..., CL11_724	0,032
CL12	1,8	351	CL12_1, CL12_2, ..., CL12_351	0,005
CL13	3,9	674	CL13_1, CL13_2, ..., CL13_674	0,006
CL14	1,3	228	CL14_1, CL14_2, ..., CL14_228	0,006
CL17	28,5	152	CL17_1, CL17_2, ..., CL17_152	0,188
CL18	3,9	43	CL18_1, CL18_2, ..., CL18_43	0,090
CL19a	51,2	909	CL19a_1, CL19a_2, ..., CL19a_90	0,056
CL19b	16,4	387	CL19b_1, CL19b_2, ..., CL19b_387	0,042
CL19c	28,0	611	CL19c_1, CL19c_2, ..., CL19c_611	0,046
Total	342,3 m^3/d (4,0 l/s)	10.758		

Fuente: Elaboración propia.

4) La actualización de las extracciones subterráneas se realizó en base a la demanda subterránea comprometida en la cuenca al mes de Abril de 2019, ordenándose para tal efecto los derechos en cada acuífero administrativo por fecha de ingreso en estricto orden de prelación hasta el último aprobado, dejando antes todos los derechos que estén "vivos" (pendientes, denegados con recurso de reconsideración, etc.).

   Se consideró que las captaciones están en operación a partir de la fecha de ingreso de la solicitud, salvo para aquellas solicitudes ingresadas al alero de la Ley 20.017, por cuanto la fecha de ingreso de la mayoría de éstas ocurre durante el segundo semestre del año 2005. En este caso, se asume que todas ellas operan para todo el período (Abril de 1991 a Marzo de 2019). Además, según la actividad económica asociada a la captación, se aplica un determinado factor de corrección (factor de uso previsible) sobre los caudales nominales, distribuyendo los bombeos según su período de funcionamiento en el año (Tabla 4-18).

Tabla 4-18: Factor de uso previsible en la cuenca del río Aconcagua

Uso	Coeficiente de Uso	Período de Funcionamiento
Riego (R)	0,4	Septiembre a Febrero
Agua Potable (AP)	0,75*	Enero a Diciembre
Minería (M)	0,75	Enero a Diciembre
Industria (I)	0,3	Enero a Diciembre

Fuente: Ref. 13

Nota:* Para las captaciones de ESVAL en el acuífero 8 (desembocadura) se usó un factor menor (0,066) obtenido de la información reportada a la SISS por dicha empresa (protocolo PR18).

En la siguiente figura se muestran las extracciones subterráneas totales adoptadas, enterando de esta forma 3.420 pozos de extracción para la actualización del modelo VM ACN 2019, según el detalle que se indica en la Tabla 4-19.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-31: Serie de bombeo ingresada al modelo numérico

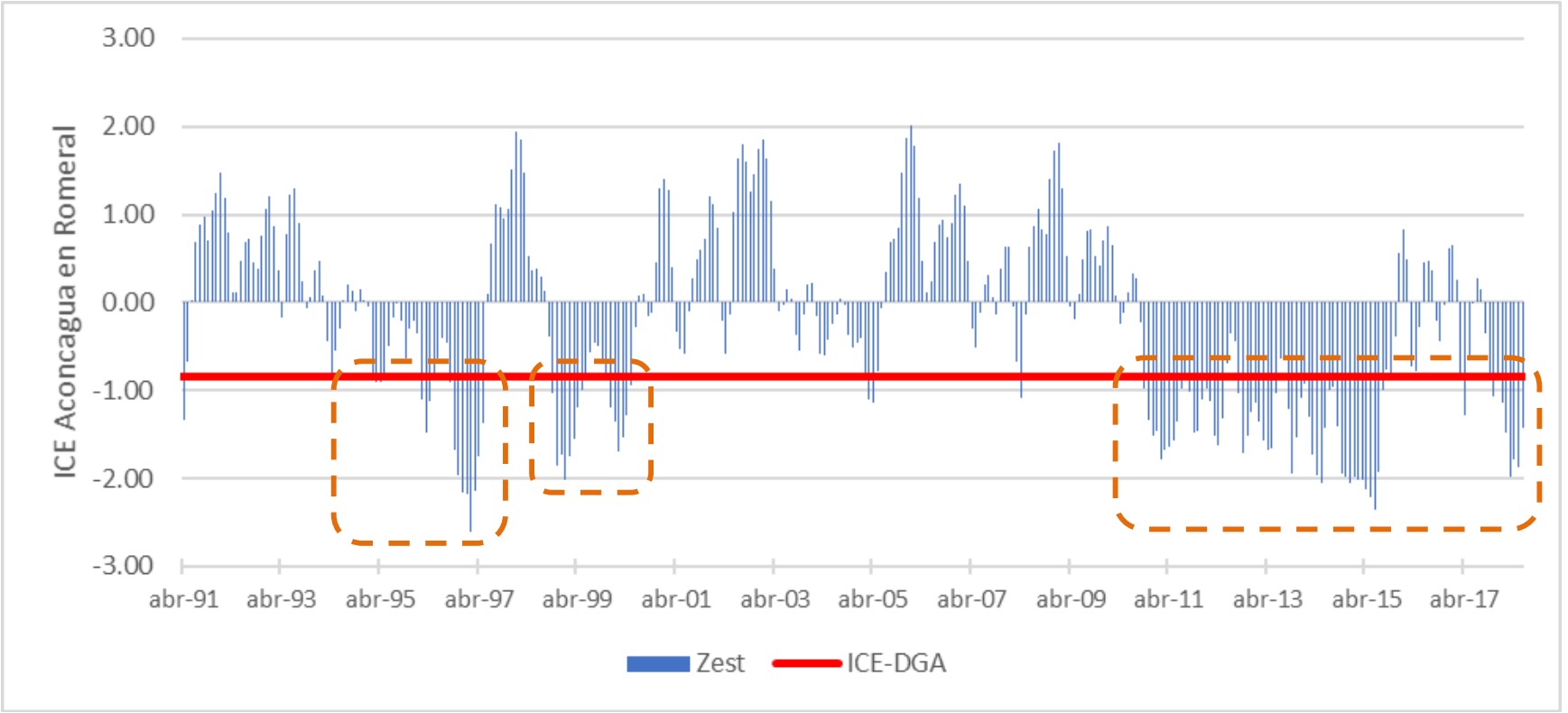
Tabla 4-19: Resumen captaciones usadas en la actualización del modelo

Acuífero	Uso	Número de captaciones	Total
1	AP	55	263
	I	8	
	M	0	
	R	200	
2	AP	13	22
	I	0	
	M	0	
	R	9	
3	AP	4	47
	I	0	
	M	0	
	R	43	
4	AP	18	106
	I	0	
	M	4	
	R	84	
5	AP	5	68
	I	1	
	M	2	
	R	60	
6	AP	57	786
	I	41	
	M	10	
	R	678	
7	AP	79	1.100
	I	37	
	M	1	
	R	983	
8	AP	26	93
	I	38	
	M	5	
	R	24	
9	AP	73	935
	I	35	
	M	0	
	R	827	
Total			3.420

Fuente: Elaboración propia.

Nota: AP agua potable, M minero, R riego e I Industrial.

5) El modelo VM ACN 2019 logra reproducir la disminución en la producción del dren o galería subterránea Las Vegas observada en los últimos años (ver Sección 4.3.2, de los resultados del modelo). Para ello, se consideraron los períodos de sequía hidrológica calculados a partir de la estación fluviométrica Aconcagua en Romeral (Figura 4-32) y se emuló el río Aconcagua como condición de borde tipo dren en las cercanías de la galería Las Vegas durante dichos eventos permitiendo solo el afloramiento de agua en un curso de ancho menor (segmentos III y IV de la Figura 4-27 vista 2 anteriormente presentada), reduciéndose para los segmentos I y II la capacidad de intercambio con el acuífero (conductancia nula). Además, se disminuyó la conductancia del dren Las Vegas a 350 m^2/d para representar de mejor manera la merma en la infiltración hacia esta galería subterránea. Cabe agregar que, en la Figura 4-32 se muestra la variación temporal del índice ICE calculado a partir de la estación indicada anteriormente, el cual representa la cantidad de desviaciones típicas en que el caudal registrado se aleja del promedio. Según la DGA, para índices ICE inferiores a -0,84 ya se puede hablar de períodos secos.



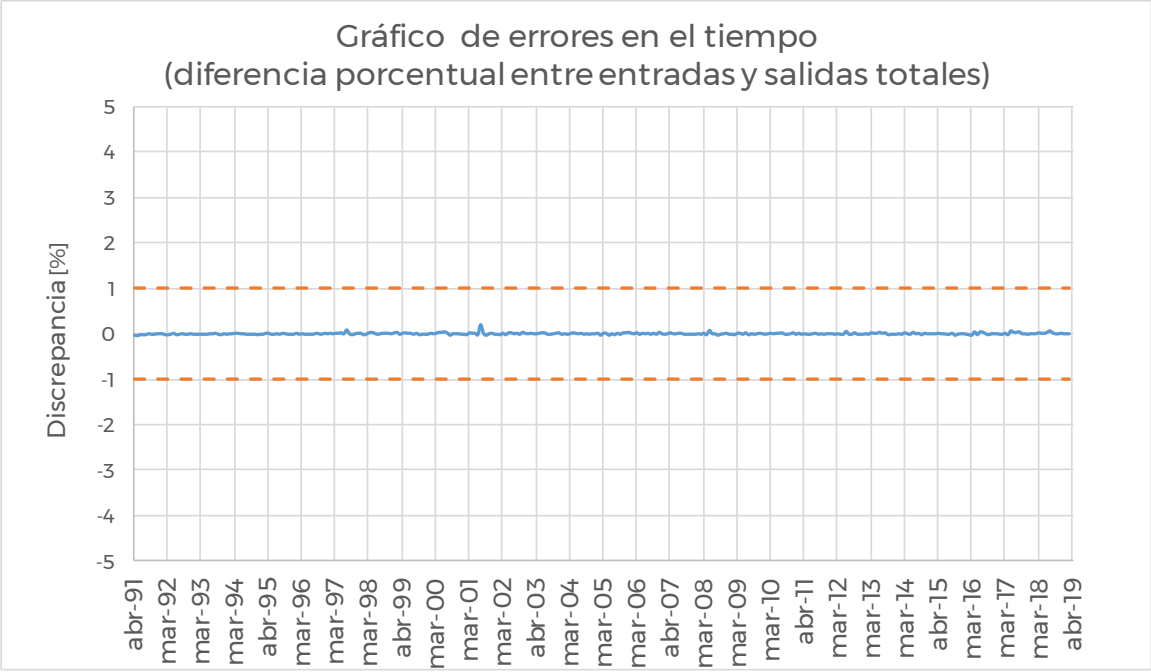
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-32: Principales períodos de sequías según el índice ICE en la estación fluviométrica Aconcagua en Romeral

4.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Los principales resultados obtenidos de la actualización del modelo se pueden resumir en:

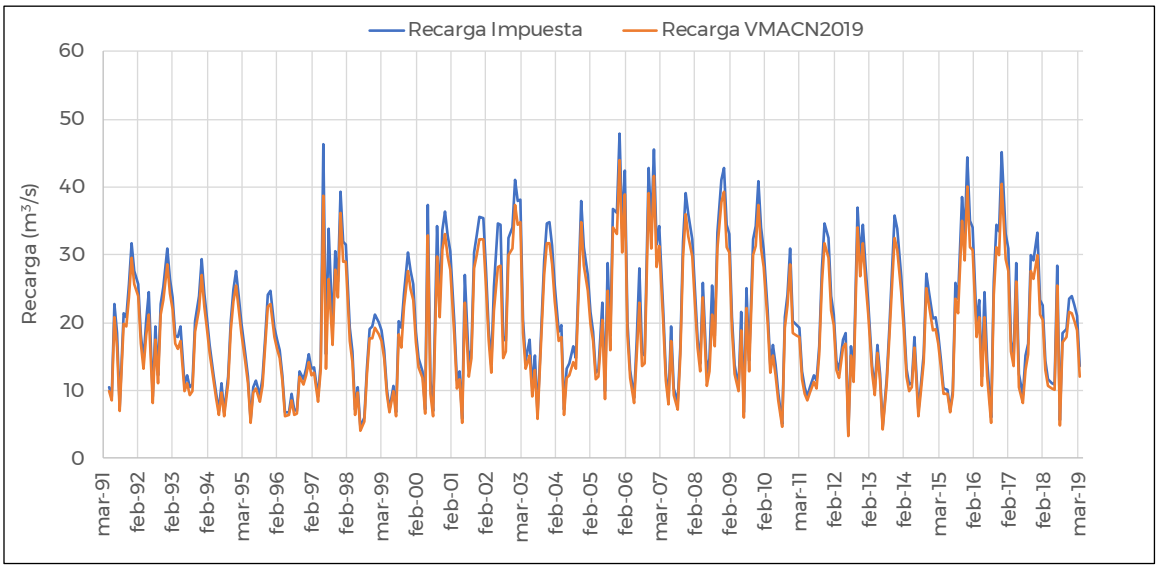
- La diferencia porcentual entre las entradas y salidas totales del sistema subterráneo (error de convergencia global) se mantiene menor al 1% a lo largo de todo el periodo, valor dentro de los límites comúnmente aceptados. La Figura 4-33 muestra dicha discrepancia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-33: Errores de convergencia global del modelo VM ACN 2019

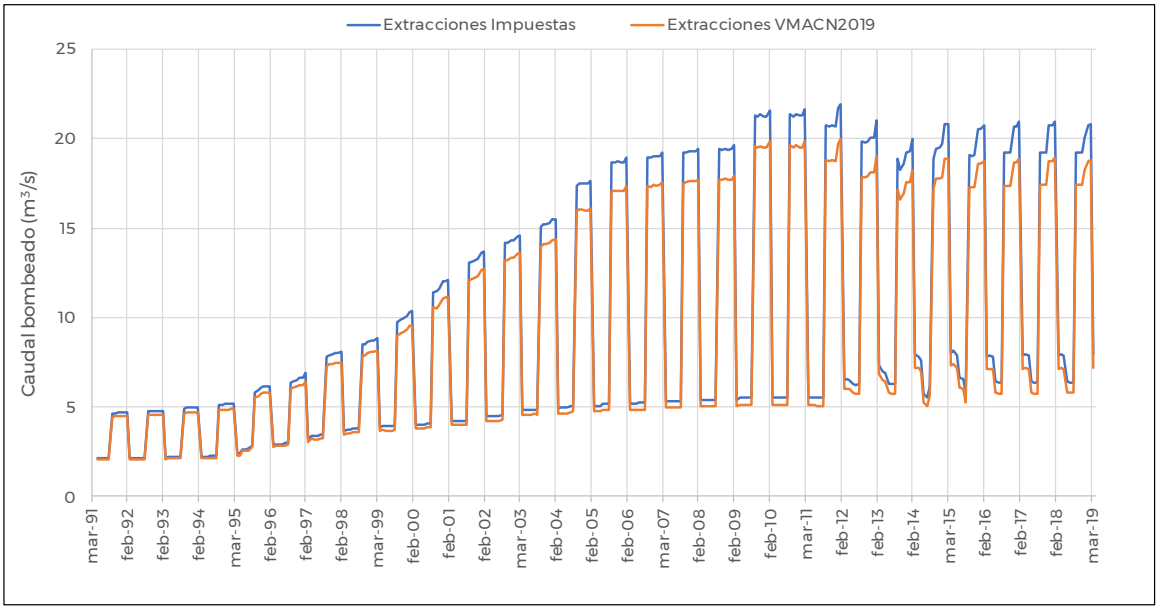
- La recarga superficial ingresada al modelo y la recarga superficial efectivamente computada se muestran en la Figura 4-34. Se obtuvo un 9,3% de pérdida volumétrica por secado de celda en los márgenes del valle, lo cual está dentro del rango de error aceptable.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-34: Recarga superficial impuesta vs computada del modelo VM ACN 2019

- La diferencia entre las extracciones impuestas y las computadas en el modelo se muestran en la Figura 4-35. Se obtuvo un 8,0% de pérdida volumétrica por secado de celda en los márgenes del valle, lo cual está dentro del rango de error aceptable.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-35: Extracciones impuestas vs computadas del modelo VM ACN 2019

- En la Tabla 4-20 se presenta el balance de masas promedio de la cuenca completa para todo el período de modelación (1991-2019). Se logra un error de cierre de 0,01%, el cual es muy bueno.

  Se observa que los ingresos subterráneos promedio de la cuenca se calculan en 27,1 m^3/s que proviene fundamentalmente de infiltración de los principales ríos y esteros, así como desde los excedentes de riego (26,2 m^3/s). Se observa que a nivel de toda la cuenca existe en promedio un vaciamiento del sistema para el periodo analizado (0,86 m^3/s), concordante con la importante profundización de niveles de agua subterránea que se aprecia en los sectores superiores de la cuenca (acuíferos 1 y 2).

  Por otra parte, se observa que las extracciones mecánicas promedio desde el acuífero alcanzan los 8,9 m^3/s considerando el periodo histórico analizado (1991-2019), si bien constituyen una importante descarga no corresponden a la principal salida del sistema la cual está asociada a los afloramientos naturales en los cursos superficiales (promedio de 16,9 m^3/s). La galería Las Vegas constituye también una importante salida con una magnitud promedio para todo el periodo analizado de 1,2 m^3/s.

  La recuperación neta del río Aconcagua dentro de la segunda sección de riego se estima en 7,7 m^3/s como promedio para el periodo analizado, valor concordante con las corridas de mediciones citadas en el estudio de la DOH de 2009 (Ref. 13) (entre 7 y 8 m^3/s).

Tabla 4-20: Balance de masas promedio global de la cuenca del río Aconcagua para la calibración.

Entradas (m^3/s)	Recarga superficial	18,76
	Recarga lateral	0,00
	Recarga desde el río Aconcagua	7,43
	Entrada desde el mar	0,05
	Almacenamiento	0,86
	Entrada total	27,11
Salidas (m^3/s)	Extracciones artificiales	8,92
	Descarga en otros cauces naturales	3,07
	Descarga dren Las Vegas	1,24
	Afloramiento río Aconcagua	13,79
	Descarga embalse Los Aromos	0,09
	Salida total	27,10
Error		0,01%

Fuente: Elaboración propia.

- Las extracciones promedio del dren Las Vegas obtenidas con el modelo actualizado (VM ACN 2019) y su comparación con los registros medidos entre enero de 2002 y septiembre de 2010, así como entre octubre de 2010 y agosto de 2015 se resumen en la siguiente tabla (Tabla 4-21). Se observa una buena representación del comportamiento del dren Las Vegas, tanto en períodos normales como de sequía, según los valores reales. En años normales el dren produce del orden de 1,3 m^3/s y no 1,6 m^3/s determinado originalmente por la DOH (2009).

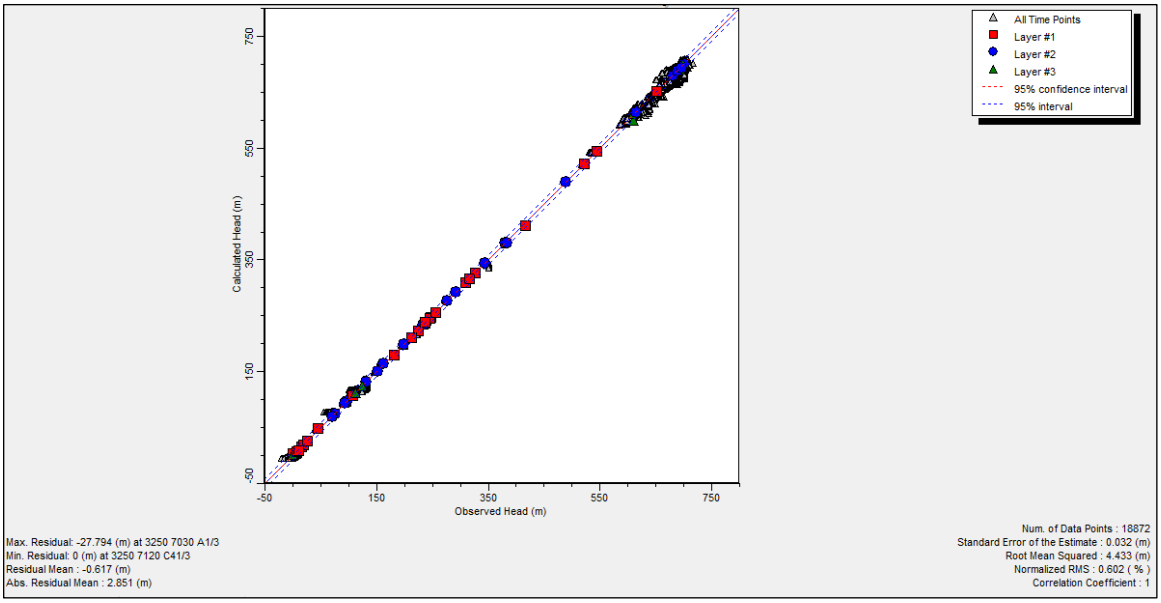
Tabla 4-21: Producción promedio dren Las Vegas para períodos seleccionados

Período	VMACN2019 (m^3/s)	Extracción medida PR18 (m^3/s)
enero de 2002- septiembre de 2010	1,35	1,34
octubre de 2010-agosto de 2015*	0,97	1,16

Fuente: Elaboración propia.

Nota: * El periodo octubre de 2010-agosto de 2015 es representativo de sequía (ver Figura 4-32)

- Respecto a los niveles calculados, se logró un NRMS general de 0,6%, el cual es muy bueno, considerando todos los pozos de observación del modelo. Lo anterior pese a que en la zona de Limache el modelo no reproduce en buena forma los niveles observados, tal como se describe en el apartado de revisión del modelo disponible (Sección 4.2). El error medio absoluto es de 2,8 m (Figura 4-36), mucho menos del 5% de la diferencia de niveles máxima observada (5% de 700 m es 35 m).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-36: Niveles observados vs calculados sobre la recta Y=X (pantalla salida Visual Modflow)

- En términos generales, se reproducen las tendencias de los niveles observados a lo largo del período de simulación. En el mapa de la Figura 4-37 se incluyen todos los ajustes junto con la ubicación de estos pozos.
- El modelo cumple, en general, los principales criterios de modelación establecidos en la guía del SEA de 2012 respecto a los errores de cierre, preservación de variables impuestas, tendencia de los niveles y estadísticos asociados, concordancia de los balances y propiedades hidráulicas con el modelo conceptual. En general, se estima que el modelo está en condiciones de ser utilizado para modelar distintos escenarios predictivos de recarga y bombeo de los pozos de la DOH.

255000 270000 285000 300000 315000 330000 345000 360000

6390000 6375000 6360000 6345000 6330000

N

Río Aconcagua

Estero Las Tablas

Estero Quilpué

Estero Limache

Estero Marga Marga

Estero Viña del Mar

Estero San Francisco

Estero Las Palmas

Estero Los Loros

Estero Quebrada Alvarado

Estero Quebrada Escobares

Estero Quebrada Honda

Estero Quebrada Verde

Estero Quebrada Seca

Estero Quebrada Los Maitenes

Estero Quebrada Los Litres

Estero Quebrada Los Molles

Estero Quebrada Los Loros

Estero Quebrada Los Quillayes

Estero Quebrada Los Quillayes

Estero Quebrada Los Quillayes

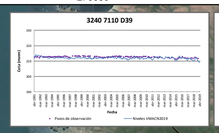
Quillota

Quilpué

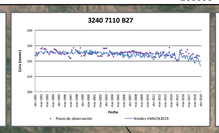
San Felipe

Los A

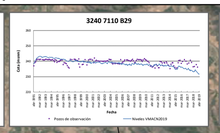
3240 7110 D39



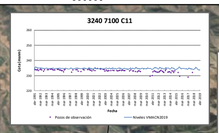
3240 7110 B27



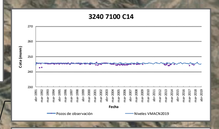
3240 7110 B29



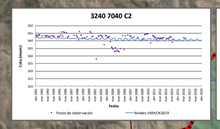
3240 7100 C11



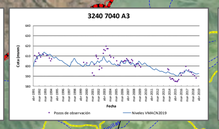
3240 7100 C14



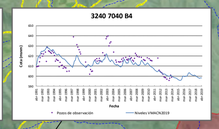
3240 7040 C2



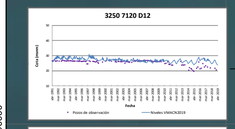
3240 7040 A3



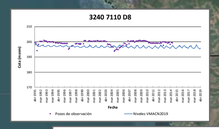
3240 7040 B4



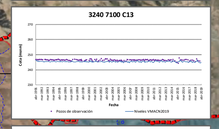
3250 7120 D12



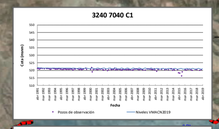
3240 7110 D8



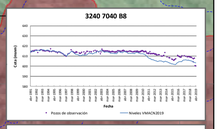
3240 7100 C13



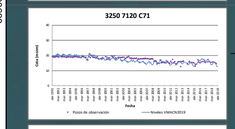
3240 7040 C1



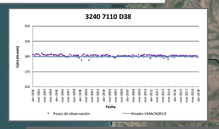
3240 7040 B8



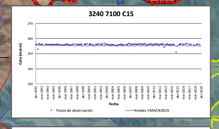
3250 7120 C71



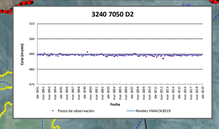
3240 7110 D38



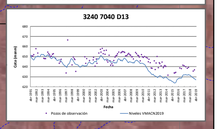
3240 7100 C15



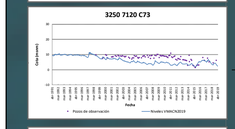
3240 7050 D2



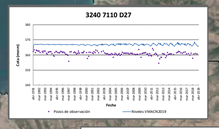
3240 7040 D13



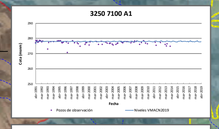
3250 7120 C73



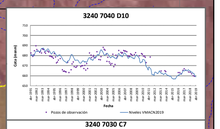
3240 7110 D27



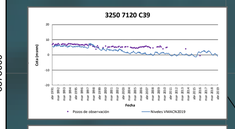
3250 7100 A1



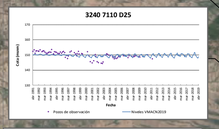
3240 7040 D10



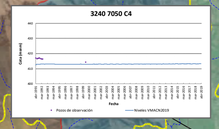
3250 7120 C39



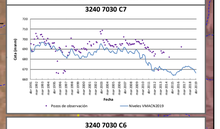
3240 7110 D25



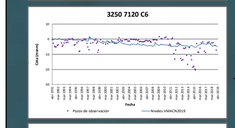
3240 7050 C4



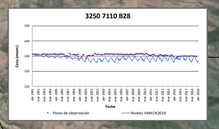
3240 7030 C7



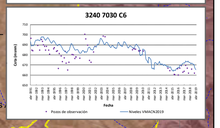
3250 7120 C6



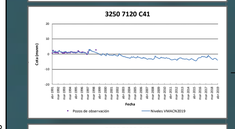
3250 7110 B28



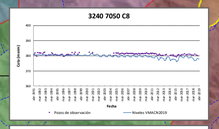
3240 7030 C6



3250 7120 C41



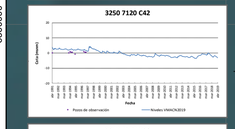
3240 7050 C8



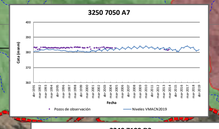
3240 7030 C11



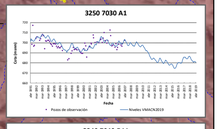
3250 7120 C42



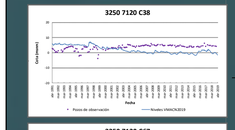
3250 7050 A7



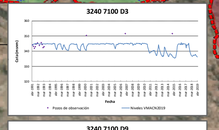
3250 7030 A1



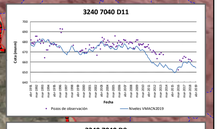
3250 7120 C38



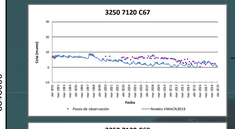
3240 7100 D3



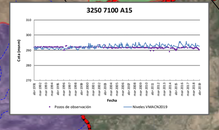
3240 7040 D11



3250 7120 C67



3250 7100 A15



3240 7100 D9

3240 7040 D9

3250 7120 C69

3250 7110 B37

3240 7110 D8

3250 7040 B2

3250 7120 D13

3250 7110 A21

3240 7110 B13

3250 7110 A10

3250 7110 C19

3250 7110 C9

3250 7110 C11

3300 7110 B1

3300 7110 B3

3250 7110 A22

LEYENDA

- Pozos período riego 2018-2019
- Nombre_Red Hidrografica
- Red hidrográfica
- Área de estudio
- Acuífero estudiado en Septiembre 2017
- Límite contacto relleno-roca

0 2,500 5,000 10,000 m

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

1:150,000

Gobierno de Chile

gob.cl

Mapa de ajustes entre los niveles observados y computados

PREP.:	E.A.G.	FECHA:	Julio 2019	PROYECTO:	Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua
DIB.:	J.R.G.	N° PROY.:	MOP0023		
APR.:	E.A.G.	N° TAREA:	01	CLIENTE:	Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación

Figura 4-37

Path: \\dga2000\dga\Proyectos\DGA\MOP0023\05_Entregables\05_GIS_CAD\Proyección Final_GIS_Data\Capas Acuiferos a3\Mxd\Figura 4-37 mapa de ajuste entre los niveles observados.mxd

5 ESCENARIOS PREDICTIVOS

En este capítulo se describen y resumen los resultados de los escenarios predictivos realizados con el modelo VM ACN 2019, para diferentes condiciones de bombeo y de recarga. Las simulaciones consideran un período de 50 años, desde abril de 2019 hasta marzo de 2069, y mantienen los parámetros hidrogeológicos de la calibración. Los escenarios predictivos se pueden resumir como sigue:

Escenario 1 Simulación base. Simulación de la demanda comprometida al mes de abril de 2019 expresada como caudal previsible (15.544 l/s), sin incluir la galería Las Vegas de ESVAL que es un resultado del modelo.

Escenario 2 Proyecto DOH. Simulación de las nuevas captaciones proyectadas por la DOH sobre el escenario anterior, a saber 32 pozos en sectores de San Felipe (25 pozos, 6.250 l/s en total), Putaendo (5 pozos, 537,5 l/s en total) y LLay llay (2 pozos, 280 l/s en total).

Escenario 3 Análisis de recarga artificial: Simulación de una recarga artificial en el acuífero 1 San Felipe durante el periodo que existe disponibilidad (promedio de 2,86 m^3/s entre octubre y marzo) como respaldo de las nuevas captaciones proyectadas por la DOH.

Los resultados se evalúan principalmente en términos de la comparación del balance hídrico promedio global del sistema subterráneo, el grado de interferencia sobre el río Aconcagua, la seguridad de riego y los niveles modelados en los nuevos pozos de la DOH contrastados con su profundidad de falla definida en este estudio como un 70% de la profundidad del pozo.

5.1 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

5.1.1 EXTRACCIONES SUBTERRÁNEAS

La extracción artificial base (Escenario 1) considera la prolongación de la situación de bombeo al término de la calibración (marzo de 2019), correspondiente a la demanda comprometida al mes de abril de 2019, con los mismos factores de uso previsible según actividad económica, pero en forma continua en el año.

Las simulaciones incorporan la extracción de numerosas norias ubicadas originalmente en las quebradas que drenan al valle sobre las zonas inactivas de modelación (y que no fueron incluidas en la calibración) con tal de reflejar de mejor manera las demandas subterráneas sobre la cuenca.

El mismo criterio se usa para los pozos sin coordenadas en los archivos originales, agregando gran parte de esta extracción, para lo anterior se priorizó previamente las fuentes según la magnitud de su caudal. Las extracciones del caso base (Escenario 1) se resumen en la Tabla 5-1.

En tanto, el Escenario 2 y el Escenario 3 además de las captaciones anteriores (demanda comprometida al mes de abril de 2019) incluyen los nuevos pozos del proyecto DOH, tal como se indica en la misma tabla (Tabla 5-1). La ubicación y características de los nuevos pozos de la DOH se presenta en la Figura 5-1. El caudal previsible asociado a todos estos nuevos sondajes es de 1.413,5 l/s, tomando el factor de uso asociado al riego predial (0,2). Cabe indicar que se incorpora la batería de Putaendo que extrae 107,5 l/s del acuífero 2 y lo inyecta al nodo 11 del MOS; para el resto de las extracciones de la DOH, se mantienen las reglas descritas en la Capítulo 3.

En la Tabla 5-1 se presenta los bombeos desde el acuífero impuestos en los tres escenarios.

Tabla 5-1: Demanda comprometida a abril de 2019 y caudal considerado en cada escenario

	Demanda Comprometida abril de 2019 (l/s)	Caudal Previsible			
		Escenario 1 (l/s)	Caudal Incremental Pozos DOH (l/s)	Escenario 2 (l/s)	Escenario 3 (l/s)
Sector 1 San Felipe	16.439,4	4.651	1.250 (25 pozos)	5.901	
Sector 2 Putaendo	919,9	379	107,5 (5 pozos)	486	
Sector 3 Panquehue	3.016,8	837	-	837	
Sector 4 Catemu	7.527,0	1.218	-	1.218	
Sector 5 Llay llay	4.150,7	899	56,0 (2 pozos)	955	
Sector 6 Nogales-Hijuelas	7.810,2	2.414	-	2.414	
Sector 7 Quillota	9.972,3	2.781	-	2.781	
Sector 8 Aconcagua desembocadura	4.311,7	1.038	-	1.038	
Sector 9 Limache	5.694,5	1.326	-	1.326	
Total	59.842,5	15.544	1.413,5	16.958	

Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que en este estudio no se optimiza las extracciones desde el acuífero bajo los criterios de sustentabilidad DGA (descenso volumen embalsado, interferencia río acuífero, pozos secos e insatisfacción de demanda), tal como se realizó en el estudio anterior (DICTUC de 2009), considerando que la presente herramienta pudo ser validada sin cambios en los parámetros hidráulicos de los acuíferos, por lo que se espera que los resultados no deberían diferir significativamente. Un ejercicio como el anterior requeriría además de decenas de simulaciones que escapan de los alcances del presente estudio, además que no se esperaría un aumento de oferta bajo estos mismos criterios. El caudal previsible optimizado en dicho estudio bajo los criterios de sustentabilidad oficiales es de 16,45 m^3/s, que es menor al modelado en el Escenario 2 del presente estudio (16,96 m^3/s), es decir con el nuevo proyecto de la DOH se excederían los caudales máximos determinados por DICTUC. La extracción máxima previsible según los criterios oficiales de DICTUC de 2009 es: acuífero 1 (4,01 m^3/s), acuífero 3 (0,56 m^3/s), acuífero 4 (0,94 m^3/s) y acuífero 5 (0,83 m^3/s), todas sobrepasadas en los presentes escenarios (ver Tabla 5-1). En los otros acuíferos la extracción modelada en el presente estudio es inferior.

255000 270000 285000 300000 315000 330000 345000 360000 375000 390000 405000 420000

6420000 6405000 6390000 6375000 6360000 6345000 6330000

Océano Pacífico

La Ligua

Quilpué

Los Andes

San Felipe

Acuífero 1 San Felipe

Acuífero 2 Putaendo

Acuífero 3 Panquehue

Acuífero 4 Catemu

Acuífero 5 Llay Llay

Acuífero 6 Nogales-Hijuelas

Acuífero 7 Quillota

Acuífero 8 Aconcagua desembocadura

Acuífero 9 Limache

Sector Putaendo

Sector San Felipe

Sector Llay Llay

054

P-38-R P-37-R P-31-R P-34-R P-33-R P-30-R P-29-R P-28-R P-27-R P-24 P-22 P-21-R P-20-R P-19-R P-18-R

SF10-PI SF9-PI SF8-PI SF7-PI SF6-PI SF5-PI SF4-PI SF3-PI SF2-PI SF1-PI

P-17 P-16 P-15 P-14 P-13 P-12 P-11 P-10 P-9 P-8

San Felipe

Comuna	N° Pozo	ESTE	NORTE	Q [l/s]	Profundidad pozo (m)
San Felipe	P-18-R	344335.93	6371646.52	250	150
San Felipe	P-19-R	344147.54	6371719.53	250	150
San Felipe	P-20-R	343921.88	6371773.54	250	150
San Felipe	P-21-R	343739.73	6371874.25	250	150
San Felipe	P-22	343569.91	6371973.61	250	150
San Felipe	P-24	343247.63	6372164.79	250	150
San Felipe	P-27-R	342320.846	6372494.1	250	150
San Felipe	P-28-R	342128.393	6372566.56	250	150
San Felipe	P-29-R	341936.19	6372641.15	250	150
San Felipe	P-30-R	341745.135	6372713.08	250	150
San Felipe	P-31-R	341551.213	6372786.04	250	150
San Felipe	P-32-R	341353.858	6372860.33	250	150
San Felipe	P-33-R	341145.015	6372834.32	250	150
San Felipe	P-34-R	340939.319	6372800.01	250	150
San Felipe	P-38-R	340674.17	6372869.49	250	150
San Felipe	P-14	347173.00	6369805.00	250	150
San Felipe	P-15	346993.00	6369896.00	250	150
San Felipe	P-16	346809.00	6369989.00	250	150
San Felipe	P-17	346625.00	6370074.00	250	150
San Felipe	P-8	348582.00	6368980.00	250	150
San Felipe	P-9	348391.00	6369070.00	250	150
San Felipe	P-10	348193.00	6369124.00	250	150
San Felipe	P-11	348003.00	6369200.00	250	150
San Felipe	P-12	347827.00	6369303.00	250	150
San Felipe	P-13	347665.00	6369427.00	250	150

P0-0 P0-1 P-1 P-2 P-3

Putaendo

Comuna	N° Pozo	ESTE	NORTE	Q [l/s]	Profundidad pozo (m)
Putaendo	P0-0	336999.00	6382628.00	100	200
Putaendo	P0-1	337005.000	6382480.00	107.5	200
Putaendo	P-1	337017.55	6382280.34	110	200
Putaendo	P-2	337026.60	6382080.78	110	200
Putaendo	P-3	337035.88	6381881.73	110	200

P-2 P-1

Llay Llay

Comuna	N° Pozo	ESTE	NORTE	Q [l/s]	Profundidad pozo (m)
Llay Llay	P-1	314397	6364733	140	120
Llay Llay	P-2	314457	6364924	140	120

LEYENDA

- Pozos de inyección
- Nuevos Pozos DOH 2019
- Red hidrográfica
- Acuífero estudiado en Septiembre 2017
- Límite contacto relleno-roca
- Área de estudio

0 3,650 7,300 14,600 m

1:220,000

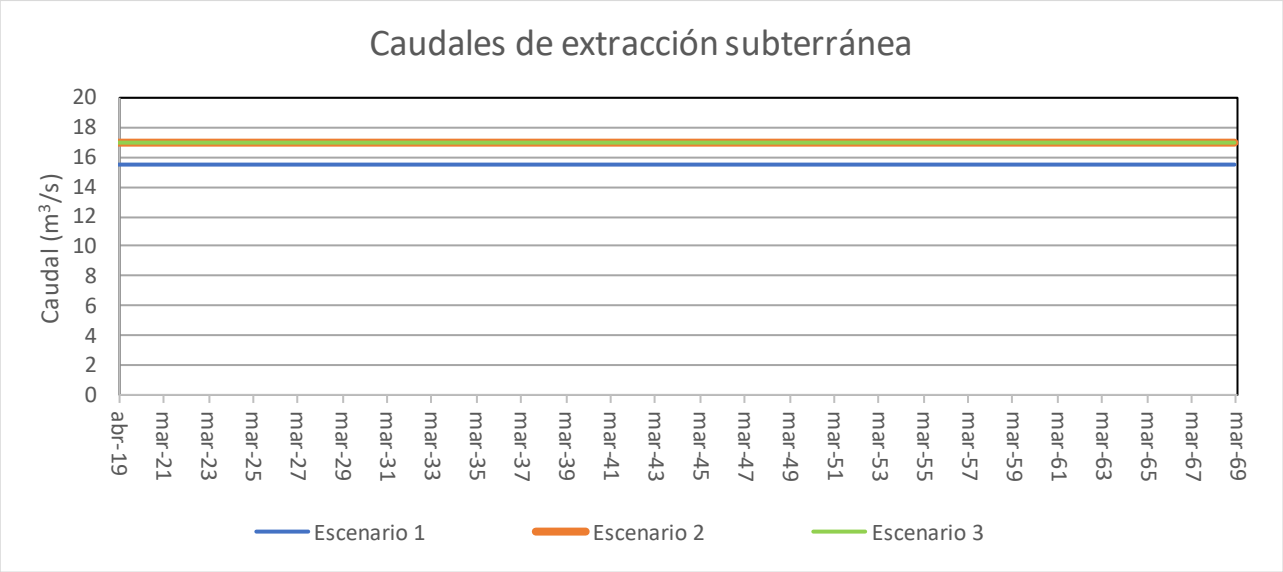
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S

Gobierno de Chile

Ubicacion de las nuevas captaciones proyectadas por la DOH

PREP.: E.A.G.	FECHA: Julio 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 5-1
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 01	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

P:\Pr_Vol\DGA\MOP0023\05\01\02-Proyecto\Vol_IV\DGA\MOP0023\05_Delivera\del05\01_Final_GIS_Data\Cuenca_Aconcagua.gdb\MapFrame.5-1_Nuevos Pozos DOH 2019.mxd



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2: Bombeos impuestos en las simulaciones predictivas.

5.1.2 RECARGA SUPERFICIAL

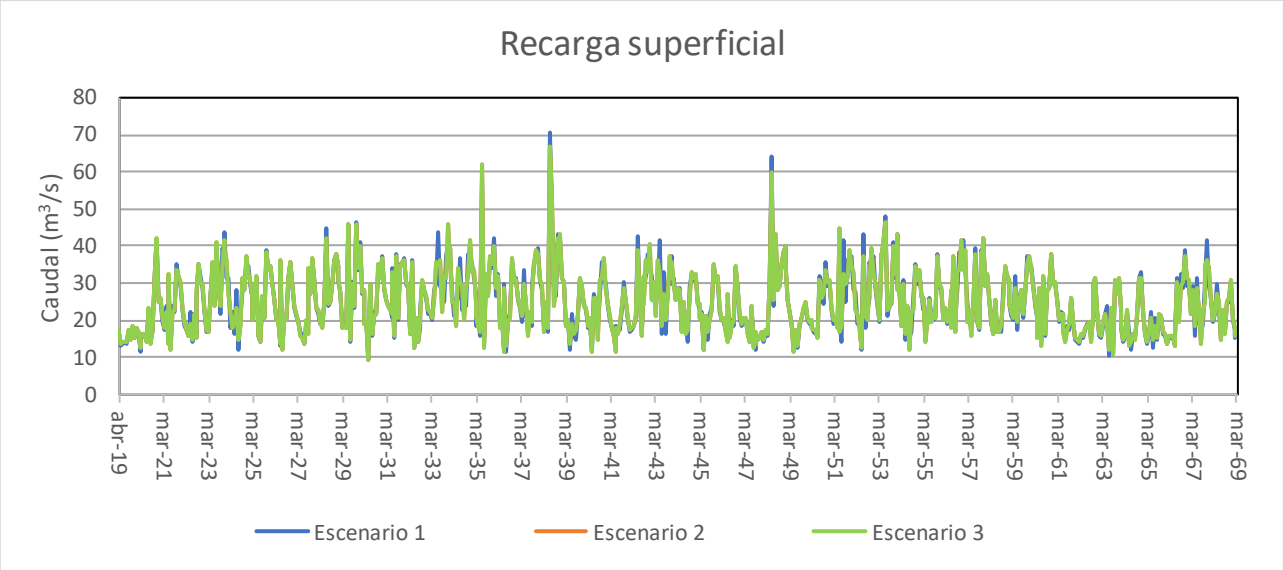
La recarga superficial se obtiene con el MOS ACN 2019, utilizando las precipitaciones entre abril de 1968 y marzo de 2018, incluyendo períodos secos y húmedos similares a la historia reciente.

La situación de demandas de riego en el MOS es la equivalente al final del período de calibración y los bombeos fueron definidos acorde al escenario simulado (Sección 5.1.1).

Además, en el MOS, la batería de pozos DOH fue ingresada directamente como caudal disponible a nodos cercanos a la extracción, de manera que queden disponibles a ser captados por los sectores de riego. Ese caudal es descontado, finalmente, del caudal disponible en el acuífero correspondiente. La excepción corresponde a los pozos colectivos de Llay llay, en los cuales sólo un 40% se ingresa a los nodos, mientras que el 60% restante del derecho está destinado a agua potable. Además, se actualizan los estados de los acuíferos al inicio de la simulación (abril 2019) para coincidir con el final del periodo de calibración (marzo 2019).

En la Figura 5-3 se muestra las series de recarga superficial (obtenidas desde el MOS ACN 2019) impuestas en el modelo subterráneo para cada escenario, y son dependientes del nivel de explotación impuesto al acuífero en cada simulación.

Por su parte, en la Tabla 5-2 se presentan los valores promedios de recarga superficial para todo el horizonte de tiempo abordado (50 años) para cada escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-3: Recarga superficial impuesta en las simulaciones predictivas.

Tabla 5-2: Recarga superficial promedio impuesta en cada escenario.

Escenario 1 (m^3/s)	Escenario 2 (m^3/s)	Escenario 3 (m^3/s)
24,88	24,91	24,91

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 OTRAS CONSIDERACIONES IMPORTANTES (TODAS LAS SIMULACIONES)

Como se señaló anteriormente, las simulaciones llevadas a cabo comprenden un horizonte de 50 años, a nivel mensual, desde el mes de abril de 2019 al mes de marzo de 2069, lo que da un total de 600 períodos de stress, y consideran como punto de partida la misma condición inicial, correspondiente a la posición del nivel de la napa asociada al mes de Marzo de 2019, último período de stress de la calibración del modelo en régimen transitorio.

Se consideró el cálculo del índice ICE en la estación Aconcagua en el Romeral para simular el comportamiento del río Aconcagua en el sector del dren Las Vegas. El modelo calcula el caudal de la galería para el horizonte simulado en cada escenario.

Las simulaciones consideran los embalses existentes (Chacrillas y Los Aromos) para todo el horizonte de tiempo modelado (50 años).

El embalse Chacrillas se ubica en la parte alta de la cuenca del río Putaendo. Se implementa en el MOS ACN 2019 con un volumen inicial de 3,3 Hm^3, volumen medido en mayo de 2019. La capacidad máxima y volumen muerto son 31 y 0,26 Hm^3 respectivamente. El caudal de entrada se calculó en base a las cuencas de entrada 4 y 5 que corresponden a la cuenca contribuyente del río Rocín afluente al río Putaendo. Para estimar las pérdidas por evaporación, se considera la tasa de evaporación media mensual de la serie histórica actualizada de la estación Quillota; y en el caso de infiltración, se ajusta una función entre las pérdidas por filtraciones registradas por el sistema de canales Parshall instalados en cuatro puntos del embalse (túnel de desvío, desagüe de fondo, poza y dren a pie de presa) y el volumen embalsado.

El embalse Aromos, posee un volumen máximo 35 Hm^3 y volumen muerto de 70.000 m^3. El caudal afluente proviene de la cuenca alta y media del estero Limache, que en el MOS ACN 2019 se representa como las cuencas de entrada 12 y 13 y la cuenca lateral 19; además, el embalse también recibe el aporte de los canales alimentadores Waddington y Ovalle, que captan agua en el río Aconcagua. Como pérdidas del embalse, se considera la evaporación media mensual de la estación Quillota y una tasa de infiltración proporcional al área superficial.

5.1.4 RECARGA ARTIFICIAL

5.1.4.1 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE RECURSOS SUPERFICIALES

Para analizar la disponibilidad de recursos superficiales que pueden ser utilizados para la recarga artificial, se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Utilizar los caudales sobrantes del nodo 2 del MOS del Escenario 1. Se define como caudal sobrante del nodo, al caudal que fluye hacia el siguiente nodo del modelo, después de haber abastecido todas las demandas del nodo.
- Verificar la seguridad de riego de los sectores de todas las secciones, teniendo en cuenta que el periodo de superávit de la primera sección, es el periodo de déficit en la tercera y cuarta sección.

Se analizó la serie de caudales sobrantes del nodo 2, que se obtuvo del Escenario 1 del MOS, teniendo en cuenta para ese tramo un caudal ecológico de 3 m^3/s según lo indica el estudio de la Dirección General de Aguas, Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua, DGA, 2004. 30 p.

Además, se tuvo en cuenta que, el derecho de agua considerado para la recarga artificial corresponde al derecho del embalse Puntilla del Viento, que era en promedio anual 5 m^3/s. Así, se probó extraer en el periodo de superávit un caudal que varíe entre 1 m^3/s y 5 m^3/s; teniendo en cuenta que estas extracciones no deben afectar la disponibilidad de agua en las secciones aguas abajo del nodo 2.

Para seleccionar que caudal máximo puede ser extraído en el nodo 2, evitando en lo posible afectar el riego en las otras secciones, se utilizó como indicador la seguridad de riego. Se busca que el caudal máximo extraído no produzca un decremento significativo de la seguridad de riego en las secciones, es decir que la seguridad de riego no disminuya más del 1%.

La Tabla 5-3 muestra el caudal medio mensual disponible a ser extraído para alimentar la recarga artificial, considerando cinco diferentes escenarios de caudal máximo extraído:

Tabla 5-3: Caudal medio mensual disponible para recarga artificial

Caudal máximo extraído (m^3/s)	Caudal medio mensual disponible [1] (m^3/s)						Caudal promedio disponible [2] (m^3/s)
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
1	0,60	0,88	0,90	0,86	0,72	0,41	0,73
2	1,03	1,64	1,72	1,58	1,18	0,57	1,29
3	1,45	2,39	2,52	2,28	1,60	0,72	1,83
4	1,87	3,11	3,32	2,96	2,02	0,86	2,36
5	2,29	3,80	4,10	3,61	2,42	0,98	2,86

Notas:

1. Los valores mostrados son el promedio de la serie de 50 años de caudales que han sido utilizados para la simulación del Escenario 1.
2. Corresponde al promedio del periodo de superávit (octubre − marzo), en el cual se extrae el caudal para la recarga artificial.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los escenarios de caudal máximo extraído se estimó la seguridad de riego por sección (ver Tabla 5-4). Al comparar la seguridad de riego del Escenario 1 con la estimada para cada uno de los escenarios de caudal máximo extraído se observa que, la diferencia es marginal; siendo la máxima diferencia 1% (cuando se extrae un caudal máximo de 5 m^3/s). Por tal motivo, se decide considerar como caudal disponible para la recarga artificial, la serie generada por el caudal máximo extraído de 5 m^3/s, la cual posee un caudal promedio de 2,86 m^3/s (para el periodo octubre − marzo).

Tabla 5-4: Comparación de Seguridad de riego por sección con Escenario 1 (1)

Caudal máximo extraído (m^3/s)	Promedio cuenca	1ra sección	2da sección	3era sección	4ta sección
Escenario 1	92,2%	94,5%	96,3%	90,4%	80,9%
1	92,0%	94,5%	96,2%	90,0%	80,6%
2	91,9%	94,5%	96,2%	89,9%	80,5%
3	91,8%	94,5%	96,2%	89,7%	80,3%
4	91,8%	94,5%	96,2%	89,6%	80,1%
5	91,7%	94,5%	96,2%	89,4%	79,9%

Notas:

1. Para que la seguridad de riego sea comparable con los resultados del Escenario 1, este ejercicio no considera la influencia de la recarga artificial en el cálculo de la seguridad de riego; ésta se usa como un indicador para seleccionar el caudal máximo a ser extraído.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.2 DEFINICIÓN DE POZOS DE INYECCIÓN

En el Escenario 3 se considera simular el efecto de la recarga artificial sobre el sector acuífero 1 San Felipe y analizar su repercusión en el sistema aguas abajo. Inicialmente, se consideraba analizar el efecto de una estación de recarga en superficie, constituida por piscinas de infiltración, con la capacidad de infiltrar un caudal de 5 m^3/s.

Tal y como se mencionó en el análisis de los resultados de la prueba piloto de Curimón (Sección 2.7), para poder infiltrar un caudal promedio de 5 m^3/s, sería necesario habilitar una superficie de infiltración mínima de 22 Há, sin considerar la superficie adicional que debe ser destinada al resto de infraestructuras que constituyen una planta de recarga artificial.

Por esta razón, y después de obtener la aprobación de la Inspección Fiscal del presente estudio, se decidió simular el efecto de la recarga artificial considerando la inyección en el acuífero mediante pozos de inyección.

Para definir la mejor ubicación para el campo de pozos, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se buscó los sectores del acuífero San Felipe con los parámetros hidráulicos más favorables, esto es, valores de transmisividad y porosidad de drenaje más elevados.
- Se buscó áreas con capacidad de almacenamiento suficientes entre el nivel piezométrico actual y la superficie del terreno.
- El campo de pozos debe estar suficientemente alejado de los cauces principales, de forma que, el incremento del nivel piezométrico local, que provoca la inyección, interfiera lo menos posible con la relación río-acuífero.

Es importante indicar que, para la ubicación del campo de pozos no se consideró la disponibilidad de espacio público, ni la proximidad a las posibles fuentes de agua, ya que se considera que estos análisis quedan fuera del alcance del presente estudio. Únicamente se tuvieron en cuenta, tal y como se mencionó, criterios hidrogeológicos. Tampoco, se han tenido en cuenta criterios de calidad del agua de inyección, la cual para evitar problemas de colmatación de los pozos (clogging) debe tener menos de 1 mg/L de total de solidos disueltos.

De esta forma, se seleccionó, preliminarmente, un sector localizado al sureste de la localidad de San Felipe, al norte de la ubicación de la nueva batería de pozos de la DOH en San Felipe (Ver Figura 5-1).

Atendiendo al modelo numérico VM ACN 2019, en este sector el valor de la permeabilidad es de 300 m/d para la capa 1 (superior) y 250 m/d para la capa 2 (intermedia) del modelo. El valor de porosidad de drenaje es de 8% para ambas capas.

El nivel piezométrico en este sector se encuentra a 655 m.s.n.m, siendo la cota del terreno del orden de 682 m.s.n.m, de forma que, se dispone de un espesor no saturado de 27 m. Los pozos con una profundidad de 200 m, tendrían del orden de 160 m en la capa 1 (superior), de los cuales 133 m estarían bajo el nivel piezométrico, lo que supone una transmisividad del orden 39,900 m^2/d para la capa 1 (superior). Los 40 metros restantes quedarían en la capa 2 (intermedia), lo que supone una transmisividad de 10,000 m^2/d, adicional en la capa 2.

El análisis elaborado con el modelo MOS ACN 2019 para comprobar la disponibilidad del recurso hídrico que podría ser destinado a recarga artificial, arrojó que, en promedio, sería posible disponer de un caudal de 2,86 m^3/s entre los meses de octubre a marzo, tal y como se explica en el acápite precedente.

Considerando los valores que presentan los parámetros hidrodinámicos en el sector seleccionado se ha llevado a cabo un cálculo analítico destinado a establecer cuál sería el número de pozos activos que sería necesario considerar para inyectar de forma constante un caudal de 2,86 m^3/s y el diseño de los mismos, esto considera implícitamente obras de regulación anexas a los pozos debido a que la disponibilidad es esencialmente variable.

Para ello se he realizado un cálculo analítico utilizando el método de Jacob, para estimar el ascenso del nivel piezométrico como producto de la inyección de agua, teniendo en cuenta el efecto de la superposición de efectos del campo de pozos.

De esta forma se obtiene que para inyectar un caudal promedio de 2,86 m^3/s sería necesario un total de 10 pozos activos, con una profundidad de 200 m y un diámetro de 600 mm y una capacidad de inyección de 290 l/s, en cada uno de ellos. El ascenso sobre el nivel piezométrico estático provocado en el centro del campo de pozos, al cabo de un año completo de inyección, sería del orden de 5 m. En el Anexo H se presentan las memorias de cálculo correspondientes.

5.2 RESULTADOS SEGURIDAD DE RIEGO

El grado de satisfacción de demanda es un indicador que muestra el porcentaje de demanda abastecida con respecto a la demanda total, en cada sector de riego. Para evaluar este indicador por sección, desde el MOS ACN 2019, se obtuvo el promedio mensual ponderado (por el área de cada sector de riego) del grado de satisfacción de demanda para los 50 años simulados. El resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5-5: Grado de satisfacción de la demanda (%).

Escenario	Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Promedio anual
Escenario 1	Primera sección	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	96,3	90,1	85,1	81,9	86,7	94,5
	Segunda sección	95,9	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,3	93,3	87,2	88,8	91,2	96,3
	Tercera sección	96,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,6	90,2	81,1	69,8	61,1	88,6	90,4
	Cuarta sección	89,8	98,1	99,4	99,4	99,4	99,4	91,9	74,5	56,1	51,2	44,1	67,9	80,9
Escenario 2	Primera sección	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	96,3	90,1	85,1	81,9	86,7	94,5
	Segunda sección	96,1	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	93,5	87,9	89,6	91,5	96,5
	Tercera sección	97,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,3	91,6	82,1	72,1	64,3	90,8	91,4
	Cuarta sección	92,4	98,7	99,4	99,4	99,4	99,4	92,5	76,1	58,4	50,1	46,4	70,4	81,9

Se observa que, en el caso de la primera sección, el grado de satisfacción de riego se mantiene, esto se debe a que las medidas implementadas en el Escenario 2 se encuentran ubicadas aguas abajo de la primera sección. Se observa un ligero incremento del grado de satisfacción de demanda en el Escenario 2, con respecto del Escenario 1. Para cuantificar este incremento se calculó la diferencia del grado de satisfacción de demanda del Escenario 2 menos el Escenario 1, para cada uno de los meses de la serie de simulación y luego se estimó el promedio mensual de la serie; los resultados de esta estimación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-6: Diferencia de grado de satisfacción de la demanda entre Escenarios 2 y 1

Mes	Primera sección	Segunda sección	Tercera sección	Cuarta sección
Enero	0,0%	1,1%	4,8%	0,7%
Febrero	0,0%	1,0%	7,5%	7,0%
Marzo	0,0%	0,4%	2,7%	3,9%
Abril	0,0%	0,2%	1,3%	3,3%
Mayo	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%
Junio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Julio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Agosto	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Septiembre	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Octubre	0,0%	0,0%	0,9%	1,1%
Noviembre	0,0%	0,1%	2,4%	3,2%
Diciembre	0,0%	0,4%	2,7%	5,3%
Promedio anual	0,0%	0,3%	1,9%	2,1%

De la Tabla 5-6 se observa que, la sección en la cual la diferencia en el grado de satisfacción de la demanda es mayor, es la cuarta sección, en la cual el aumento del grado de satisfacción de demanda promedio anual es 2,1%, luego se encuentra la tercera sección, con un incremento de 1,9% y luego la segunda sección con un aumento de 0,3%. A nivel mensual, la diferencia del grado de satisfacción de la demanda entre los Escenario 2 y 1 es mayor en el mes de febrero, se observa un incremento del 7,5% en la tercera sección y de 7,0% en la cuarta sección; así, podemos decir que la medida implementada por el Escenario 2, alcanza el objetivo de mejorar la satisfacción de la demanda en un mes en el cual la disponibilidad de agua en la tercera y cuarta sección es crítica.

En el caso del Escenario 3, la seguridad de riego no puede ser evaluada porque el MOS no está preparado para simular las condiciones de disponibilidad de agua con recarga artificial. Se requeriría cambios adicionales en la codificación del MOS que se encuentran fuera del alcance de este estudio.

5.3 RESULTADOS MODELACIÓN SUBTERRÁNEA

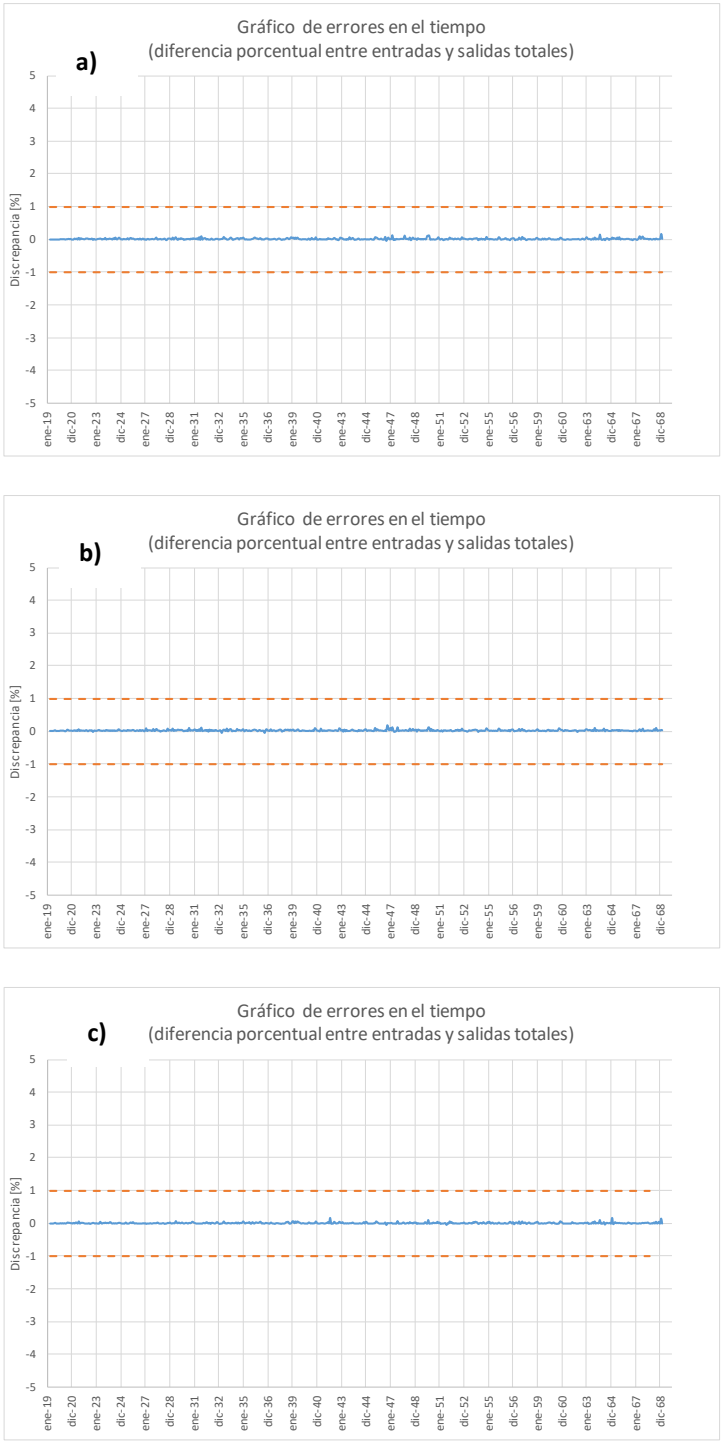
Los principales resultados del análisis de los escenarios predictivos con el modelo numérico VM ACN 2019 se pueden resumir en:

- El error de convergencia global es menor al 1% en todos los casos (Figura 5-4), valor dentro de los límites recomendados.
- Las diferencias entre las recargas impuestas y computadas se presentan en la Figura 5-5, la diferencia se debe a la pérdida volumétrica por secado de celda en los márgenes del valle. Lo propio para las extracciones computadas respecto a la ingresada al modelo (Figura 5-6).
- En la Tabla 5-7 se presenta el balance de masas de toda la cuenca para todo el período de modelación (50 años), para cada escenario. Se tiene un muy buen error de cierre 0,02%.

Tabla 5-7: Balance de masas promedio global en 50 años de la cuenca del río Aconcagua para las simulaciones

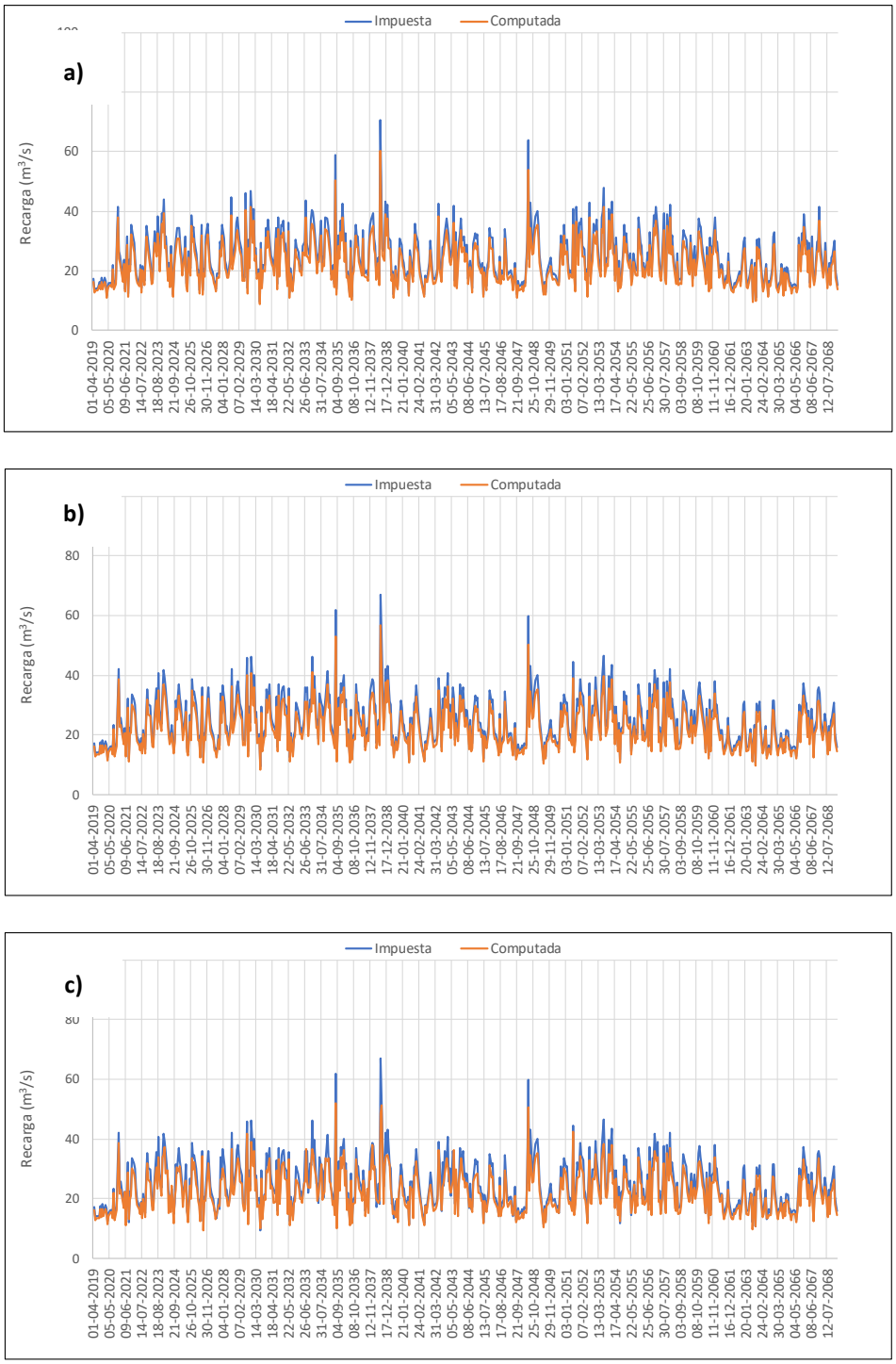
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Entradas (m^3/s)	Recarga superficial	22,37	22,39	22,37
	Recarga lateral	0,01	0,01	0,01
	Recarga desde río Aconcagua	7,68	7,86	7,58
	Recarga artificial en San Felipe	-	-	1,43
	Entrada desde el mar	0,09	0,09	0,09
	Almacenamiento	0,20	0,25	0,19
	Entrada total	30,34	30,59	31,67
Salidas (m^3/s)	Extracciones artificiales	13,45	14,65	14,65
	Descarga dren Las Vegas	1,25	1,25	1,25
	Afloramiento en río Aconcagua	12,38	11,52	12,51
	Descarga en otros cauces naturales	3,15	3,06	3,16
	Descarga embalse Los Aromos	0,09	0,09	0,09
	Salida total	30,33	30,58	31,66
Error		0,02	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia.



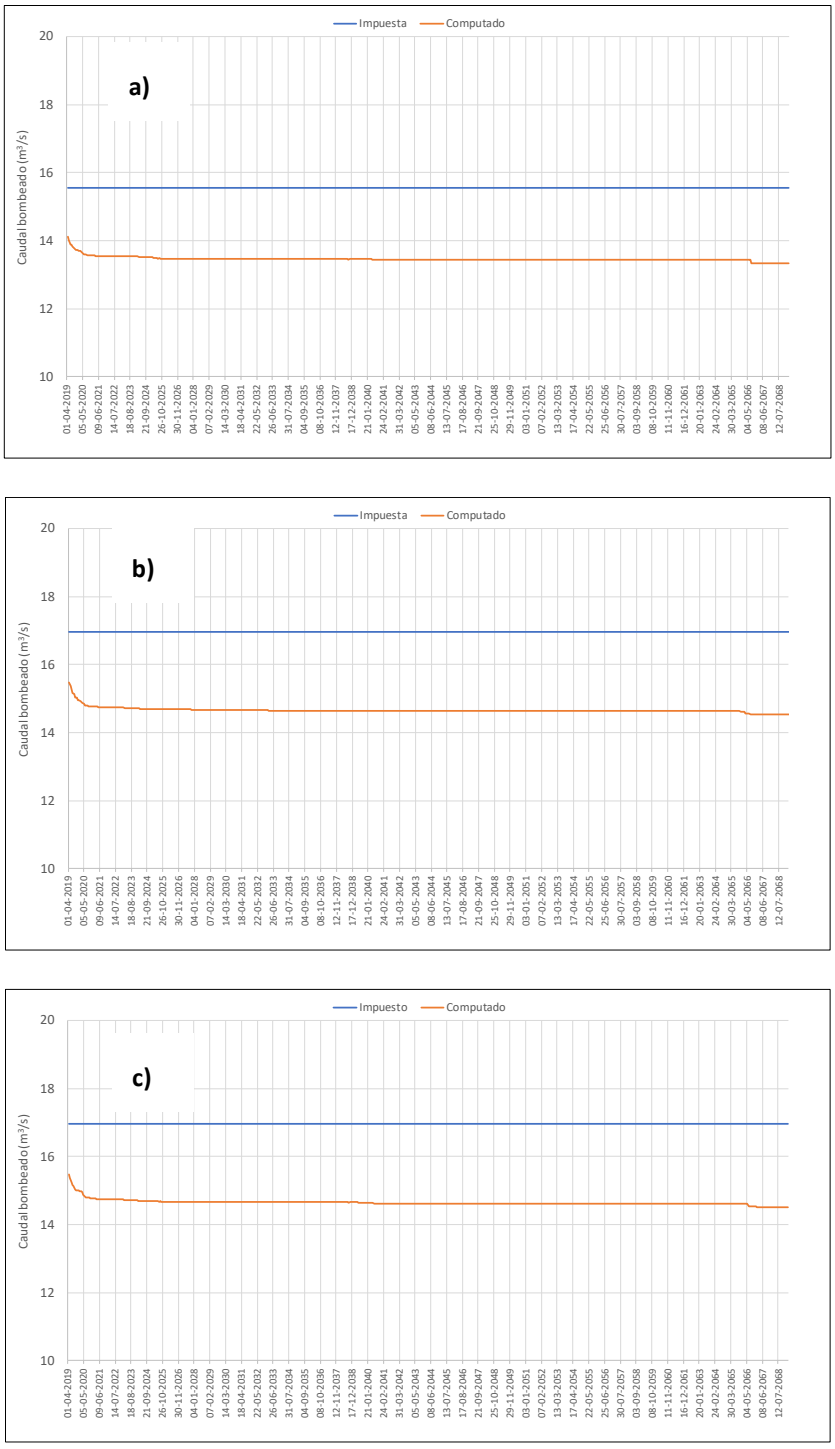
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-4: Discrepancia para el período de simulación a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-5: Recarga superficial impuesta vs computada a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6: Extracciones impuesta vs computada a) Escenario 1, b) Escenario 2 y c) Escenario 3

- En los siguientes gráficos (Figura 5-7 a Figura 5-13) se presentan los niveles logrados en los nuevos pozos proyectados por la DOH, tanto para el Escenario 2 como para el Escenario 3.

  Para el análisis de estos resultados se recurre al concepto de nivel de caída del pozo o nivel de falla del pozo que corresponde al nivel de agua subterránea para el cual la operación del pozo comienza a ser claramente deficitaria, lo que se refleja en una caída de su caudal de explotación o en que el pozo quede colgado y, por ende, no pueda ser explotado.

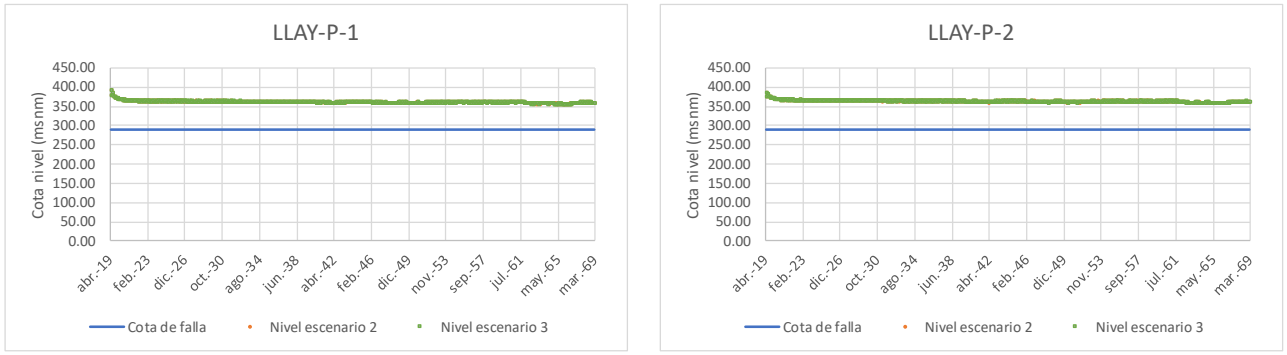
  Los pozos que fallan corresponden a aquellos en los cuales su nivel dinámico alcanza o se ubica bajo el nivel de falla definido. El que un pozo alcance su nivel de falla implica que queda fuera de servicio durante un determinado período de tiempo hasta que el pozo recupere su nivel o en su defecto, se debe disminuir su caudal de explotación para que este pueda mantenerse en operación. Desde la perspectiva del modelo Modflow, este continúa simulando el nivel de la napa aunque en la práctica el pozo haya fallado. Es así como algunos pozos durante la simulación fallan, luego se recuperan y posteriormente vuelven a fallar.

  Por otro lado, los pozos que se secan corresponden a aquellos pozos en los cuales el nivel de agua subterránea llega al límite de la capa asignada al pozo (o al basamento). Esto indica que en la práctica estos pozos no pueden operar con el caudal impuesto debido a que el funcionamiento del acuífero no lo permite. Desde el punto de vista del modelo Modflow, los pozos que se secan dejan de operar y desaparecen del modelo.

  En base a lo anterior, y considerando una profundidad de falla equivalente a un 70% de la profundidad del pozo (que se estima como una eficiencia representativa), se aprecia que los nuevos pozos DOH de Putaendo y Llay llay presentarían un comportamiento estable en el largo plazo (50 años), es decir el nivel se mantiene siempre por sobre la profundidad de falla (Figura 5-7 y Figura 5-8).

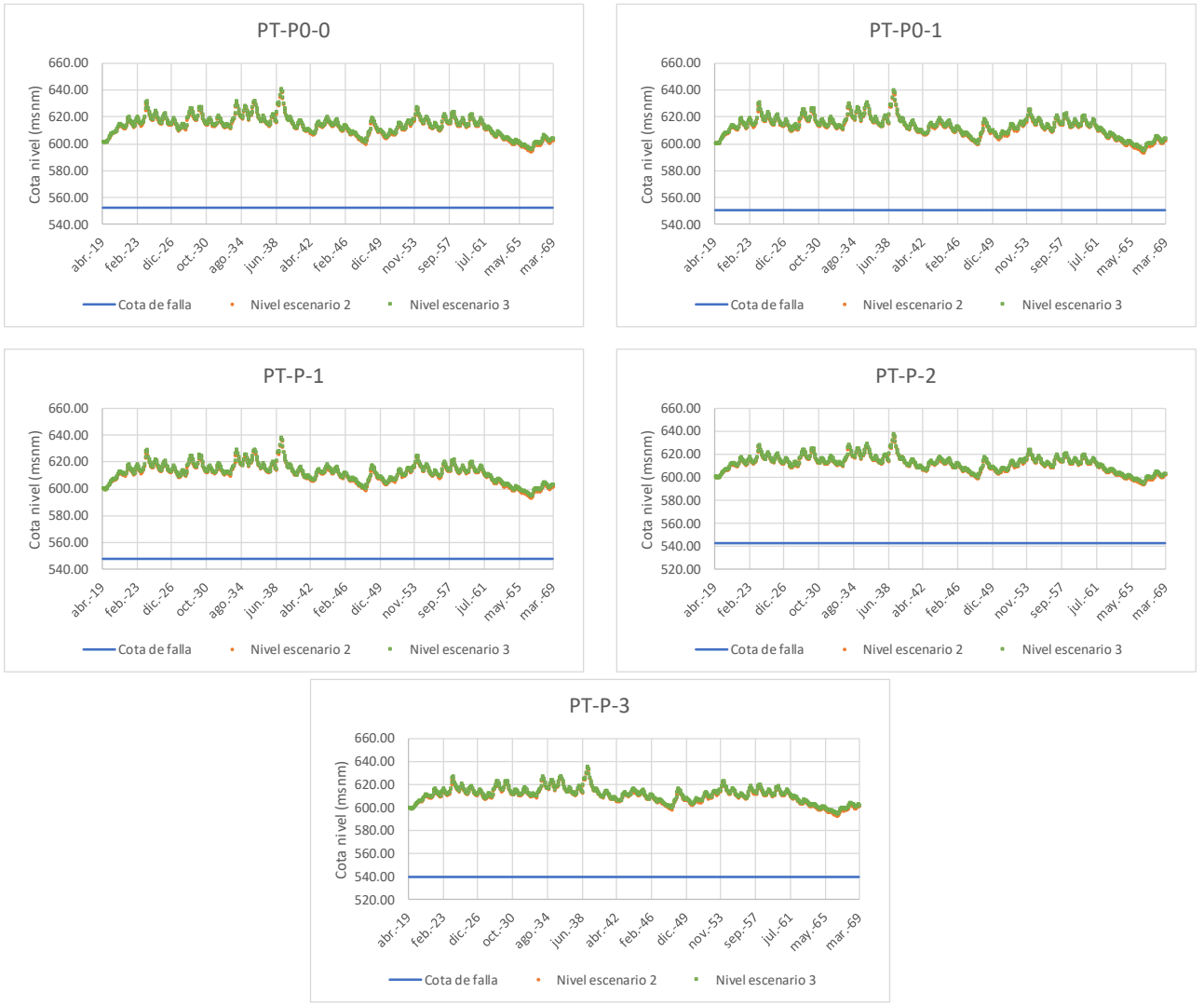
  Sin embargo, más de la mitad de los pozos de San Felipe fallarían en algún momento dado del tiempo (nivel simulado por debajo de la profundidad de falla) o se secan, la situación mejora para el Escenario 3; en efecto el hecho de disponer de recarga artificial ocasiona un peralte de los niveles en el acuífero 1 que produce que los pozos fallen y/o se sequen menos, tal como se visualiza en las Figura 5-9 a Figura 5-13 (5 pozos se secan en el Escenario 2 y 4 pozos se secan en el Escenario 3).

- Pese a lo anterior, en términos generales de la Tabla 5-7 se desprende que en promedio, para toda la cuenca, la mayor extracción de los pozos DOH se ve levemente beneficiada por la recarga artificial, en efecto el incremento de recuperaciones en el río Aconcagua, comparando el Escenario 3 con el Escenario 2, es del orden de 1 m^3/s en promedio, es decir prácticamente un 70% del agua extraída desde el río regresa al río aguas abajo (entre la primera y segunda sección de riego básicamente). Asimismo, la infiltración natural del río al acuífero se reduce en 0,28 m^3/s, por lo que el efecto neto sobre el río es aún menor. El aporte efectivo de la recarga artificial para un menor des-embalsamiento del acuífero se evalúa en promedio en 0,06 m^3/s, es decir menos del 5% de la inyección antrópica promedio.



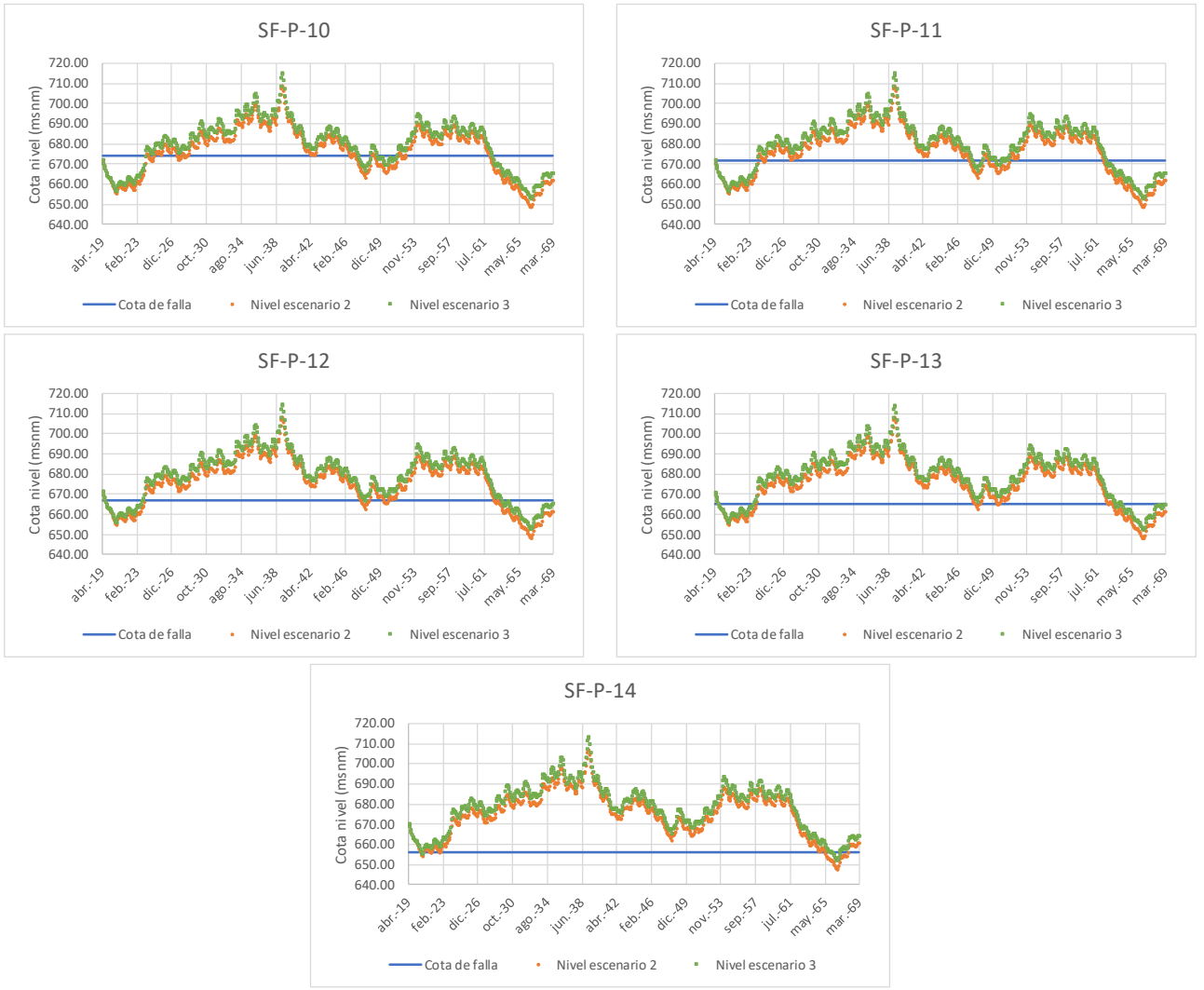
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-7: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de Llay llay.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-8: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de Putaendo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-9: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación)



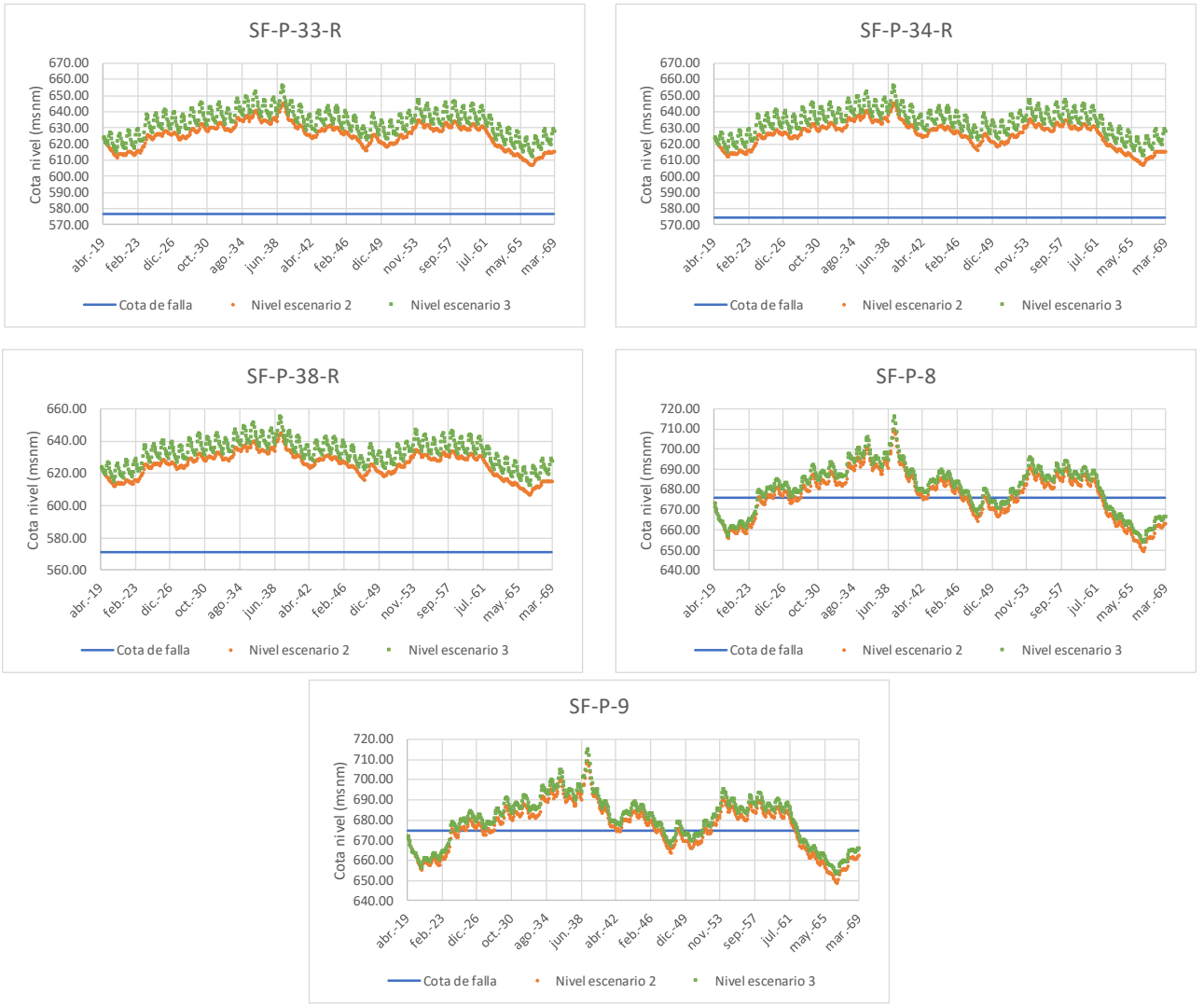
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13: Evolución niveles en nuevos pozos DOH de San Felipe (continuación)

- Por último, en las siguientes tablas (Tabla 5-8 y Tabla 5-9) se resumen los resultados de interferencia con el río Aconcagua. Los caudales referenciales para comparación son los mismos usados en DICTUC de 2009 (Afloramiento promedio escenario base DICTUC). De la misma forma, el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia pasante en el río corresponde al definido en dicho estudio ($Q_{ANUAL,\ 85\%}$).

  Para los Escenarios 1 y 2, respecto al caso base de DICTUC de 2009, se obtiene en los acuíferos 4 y 7 una disminución de la interferencia debido al incremento de las recuperaciones y menor percolación desde el río respectivamente. Por otra parte, el aumento de interferencia en el acuífero 6 entre el Escenario 1 y el Escenario 2 del presente estudio es marginal. Para este último escenario, el aumento es significativo en el acuífero 3, no obstante, este cálculo no considera que el agua subterránea bombeada desde los nuevos pozos DOH se destina al río por lo que en la práctica su efecto sobre el río también es menor. Se aprecia que la interferencia sobre el río es solamente mayor al 10% del $Q_{ANUAL,\ 85\%}$ en el acuífero 3, pero aquí aplica el mismo comentario anterior, gran parte del efecto se debe a los pozos de la DOH (históricos y proyectados) que devuelven el agua al río.

Tabla 5-8: Interferencia río-acuífero para el Escenario 1 (demanda comprometida a abril de 2019)

Acuífero	$Q_{ANUAL,\ 85\%}$ (m^3/s)	Afloramiento promedio Escenario Base DICTUC (m^3/s)	Afloramiento promedio Esc. 1 (m^3/s)	**ΔQ** (m^3/s)	Grado de Interferencia (%)
3	3,41	5,98	5,04	0,94	27,6
4	2,25	1,31	1,61	-	-
6	8,97	-0,02	-0,05	0,03	0,3
7	3,77	-0,41	-0,37	-	-
8	13,31	-0,10	-0,28	0,18	1,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-9: Interferencia río-acuífero para el Escenario 2 (proyecto DOH)

Acuífero	$Q_{ANUAL,\ 85\%}$ (m^3/s)	Afloramiento promedio Escenario Base DICTUC (m^3/s)	Afloramiento promedio Esc. 2 (m^3/s)	**ΔQ** (m^3/s)	Grado de Interferencia (%)
3	3,41	5,98	4,49	1,49	43,7
4	2,25	1,31	1,61	-	-
6	8,97	-0,02	-0,06	0,04	0,4
7	3,77	-0,41	-0,38	-	-
8	13,31	-0,10	-0,28	0,18	1,4

Fuente: Elaboración propia.

6 MIGRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO A WEAP

El modelo WEAP (Water Evaluation And Planning) desarrollado por el Stockholm Environment Institute corresponde a un modelo hidrológico para la planificación integrada de recursos hídricos. Desde su origen en 1988 se ha implementado en diversas cuencas a lo largo de todo el mundo y ha tenido diversas mejoras apoyadas por instituciones como el Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers, O.N.U., Banco Mundial, entre otros. En particular, en Chile se han desarrollado modelos WEAP de algunas cuencas de las macrozonas Norte y Centro, como por ejemplo las de los ríos Choapa, Limarí, Elqui[5] y Maipo- Mapocho[6].

WEAP permite incorporar tanto elementos naturales tales como evapotranspiración, demandas, infiltración, flujo base, e infraestructura como conducciones, embalses y bombeos desde agua subterránea. Su operación se basa principalmente en el principio de balance hídrico, buscando satisfacer las demandas de acuerdo a las prioridades definidas a lo largo de la cuenca.

En esta sección se resume la migración del modelo hidrológico MOS ACN 2019 de calibración (Capítulo 3) al WEAP manteniendo idéntica discretización temporal mensual (abril 1950 - marzo de 2019).

El trabajo en comento considera además la conversión del modelo MPL de generación de escorrentía en cuencas pluviales desde un software licenciado (Goldsim) hacia otro de acceso libre(Python).

Específicamente, se presenta la conceptualización y topología del nuevo modelo WEAP destacando las simplificaciones realizadas en dicho traspaso. Los resultados de ambos modelos (MOS ACN 2019 y WEAP) se comparan tanto en términos de los ajustes en las estaciones fluviométricas de control en el río Aconcagua como de la recarga generada al acuífero.

6.1 CONSTRUCCIÓN MODELO WEAP EN BASE A MOS ACN 2019

Se implementa un modelo WEAP tomando en cuenta los elementos y los cálculos que realiza el MOS ACN 2019. En la interfaz de WEAP (vista esquemática) se cargan archivos de tipo shapefile (shp) de los nodos de MOS, de ríos y esteros, y de las áreas de los sectores de riego y acuíferos. A continuación, se presenta la construcción de los elementos de MOS en WEAP. En el Apéndice J se muestran esquemas de su estructura topológica.

[5] Análisis para el desarrollo de un plan de GIRH en la cuenca del Choapa. Rhodos para DGA, 2017.

[6] Water option contracts for climate change adaptation in Santiago Chile, Water international, 43(2), 237-256. Vicuña, S., Gil, M., Melo, O., Donoso, G., & Merino, P., 2018.

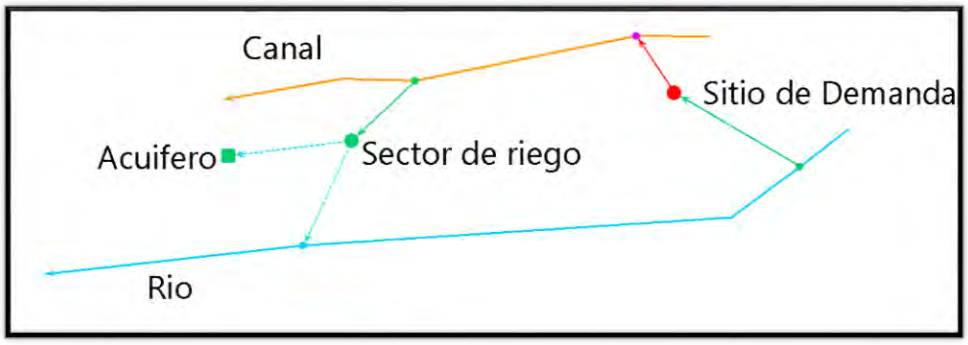
Nodos

Los nodos de MOS se constituyen en WEAP en base a dos nodos en los elementos tipo río. El primer nodo recibe todos los afluentes, y luego un segundo nodo, aguas abajo, entrega flujos a los canales de riego correspondientes. La percolación a los acuíferos se calcula aguas abajo del segundo nodo. Se emplea esta estructura debido a la limitación que presenta WEAP, que no permite extraer flujos a sitios de demanda desde un nodo que recibe aportes desde otro río u otro tipo de afluente.

Además, WEAP designa los nombres de los nodos de forma automática sin posibilidad de edición de la nomenclatura de los nodos; lo anterior impide respetar la designación original de nodos contenida en MOS.

Sectores de riego

Se representan en base a un sistema similar al implementado en el modelo de la cuenca del río Choapa, construido por Rodhos (2017), tal como se muestra en la Figura 6-1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-1: Esquema sistema de sectores de riego.

La topología de sectores de riego en WEAP se compone de sitios de demanda, canales y unidades hidrológicas. Los sitios de demanda representan bocatomas y extraen flujos desde nodos de río o agua subterránea. A su vez, los sitios de demandas entregan el caudal requerido a los distintos canales asociados a sectores de riego. Finalmente, el flujo se envía a una unidad hidrológica; esta representa el sector de riego en sí y calcula el balance hídrico.

El MOS estima las pérdidas por conducción a cada sector de riego en base a un cálculo de eficiencia que depende del caudal del canal y los parámetros EFCA, EFCB y EFCQ, presentes en los archivos de entrada de MOS INFSEC. En WEAP se agrega como un porcentaje del caudal en el mismo canal con igual fórmula de MOS. Sin embargo, se calcula en base al caudal del tiempo anterior debido a que WEAP no tiene la capacidad de referenciar el caudal

en el mismo período. Se agrega también el factor de eficiencia de riego de los sectores de MOS a la propiedad fracción de riego en WEAP.

Se consideran los mismos valores de evapotranspiración de MOS, denominadas necesidades netas mensuales. La salida de los sectores se entrega mediante elementos de escorrentía/infiltración al acuífero, sector de riego y/o nodo de río según la topología.

A continuación, se presenta una comparación del enfoque de modelación hidrológica implementada en WEAP y MOS para los sectores de riego (Tabla 6-1).

Tabla 6-1: Modelación en sectores de riego en MOS y WEAP

Modelación	WEAP		MOS	
	Descripción	Donde aplica	Descripción	Donde aplica
Precipitación -Escorrentía sectores de riego	Se utiliza el Rainfall Runoff Method (Simplified Coefficient Method): se calcula la evapotranspiración con un coeficiente de cultivo simple, tal que la parte de agua no suplida por la precipitación se demanda hacia las fuentes existentes en cada caso. El sobrante de este balance se puede modelar como un flujo subsuperficial que llega hacia el cauce del rio, y también se puede derivar como una recarga al sistema subterráneo	Unidades hidrológi-cas (zonas de riego)	Se calcula similarmente a WEAP, con un coeficiente único del cultivo, por ende, una demanda previamente determinada. Se utilizan coeficientes para determinar la parte que percola y la parte que se derrama al rio. Existe una limitante a la percolación, asociada a la capacidad del acuífero. Si el acuífero está lleno, la percolación efectiva baja	Percolación desde riego y canales
			En este caso, se considera la humedad del suelo para el cálculo de la percolación real. La separación precipitación-escorrentía es análoga al caso anteriormente presentado	Percolación por precipitación

Fuente: Elaboración propia

Embalses

Se incorporan los embalses Aromos y Chacrillas como reservorios en los elementos tipo río del estero Limache y río Putaendo respectivamente, con los parámetros del archivo INFEMB de MOS ACN 2019.

Acuíferos

Se representan con elementos tipo nodo de agua subterránea y flujos del tipo escorrentía/infiltración. Similar a MOS, se restringe la recarga en WEAP en caso que el volumen almacenado por el acuífero sea superior al 99,5% de su capacidad.

En MOS, la percolación desde nodos de río depende de su caudal y se calcula mediante la expresión:

$Qper = Ca * Qsob^{Cb}$,

Donde:

Qper es el caudal percolado,

Qsob el caudal sobrante y,

Ca y Cb, parámetros de cada nodo presentes en el archivo de entrada CPRIO.

Esta recarga se implementa en WEAP en la propiedad de los nodos de río denominada efluente de agua subterránea. El efluente se ingresa como un porcentaje del caudal en el nodo de río y se calcula en base al caudal del intervalo de tiempo anterior debido a la limitación en WEAP mencionada anteriormente.

Este porcentaje se limita con el objetivo de disminuir la distorsión que se observa al realizar el cálculo en base al caudal del período anterior. Esto es visible especialmente en los casos de alto contraste entre un mes y el siguiente dado que el porcentaje infiltrado con caudales pequeños puede llegar a ser muy superior al porcentaje ante caudales mayores. Debido a esto, se observa una sobreestimación de percolación en los meses de mayor caudal con meses previos muy secos. Así mismo, se observa una subestimación de la percolación en los meses de caudales menores posteriores a meses más húmedos.

Los bombeos para uso de riego se representan como sitios de demanda que extraen cierto caudal y lo envían a los sectores de riego asociado. En cambio, los bombeos para otros usos (agua potable, industrial, minero) consumen el 100% del volumen que captan los mismos sitios de demanda. Por otra parte, las baterías de pozos DOH entregan el caudal en los nodos de río según la topología de MOS.

El flujo pasante entre acuíferos se calcula como volumen mensual en base a los factores usados en MOS. Se observa una diferencia en este punto debido a que en WEAP no es posible una confluencia de acuíferos, como es el caso del acuífero 4 y 5. En MOS, se suman los flujos de salida de los acuíferos 4 y 5, se les resta el caudal captado por el dren las Vegas, y el sobrante se entrega al acuífero 6. Debido a esto, el dren extrae este caudal en WEAP como una demanda al acuífero 6. Los afloramientos se determinan en base al desbordamiento del acuífero en el tiempo anterior.

Canales de trasvase

Los 19 canales de trasvase de MOS se implementan de forma similar a los canales de los sectores de riego, con bocatomas representados con elementos del tipo sitios de demanda y derivaciones con entrega en los nodos en los casos que aplique según la topología de MOS.

Cuencas de entrada y laterales

El aporte de las cuencas de entrada y laterales se calcula externamente de forma análoga al MOS y se añaden como ríos afluentes a los nodos asociados (ver Sección 6.2).

Se presenta a continuación la nomenclatura utilizada en el modelo WEAP de distintos elementos implementados (Tabla 6-2). Los ríos y algunos esteros fueron denominados por su nombre, como es el caso de los ríos Aconcagua, Putaendo, Juncal, Blanco, y los esteros Catemu, Limache, San Francisco, Pocuro, entre otros.

Tabla 6-2: Elementos del modelo WEAP Aconcagua

Nomenclatura	Elemento	Tipo de elemento en WEAP
dChxx	Bocatoma Canal de trasvase xx	Sitio de demanda
dSxx	Bocatoma del sector de riego xx	Sitio de demanda
dNxx	Bocatoma en nodo MOS xx (*)	Sitio de demanda
QBOxx	Bombeo para otros usos desde acuífero xx	Sitio de demanda
Qbsxx	Bombeo para riego de sector xx	Sitio de demanda
Sxx	Sector de riego xx	Unidad hidrológica
CC_Sxx	Canal asociado al sector de riego xx	Derivación
CE_xx	Cuenca de entrada xx	Río
Chxx	Canal de trasvase xx	Derivación
CS_xx	Cuenca lateral xx	Río
N_xx_yy	Estero desde nodo xx hasta nodo yy	Río
Acxx	Sector acuífero xx	Agua subterránea

Fuente: Elaboración propia

(*) En el caso de los nodos que deriven a más de un sector de riego, como por ejemplo el nodo N02 que entrega a 9 sectores de riego.

A la sección de supuestos clave en el programa WEAP se agregan algunos parámetros de entrada y otros calculados por el MOS. Allí, se incorpora la información de los acuíferos contenida en el archivo de entrada INFSUB, bombeos, caudales de cuencas de entrada y laterales y, series de precipitación. Además, se recogen también los parámetros de los sectores de riego provenientes de los archivos INFSEC, las demandas de evapotranspiración en NNMSEC y los parámetros de simulación para la generación sintética de caudales PRMSEC.

6.2 CONVERSIÓN DEL MODELO MPL

Se realiza la migración del modelo MPL, anteriormente implementado en el software Goldsim (ver Sección 3.3.3), hacia Python (MPL Python), con el mismo horizonte temporal de datos hasta marzo de 2019, manteniendo la conceptualización anteriormente considerada y empleando el valor de los parámetros originales para los cálculos.

Cabe destacar, que el modelo MPL Python se considera un insumo del modelo WEAP, por lo cual, este genera archivos de escorrentías superficiales y subterráneas mensuales que deben ser ingresados a WEAP, para cada una de las cuencas abarcadas por el modelo. Los detalles necesarios para su operación, se describen en la Tabla 6-3.

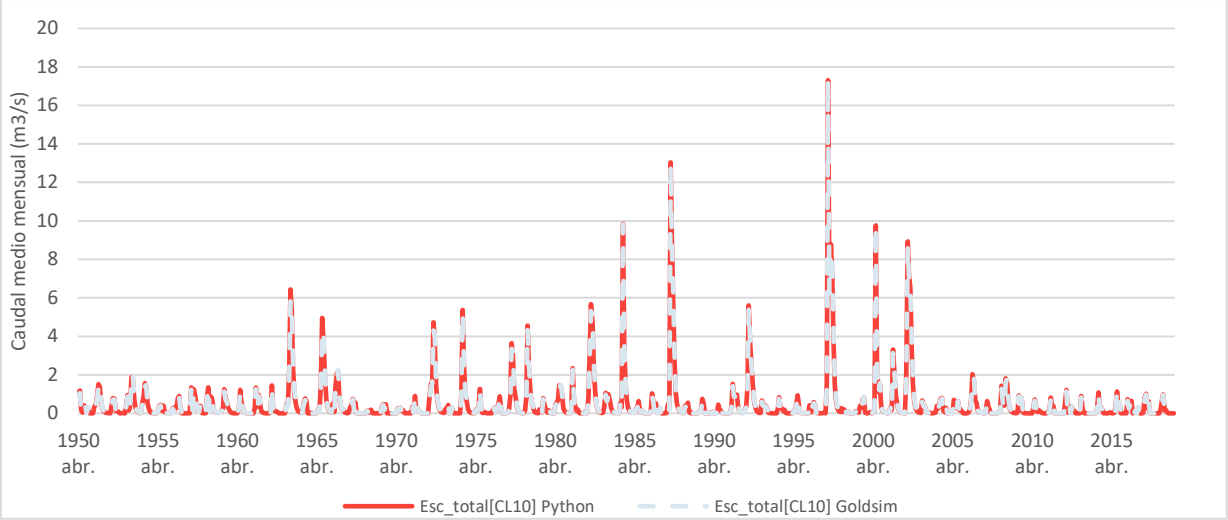
Tabla 6-3: Detalles operación MPL Python

Categoría	Descripción
Archivos de entrada: Archivos de insumo del modelo MPL Python que permiten la generación de caudales sintéticos basados en modelo del ciclo de escorrentía en la cuenca	Planilla Excel contenedora de las variables y parámetros de entrada al modelo • Datos de precipitación mensual sobre la cuenca, extraídos desde las estaciones Limache, San Felipe y Resguardo Los Patos • Datos de evapotranspiración mensual sobre la cuenca • Valores de parámetros que dan forma a las expresiones matemáticas que modelan flujos componentes del ciclo de escorrentía • Datos de simulaciones realizadas con modelo anterior Goldsim, a fin de evaluar la migración • Los datos son cargados a la rutina ***"MPL.py"*** a través de la lectura de una planilla Excel ***"Datos.xlsx"***
Archivos de salida:	• Archivo ***"Escorrentias.xlsx",*** el cual contiene las escorrentías superficiales, subterráneas y totales mensuales asociadas a cada una de las cuencas laterales y de entrada del modelo • Carpeta ***"Archivos WEAP",*** la cual contiene archivos Excel con el formato de ingreso al software WEAP. Se hace la distinción entre las cuencas laterales y de entrada

Categoría	Descripción
Carpetas y Archivos que genera el modelo MPL Python como producto final de su operación	• CE: Conceptualmente, modelo MOS considera que el caudal desde CE es la suma de la contribución superficial y la componente sub-superficial • CL: Conceptualmente, modelo MOS considera que los caudales desde CL (flujo superficial y sub-superficial) ingresan por separado; en el caso del flujo sub-superficial se considera que éste ingresa directamente al acuífero (qzl) • Una *carpeta* ***"Gráficos comparativos por cuenca"*** que contiene gráficos para cada una de las cuencas laterales y de entrada, comparando los datos simulados por el modelo implementado en Goldsim y en Python, en términos de escorrentía total, a modo de validación de la migración. • Una *carpeta* ***"Gráficos escorrentías por cuenca"*** que contiene gráficos para cada una de las cuencas laterales y de entrada, de las escorrentías superficiales y subterráneas simuladas
Operación:	• Anaconda es una distribución de Python que contiene los paquetes más usados en temas de ciencia, matemáticas o ingeniería • La rutina fue creada en Spyder, una herramienta de la distribución Anaconda que emplea Python 2.7 para su operación. Se recomienda la ejecución en Spyder, bajo la misma versión de Python. • Para ejecutar, se debe abrir Spyder y luego el código "MPL.py". Solo se requiere aplicar el comando "Run". Para no inducir errores, es necesario que todos los archivos de insumo mencionados, estén en la misma ubicación que la rutina Python. • La operación exitosa de la rutina, generara los archivos de salida anteriormente mencionados
Integración MPL Python - WEAP	• Los archivos "CE.xlsx", "cs.xlsx" y "qzl.xlsx" se ingresan en la carpeta "Datos" del modelo WEAP ACN. Esto cargara automáticamente los archivos al modelo una vez abierto

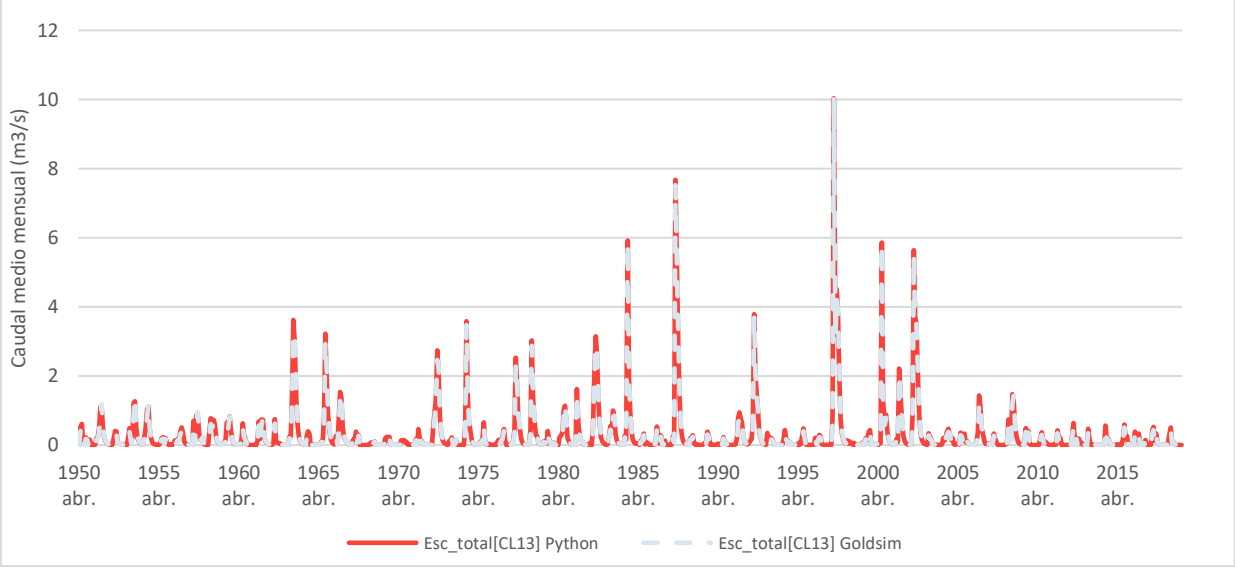
Fuente: Elaboración propia

Las siguientes ilustraciones (Figura 6-2 y Figura 6-3) muestran la comparación entre los caudales obtenidos por el modelo MPL a través de los distintos softwares mencionados (GoldSim y Python), correspondiente a la actualización de la modelación hidrológica integrada del Aconcagua. Se observa que se reproduce el hidrograma y la estacionalidad del flujo en ambas cuencas ejemplificadas, a pesar de que los caudales máximos son ligeramente mayores en el modelo Python. Se considera que la migración del modelo es satisfactoria y que puede ser utilizado para generar caudales en las cuencas laterales y de entrada del modelo WEAP.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-2: Comparación entre caudal MPL WSP Goldsim y MPL WSP Python para CL10



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-3: Comparación entre caudal MPL WSP Goldsim y MPL WSP Python para CL13

6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

En la Figura 6-4 se ilustran los ajustes para el modelo en MOS y su migración a WEAP, respectivamente, para la estación fluviométrica río Aconcagua en San Felipe en el período abril de 1950 hasta marzo de 2019.

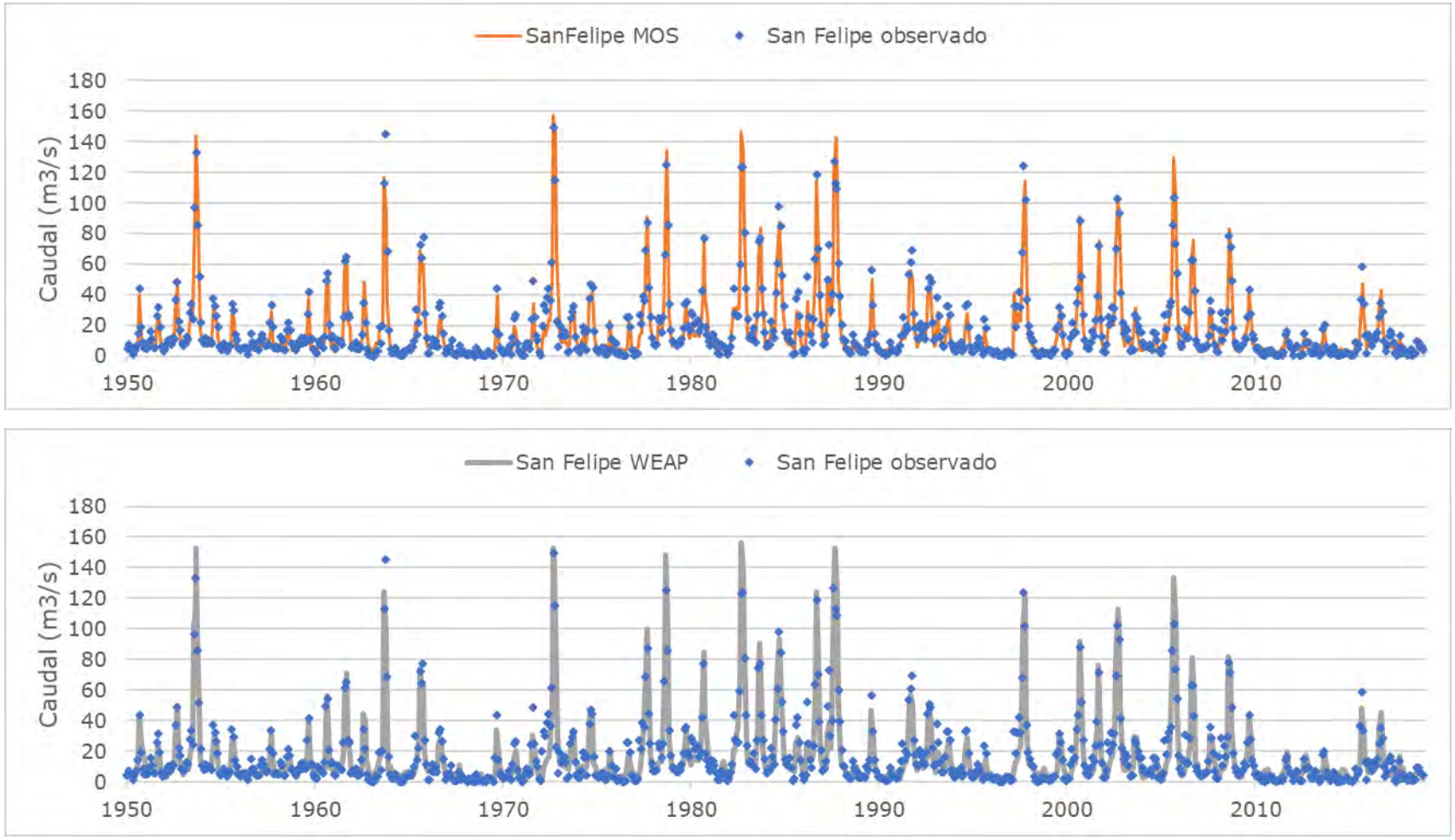
De igual manera, en la Figura 6-5 se muestra la comparación entre los modelos para el ajuste de la estacion fluviometrica río Aconcagua en Romeral.

Además, en la Tabla 6-4 se presenta el NRMS (Error cuadrático medio normalizado) para MOS y WEAP con respecto a los caudales medios mensuales observados en ambas estaciones. Se exhiben errores aceptables para los ajustes, con el modelo migrado presentando un error levemente mayor.

Tabla 6-4: NRMS para calibración de estaciones fluviométricas. Período 1950-2019

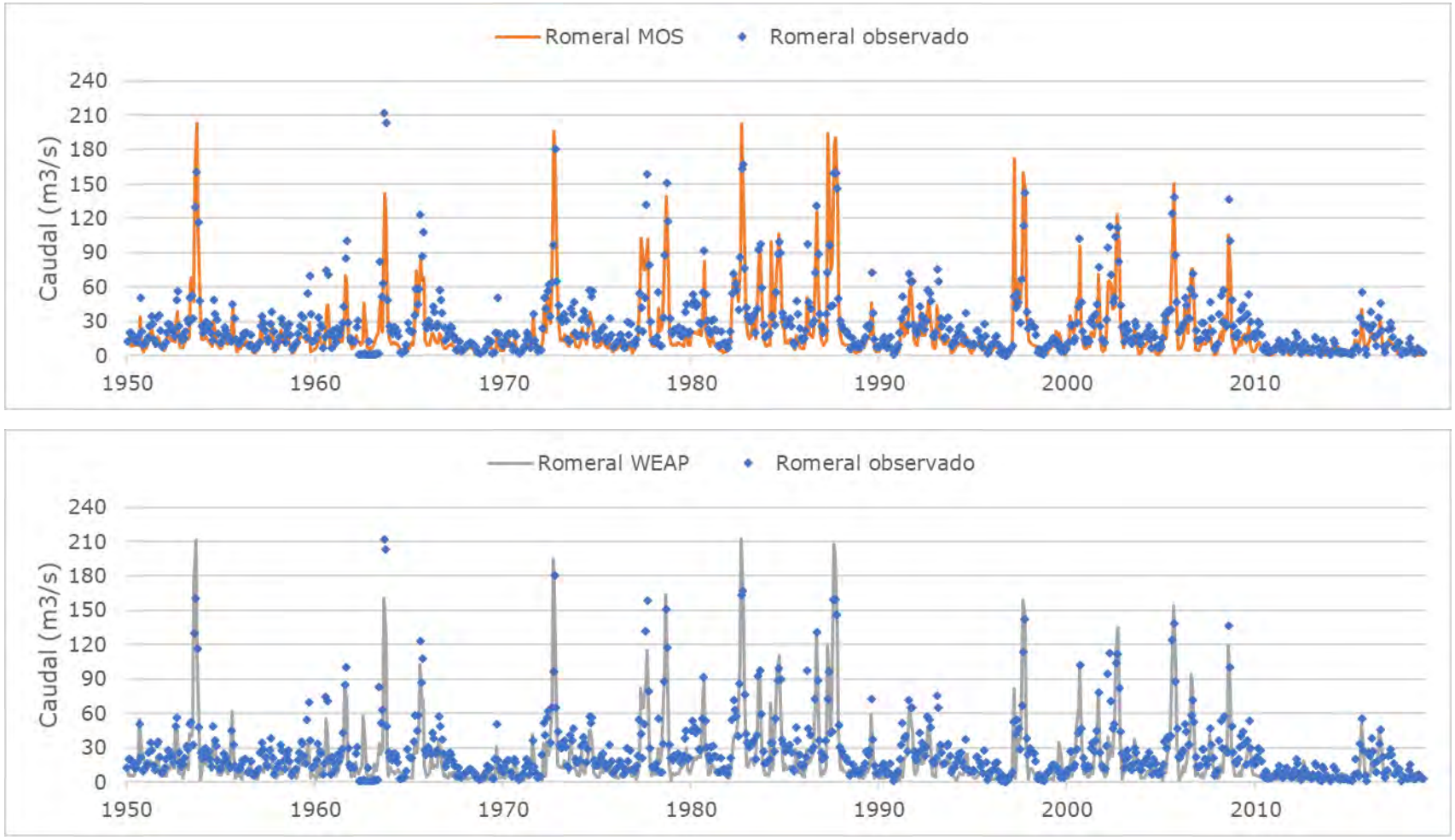
1950-2019	San Felipe	Romeral
NRMS MOS VS OBS	4,2%	7,5%
NRMS WEAP VS OBS	5,0%	7,5%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-4: Ajuste para modelos MOS (arriba) y WEAP (abajo) para la estación fluviométrica Rio Aconcagua en San Felipe. Período 1950-2019



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-5: Ajuste para modelos MOS (arriba) y WEAP (abajo) para la estación fluviométrica Rio Aconcagua en Romeral. Período 1950-2019

Por otro lado, se ilustra en la Figura 6-6 la recarga total simulada por ambos modelos: MOS, y su migración a WEAP. Para estos efectos, no se considera el aporte de recarga asociado al acuífero 10 (AC-10).

Se observa de MOS que aproximadamente el 52% de la recarga proviene del AC-01; dicho sector representa el mayor aporte al total. El modelo WEAP, en tanto, calcula que dicha zona aporta un 49% de la recarga. La distribución en detalle para los acuíferos se explicita en la Figura 6-7.

La diferencia en términos de caudal (y volumétrico) entre el modelo MOS y su migración a WEAP, es de un 1,8% (0,39 m^3/s) en términos promedio para el periodo 1991-2019 (Figura 6-7). La recarga promedio desde abril de 1991 a marzo de 2019 se determina en 22,04 m^3/s y 22,43 m^3/s para MOS y WEAP respectivamente.

Sin embargo, si se analiza el ajuste del modelo WEAP versus MOS, se tiene un NRMS de 13,7%. Estas discrepancias pueden explicarse por las diferencias entre métodos de cálculo de ambos códigos.

Por ejemplo, la herramienta WEAP no tiene la capacidad de generar implícitamente el desfase que presenta la recarga desde las unidades hidrológicas, al ingresar gravitacionalmente al acuífero subyacente, lo cual genera eventos de recarga puntuales de un caudal alto (por ejemplo, el evento de junio de 1997, Figura 6-6).

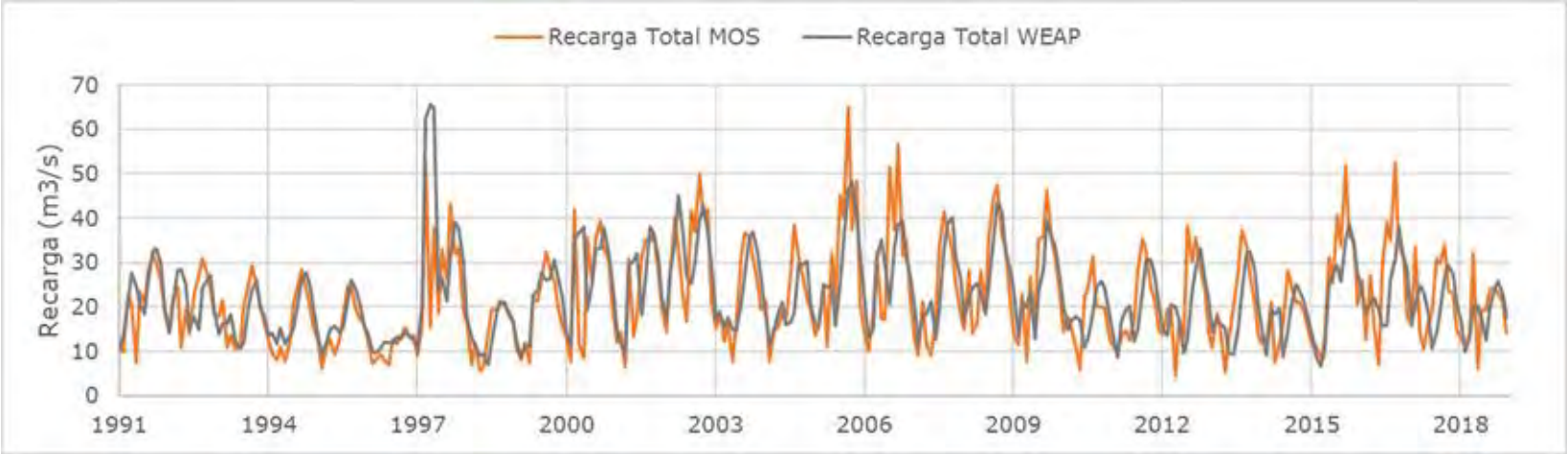
Además, MOS restringe la recarga desde sectores de riego al espacio disponible en el acuífero, es decir, en un mismo intervalo de tiempo calcula una percolación potencial, infiltra solo el volumen disponible en el acuífero y deriva el sobrante de la percolación potencial a derrame. Esto no es posible de implementar en WEAP ya que no permite referenciar los caudales calculados en el mismo intervalo de tiempo como se comentó anteriormente. Esto último se debe al método de cálculo que cuantifica los caudales de toda la cuenca varias veces en un mismo período de tiempo optimizando la satisfacción de las demandas.

Por lo tanto, fue necesario procesar la recarga calculada por WEAP de manera externa, se tomó en cuenta la media móvil de tres meses. Esta fue nuevamente procesada de forma similar a la obtenida en MOS, para ser ingresada a las zonas de recarga de Modflow.

Caber indicar, que en forma análoga que en MOS, esta serie no es la que finalmente es ingresada al modelo hidrogeológico ya que existen condiciones de bordes (tramos de río) que calculan parte de estos flujos en base a los distintos estados de las celdas del modelo. Por lo anterior, para el modelo hidrogeológico se genera una segunda serie que sólo considera los aportes impuestos (ver Tabla 7-3, ítem conservación recarga superficial impuesta al acuífero), principalmente recargas provenientes de riego, canales y lluvia mientras en el caso de la recarga de los ríos, ésta sólo es impuesta para algunos nodos particulares (en la parte alta de los cursos principales).

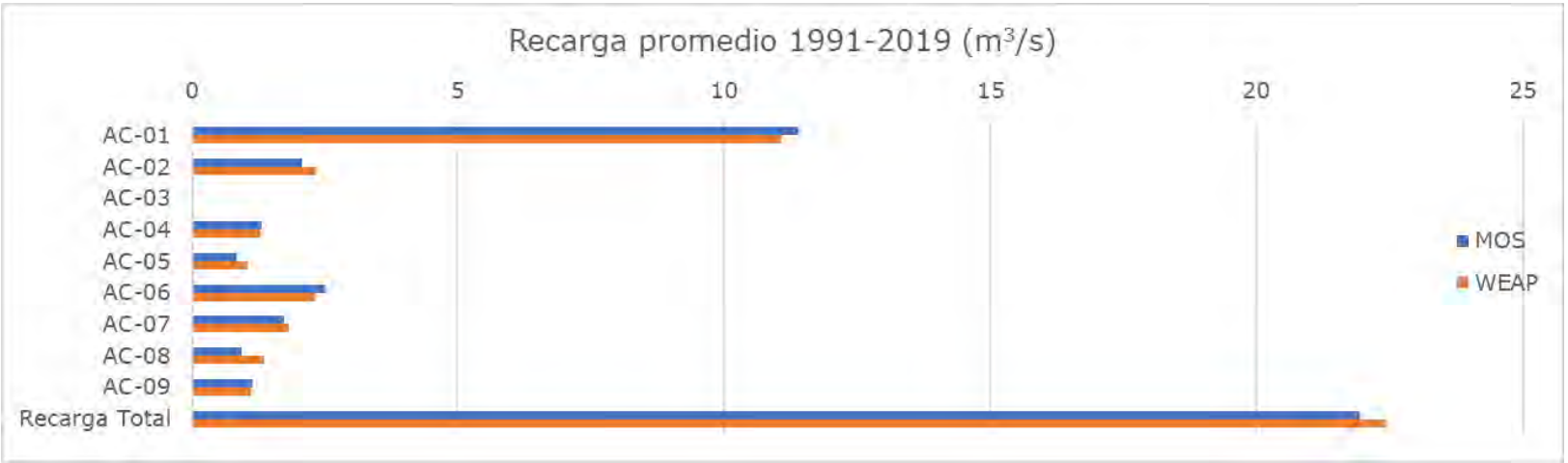
Finalmente, en la Figura 6-8 se muestra la seguridad de riego promedio mensual de cada sección legal del río Aconcagua. En WEAP se toma el índice llamado cobertura, calculado al igual que MOS, como el porcentaje satisfecho de la demanda calculada en base a las necesidades netas mensuales de cada sector de riego. Se aprecian mayores diferencias en la cuarta sección y en el valle de Putaendo, confirmando una mayor satisfacción de la demanda en las primeras secciones.

Se aprecia que entre los meses de octubre y abril el grado de satisfacción de la demanda es menor que 1, produciéndose los valores más bajos en los meses de verano, luego comienza a incrementarse hasta lograr en mayo nuevamente la satisfacción de la demanda cercana al 100%.



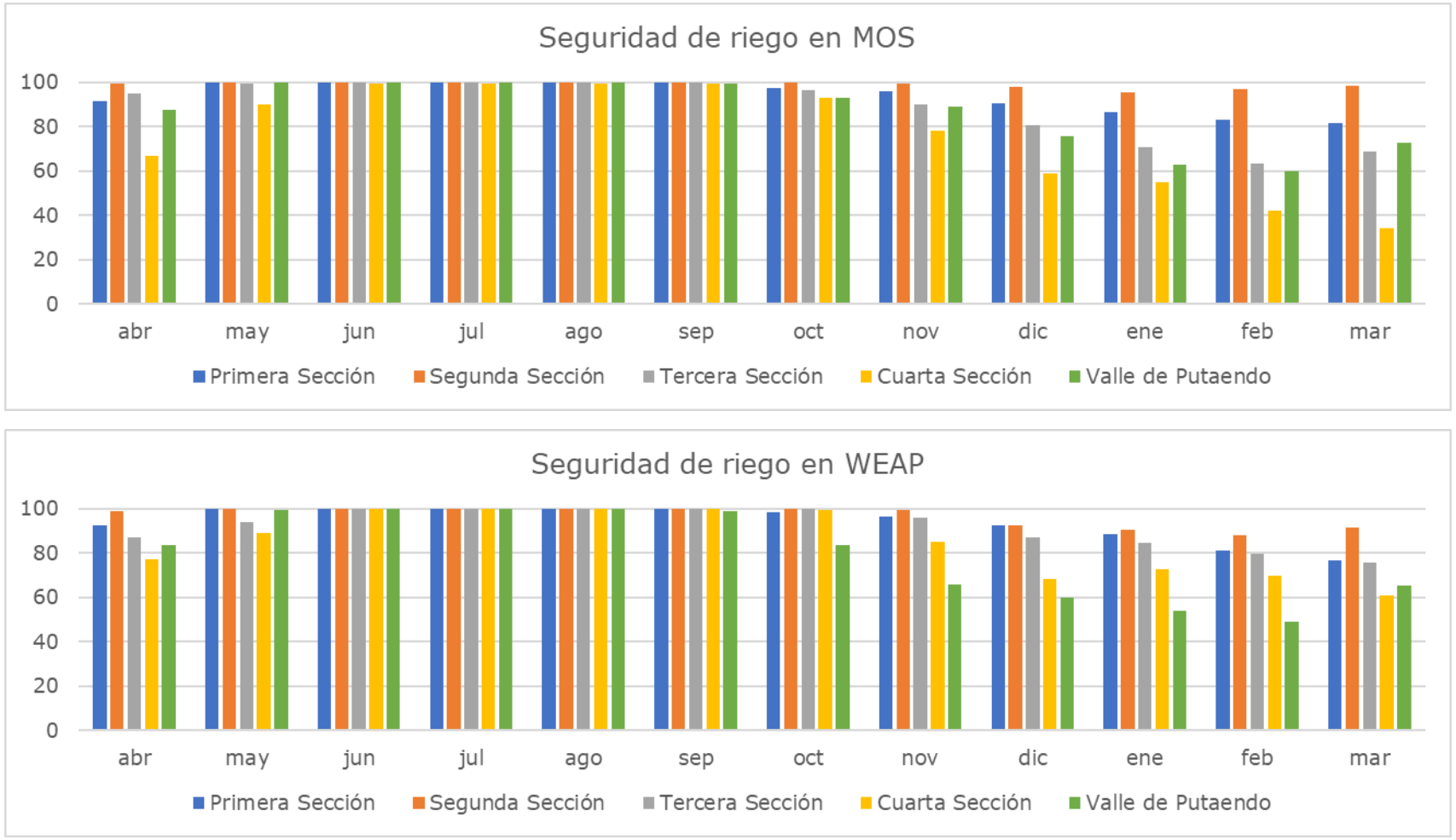
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-6: Comparación recarga desde todas las fuentes (AC-01 hasta AC-09) MOS vs WEAP. Período 1991-2019



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-7: Comparación MOS vs WEAP para recarga promedio por acuífero. Periodo 1991-2019 (m^3/s)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-8: Seguridad de riego media mensual por secciones legales del río Aconcagua. Período 1991-2019 (%)

7 MIGRACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO A MODFLOW NATIVO

En esta sección se presenta los diversos paquetes de Modflow asociados al modelo hidrogeológico de la cuenca del valle del río Aconcagua correspondientes a la calibración en régimen transitorio (desde abril de 1991 hasta marzo de 2019), los cuales se ejecutan desde una pantalla de edición del sistema operativo de Windows (ventana de comandos), incluyendo las instrucciones de uso.

Los resultados son contrastados a nivel de los ajustes en los pozos de monitoreo (56 puntos de observación) como de los balances de masa promedio del sistema subterráneo.

En la Figura 7-6 se ilustra el flujograma completo recomendado del procedimiento de la migración, aspectos que se explican más en detalle a continuación, donde el énfasis se pone en la estructura del modelo en Modflow nativo y en la obtención de resultados desde el mismo.

Cabe señalar en relación a la recarga superficial que proviene de WEAP asociada a los sectores de riego, ésta se distribuye esencialmente en las áreas de cultivos de los mismos sectores apartando las áreas marginales sin cultivos, ya que a diferencia de MOS, WEAP no proporciona por separado la componente de recarga asociada a las áreas de no riego (sin cultivos) para cada sector de riego, lo anterior indirectamente trae el beneficio en Modflow de que disminuye la pérdida de recarga del modelo (a través de las celdas secas de la periferia del valle), ya que las áreas de cultivos se ubican en general a una cota menor.

Además, se desprecia del modelo la recarga lateral dada su mínima magnitud (< 0,1 m^3/s), es decir se omiten, para efectos de simplificar esta versión de Modflow nativo y su futura integración con WEAP, los numerosos de pozos de inyección del borde del modelo VM ACN 2019 (> 10.000 pozos de inyección, ver Capítulo 4), los cuales le imprimen una dificultad adicional que no se justifica (ver Tabla 7-3, comparación de balances promedio global de la cuenca para el periodo de calibración donde la recarga lateral es casi nula).

7.1 ESTRUCTURA Y CONVERSIÓN DEL MODELO

Modflow es el código para el modelamiento de aguas subterráneas en 3D basado en diferencias finitas desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

El proceso de flujo de agua subterránea de Modflow se ha dividido en "Paquetes". Un paquete es la parte del programa que trata un aspecto determinado, a modo de ejemplo condiciones de borde específicas o ciertos solucionadores de las ecuaciones diferenciales de flujo. Muchos de los paquetes representan opciones que el usuario puede usar o no usar.

Modflow utiliza una estructura modular donde varios paquetes similares son agrupados, y las opciones computacionales están construidas de tal manera que cada alternativa es independiente de otras opciones. Con este diseño modular es posible añadir nuevas opciones sin modificar las existentes.

En la Tabla 7-1 se resume los principales archivos o paquetes de Modflow, en este caso de la versión correspondiente al año 2000 (motor del modelo ACN) y sus características, indicando además si se usan o no en la presente aplicación.

El programa ejecutable de Modflow 2000 se denomina *MF2k.exe* y puede ser ejecutado desde la ventana de comandos anexando un archivo de instrucciones *mf2k.in* que llama al archivo *.Nam, el cual lista los archivos asociados con una ejecución Modflow, como sigue:

MF2k.exe<mf2k.in *(1)*

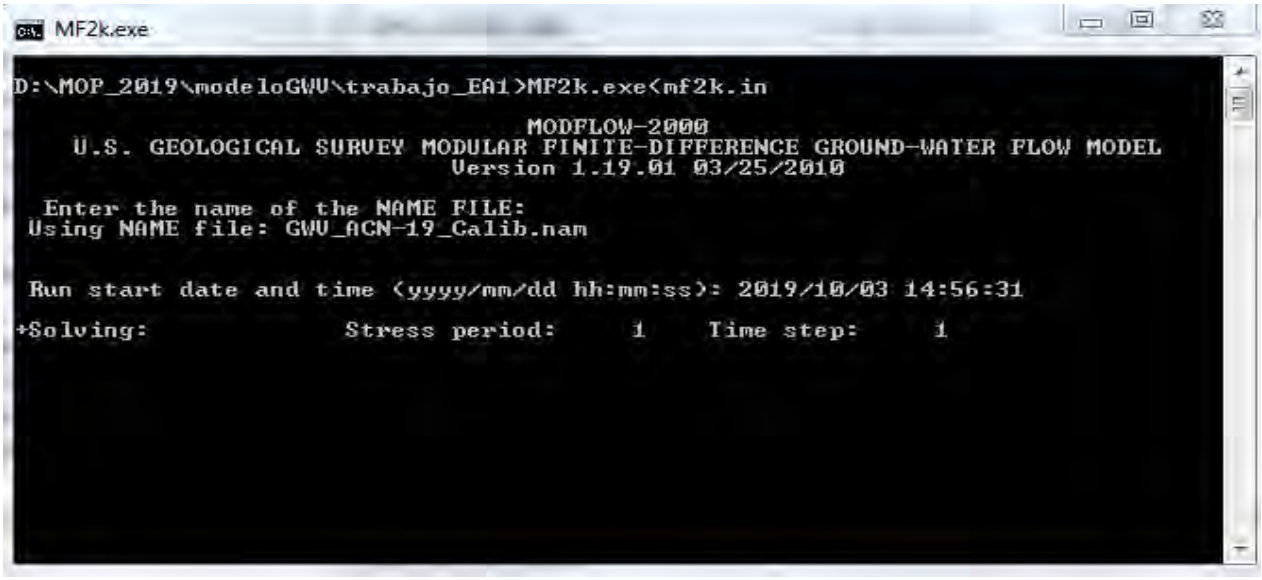
En la Figura 7-1 se resumen dichas instrucciones a través de una ventana de comandos a modo de correr el modelo mediante la forma antes expuesta.

Tabla 7-1: Principales archivos o paquetes de Modflow 2000

Nombre	Significado	Modelo ACN	Características
*.Nam	Archivo de nombre	Si	Lista todos los archivos asociados con una ejecución Modflow (este archivo se puede denominar algo diferente según su procedencia, aunque el nombre original es *.Nam)
*.Bas	Sistema de control del programa	Si	Maneja las tareas administrativas para Modflow. Tiene el nombre del modelo y sirve para abrir los archivos y determinar las opciones que estarán activas, declara y asigna memoria para las variables, lee la variable IBOUND, lee la carga inicial y realiza el seguimiento de la carga inicial a través del tiempo, asimismo lee los datos de la discretización definida del espacio y el tiempo, calcula un promedio total del agua y controla la salida del modelo de acuerdo a las especificaciones propuestas por el usuario. La variable IBOUND contiene un código para cada celda que señala si la carga varía con el tiempo, si la carga es constante, o bien si no existe flujo dentro de la celda (celda inactiva)
*.Lpf	Layer Property Flow	No	Paquete interno de flujo para realizar la simulación. Soporta dos tipos de capas, confinada y convertible
*.Bcf	Block centered flow	Si	Paquete interno de flujo para realizar la simulación. Supone que los nodos están al centro de la celda en la ecuación de diferencias finitas que simula el flujo en Modflow. Utiliza un código tipo capa (LAYCON) para clasificar las capas de acuerdo a la dependencia de la carga hidráulica. Hay cuatro posibles valores de LAYCON: 0 indica una capa confinada, 1 indica un acuífero libre, 2 indica un límite de capa convertible y 3 indica una capa totalmente convertible. En el presente modelo se utiliza tipo 1 para la capa 1 y tipo 3 para las capas 2 y 3 ordenadas de techo a base
*.Dis	Archivo de discretización (Discretization File)	Si	Archivo que contiene la geometría y refinamiento espacial, además de la cantidad de períodos de interés (stress period), entre otros
*.Well	Paquete de pozo	Si	Paquete para representar pozos de inyección (caudal con signo positivo) o bombeo (caudal con signo negativo)
*.Rch	Paquete de recarga superficial	Si	Paquete para representar la recarga desde la superficie del terreno hacia el embalse subterráneo como lámina de agua
*.Riv	Paquete de río	Si	Paquete para representar condición de borde de río, indicando la altura de agua sobre el lecho y una conductancia de fondo que dice relación con la mayor o menor facilidad de intercambio con el acuífero
*.Chd	Paquete de carga constante (Time-Variant Specified-Head)	Si	Paquete para representar condición de borde de carga conocida (por ej. una curva piezométrica), que puede ser variable o no en el tiempo

Nombre	Significado	Modelo ACN	Características
*.Ghb	Paquete de condición de carga general	Si	Paquete para representar condición de borde de carga general, de forma de enlazar con una altura de carga conocida existente más allá de los límites del dominio de modelación
*.Drn	Paquete de dren	Si	Paquete para representar la condición de borde de dren, indicando la altura de descarga si la napa sobrepasa dicho umbral y una conductancia que dice relación con la mayor o menor facilidad para que se produzca esta salida
*.Evt	Paquete de evapotranspiración	No	Paquete para representar la condición de borde de evaporación del agua subterránea; requiere la definición de la evaporación máxima a nivel de suelo y la profundidad de extinción, es decir la profundidad a la que la evaporación se hace nula
*.Oc	Output Control	Si	Archivo de entrada para el control de la salida de los resultados, en relación a la frecuencia de la escritura de las cargas hidráulicas e información del balance hídrico fundamentalmente
*.Sip	Paquete de procedimiento totalmente implícito	Si	Algoritmo de resolución o solver de la ecuación diferencial de flujo mediante métodos numéricos
*.Pcg	Paquete del gradiente conjugado precondicionado	No	Algoritmo de resolución o solver de la ecuación diferencial de flujo mediante métodos numéricos
*.De4	Paquete solucionador directo	No	Algoritmo de resolución o solver de la ecuación diferencial de flujo mediante métodos numéricos
*.Lmg	Paquete del solucionador algebraico multimalla (AMG)	No	Algoritmo de resolución o solver de la ecuación diferencial de flujo a través de métodos numéricos, no es de licencia libre. Proveedor directo: SCAPOS AG, Alemania.

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-1: Ejemplo de ejecución de Modflow 2000 mediante una ventana de comando

Por su parte, los archivos de resultados fundamentales que se obtienen con el proceso de Modflow son los niveles piezométricos (archivo Hds), los descensos respecto a la piezometría inicial (archivo Ddn) y las componentes del balance hídrico (archivo Cbb), tal como se indica a continuación (Tabla 7-2).

Tabla 7-2: Principales archivos de resultados

Nombre	Significado	Modelo ACN	Características
*.Lst	Archivo general de resultados	Si	Resumen de los resultados del proceso de Modflow, desde la abertura de los paquetes, tipo de régimen (estacionario o transitorio), solucionador usado y sus parámetros, así como el nivel de convergencia de las distintas iteraciones, hasta el balance hídrico y su discrepancia para los tiempos especificados.
*.Hds	Archivo de resultados de carga hidráulica	Si	Archivo binario de resultados de niveles piezométricos para todo el dominio y tiempos especificados
*.Ddn	Archivo de resultados de descensos	Si	Archivo binario de resultados de descenso del nivel piezométrico en relación a la condición inicial para todo el dominio y tiempos especificados
*.Cbb	Archivo cell-by-cell budget	Si	Archivo binario de tipo "cell-by-cell budget" el cual contiene la información de balance de masas en cada una de las celdas del modelo

Fuente: Elaboración propia

7.2 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

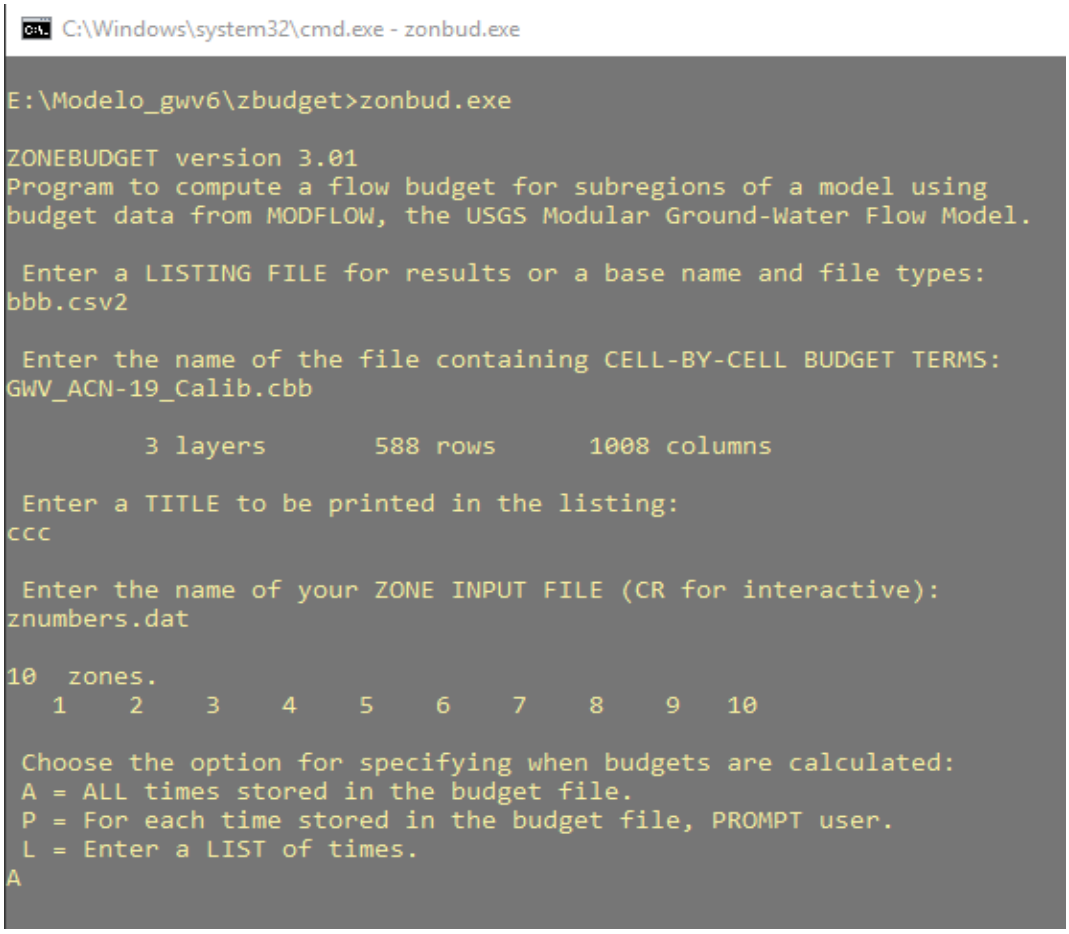
En las siguientes secciones se expone el procedimiento para la obtención de resultados, tanto del balance hídrico como de los niveles en los pozos de control.

7.2.1 RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO

El archivo *.Cbb que se obtiene como resultado del proceso de Modflow contiene la información de balance de masas en cada una de las celdas del modelo.

El programa zonbudget_v3.0.1 (que se ejecuta mediante archivo *zonbud.exe*) es un software que permite leer y procesar dichos resultados de balance de masas (*.Cbb), para una zonificación determinada (Zonas.dat). Los resultados se escriben en un archivo tipo csv2.

En la Figura 7-2 se presenta través de una ventana de comando el modo de correr el programa. Mayores detalles del procedimiento se ilustran en el cuadro de la Figura 7-3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-2: Ejemplo de ejecución de zonbud mediante una ventana de comando

Zonas.dat	Archivo que contiene la zonificación requerida para correr zonbud.exe. Corresponde a un archivo matricial que tiene el siguiente formato: 3 15 15 INTERNAL (15I2) 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 INTERNAL (15I2) 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 CONSTANT 3 ALLZONES 1 2 3 4 En donde se listan primero el número de capas, filas y columnas del modelo, y a continuación se listan matricialmente las zonas que se asignan a cada una de las celdas del modelo (usando los comandos INTERNAL o CONSTANT). Por último, se indican las zonas en donde se requiere computar los resultados de balance
Modelo.cbb	Corresponde al archivo binario de tipo "cell-by-cell budget" el cual contiene la información de balance de masas en cada una de las celdas del modelo
zonbud.exe (versión zonbudget_v3.0.1)	Es un programa de distribución y código libre desarrollado por A.W. Harbaugh (USGS, 2009) para leer y procesar los resultados de balance de masas de un modelo Modflow. Contiene mejoras respecto a su precursor, zbudgetv1.0.0, lo que lo hace adecuado para utilizarse con el modelo actual
balance.csv2	Nombre que se le entrega al archivo de salida en donde se guardarán los resultados de "zonbud.exe". El formato del archivo de salida guardado de esta forma se puede trabajar desde Excel o aplicación para archivos de texto y contiene cada uno de los elementos de balance: entradas, salidas y flujos interzonas

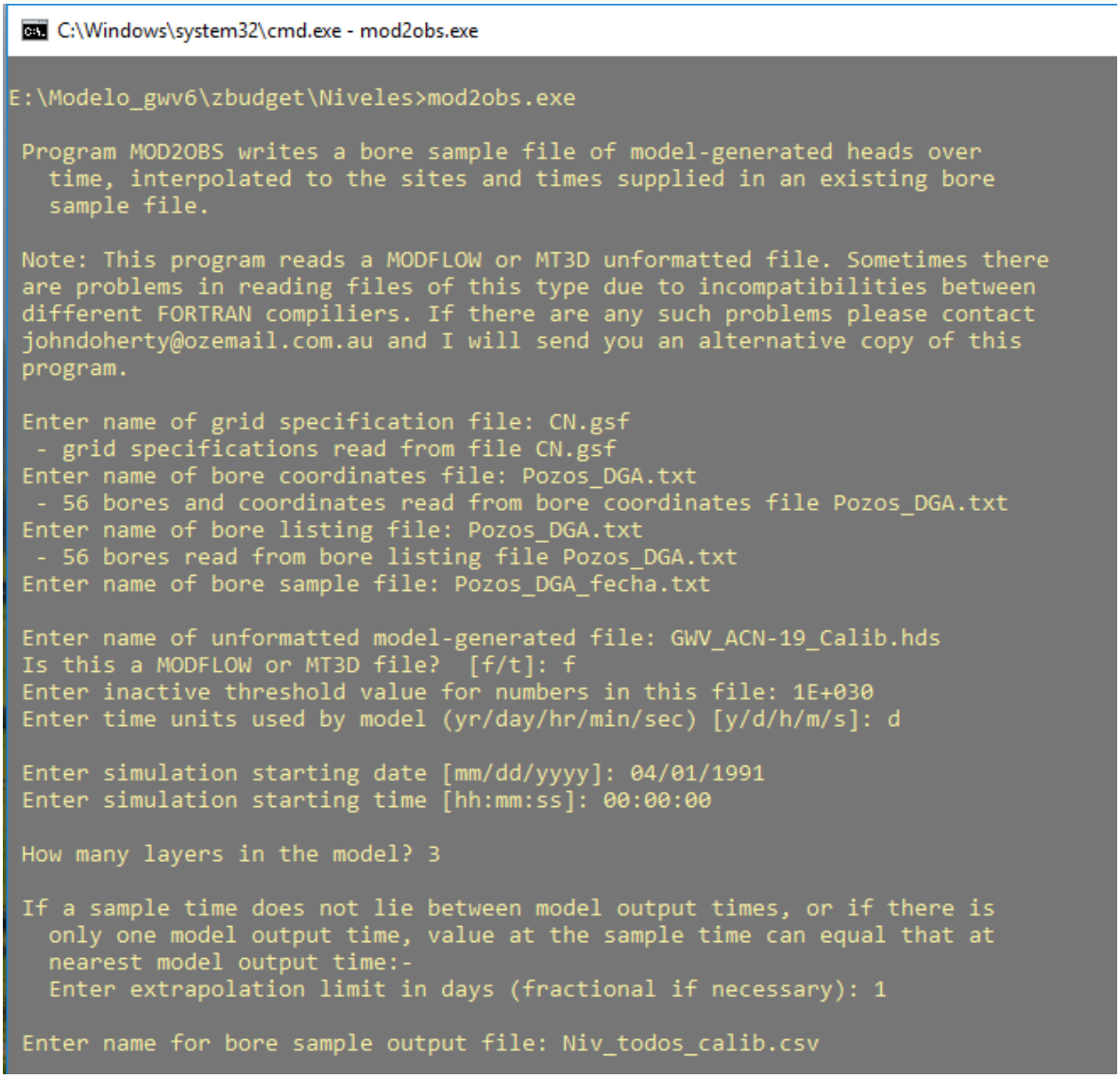
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3: Cuadro resumen de ejecución de zonbud

7.2.2 RESULTADOS DE NIVELES

Para la obtención de los resultados de niveles simulados se recurre a la aplicación *Mod2obs.exe*, la que es parte del paquete de software gratuito "Groundwater data utilities", el cual es distribuido libremente por Watermark Numerical Computing (http://pesthomepage.org/Downloads.php).

En la Figura 7-4 se presenta a través de una ventana de comandos el modo de correr de este programa. Específicamente, para la obtención de los niveles simulados mediante *Mod2obs.exe* se requiere de los archivos que se presentan en la Figura 7-5.



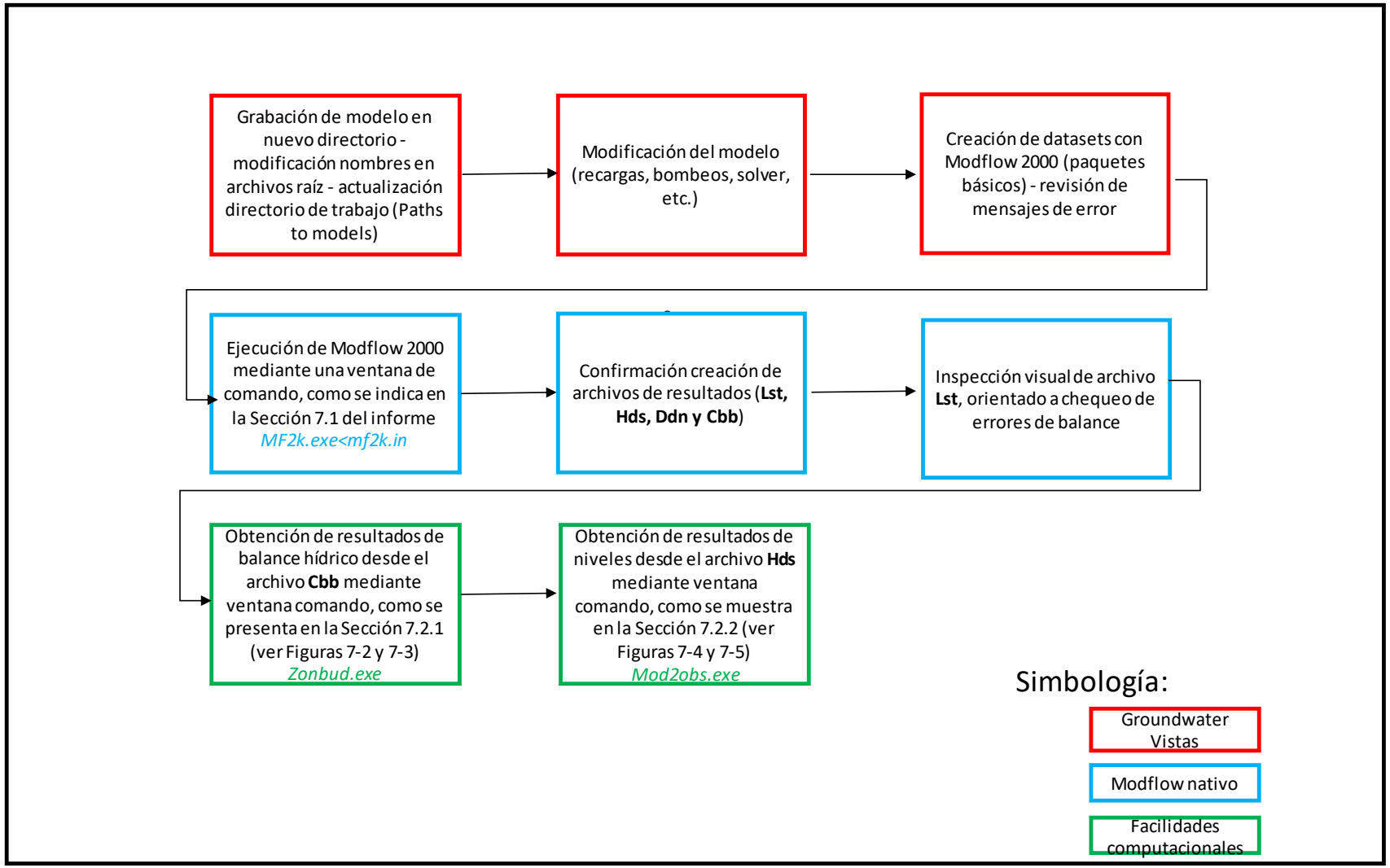
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-4: Ejemplo de ejecución de mod2obs mediante una ventana de comando

Modelo.gsf	Archivo "grid specification file" (.gsf) que contiene elementos geométricos básicos y de conexiones que caracterizan la grilla del modelo. El archivo .gsf para el modelo Modflow-ACN-19 es el siguiente: 588 1008 0 58800 0 1008*100 588*100
settings.fig	Archivo de texto que contiene el formato de configuración de fecha hora que contienen los resultados del modelo: colrow=no date=mm/dd/yyyy
Coordenadas.txt	Archivo que contiene la siguiente información: Nombre del target de observación, coordenadas locales (X e Y) y Capa en la cual se encuentra habilitado el pozo de observación.
Fechas.txt	Archivo que lista, por cada uno de los targets de observación, las fechas en las que se desea obtener los resultados simulados de nivel.
Modelo.hds	Corresponde al archivo binario que contiene la información de niveles simulados en cada una de las celdas (y tiempos) del modelo numérico.
Mod2obs.exe	Es un programa de distribución libre que permite obtener resultados de nivel simulado en los puntos de control requeridos, para cada uno de los períodos de estrés del modelo numérico.
Niv_sim.csv	Nombre que se le entrega al archivo de salida en donde se guardarán los resultados de "mod2obs.exe"
Otros parámetros básicos del modelo como: Número de capas, Fecha de inicio de la simulación, e indicador de celdas inactivas, entre otros.	

Fuente: Elaboración propia

Figura 7-5: Cuadro resumen de ejecución de mod2obs



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-6: Flujograma recomendado de ejecución modelo y obtención de resultados

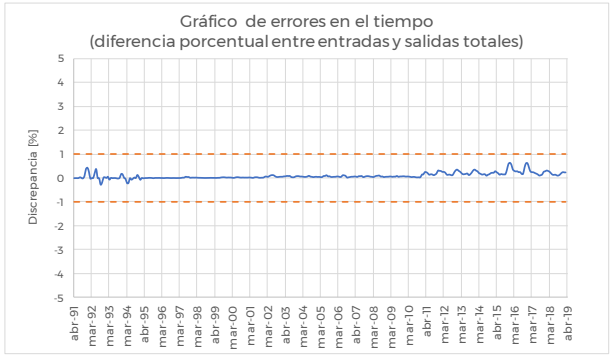
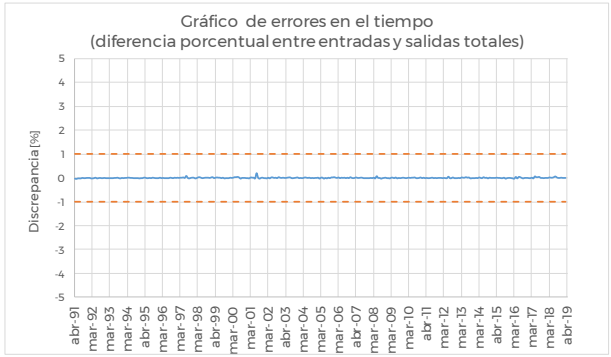
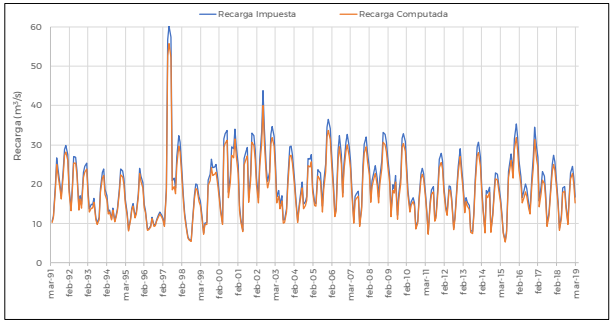
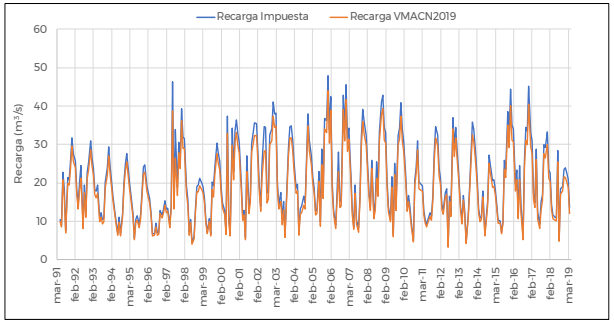
7.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

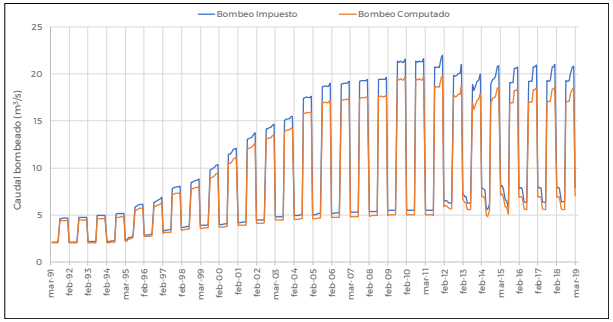
En la Tabla 7-3 se contrasta en general favorablemente los resultados entre la ejecución en Modflow nativo con el solucionador SIP y el modelo VM ACN 2019 con el solucionador AMG. La ubicación de los pozos de observación seleccionados para esta comparación se puede apreciar en la Figura 4-37 del Capítulo 4.

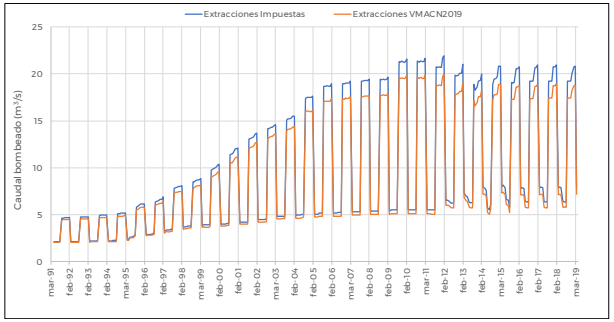
Cabe indicar que, la calibración de niveles del modelo Modflow nativo muestra estadísticos que dan cuenta del adecuado ajuste logrado, los que se muestran a continuación, considerando todos los pozos (56 puntos de control) para el período integro de calibración (entre abril de 1991 y marzo de 2019):

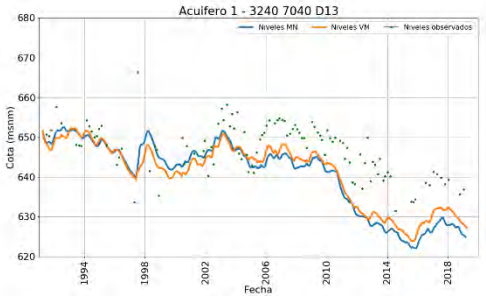
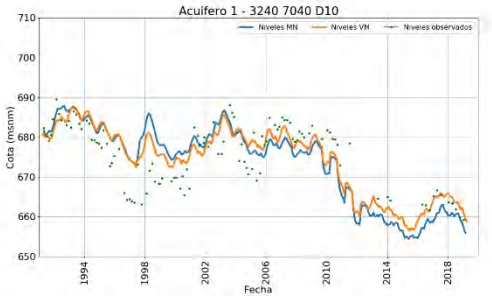
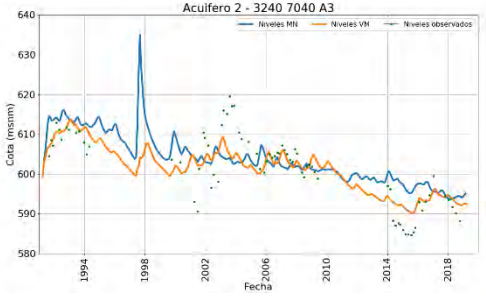
- Error promedio absoluto (MAE) de 2,9 m, mucho menor al 5% de la diferencia máxima de niveles observados (5% de 700 = 35 m)
- Error cuadrático promedio normalizado (NRMS) de 0,4 %

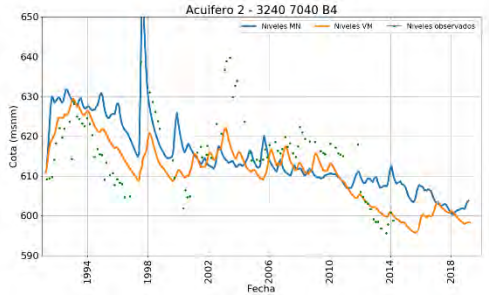
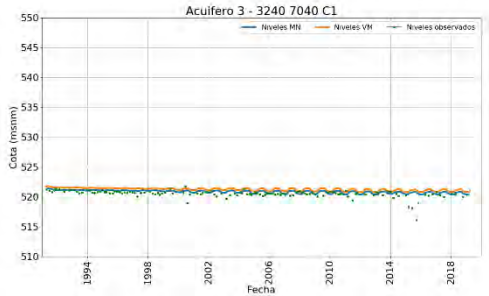
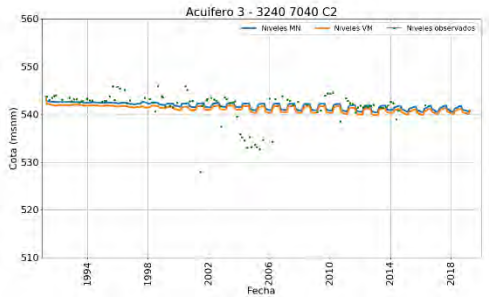
Tabla 7-3: Comparación entre los resultados de VM ACN 2019 y Modflow Nativo

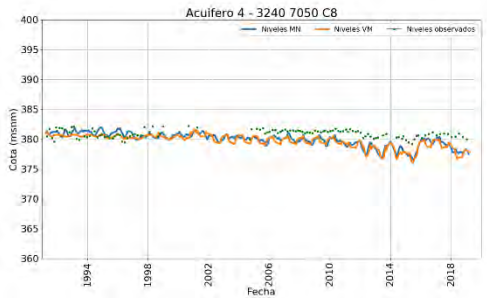
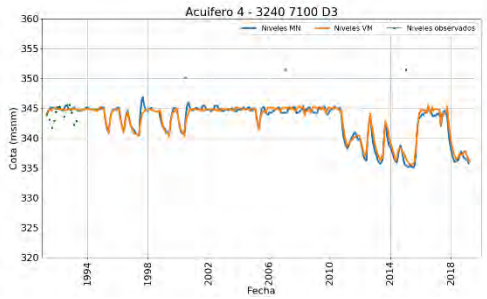
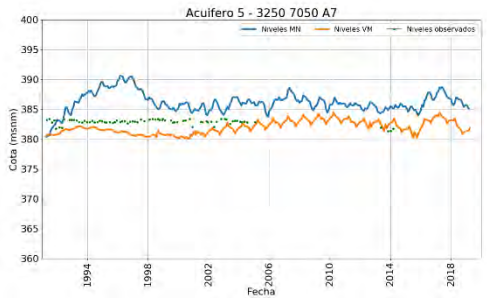
Tópico	Comentarios	Modflow Nativo	VM ACN 2019
Convergencia	El error del balance hídrico al final de cada periodo de stress se mantiene adecuado		
Conservación recarga superficial	La diferencia entre la recarga impuesta y computada disminuye de 9,3% (Visual Modflow) a 7,0% (Modflow nativo)		

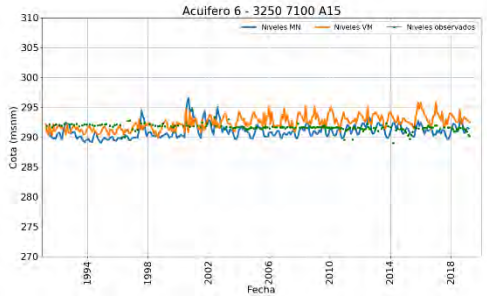
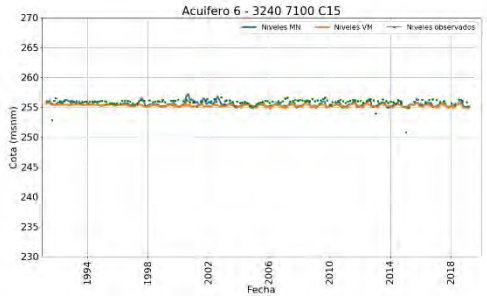
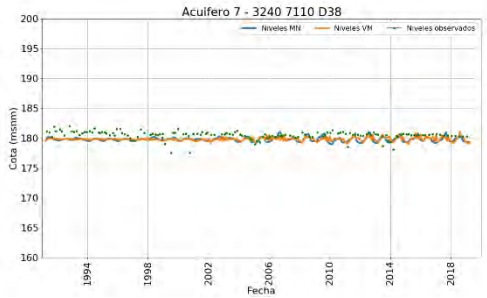
<table>
<tr>
<td>Conservación bombeo</td>
<td>La diferencia entre el bombeo impuesto y computado aumenta levemente de 8,0 % (Visual Modflow) a 9,3% (Modflow nativo)</td>
<td colspan="2"> 

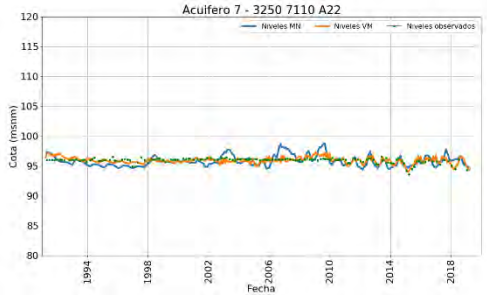
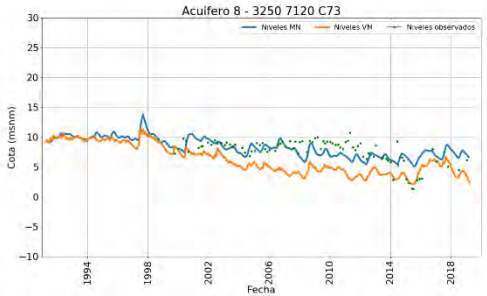
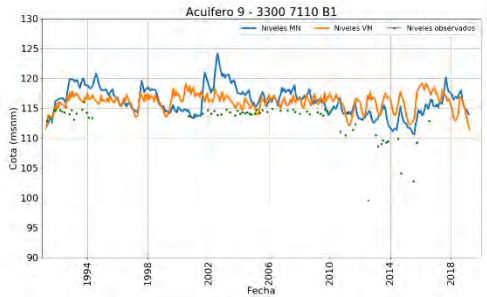

</td>
</tr>
<tr>
<td>Balance total promedio (1991-2019)</td>
<td>Los balances globales son similares, en efecto el afloramiento neto en el río Aconcagua es muy parecido (river out-river in)</td>
<td colspan="2">
<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>Modflow nativo</th><th>VM ACN 2019</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Entradas (m^3/s)</td><td>Recarga superficial</td><td>18,72</td><td>18,76</td></tr>
<tr><td>Recarga lateral</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr>
<tr><td>Recarga desde el río Aconcagua</td><td>7,53</td><td>7,43</td></tr>
<tr><td>Entrada desde el mar</td><td>0,03</td><td>0,05</td></tr>
<tr><td>Almacenamiento</td><td>0,94</td><td>0,86</td></tr>
<tr><td>Entrada total</td><td>27,22</td><td>27,11</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Salidas (m^3/s)</td><td>Extracciones artificiales</td><td>8,80</td><td>8,92</td></tr>
<tr><td>Descarga en otros cauces naturales</td><td rowspan="2">4,37*</td><td>3,07</td></tr>
<tr><td>Descarga dren Las Vegas</td><td>1,24</td></tr>
<tr><td>Afloramiento río Aconcagua</td><td>13,95</td><td>13,79</td></tr>
<tr><td>Descarga embalse Los Aromos</td><td>0,09</td><td>0,09</td></tr>
<tr><td>Salida total</td><td>27,21</td><td>27,10</td></tr>
<tr><td colspan="2">Error</td><td>0,04 %</td><td>0,01 %</td></tr>
</table>
Nota: * corresponde a la suma de ambas componentes, no se materializó áreas de balance para drenes separados en modflow nativo
</td>
</tr>
</table>

Ajuste en pozos selecciona -dos	Niveles modelados similares	  

Ajuste en pozos selecciona -dos	Niveles modelados similares	  

Ajuste en pozos selecciona -dos	Niveles modelados similares	  

Ajuste en pozos selecciona -dos	Niveles modelados similares	  

Ajuste en pozos selecciona -dos	Niveles modelados similares	  

Fuente: Elaboración propia

8 RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este informe se presentan los resultados de los servicios comprometidos en el estudio de actualización del modelo hidrológico numérico integrado del acuífero de Aconcagua (etapas 1 y 2).

En la Etapa 1 se realizó la actualización de la herramienta propiamente tal (MOS ACN 2019 y VM ACN 2019) con la cual fue posible estudiar y diagnosticar el acuífero de la cuenca del Aconcagua, así como evaluar la sustentabilidad de nuevas baterías de pozos de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).

En la Etapa 2 se migra el modelo de calibración Aconcagua Modflow_MOS a Modflow WEAP (Water Evaluation And Planning), de acuerdo a los cambios de alcance aprobados en la Resolución DGA N°1.692/2019.

Del análisis realizado en la Etapa 1 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se pudieron revisar todos los estudios e informes elaborados por la DGA, con especial énfasis en aquellos antecedentes de utilidad en la cuenca del río Aconcagua para el período 2009 a 2018,los cuales entregan resultados para la gestión del recurso hídrico disponible, identificación de los acuíferos de aprovechamiento común, capacidad para otorgamiento de derechos de aprovechamiento, y detalle de las principales herramientas de modelación utilizadas para las evaluaciones del recurso en el sistema.
- El análisis de los datos pluviométricos a escala anual, muestra un decrecimiento en la media de las precipitaciones. Las estaciones representativas de cada una de las secciones (Resguardo Los Patos, San Felipe, Los Aromos y Limache) muestran que la media de los últimos 20 años es menor a la media del registro completo en un 10%.
- El análisis de variabilidad de las series de precipitación y caudal, con los índices IPE e ICE, indicó que existen periodos de años secos con una duración de 10 años en promedio, seguidos de periodos de años húmedos de 5 años en promedio. El periodo de análisis de 69 años permitió identificar tres periodos de años secos y tres periodos de años normales a húmedos.
- El análisis de los datos fluviométricos a escala anual, verificó el comportamiento de la precipitación en los últimos 20 años, mostrando una reducción del 15% del caudal medio anual, con respecto al promedio de la serie total.
- El análisis de brechas muestra que es necesario realizar una actualización de algunos parámetros y datos de entrada que son utilizados por el modelo hidrológico Aconcagua-MOS pero debido al alcance del presente estudio, esto no se ha realizado. Sin embargo, los resultados obtenidos son acordes con el funcionamiento real de la cuenca del Aconcagua y se consideran representativos para ser usados en proyectos de planificación.

- La actualización del modelo MOS, además de la actualización de los datos hidrológicos considera la implementación de algunas de las limitaciones identificadas del estudio, pero es importante que para estudios futuros o de detalle operacional se implementen todas las consideraciones encontradas en el análisis de brechas y se actualicen los datos de entrada con datos tomados en terreno (como, por ejemplo, sectores de riego y derechos superficiales para uso industrial).
- La metodología que usa el MOS para la generación de caudales en la cuenca del río Aconcagua verifica su representatividad, al generar caudales en los puntos de control fluviométrico (nodo 07 y nodo 22) con porcentajes de error estadísticamente aceptables para series hidrológicas y mostrando la variabilidad estacional de la serie observada. Al analizar en detalle los caudales bajos, el error porcentual obtenido es menor que aquel que se obtiene de analizar la serie completa de caudales, lo que significa que la simulación de los caudales bajos se ajusta mejor a la serie de caudales observados. Así, los resultados de la calibración del modelo se consideran conservadores.
- Considerando aceptables los caudales simulados para la primera y segunda sección, se aceptan que los caudales para la tercera y cuarta sección son válidos. No es posible validar las salidas de caudales de esas dos secciones porque no se dispone de registros fluviométricos en los nodos representativos de la tercera y cuarta sección (nodo 28 y nodo 36).
- El resultado más relevante del MOS es la serie de recarga; ésta fue verificada con la obtenida del modelo hidrogeológico, obteniéndose una validación aceptable.
- Se obtuvo el grado de seguridad de riego por sección legal, identificando que en el mes de febrero se produce el menor valor (0,75 o 75%). También se identificó que la Cuarta sección es la que posee los valores más bajos de seguridad de riego, seguida por la Tercera sección.
- En la recopilación de nuevos antecedentes se ha localizado 40 nuevos sondeos perforados entre 2011 y 2017, con información litológica que ha permitido corroborar la geometría del sistema, analizada en términos de la profundidad del basamento, en la mayor parte de los sectores acuíferos que conforman la cuenca del Aconcagua. Únicamente, en el acuífero 8 Aconcagua desembocadura, sería recomendable, llevar a cabo una revisión de la profundidad del basamento, con el fin de identificar si las discrepancias detectadas producto de la incorporación de los los nuevos antecedentes corresponden a elevaciones locales del basamento.
- La elaboración de perfiles hidrogeológicos permite analizar de forma gráfica, las posibles modificaciones del basamento, definidas en base a los nuevos antecedentes, con respecto al modelo de elevaciones del basamento del modelo conceptual previo de Dictuc (2009).
- Respecto a la nueva información recopilada sobre el parámetro de permeabilidad, ha sido posible recopilar 23 nuevos datos factibles de asociar a una capa específica del modelo conceptual original, de los cuales, en el 60% de los nuevos antecedentes, se confirman los rangos de permeabilidad del modelo conceptual. Del resto de los

sondeos, en solo 9, es decir en 21% de los nuevos sondeos (sobre un total de 41 nuevos sondajes reunidos con este tipo de datos), es posible afirmar que los valores de permeabilidad obtenidos en los ensayos, no confirman el modelo conceptual. En el resto de los casos (18 pozos), no es posible asignar los valores obtenidos en los ensayos a un único layer, y el contraste de permeabilidades entre las capas, hace que no sea correcto contrastar la información de los ensayos con el modelo conceptual.

- Con la actualización de la piezometría llevada a cabo en general se confirma el trabajo realizado por la DOH en 2009, fundamentalmente no varían las equipotenciales de la napa subterránea en la II y III sección de riego. La escala espacial utilizada no permite dar cuenta en general de los descensos menores que se observan a partir del año 2010 en dichas secciones, en cambio, donde si hay diferencias importantes es en la Cuarta y Primera sección de riego donde los niveles se han profundizado hasta poco más de 5 y 30 m respectivamente. La forma de las isopiezas se ha modificado substancialmente entre Los Andes y San Felipe (acuífero 1) con el desarrollo de un cono de depresión al surponiente del río Aconcagua debido a la gran cantidad de pozos que se reconocen en esa zona.
- El análisis de la evolución de los niveles piezométricos de la red de monitoreo de la Dirección General de Aguas, pone de manifiesto que, en términos generales se observa una tendencia descendente en todos los sectores acuíferos desde 2010 hasta la actualidad, siendo estos descensos más críticos en el acuífero 1 San Felipe, donde, existen piezómetros que han registrado descensos del orden de 20 m y en el acuífero 2 Putaendo, donde se han registrado descensos del orden de 10 m. En el sector del acuífero 8 Desembocadura los niveles muestran un descenso sostenido del orden de 8 m. Los descensos de la napa subterránea en la II y III Sección de riego son bastante menores.
- La revisión de VM ACN 2008 indica que fue elaborado rigurosamente sobre la base de un robusto modelo hidrogeológico conceptual reuniendo las mejores prácticas de modelación disponibles entonces. No obstante, es susceptible de mejorar como cualquier herramienta de este tipo, con una mayor base de datos subyacente, en especial, la representatividad de la galería Las Vegas de ESVAL, una mejor representación de la interacción del embalse Los Aromos con el sistema subterráneo a la salida del acuífero de Limache, un mejor control del volumen bombeado efectivamente desde el valle, en particular de los pozos destinados para riego, y aforos en el río Aconcagua y sus afluentes, de manera de cuantificar recuperaciones para tramos específicos como blanco de calibración. Se considera que el modelo disponible no representa bien la complejidad hidrogeológica de los acuíferos de Limache y LLay llay, la discretización vertical en profundidad (3 capas) se adapta bien al valle principal pero no a estos tributarios laterales.
- El modelo se actualizó contemplando la extensión a marzo de 2019 de la información de entrada requerida. El modelo VM ACN 2019 mantiene la misma geometría y parámetros hidrogeológicos de su antecesor, los cuales están respaldados por un robusto estudio conceptual hidrogeológico realizado en la cuenca del río Aconcagua.

A fines de lograr una mayor representatividad de la galería subterránea Las Vegas, se modificó a su alrededor la condición de borde de río, según los ciclos de sequía registrados en la cuenca, buscando reproducir la variación observada en la producción del dren.

- La recarga superficial ocupada en VM ACN 2019 fue generada a partir del programa MOS ACN 2019. La serie de recarga generada considera la recarga proveniente de los sectores de riego por percolación profunda de los excedentes del riego y de las precipitaciones, además de la infiltración desde los tramos de río. La recarga superficial promedio para el periodo entre abril de 1991 y marzo de 2019 es de 20,7 m^3/s. Por su parte, la actualización de las extracciones subterráneas se realizó en base a la demanda subterránea comprometida en la cuenca al mes de Abril de 2019, aplicando un determinado factor de corrección (factor de uso previsible) sobre los caudales nominales.
- El modelo actualizado logra en general mejorar los ajustes obtenidos en el modelo original, mejorando sustancialmente la representatividad del dren Las Vegas, manteniendo las propiedades hidráulicas originales (permeabilidad y almacenamiento) en el dominio de modelación. La nueva calibración cumple, en general, los principales criterios de modelación establecidos en la guía del SEA de 2012 respecto a los errores de cierre, preservación de variables impuestas, tendencia de los niveles y estadísticos asociados, concordancia de los balances y propiedades hidráulicas con el modelo conceptual.
- En general, se estima que el modelo está en condiciones de ser utilizado para modelar distintos escenarios predictivos de recarga y bombeo de los pozos de la DOH.
- Se realizaron tres escenarios de simulación para diferentes condiciones de bombeo y de recarga. Las simulaciones consideran un período de 50 años, desde abril de 2019 hasta marzo de 2069.
- La recarga superficial se obtiene con el MOS ACN 2019, utilizando las precipitaciones entre abril de 1968 y marzo de 2018, incluyendo períodos secos y húmedos similares a la historia reciente, y son dependientes del nivel de explotación impuesto al acuífero en cada una de las simulaciones predictivas. Las simulaciones consideran la operación de los embalses existentes (Chacrillas y Los Aromos) durante todo el horizonte de tiempo que se modela (50 años).
- El Escenario 1 o simulación base consiste en la simulación de la demanda comprometida al mes de abril de 2019 expresada como caudal nominal 59.842,5 l/s. El proyecto DOH se simula en el Escenario 2 (caudal nominal incremental de 7.067,5 l/s distribuido en 32 pozos) y finalmente, el Escenario 3 corresponde a la evaluación de recarga artificial en la primera sección de riego como respaldo de las nuevas captaciones proyectadas por la DOH.
- Los resultados se evalúan principalmente en términos de la comparación del balance hídrico promedio global del sistema subterráneo, el grado de interferencia sobre el río Aconcagua, la seguridad de riego y los niveles modelados en los nuevos pozos

de la DOH contrastados con su profundidad de falla definida en este estudio como un 70% de la profundidad del pozo.

- Es importante señalar que en este estudio no se optimiza las extracciones desde el acuífero bajo los criterios de sustentabilidad DGA (descenso volumen embalsado, interferencia río acuífero, pozos secos e insatisfacción de demanda), tal como se realizó en el estudio anterior (Dictuc, 2009), considerando que la presente herramienta pudo ser validada sin cambios en los parámetros hidráulicos de los acuíferos, por lo que se espera que los resultados no deberían diferir significativamente.
- Un ejercicio como el anterior requeriría de decenas de simulaciones que escapan de los alcances del presente estudio, además que no se esperaría un aumento de oferta bajo los mismos criterios de sustentabilidad.
- El caudal previsible optimizado en dicho estudio (Dictuc, 2009) bajo los criterios de sustentabilidad oficiales es de 16,45 m^3/s (ver resultados Escenario 2 de Dictuc), que es menor al modelado en el Escenario 2 del presente estudio (16,96 m^3/s), es decir con el nuevo proyecto DOH se excederían los caudales máximos determinados por Dictuc (2009). La extracción máxima previsible según los criterios oficiales de Dictuc de 2009 es: acuífero 1 (4,01 m^3/s), acuífero 3 (0,56 m^3/s), acuífero 4 (0,94 m^3/s) y acuífero 5 (0,83 m^3/s), todas sobrepasadas en los presentes escenarios del estudio actual. En los otros acuíferos, en tanto, la extracción modelada en el presente estudio es inferior.
- Del análisis hidrológico realizado se obtiene que la disponibilidad efectiva para recarga artificial en la zona de San Felipe corresponde a un valor promedio de 2,86 m^3/s durante el periodo comprendido entre octubre y marzo. La inyección en el acuífero se modela mediante pozos de inyección, alternativa que se considera más viable frente a las piscinas de infiltración.
- La materialización de los nuevos pozos de la DOH produciría una mejora en la seguridad de riego, en particular en la Cuarta y Tercera sección de riego, en la cual el aumento del grado de satisfacción de demanda promedio anual es 2,1% y 1,9% respectivamente. A nivel mensual, la diferencia del grado de satisfacción de la demanda es mayor en el mes de febrero, apreciándose un incremento del 7,5% en la Tercera sección y de 7,0% en la Cuarta sección; así, podemos decir que mediante los nuevos pozos DOH se alcanza el objetivo de mejorar la satisfacción de la demanda en un mes en el cual la disponibilidad de agua en la Tercera y Cuarta sección es crítica.
- Respecto a la interferencia con el río Aconcagua, esta se calcula siguiendo la metodología del estudio previo (Dictuc, 2009) y utilizando la misma base de comparación. Así, para la situación de demanda comprometida a abril de 2019 (Escenario 1) se aprecia que sólo la interferencia en el acuífero 3 de Panquehue es mayor al 10% del $Q_{ANUAL,\ 85\%}$ (e igual al 27,6% del $Q_{ANUAL,\ 85\%}$). Con los nuevos pozos DOH el aumento de la interferencia es significativo en este mismo acuífero 3 (43,7% del $Q_{ANUAL,\ 85\%}$), sin embargo, en la práctica, el agua bombeada desde los nuevos pozos DOH se destinaría al mismo río Aconcagua por lo que el grado de interferencia

real sería menor. En cuanto a los otros acuíferos modelados, estos no presentarían problemas de interferencia usando el mismo patrón de comparación del estudio anterior.

- Para el análisis de los resultados de niveles en los pozos DOH se recurre al concepto de nivel de caída del pozo o nivel de falla del pozo que corresponde al nivel de agua subterránea para el cual la operación del pozo comienza a ser claramente deficitaria, lo que se refleja en una caída de su caudal de explotación o en que el pozo quede colgado y, por ende, no pueda ser explotado.
- En base a lo anterior, y considerando una profundidad de falla equivalente a un 70% de la profundidad del pozo (que se estima como una eficiencia representativa), se aprecia que los nuevos pozos DOH de Putaendo y Llay llay presentarían un comportamiento estable en el largo plazo (50 años), es decir el nivel se mantendría siempre por sobre la profundidad de falla.
- Sin embargo, más de la mitad de los nuevos pozos de San Felipe fallarían en algún momento dado del tiempo (nivel simulado por debajo de la profundidad de falla) o se secarían. La recarga artificial en la zona de San Felipe (Escenario 3) ocasiona un peralte de los niveles en el acuífero 1, lo que ayudaría a que estos pozos fallen y/o se sequen menos.
- Pese a lo anterior, en base a los balance hídrico subterráneo promedio para toda la cuenca logrados por el modelo en cada caso, se puede apreciar que la mayor extracción de los pozos DOH se ve levemente beneficiada por la incorporación de recarga artificial, en efecto el incremento de recuperaciones en el río Aconcagua, comparando el Escenario 3 con el Escenario 2, es del orden de 1 m^3/s en promedio, es decir prácticamente un 70% del agua extraída desde el río regresa al río aguas abajo (entre la Primera y Segunda sección de riego básicamente). Asimismo, la infiltración natural del río al acuífero se reduce en 0,28 m^3/s, por lo que el efecto neto sobre el río es aún menor. El aporte efectivo de la recarga artificial para un menor des-embalsamiento del acuífero se evalúa en promedio en 0,06 m^3/s, es decir menos del 5% de la inyección antrópica promedio.
- Se concluye que la recarga artificial en el acuífero 1 de San Felipe debido a sus características hidrogeológicas (de alta transmisividad) no constituiría la mejor solución para aumentar la disponibilidad hídrica de la cuenca. Lo anterior, sin considerar que los pozos del sector acuífero 1 se verán favorecidos por el aumento de nivel.

Por su parte, respecto a la migración del modelo hidrológico MOS ACN 2019 de calibración al WEAP (Etapa 2) se mantiene la misma discretización temporal mensual (abril 1950 - marzo de 2019). El énfasis está puesto en el traspaso de la estructura del modelo MOS, haciendo hincapié en la conceptualización y topología del nuevo modelo WEAP incluyendo las simplificaciones realizadas. Los resultados de ambos modelos (MOS ACN 2019 y WEAP) son contrastados tanto en términos de los ajustes en las estaciones fluviométricas de

control en el río Aconcagua y seguridad de riego de las secciones legales de la cuenca, como de la recarga generada al embalse subterráneo:

- El traspaso desde el MOS a WEAP no está exento de dificultad, por las diferencias en los métodos de cálculo de ambos códigos habiéndose simplificado algunos procesos hidrológicos involucrados. Este aspecto se traduce en algunas diferencias en la recarga obtenida que ingresa al acuífero, sin embargo, se mantiene la calidad del ajuste en las estaciones fluviométricas.
- El principal problema se debe a la incapacidad de la herramienta WEAP de limitar la recarga desde sectores de riego y nodos de río al espacio disponible en el acuífero, y de generar implícitamente el desfase que presenta la recarga al ingresar gravitacionalmente al acuífero subyacente. Esto genera eventos de recarga puntuales de un caudal alto poco representativos, en consecuencia, la recarga lograda desde WEAP es suavizada previo a su incorporación a Modflow.

En tanto, el desacople del modelo hidrogeológico Modflow (VM ACN 2019) de calibración (abril de 1991 a marzo de 2019) de la plataforma Visual Modflow (Etapa 2), resulta en un paquete de archivos en lenguaje nativo que se ejecutan flexiblemente desde una pantalla de edición del sistema operativo de Windows (ventana de comandos):

- El nivel de convergencia de la ejecución en Modflow nativo es adecuado. En general, los resultados son comparados favorablemente a nivel de los ajustes en los pozos de observación como de los balances de masa promedio del sistema subterráneo.

9 BIBLIOGRAFÍA

— Protocolo de acuerdo de redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua 2018 − 2019, Dirección General de Aguas, 9 de octubre del 2018.

— Water option contracts for climate change adaptation in Santiago Chile, Water international, 43(2), 237-256. Vicuña, S., Gil, M., Melo, O., Donoso, G., & Merino, P., 2018.

— Manual del cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Desarrollo Agropecuario − Ministerio de Agricultura, 2017.

— Análisis para el desarrollo de un plan de GIRH en la cuenca del Choapa. Rhodos para DGA, 2017.

— Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua. Comisión Nacional de Riego − Ministerio de Agricultura, 2016.

— Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, Sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay. SDT 387, DGA, 2016.

— Modelo hidrogeológico para simular la interacción entre el dren Las Vegas y el río Aconcagua. Tesis de magister, Edwin Terán, 2015.

— Estudio e implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua. DOH, 2015.

— Estudio tarifario definitivo empresa ESVAL S.A., período 2015-2020. SISS, 2015.

— Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua. SDT 372, DGA, 2015.

— Declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados sector 5 Llay Llay, sector 6 Nogales - Hijuelas, sector 7 Quillota, sector 8 Aconcagua Desembocadura y sector 9 Limache, ubicados en la región de Valparaíso. RES 128, DGA, 2015.

— Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, valle del río Aconcagua. SDT 357, DGA, 2014.

— Groundwater Data Utilities. Part A: Overview y Part B: Program descriptions. Watermark Numerical Computing, 2014.

— Estudio de fuentes superficiales y subterráneas de ESVAL − cuenca del río Aconcagua, Informe Etapa 2. ESVAL, 2013.

— Servicios generales de estudio y análisis de caudales y apoyo en la redistribución de las aguas a la Dirección General de Aguas, en la segunda sección del río Aconcagua. SIT 289, DGA, 2012.

— Protocolo de acuerdo redistribución de aguas y medidas por declaración de zona de escasez hídrica en la cuenca del río Aconcagua, Dirección General de Aguas, 07 de diciembre de 2012.

— Estudio de recarga artificial de acuíferos en el valle del Aconcagua usando derechos eventuales del fisco. DOH, 2012.

— Estudio de recarga artificial al acuífero de la primera sección del valle del Aconcagua, con aguas reguladas desde Puntilla del Viento. DOH, 2011.

— Modificación Modelos DGA Visual Modflow-MOS y MOS-PS para Determinación Disponibilidad Real de Aguas Subterráneas en el Valle del Aconcagua, Segunda Etapa − Dirección de Obras Hidráulicas, 2009.

— Propuesta de modificación de la resolución DGA N° 39 de 1984, Criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, Art. 314 del Código de Aguas, Ministerio de Obras Públicas − Dirección General de Aguas, 2009.

— Geometrías del basamento del valle del río Aconcagua. XII Congreso Geológico Chileno. Cáceres, J. y otros, 2009.

— Zonebudget v. 3.0.1: Program for computing subregional water budgets for MODFLOW ground-water flow models. Arlen Harbaugh y Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), 2009.

— Field Hydrogeology. Third Edition. John Wiley & Sons Ltd. Brassington, R., 2007.

— Estudio de operación y reparto de las aguas valle del Aconcagua, estudio de modelación superficial de la parte alta del Aconcagua. Dirección de Obras Hidráulicas, octubre 2005.

— Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua − Dirección General de Agua, 2004.

— Embalses de regulación para el río Aconcagua, estudio de factibilidad V región. Dirección de Obras Hidráulicas, 2001.

— Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. SDT 101, DGA, 2001.

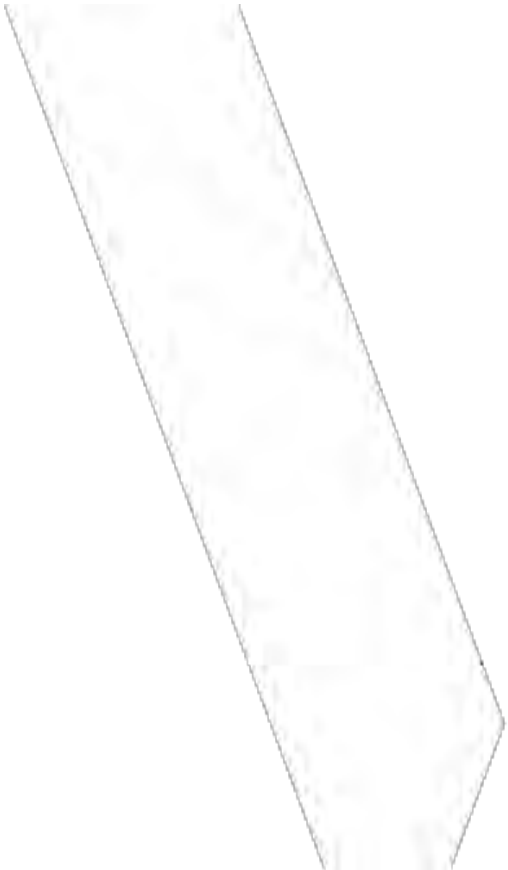
— Modelo de simulación hidrogeológico, valle del río Aconcagua − Dirección de Obras Hidráulicas, 1998.

— Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona desembocadura del río Aconcagua. DGA, SIT 40, 1997.

— Mapa Geológico - Hoja Quillota y Portillo escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Rivano S., et al., 1993.

— The relationship of drought frequency and duration of time scales (La relación de la frecuencia de sequías y la duración de las escalas de tiempo). Octava conferencia sobre climatología aplicada, Sociedad meteorológica americana, Thomas B. Mckee, Nolan J. Doesken, John Kleist, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.

ANEXOS



A FICHAS DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Ficha N°	Nombre estudio
Ref. 1:	Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, Sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay. SDT 387, DGA, 2016.
Ref. 2:	Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua. CNR, 2016.
Ref. 3:	Estudio e implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua. DOH, 2015.
Ref. 4:	Estudio tarifario definitivo empresa ESVAL S.A., período 2015-2020. SISS, 2015.
Ref. 5:	Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua. SDT 372, DGA, 2015.
Ref. 6:	Modelo hidrogeológico para simular la interacción entre el dren Las Vegas y el río Aconcagua. Tesis de magister, Edwin Terán, 2015.
Ref. 7:	Declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados sector 5 Llay Llay, sector 6 Nogales - Hijuelas, sector 7 Quillota, sector 8 Aconcagua Desembocadura y sector 9 Limache, ubicados en la región de Valparaíso. RES 128, DGA, 2015.
Ref. 8:	Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, valle del río Aconcagua. SDT 357, DGA, 2014.
Ref. 9:	Estudio de fuentes superficiales y subterráneas de ESVAL, cuenca del río Aconcagua, Informe Etapa 2. ESVAL, 2013.
Ref. 10:	Servicios generales de estudio y análisis de caudales y apoyo en la redistribución de las aguas a la Dirección General de Aguas, en la segunda sección del río Aconcagua. SIT 289, DGA, 2012.
Ref. 11:	Estudio de recarga artificial de acuíferos en el valle del Aconcagua usando derechos eventuales del fisco. DOH, 2102.
Ref. 12:	Estudio de recarga artificial al acuífero de la primera sección del valle del Aconcagua, con aguas reguladas desde Puntilla del Viento. DOH, 2011.
Ref. 13:	Modificación modelos DGA Visual Modflow - MOS y MOS-PS para determinación disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, segunda etapa. DOH, 2009.
Ref. 14:	Embalses de regulación para el río Aconcagua, estudio de factibilidad V región. DOH, 2001.
Ref. 15:	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. SDT 101, DGA, 2001.
Ref. 16:	Modelo de simulación hidrogeológico, valle del río Aconcagua. Dirección de Obras Hidráulicas, 1998.
Ref. 17:	Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona desembocadura del río Aconcagua. DGA, SIT 40, 1997.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, Sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay. SDT 387.
AÑO	2016
ELABORADO POR (ES)	DGA
AUTOR (S)	Luis A. Moreno R. Carlos Flores F.Laura Méndez H. Franco Calderón M.
LINK DE DESCARGA	https://www.google.com/search?q=Disponibilidad+de+recursos+h%C3%ADdricos+para+el+otorgamiento+de+derechos+de+aprovechamiento+de+aguas+subterr%C3%A1neas+en+el+valle+del+Aconcagua%2C+Sectores+hidrogeol%C3%B3gicos+de+San+Felipe%2C+Putaendo%2C+Panquehue%2C+Catemu+y+Llay+Llay.+SDT+387%2C+DGA%2C+2016.&rlz=1C1GCEV_enCL833CL833&oq=Disponibilidad+de+recursos+h%C3%ADdricos+para+el+otorgamiento+de+derechos+de+aprovechamiento+de+aguas+subterr%C3%A1neas+en+el+valle+del+Aconcagua%2C+Sectores+hidrogeol%C3%B3gicos+de+San+Felipe%2C+Putaendo%2C+Panquehue%2C+Catemu+y+Llay+Llay.+SDT+387%2C+DGA%2C+2016.&aqs=chrome..69i57.1262j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

-Determinar la explotación máxima sustentable de los sectores acuíferos San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay.
- Síntesis de las referencias técnicas sobre las cuales de explotación máxima sustentable en los acuíferos del Valle del Aconcagua anterior al año 2002.
- Síntesis de los antecedentes técnicos determinados en el estudio realizado por DICTUC - 2009 para la DOH.
- Análisis de los escenarios de simulación del estudio “Modificación de los modelos DGA Visual Modflow-MOS y MOS-PS para determinación disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua”, considerando los criterios de sustentabilidad de la DGA.
- Balance de disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en los sectores hidrológicos de aprovechamiento común del valle del Aconcagua.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se consolida el modelo VM ACM 2008, como una herramienta de gestión, con un grado de aproximación adecuado para determinar la disponibilidad hídrica de los sectores de aprovechamiento común del acuífero del Valle del Aconcagua. Se concluye que los sectores acuíferos de San Felipe, Putaendo, Panquehue y Catemu, superan la demanda comprometida a junio de 2016, lo que restringe la capacidad de otorgar nuevos derechos permanentes. Se establece la declaración de área de restricción para estos sectores acuíferos, entendiendo que se encuentran en grave riesgo de disminución del acuífero con el perjuicio de derechos de terceros. Se establece que es posible otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas provisionales a un volumen de: 323.903.838 m3/año en San Felipe, 19.239.080 m3/año en Putaendo, 50.501.142 m3/año en Panquehue y de 44.115.530 m3/año en Catemu. Lo que implica que en el sector acuífero de Llay Llay, se debe aumentar su demanda comprometida con derechos en carácter de provisionales en un 20% de su volumen sustentable, modificando la disponibilidad de provisionales establecida mediante el informe SDT N° 372 de 2015 y Resolución DGA N° 128 del 7 de julio de 2015, manteniendo la condición de área de restricción establecida.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcangua.
AÑO	2016
ELABORADO POR (ES)	CNR
AUTOR (S)	ESPINOZA, L. GOMEZ, J.L. BUSTAMANTE, A.M. NAVARRO, A.M. BUSTOS, A. RIFFO, C. ZAMORA, G. REYES, G. GAJARDO, G. BRUNO, S. PAULA VILLA, P. QUEZADA, F. HERRERA, A. LEIVA PARRA, N, VILLAGRAN CASTRO, M.
LINK DE DESCARGA	http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26599

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Contribuir al uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos para riego en la cuenca de Aconcagua, mediante la implementación de un plan de gestión de las aguas de riego y drenaje, diseñado y validado con la participación de los/as usuarios/os y agentes regionales y locales.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:
- Elaborar un diagnóstico de la cuenca, respecto a la gestión del agua para riego y drenaje, la disponibilidad de infraestructura, aspectos ambientales, institucionales y otros.
- Definir y desarrollar una imagen objetivo respecto a la gestión del agua y desarrollo agrícola en la cuenca.
- Estimar las brechas de la relación línea base e imagen objetivo o escenarios.
- Proponer un conjunto de iniciativas de inversión priorizadas, así como formular mejoras institucionales, de gestión, que favorezcan el desarrollo del riego y de la agricultura de la cuenca.
- Validar el Plan de Gestión del Riego (PGR) a nivel de usuarios, como también a nivel de Comisión Nacional de Riego, mesas de agua y/u otras instancias regionales.
- Elaborar un sistema de información geográfica (SIG) donde se muestre el catastro de los proyectos y estudios existentes, además de la cartera de iniciativas del Plan.

RESULTADOS DE INTERÉS

El estudio concluye que en general el estado de las infraestructuras de riego y la sistemática de distribución del agua de riego no contribuyen a una eficaz gestión del recurso hídrico en el Valle del Aconcagua. Por otro lado, se constata una gestión precaria, una baja participación de las organizaciones de usuarios y un déficit en el conocimiento sobre la titularidad de los derechos de aprovechamiento.

El estudio aporta información de detalle sobre los principales canales, número de embalses y seguridad de riego, por cada uno de los sectores de riego que amplía el conocimiento sobre las infraestructuras de riego existentes en el valle.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Estudio de implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua.
AÑO	2015
ELABORADO POR (ES)	GeoHidrología Consultores
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Caracterizar de mejor forma el acuífero de Aconcagua, identificar posibles zonas de recarga artificial y finalmente realizar un Proyecto Piloto de Recarga Artificial de Acuíferos (PPRAA). Para llevar a cabo este proyecto piloto, se realizó la construcción de obras de infiltración, la realización de las pruebas de infiltración, registro de parámetros y el análisis de sus resultados.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se desarrolla una metodología para la recarga artificial del sistema, incluyendo el diseño de obras necesarias para la construcción y buen funcionamiento del piloto, además del procedimiento de las pruebas a efectuar, considerando las condiciones hidrogeológicas existentes. Se analizan posibles emplazamientos para la prueba piloto en las secciones 1 y 3, decantandosé por el emplazam,iento ubicado en la sección 1 aguas abajo de la bateria de pozos de la DOH en Curimón. Se define el esquema de la obra necesaria para implementar la prueba piloto. Se ejecutan diversas pruebas con distintos caudales de infiltración y distintas duraciones del ensayo, monitoreando durante la ejecución de las pruebas, la evolución del nivel piezometrico y de la calidad química del agua subterránea. De las pruebas realizadas se modelizó utilizando como herramienta el modelo visula modflow de la cuenca del Aconcagua, la que tubo mayor duración en el tiempo, con el objetiov de comparar los resultados medios en el campo con la respuesta del modelo, llegando a la conclusión de que los niveles reproducidos por el modelo son aceptables.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Estudio tarifario definitivo empresa ESVAL S.A., período 2015-2020.
AÑO	2015
ELABORADO POR (ES)	SSIS
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://infota.siss.cl/concesiones/empresas/ESVAL/01%20ESVAL/10%20Estudio%20Intercambio%20Empresa/INFORME%20DE%20INTERCAMBIO/Informe/Cap%2001%20-%20Introducci%C3%B3n.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El estudio tiene como objetivo determinar los cargos tarifarios aplicables a la provisión de los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas que presta la Empresa ESVAL S.A. en la V Región.

El proceso de fijación tarifaria se realiza de acuerdo con el DFL. M.O.P. Nº 70/88, su Reglamento el D.S. MINECON Nº 453/89 y la Ley 19.549 publicada en el Diario Oficial con fecha 04-02-98.

RESULTADOS DE INTERÉS

El estudio presenta de forma detallada los resultados y principales características de la demanda proyectada para el periodo 2015-2020, infraestructura involucrada para el período y determina el aporte de terceros de las redes eficientes al autofinanciamiento.

Respecto a la demanda histórica de agua potable el estudio aporta información sobre la evolución de la demanda para el periodo 2001-2013, en términos de clientes y establece el valor del consumo unitario mensual para el agua servida, definiéndose un crecimiento promedio anual de un 2,09%, lo que supone una variación de un - 0,84%. Para el agua servida, en términos de clientes se observa un crecimiento promedio anual de un 2,51%, lo que supone una variación de un -1,13%.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua. SDT 372.
AÑO	2015
ELABORADO POR (ES)	DGA
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/InformeFinal_Aconcagua_SDT372.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El objetivo general del presente informe es dar a conocer los alcances del Informe “Modificación Modelos DGA Visual Modflow – MOS y MOS-PS para la determinación de disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua” 2009, para los sectores de aprovechamiento común:6 Nogales-Hijuelas, 7 Quillota, 8 Aconcagua desembocadura y 9 Limache.

Analiza la situación de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Aconcagua en los sectores indicados y determina la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para el otorgamiento derechos de aprovechamiento.

RESULTADOS DE INTERÉS

El informe concluye que no existe la posibilidad de otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de permanentes o provisionales en los sectores analizados, debido a que las demandas comprometidos en ellos, superan ampliamente el volumen factible de otorgar como derechos definitivos o provisionales.

TIPO DE INFORMACIÓN	Tesis de magister.
TÍTULO	Modelo hidrogeológico para simular la interacción entre el dren Las Vegas y el río Aconcagua.
AÑO	2015
ELABORADO POR (ES)	
AUTOR (S)	Terán, E.
LINK DE DESCARGA	http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1716

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
			●	

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El objetivo generar un modelo conceptual y numérico que analice y explique el funcionamiento del dren Las Vegas, tomando en cuenta sus distintas fuentes de captación, la interacción entre acuífero-río-dren y cambios hidráulicos en el dren Las Vegas.

RESULTADOS DE INTERÉS

Presenta información detallada del sistema de Las Vegas y de las obras que la componen tanto superficial como subterránea.

Establece como fuente principal de captación del sistema (>56%) corresponde a la planta de tratamiento.

Se interpreta que la disminución de las captaciones subterráneas en más del 57%, se debe a una colmatación progresiva por el arrastre de sedimentos, lo cual se simula en el modelo mediante la disminución de la conductancia del dren de 80 m2/d a 34 m2/d.

Se concluye que la incorporación de nuevas fuentes de captación antropogénicas al sistema Las Vegas, como los 12 pozos de inyección de Llay Llay, ha generado un ahogamiento en el dren, específicamente en el tramo que va desde la cámara 6 a la cámara 11, limitando el ingreso de aguas subterráneas.

TIPO DE INFORMACIÓN	Resolución.
TÍTULO	Declara como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados sector 5 Llay Llay, sector 6 Nogales - Hijuelas, sector 7 Quillota, sector 8 Aconcagua Desembocadura y sector 9 Limache, ubicados en la región de Valparaíso. RES 128, DGA, 2015.
AÑO	2015
ELABORADO POR (ES)	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://bcn.cl/29zpr

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuíferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Resolución Ministerial que declara como áreas de restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Sector 5 Llay Llay, Sector 6 Nogales – Hijuelas, Sector 7 Quillota, Sector 8 Aconcagua desembocadura y Sector 9 Limache.

RESULTADOS DE INTERÉS

Contiene un mapa (Mapa N° 4 del informe técnico DARH N° 163) con la delimitación de los sectores acuíferos.

Establece que la declaración de área de restricción para los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Sector 5 Llay Llay, Sector 6 Nogales – Hijuelas, Sector 7 Quillota, Sector 8 Aconcagua desembocadura y Sector 9 Limache, comenzaron a regir para todos los efectos legales que de ella se deriven, desde la fecha de su publicación en el Diario Oficial (17-08-2015).

TIPO DE INFORMACIÓN	Informe Técnico.
TÍTULO	Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, valle del río Aconcagua. SDT 357.
AÑO	2014
ELABORADO POR (ES)	DGA
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/SDT357.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
	●			

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Establecer la distribución espacial de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común del Valle del Río Aconccagua en base a las conclusiones obtenidas en el análisis de disponibilidad de aguas subterráneas a partir de la simulación del modelo VM ACM 2008, presentada en el SDT DARH Nº101 de julio de 2001, "Evaluación de los recursos subterráneos de la Cuenca del Río Aconcagua".

RESULTADOS DE INTERÉS

Determina la delimitación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común del valle del Río Aconcagua quedando definidos 9 sectores y que corresponden a los siguientes:

- Acuífero 1 – San Felipe.
- Acuífero 2 – Putaendo.
- Acuífero 3 – Panquehue.
- Acuífero 4 – Catemu.
- Acuífero 5 – Llay Llay.
- Acuífero 6 – Nogales – Hijuelas.
- Acuífero 7 – Quillota.
- Acuífero 8 – Aconcagua desembocadura.
- Acuífero 9 – Limache.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Estudio de fuentes superficiales y subterráneas de ESVAL, cuenca del río Aconcagua, Informe Etapa 2.
AÑO	2013
ELABORADO POR (ES)	ESVAL
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://infota.siss.cl/concesiones/empresas/ESVAL/01%20ESVAL/06%20Informaci%C3%B3n%20entregada%20por%20la%20empresa/Inf.%20Adic.%20Anexo%205%20y%20Otros/3.2%20Estudios%20Hidrol%C3%B3gicos/Informe%20Hidrol%C3%B3gico%20Aconcagua%20Etapa%202%20original.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El objetivo de este estudio fue estimar la seguridad de abastecimiento de agua con que cuenta ESVAL en su sistema de captación superficial ubicado en la cuenca del río Aconcagua. Para cumplir con este objetivo, se ejecutó un estudio hidrológico para estimar con mayor grado de confianza las aportaciones de las cuencas; Se prestó especial atención a los escenarios secos o muy secos.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se estableció que los caudales promedios son más confiables durante los meses de invierno y que en general en las estaciones de Chacabuquito, San Felipe y Romeral los valores son poco variables y por tanto más seguras. Por el contrario, en la estación de Tabolango los valores resultan más inseguros. Se analizaron las sequías hidrológicas observándose periodos de sequías a fines de la década del 60, a inicios del año 1996 y 2010. Se realizó el análisis de la disponibilidad hídrica de las fuentes superficiales en cada una de las secciones legales: La Sección 1 se observó un bajo rendimiento de los derechos legales durante todo el año. En las Sección 2 y 3 el rendimiento legal es cercano a 1 durante los meses de invierno, pero disminuye durante los meses de verano. En la Sección 4 se observó que para probabilidades de excedencia de hasta 80%, la disponibilidad del recurso no logra superar el derecho otorgado durante los meses de enero, febrero y marzo. La evaluación del efecto del sistema de turnos (cierre de bocatomas en las secciones 1 y 2, durante 36 horas semanales en diciembre, enero y febrero) considerando una probabilidad de excedencia del 90%, generan un caudal equivalente al de una probabilidad de excedencia del 98%, que es aprovechado por los usuarios de la Sección 3, pero significa una merma en los caudales disponibles en las secciones ubicadas aguas arriba.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Servicios generales de estudio y análisis de caudales y apoyo en la redistribución de las aguas a la Dirección General de Aguas, en la segunda sección del río Aconcagua. SIT 289.
AÑO	2012
ELABORADO POR (ES)	Hidrometria Chile- DGA
AUTOR (S)	Golborne, L. Matías Desmadryl, M. Riestra, F. Herrera, C. Videla, C
LINK DE DESCARGA	http://documentos.dga.cl/ADM5387.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El objetivo del estudio fue llevar a cabo los trabajos que continuación se enumeran, con la finalidad de poder redistribuir en la sección 2 del río Aconcagua, de forma efectiva, los recursos disponibles y así poder mitigar los efectos de la extraordinaria sequia sufrida en la cuenca.

Los trabajos realizados fueron:
- Control y medición en Bocatomas, con la finalidad de medir los caudales captados por cada canal.
-Realizar una batería de aforos con la finalidad de determinar claramente la relación pérdida y recuperación del río en la Segunda Sección.
- Apoyo a la Contraparte Técnica en la redistribución de las aguas.
- Verificar si hubiere extracciones clandestinas.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se desarrolló un breve análisis de disponibilidad hídrica en la cuenca del río Aconcagua durante el periodo de fiscalización que reveló que la primera sección consume más del 50% del agua disponible del río. Se encuentran incluidos en el análisis las pérdidas por conducción, por compuertas en mal estado y las pérdidas por extracciones de áridos y llenados de lagunas decantadoras, que en total suman alrededor del 20%. El mayor caudal promedio para la estación Aconcagua en San Felipe comparado con la estación Aconcagua en Romeral es producido por la operación de los pozos DOH del sector de Curimón. Durante el periodo enero – abril, los caudales promedio para la estación Aconcagua en Chacabuquito, disminuyen considerablemente, por la disminución de los deshielos en la cordillera. Por otro lado, en la segunda sección del río Aconcagua se observaron canales sin mantención o carencia de infraestructura, conforme a lo expresado en el código de aguas.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Estudio de recarga artificial de acuíferos en el valle del aconcagua usando derechos eventuales del fisco.
AÑO	2012
ELABORADO POR (ES)	Dirección de Obras Hidraúlicas
AUTOR (S)	Ernesto Brown Fernández
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Relatar el avance del proyecto de recarga artificial en la cuenca del río Aconcagua, a lo largo del segundo semestre de 2011, y entregar los resultados de los principales análisis hidrológicos realizados; concepciones de proyectos alternativos y complementarios que podrían desarrollarse; y concepción de las etapas iniciales necesarias para construir un buen proyecto.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se detallan las alternativas conceptuales de proyectos de recarga inducida, y se comenta las posibilidades que podrían resultar más convenientes para el caso particular de la cuenca del río Aconcagua. Se desarrollan los análisis hidrológicos para determinar las series de caudales medios mensuales superficiales disponibles para hacer recargas inducidas al acuífero de la primera sección del Aconcagua. Indica la necesidad de llevar a cabo un proyecto piloto en la primera sección, en la zona inmediatamente aguas arriba de la batería de pozos de la D.O.H. ubicada en Curimón. La cual debería contar con una derivación provisoria en el río, un decantador de dimensiones importantes (2.500 m^2 de superficie) y dos lagunas en serie de aproximadamente una héctaria cada una, en superficie. Se indica la instrumentación necesaria para el monitoreo de la eficiencia de la recarga.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado.
TÍTULO	Estudio de recarga artificial al acuífero de la primera sección del valle del Aconcagua, con aguas reguladas desde puntilla del viento.
AÑO	2011
ELABORADO POR (ES)	Dirección de Obras Hidraúlicas
AUTOR (S)	Ernesto Brown Fernández
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Efectuar un análisis, a nivel de perfil, para recargar artificialmente los acuíferos de la 1ª sección del río Aconcagua, con aguas reguladas y descargadas desde el embalse Puntilla del Viento. Para ello se definieron los siguientes alcances específicos: Para ello se definieron los caudales y/o volúmenes disponibles para recargar artificialmente los acuíferos con aguas de Puntilla del Viento, que correspondían a los volúmenes provenientes del derecho eventual de 400 Hm3/año, que posee la DOH del MOP. Se identificaron lugares para efectuar la recarga. Así mismo se incluye la definición y valoración de las obras civiles necesarias y los costes operativos y de manutención.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se realiza una estimación de los caudales disponibles para la recarga artificial en base al funcionamiento histórico del embalse, a partir del derecho fiscal y se estima en un promedio anual de 80 Hm^3. Se identifican posibles áreas para ejecutar la recarga aguas, en la ribera norte y sur, debajo de la bocatoma del canal de Curimón. Se definen las infraestructuras necesarias a nivel de perfil (obra de toma, cámara de captación y lagunas de infiltración y/o sondeos de inyección). Se estima que el costo de la obra es de 3 millones de dólares con un costo de manutención anual de 376 millones de pesos.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Modificación modelos DGA Visual Modflow - MOS y MOS-PS para determinación disponibilidad real de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua, segunda etapa.
AÑO	2009
ELABORADO POR (ES)	DOH
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Este documento da a conocer el trabajo realizado por DICTUC en respuesta a la necesidad de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de la V Región de contar con una herramienta de apoyo corregida y actualizada para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Aconcagua. Bajo este contexto, el estudio abarcó tanto la corrección como la actualización de los modelos MOS y Modflow utilizados por la DGA a la fecha, desarrollando una herramienta óptima de apoyo en la toma de decisiones para el tratamiento de los recursos hídricos del valle.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se recopiló información detallada de litología, geomorfología, hidrogeología y el sistema estructural, permitiendo delimitar en superficie el contacto roca-relleno, comprender el comportamiento de los flujos y la evolución de los niveles piezométricos y definir 3 unidades hidroestratigráficas, Se elaboraron 4 escenarios de simulación en los que se concluye que el hecho de permitir devolver al río Aconcagua en el sector de Panquehue parte del caudal subterráneo extraído en los pozos de la DOH permite un aumento de 1,86 m^3⁄s previsible en la explotación sostenible del sistema sobre el límite obtenido en el Escenario 2. Si además se descarta en la evaluación 1 o 2 pozos activos secos adicionales en el sector de la desembocadura, se consigue un aumento extra de 0,77 m^3⁄s previsible, con lo que la oferta obtenida máxima del valle corresponde a un caudal previsible global de 19,08 m^3⁄s. El Escenario 4 muestran que explotaciones previsibles subterráneas totales en el valle del orden de 26,2 y 32,5 m^3⁄s, que logran satisfacer aumentos de 20 y 40% en la superficie actual cultivada respectivamente, si bien arrojan depresiones de la napa mayores y con ello un aumento en el nivel de afección del río, sin que se produzcan mayores impactos sobre los volúmenes almacenados en el largo plazo.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Embalses de regulación para el río Aconcagua, estudio de factibilidad V región. DOH, 2001.
AÑO	2001
ELABORADO POR (ES)	DOH
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuíferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

Este estudio se realiza con el objetivo de evaluar la mejor alternativa de embalse para mejorar y extender la seguridad de riego de la tercera y cuarta sección del Aconcagua. Lo anterior se realiza sobre la base de una serie de modificaciones sobre el Modelo de Operación Superficial (MOS) como incorporar la evaluación de infraestructura hidráulica, los embalses simulados, criterios de distribución de aguas y cambios en archivos de entrada y salida.

RESULTADOS DE INTERÉS

Con el fin de mejorar la representación de la parte alta del valle del Aconcagua se genera un nuevo modelo llamado Modelo Operacional Superficial – Primera sección (MOS-PS) que subdivide los sectores de riego 1 y 2 originales en 15 subsectores con el fin de identificar de mejor forma los sectores deficitarios. Se incluye la descripción del funcionamiento de este nuevo modelo al igual que los parámetros, archivos de entrada y de salidas generados.

Debido a la generación de este nuevo modelo fue necesario también adaptar el MOS para utilizar los resultados del MOS-PS como un dato de entrada, en otras palabras, MOS-PS debe ser ejecutado de manera previa a MOS y este último se alimenta de los resultados del primero.

TIPO DE INFORMACIÓN	Informe Técnico.
TÍTULO	Evaluación de los recursos subterráneos de la cuenca del río Aconcagua. SDT 101, DGA, 2001.
AÑO	2001
ELABORADO POR (ES)	DGA
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://documentos.dga.cl/SUB2766.pdf

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuiferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
				●

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El documento tiene como objetivo la evaluación de la disponibilidad de agua subterránea para la cuenca del río Aconcagua a partir de modelos de simulación matemática para operación hidrológica con fecha de cierre el 31 de diciembre del 2000, los cuales fueron elaborados bajo el contexto de la creciente demanda de recursos hídricos subterráneos en la cuenca. Estos modelos consisten en la adaptación y actualización de modelos previos según los antecedentes disponibles y los criterios de la DGA a la fecha. se realizó un modelo MOS adaptado actualizando los datos de precipitaciones media mensuales, caudales medios mensuales de bombeo y de las cuencas de entrada y laterales. Se ajustaron los datos en base al “Plan director para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Aconcagua”, del año 2000. Los resultados de este modelo MOS fueron usados como datos de entrada para 5 modelos hidrogeológicos elaborados en Visual Modflow 2.61 con un período de simulación entre 1990 y 2040, considerando períodos secos y húmedos. Estos modelos abarcan en total 10 sectores del acuífero: el sector San Felipe- Los Andes, sector Putaendo, sector Aconcagua Las Vegas, sector Catemu, sector Llay Llay, sector de Rabuco, sector Nogales, sector Aconcagua – Quillota, sector Aconcagua desembocadura y sector Limache.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se entrega información de la cuenca del río Aconcagua, incluyendo su ubicación, extensión de sectores agrícolas y cantidad de habitantes a la fecha. Se describen en detalle 4 unidades hidrogeológicas del valle. También se caracterizan los 10 sectores de la cuenca definidos para los modelos, con la disposición de las unidades mencionadas, profundidad general de los niveles estáticos, potencia del acuífero y perfiles longitudinales. Contiene la política general y criterios generales de la DGA sobre derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, donde se puede encontrar información acerca de los criterios técnicos, la evolución de la demanda de aguas subterráneas, los factores de uso y la demanda de aguas subterráneas y derechos provisionales al 31 de diciembre de 2000. En los sectores San Felipe - Los Andes y Putaendo, Aconcagua - Las Vegas, Catemu y Llay Llay los niveles son dependientes del río Aconcagua, por lo que una explotación admisible depende de las recuperaciones en el mismo, las cuales no se ven significativamente afectadas por el incremento en el bombeo. Se concluyó que es factible constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter definitivos por un caudal de 37.000 l/s y, para el caso del sector Aconcagua-Desembocadura, en carácter de provisionales previa declaración de Área de Restricción, por un caudal de 309 l/s, cubriendo toda la demanda del 31 de diciembre del año 2000.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Modelo de simulación hidrogeológico, valle del río Aconcagua.
AÑO	1998
ELABORADO POR (ES)	DOH
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuíferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
			●	

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El estudio se realizó para responder la necesidad de la Dirección de Riego del MOP, la CNR y de la DGA de disponer de una herramienta de análisis y planificación de los recursos hídricos del valle del Aconcagua. Para ello se desarrolló un modelo integral de los recursos hídricos de la cuenca, que permite evaluar situaciones alternativas a modo de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento óptimo multisectorial de los recursos hídricos de la cuenca, tanto superficiales como subterráneos.

RESULTADOS DE INTERÉS

Se verificó que no hay recursos suficientes para satisfacer las demandas de los cultivos en el valle Putaendo y en la 3er sección legal del río, considerando la infraestructura de aprovechamiento existente. No habría alteraciones de importancia en los recursos hídricos de la 2da sección del río Aconcagua, si se construye el embalse Puntilla del Viento. La construcción de los embalses Puntilla de Viento junto con Rocín mejora la seguridad de riego en el valle de Putaendo, valle del estero Los Litres y en Aconcagua entre Romeral y La Calera, ribera derecha. Existen recursos para llenar el embalse Las Peñas, de 150 millones de m3 de capacidad. Con la construcción del embalse Rabuco, la seguridad de riego mejora de manera importante en Rautén, Aconcagua entre Tabolango y Concón y en el valle de Limache. En el sector de Curimón, se podría obtener a lo más un caudal medio anual de extracción de agua subterránea de poco más de 3 m3/s con lo que las recuperaciones en la 2da sección se reducirían en cerca de 2 m3/s. En el valle de Putaendo, es posible extraer al menos un volumen de agua subterránea de 25 millones de m3 al año (sector de Rinconada de Silva y Las Barrancas).

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio.
TÍTULO	Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona desembocadura del río Aconcagua. SIT 40.
AÑO	1997
ELABORADO POR (ES)	DGA
AUTOR (S)	
LINK DE DESCARGA	http://sad.dga.cl/ipac20/ipac.jsp?session=152445K31V8K2.3797317&profile=cirh&uri=full%3D3100001~%21605~%210&booklistformat=

ALCANCE GEOGRÁFICO	Nacional	Inter-Regional	Regional	Cuenca(s)
				●

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
			C. Aconcagua

TIPO DE ANTECEDENTES	Criterios Definición acuíferos	Sustentabilidad de Acuíferos	Caracterización Hidrogeológica de Acuíferos	Uso Actual y Proyectado del recurso subterráneo
			●	

OBJETIVO (S) DE LA INFORMACIÓN

El objetivo del estudio fue profundizar la información de las características hidrogeológicas de la zona de la desembocadura del río Aconcagua y desarrollar un modelo numérico que permita evaluar distintas situaciones relacionadas con las magnitudes de explotación actual y futura del sistema acuífero de la zona y su impacto en la calidad del agua. El modelo numérico fue realizado en la versión 1.5 de Visual Modflow abarcando el Valle del río Aconcagua entre la desembocadura hasta aproximadamente 18 km hacia aguas arriba, considerando un período de calibración en régimen transitorio entre los años 1967 y 1996.

RESULTADOS DE INTERÉS

Determina la estratigrafía del sector de desembocadura, caracteriza la calidad del agua en términos de su concentración en cloruros y define el grado de conexión de los distintos estratos con el océano. Establece la explotación máxima del sistema entre 330 y 450 l/s. Explotaciones mayores comprometerían los pozos ubicados aguas arriba del sector Bocatoma.

El documento contiene estadística de precipitaciones mensuales y anuales para abril de 1950 y marzo de 1990, estadística fluviométrica extendida para mayo de 1962 hasta abril de 1977, resultados de corridas de aforo del río Aconcagua, los derechos de aguas subterráneas y las autorizaciones de exploración de agua subterránea a la fecha, catastro de sondajes en el sector desembocadura del río, la demanda de aguas subterráneas según uso a la fecha, datos de niveles estáticos desde 1970 hasta 1995 con plano de isofreáticas, planillas de cálculo de coeficiente de permeabilidad y prueba de bombeo de caudal variable, pruebas de bombeo con interpretación y columnas estratigráficas, datos y análisis de calidad de agua. Además, entrega información acerca del clima y vegetación, geomorfología y geología con plano geológico del sector, características hidráulicas de las unidades geológicas, la relación mar-acuífero con mapa batimétrico, antecedentes relacionados a los trabajos geofísicos de mediciones gravimétricas y geoeléctricas, curvas de nivel del basamento rocoso, formaciones acuíferas con su geometría, sectorización y 3 perfiles transversales al río. Se estable las distintas respuestas del sector acuífero de Bocatoma ante 5 escenarios.

B DATOS PLUVIOMÉTRICOS ORIGINALES

ANEXO B

Series Pluviométricas Originales en Estaciones De Interés

a) Estación Putaendo en Resguardo Los Patos (mm)

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	65.0	155.0	0.0	0.0	69.0	27.0	55.0	25.0	0.0	11.0	0.0	0.0
1951-1952	10.0	104.0	83.0	152.0	9.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0
1952-1953	0.0	95.0	104.0	42.0	18.0	56.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953-1954	42.0	88.0	55.0	65.0	234.0	48.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954-1955	57.0	60.0	68.0	36.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1955-1956	22.0	107.0	38.0	49.0	36.0	16.0	34.0	9.0	16.0	0.0	0.0	25.0
1956-1957	13.0	10.0	14.0	82.0	32.0	15.0	5.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0
1957-1958	0.0	199.0	8.0	37.0	50.0	14.0	7.0	0.0	23.0	0.0	0.0	7.0
1958-1959	0.0	109.0	89.0	22.0	18.0	12.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	11.0
1959-1960	17.0	53.0	112.0	57.0	74.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960-1961	0.0	22.0	153.0	57.0	27.0	10.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0
1961-1962	0.0	40.0	106.0	17.0	100.5	9.5	14.5	0.0	3.0	0.0	0.0	0.2
1962-1963	0.0	55.0	159.0	17.0	11.0	3.0	17.0	0.0	0.0	0.0	10.0	2.0
1963-1964	0.0	28.0	90.0	75.0	80.0	116.0	13.3	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964-1965	0.0	0.0	51.5	39.5	59.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1965-1966	12.0	49.5	12.5	139.0	259.0	8.0	18.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
1966-1967	16.0	6.0	145.5	92.5	47.5	0.0	5.5	12.5	11.0	0.0	0.0	0.0
1967-1968	0.0	8.0	45.5	45.0	9.0	95.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
1968-1969	17.5	0.0	9.5	0.0	20.0	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969-1970	16.0	5.5	65.5	0.0	32.5	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
1970-1971	0.0	113.0	0.0	126.5	12.5	26.0	19.5	0.0	0.0	13.0	0.0	0.5
1971-1972	0.0	2.0	54.0		26.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	4.0	27.0	191.5	20.0	104.0	58.0	10.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.5	54.0	44.5	92.5	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974-1975	0.0		146.5	0.0	8.0	34.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1975-1976	5.0	35.0	0.5	95.0	53.5	0.0	5.0	0.0	0.0	6.0	4.0	0.0
1976-1977	5.0	17.0	40.0	2.0	25.0	11.5	33.5	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	3.0	25.5	96.0	189.5	70.0	15.0	28.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.0	3.5	21.5	242.5	18.0	28.0	2.0	108.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	16.5	7.0	0.0	68.0	51.0	28.5	0.0	13.0	14.0	0.0	8.0	0.0
1980-1981	119.5	15.5	68.0	91.5	10.0	46.0	20.5	0.0	3.5	0.0	6.0	0.0
1981-1982	1.0	96.0	30.0	20.5	28.0	6.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	25.0
1982-1983	0.0	94.5	222.0	145.5	71.0	26.0	8.0	2.0	0.0	16.0	0.0	0.0
1983-1984	32.0	27.0	79.0	133.0	47.5	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984-1985	0.0	31.0	14.0	352.0	24.0	38.0	16.4	3.0	4.5	0.5	0.0	15.5
1985-1986	1.0	27.4	0.0	75.0	2.0	0.6	8.8	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1986-1987	1.1	125.0	111.5	0.0	39.5	6.0	2.5	7.0	0.0	0.0	0.0	15.0
1987-1988	15.5	10.8	46.2	445.2	239.5	13.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988-1989	0.0	7.5	6.0	26.0	12.9	13.5	0.0	13.0	3.0	0.0	0.0	0.0
1989-1990	3.5	36.5	2.5	97.3	128.5	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990-1991	1.5	6.5	3.6	20.2	41.5	30.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
1991-1992	3.9	44.0	159.5	107.7	0.0	73.1	2.8	0.0	2.0	0.0	0.0	11.0
1992-1993	28.5	95.5	155.0	21.0	24.0	50.0	0.0	12.0	0.0	1.0	0.0	0.0
1993-1994	35.2	118.0	12.9	20.5	17.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	4.0	23.0	8.5	65.7	3.8	34.0	4.5	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0
1995-1996	11.0	7.0	58.5	29.0	14.0	22.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
1996-1997	19.9	4.0	33.3	22.0	9.4	2.0	1.5	0.0	1.5	0.0	0.0	21.5
1997-1998	0.0	101.0	388.5	23.0		22.5	47.5	2.0		0.0	3.5	3.0
1998-1999	15.5	14.0	19.0	0.0	0.0	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0		11.0
1999-2000	7.0	2.5	45.5	6.5	96.5	122.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000-2001	20.5	33.5	191.5	65.0	0.0	91.5	4.5			0.0	0.0	
2001-2002	3.0	24.5	0.0	199.0	51.8	10.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
2002-2003	17.0	154.5	166.0	119.5	59.5	19.0	1.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0
2003-2004	0.0	92.0	23.0	51.0	2.5	0.5	0.0	5.5	0.0	0.1	0.0	9.0
2004-2005	46.5	0.8	50.5	54.2	67.0	24.0	0.0	31.0	0.0	0.0	0.0	24.6
2005-2006	13.5	37.0	106.3	8.5	128.0	46.0	12.0	10.5	0.0	0.5	6.0	0.0
2006-2007	0.0	6.5	46.0	213.5	14.5	1.0	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
2007-2008	0.0	6.2	100.0	30.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
2008-2009	16.5	92.0	76.0	27.0	120.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.0	81.0	13.0	67.0	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010-2011	0.0	20.0	22.0	35.0	13.0	28.0	7.0	28.0	0.0	0.0	12.0	0.0
2011-2012	2.0	0.0	77.0	43.0	10.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-2013	29.0	32.0	23.0	0.0	21.5	4.0	26.5	0.0	3.7	0.8	0.0	0.0
2013-2014	0.0	61.2	24.5	2.5	28.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-2015	0.0	0.9	87.0	5.5	23.0	14.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	20.0
2015-2016	0.0	0.0	28.6	54.0	1.7	37.4	27.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016-2017	48.0	36.0	103.0	55.0	0.0	0.0	16.1	7.0		0.0	0.0	0.0
2017-2018	3.0	107.0	49.5	0.4	26.0	10.0	27.0			0.0	0.0	0.0
2018-2019	0		28	24	12	27.5	0.0	0.0	0.0			

b) Estación San Felipe (mm)

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961												
1961-1962												
1962-1963	0.0	27.0	105.9	10.0	9.2	1.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1963-1964	0.0	21.8	52.3	82.7	68.0	130.1	8.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964-1965	0.0	0.0	40.6	18.0	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1965-1966	8.1	45.2	4.7	132.2	145.6	3.4	2.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0
1966-1967	23.7	2.2	112.8	78.7	20.4	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0
1967-1968	4.0	7.3	22.4	22.0	11.5	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968-1969	8.5	0.0	6.6	0.0	15.2	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969-1970	9.5	9.2	37.7	9.9	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970-1971	0.0	72.5	7.2	100.9	5.6	15.7	6.2	0.0	0.0	5.0	0.0	3.8
1971-1972	0.0	7.1	43.8	11.9	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	0.0	41.5	156.9	34.9	127.5	40.5	3.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.0	15.5	12.4	53.0	0.0	0.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974-1975	0.0	47.8	136.1	5.2	2.2	20.5	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1975-1976	6.0	22.9	0.0	96.3	19.7	0.0	3.3	11.0	0.0	0.0	0.0	0.9
1976-1977	0.0	9.4	29.4	4.0	22.4	8.6	38.3	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	3.5	20.8	70.6	128.8	29.2	0.0	8.9	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.4	6.8	16.5	131.7	14.0	16.8	0.5	53.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	6.8	6.7	0.0	45.0	17.0	20.0	0.0	9.8	2.0	2.0	0.5	0.0
1980-1981	59.3	9.0	48.5	56.6	10.5	68.3	0.0	1.0	2.0	0.0	0.4	0.0
1981-1982	1.0	95.1	26.1	11.4	11.2	0.5	0.5		0.0	0.0	0.0	10.0
1982-1983	0.0	73.9		74.5	70.0	13.8	7.6	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
1983-1984	17.6	32.3	84.5	113.4	27.0	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
1984-1985	2.2	25.9	15.9	275.2	19.1	47.3	7.6	0.1	0.2	0.2	0.0	12.0
1985-1986	0.0	17.3	1.7	49.4	4.0	0.7	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986-1987	1.3	103.2	44.8	0.0	28.6	2.0	9.3	14.0	0.0	0.0	0.0	4.5
1987-1988	14.3	28.9	1.1	339.9	182.5	7.5	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1988-1989	0.0	3.3	1.8	16.2	19.4	6.5	0.0	12.8	1.5	0.0	0.0	0.0
1989-1990	4.5	35.3	5.4	62.5	49.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	1.2	0.0	2.0	29.3	33.7	9.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991-1992	4.6	29.1	157.7	58.0	0.9	28.3	5.7	0.0	0.4	0.0	0.0	17.2
1992-1993	25.6	93.3	124.7	8.5	40.2	11.8	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	54.7	60.4	13.4	27.3	25.7	2.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	4.1	26.3	8.9	34.9	1.4	2.6	1.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0
1995-1996	8.4	4.4	22.2	45.5	28.6	17.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
1996-1997	25.9	9.1	16.2	29.7	14.1	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	9.4
1997-1998	0.0	96.4	315.7	26.6		25.2	30.4	1.8	0.0	0.0		1.2
1998-1999	14.7	7.8	5.9	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1999-2000	10.6	0.9	42.7	10.4	81.2	57.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000-2001	5.7	12.9	194.9	20.8	0.0	62.8	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7
2001-2002	7.0	25.6	0.7	112.9	48.0	6.5	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002-2003	8.3	97.9	185.3	117.6	34.2	10.8	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0
2003-2004	0.0	65.3	16.5	31.6	1.9	0.9	0.0	2.9	0.0	0.0	0.2	13.1
2004-2005	45.9	2.8	31.8	60.0	48.3	13.6	1.0	38.2	0.0	0.0	0.0	16.6
2005-2006	8.3	24.7	93.2	13.2	68.4	18.8	3.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2006-2007	0.3	5.2	68.1	126.0	20.1	0.0	48.5	0.0	0.0	0.0	6.1	0.3
2007-2008	0.0	1.4	84.4	9.8	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4
2008-2009	6.5	65.8	34.3	30.5	82.6	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.8	90.6	11.6	69.8	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010-2011	0.0	40.0	54.7	25.3	4.7	17.1	2.5	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2011-2012	0.5	0.3	52.7	37.6	10.3	4.2	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-2013	24.5	34.5	16.8	0.4	21.0	0.4	49.1	0.0	34.7	1.8	0.0	0.0
2013-2014	0.0	58.3	18.2	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-2015	0.0	8.5	51.3	7.6	22.3	15.8	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	14.5
2015-2016	0.0	0.0	0.0	29.9	101.3	20.3	28.6	9.1	0.0	1.8	0.0	0.0
2016-2017	45.2	20.9	66.6	34.0	0.0	0.0	25.4	0.0	29.1	0.0	0.0	0.0
2017-2018	2.4	92.7	53.6	11.9	28.2	19.5	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-2019	0.0	2.7	27.6									

c) Estación Limache (mm)

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	142.1	161.2	24.1	0.0	57.5	54.8	3.5	50.6	0.0	0.7	0.0	0.0
1951-1952	46.0	60.4	127.3	156.3	15.7	14.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
1952-1953	0.0	55.3	107.6	110.5	14.7	17.3	14.1	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0
1953-1954	58.3	133.5	19.6	39.9	201.3	63.3	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954-1955	57.5	116.3	191.4	40.4	14.4	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1955-1956	13.5	50.9	62.6	11.8	60.1	9.3	4.8	0.0	9.0	0.0	0.0	36.5
1956-1957	11.5	45.7	39.1	105.9	131.0	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1957-1958	0.0	189.7	25.6	161.2	33.7	22.1	0.0	0.0	66.3	0.0	0.0	0.0
1958-1959	0.0	108.2	195.5	12.6	105.2	37.9	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	11.5
1959-1960	17.2	31.2	174.4	111.0	61.6	20.9	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960-1961	0.0	44.2	169.6	73.8	53.0	6.7	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1961-1962	0.0	25.5	191.3	35.6	134.4	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962-1963	0.0	6.5	209.3	20.9	17.9	14.1	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1963-1964	0.0	64.8	53.1	235.5	188.0	89.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964-1965	7.4	0.0	64.5	105.2	96.1	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
1965-1966	12.0	29.3	17.2	212.4	221.2	0.0	18.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1966-1967	65.0	2.6	205.2	140.5	35.0	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0
1967-1968	3.9	39.5	44.5	111.0	26.5	90.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968-1969	2.0	0.0	19.0	4.2	20.5	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969-1970	0.0	49.0	66.0	27.3	73.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970-1971	0.0	34.9	33.5	41.0	18.0	26.5	2.0	0.0	0.0	3.2	0.4	0.6
1971-1972	44.5	4.9	128.6	32.3	40.2	14.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	0.0	132.0	201.0	60.5	161.6	49.8	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.0	29.7	31.3	64.7	0.4	1.8	48.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974-1975	0.0	135.4	294.5	9.0	4.6	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1975-1976	24.2	23.3	32.7	186.4	40.7	2.7	1.8	11.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1976-1977	0.0	22.0	39.8	7.4	40.3	51.2	136.3	42.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	8.7	23.6	112.9	257.0	65.0	0.0	40.2	11.4	1.4	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.0	14.6	98.5	285.9	8.2	56.7	0.0	46.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	26.5	23.3	0.0	113.0	46.4	31.2	0.0	24.4	11.0	0.0	0.9	0.0
1980-1981	60.6	75.2	93.8	165.8	26.1	80.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
1981-1982	1.8	295.2	34.5	25.6	5.5	26.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
1982-1983	0.0	101.3	263.9	150.6	75.2	25.2	44.8	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0
1983-1984	4.6	50.3	148.2	95.4	107.4	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
1984-1985	0.0	72.7	31.6	381.1	65.4	25.5	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
1985-1986	0.9	33.4	33.9	96.1	0.0	24.2	15.6	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1986-1987	16.3	143.6	88.3	3.8	81.4	2.7	0.0	43.5	0.0	0.0	0.0	0.9
1987-1988	1.5	66.3	26.5	429.6	229.6	23.8	54.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
1988-1989	0.0	0.0	50.8	51.3	81.9	13.7	0.0	6.2	1.4	0.0	0.0	0.0
1989-1990	6.9	16.0	15.6	103.6	80.5	0.0	3.2	0.0	1.9	0.0	0.0	10.5

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	0.0	4.7	1.0	65.4	22.5	22.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991-1992	4.5	43.2	215.8	96.3	11.5	99.8	28.8	0.0	5.8	0.0	0.0	27.5
1992-1993	45.3	181.5	257.1	5.6	118.0	46.5	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	90.6	57.0	57.6	51.0	43.5	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	31.5	115.5	48.6	36.2	15.2	29.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995-1996	17.8	2.3	65.1	133.3	62.0	2.8	2.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1996-1997	56.1	7.1	52.5	78.9	71.0	3.7	2.1	0.0	1.0	0.0	0.0	4.1
1997-1998	0.0	207.5	418.5	103.2	199.4	105.5	80.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998-1999	32.1	6.3	26.5	17.5	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
1999-2000	11.3	4.0	54.0	32.8	93.5	134.3	5.5	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0
2000-2001												
2001-2002												
2002-2003												
2003-2004												
2004-2005												
2005-2006												
2006-2007												
2007-2008												
2008-2009												
2009-2010												
2010-2011												
2011-2012												
2012-2013												
2013-2014												
2014-2015												
2015-2016												
2016-2017												
2017-2018												

d) Estación Los Aromos (mm)

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961												
1961-1962												
1962-1963												
1963-1964												
1964-1965												
1965-1966												
1966-1967												
1967-1968												
1968-1969												
1969-1970												
1970-1971												
1971-1972												
1972-1973												
1973-1974												
1974-1975			229.0	8.0	3.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1975-1976	5.4	34.5	29.0	184.0	36.9	3.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	2.5
1976-1977	0.0	27.7	48.0	8.0	36.5	37.0	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	5.5	23.5	164.0	220.3	49.6	0.0	25.7	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.0	8.7	64.9	293.1	6.0	54.2	0.0	47.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	33.9	27.4	0.0	148.0	36.5	23.0	0.0	19.5	6.5	0.0	2.0	0.0
1980-1981	88.1	77.2	98.5	168.2	35.5	106.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
1981-1982	2.0	316.3	40.5	30.0	12.0	17.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0
1982-1983	0.0	150.1	278.2	137.1	76.1	18.1	46.7	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
1983-1984	0.0		143.3	107.6	101.3	14.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
1984-1985	1.5	163.2	30.3	372.5	75.0	32.1	10.0	0.9	0.0	0.0	0.0	10.5
1985-1986	0.0	30.6	38.6	93.5	0.0	25.0	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986-1987	85.0	149.8	91.2	4.8	77.1	0.0	0.0	45.6	0.0	0.0	0.0	2.0
1987-1988	2.0	84.5	4.5	444.8	241.1	22.0	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
1988-1989	0.0	0.3	31.5	58.5	67.8	31.0	0.0	4.2	0.5	0.0	0.0	0.0
1989-1990	3.5	11.0	17.6	119.5	70.8	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0

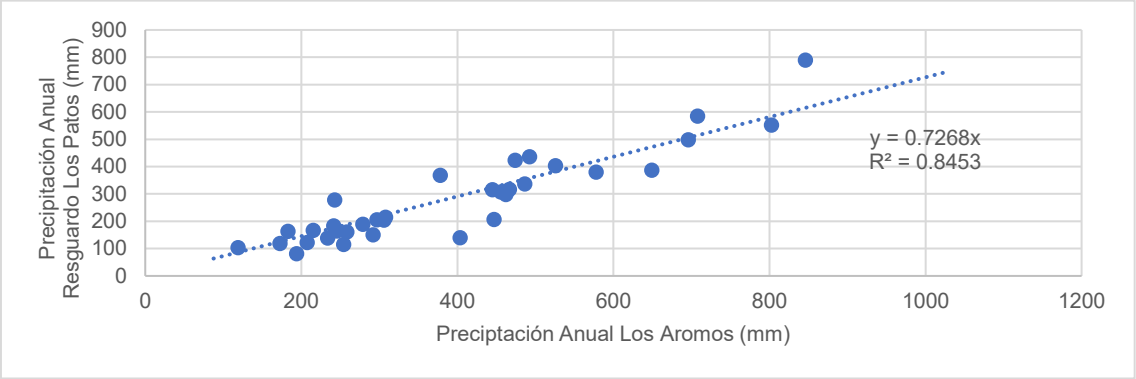
Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	0.0	0.0	1.0	66.5	14.5	25.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991-1992	8.0	81.5	188.0	65.1	7.5	114.5	21.0	0.0	4.5	0.0	0.0	35.5
1992-1993	34.7	224.5	239.5	4.5	114.0	27.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	101.5	44.0	63.5	45.0	37.0	8.0	7.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	14.5	106.5	40.0	51.8	18.5	23.0	2.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
1995-1996	26.1	0.0	60.0	133.5	54.5	5.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996-1997	21.5	12.0	44.5	84.5	85.0	0.0	3.0	0.0	2.5	0.0	0.0	1.0
1997-1998	1.5	165.5	382.7	82.5	201.0	86.5	104.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998-1999	21.0	7.5	22.5	13.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
1999-2000	6.5	8.5	46.5	27.5	46.0	104.5	2.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0
2000-2001	12.5	15.0	424.0	6.0	0.5	169.5	4.0	0.0		0.0	0.0	0.0
2001-2002	13.0	43.5	5.0	293.0	72.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
2002-2003	0.0	222.0	303.0	135.0	117.0	16.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003-2004	0.0	91.0	59.5	55.0	16.5	8.0	1.0	6.0	0.0	0.0	0.0	4.3
2004-2005	52.5	33.5	67.0	104.5	118.0	23.5	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	13.0
2005-2006	2.5	96.0	82.7	31.0	97.5	20.5	30.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006-2007	5.0	23.5	84.5	234.0	54.0	3.5	48.5	0.0	0.0	0.0	13.0	0.5
2007-2008	0.0	8.5	89.5	51.5	27.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2008-2009	17.5	196.5	61.0	46.3	162.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.0	136.5	13.0	122.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010-2011	0.0	47.0	101.5	45.0	7.5	24.0	14.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011-2012	12.0	0.0	117.0	44.5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-2013	0.0	85.5	173.5	0.0	57.5	0.0	56.5	5.5	25.0	0.0	0.0	0.0
2013-2014	0.0	127.0	42.0	2.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-2015	0.0	13.0	156.0	35.5	51.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
2015-2016	0.0	0.0	0.0	23.5	171.5	49.9	87.0	0.0	0.0		0.0	0.0
2016-2017	101.5	39.5	68.0	94.0	0.0	0.0	20.5	0.0		0.0	0.0	0.0
2017-2018	2.5	109.0	148.0	27.5	96.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0
2018-2019	0	22.5	82.5	146.5	20	27.5	7	0			0.0	2.5

C REGRESIONES LINEALES, ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

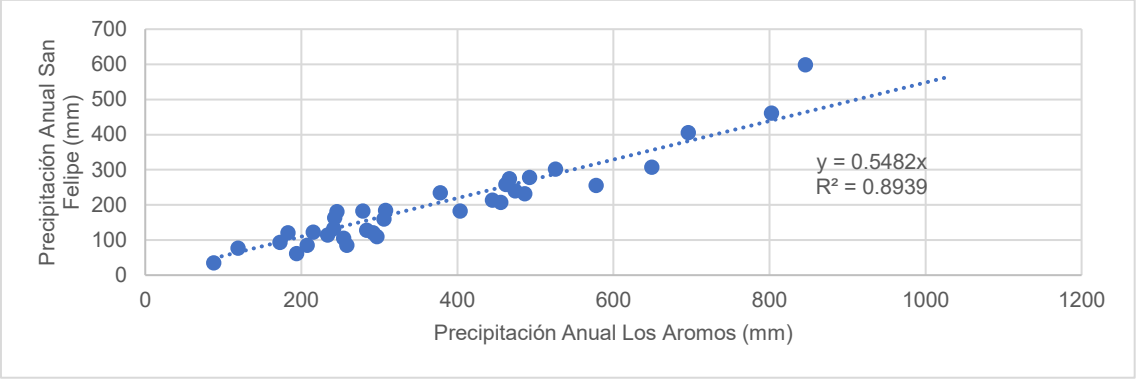
ANEXO C

Análisis de Regresión Lineal Utilizadas para el Relleno de Series de Precipitación

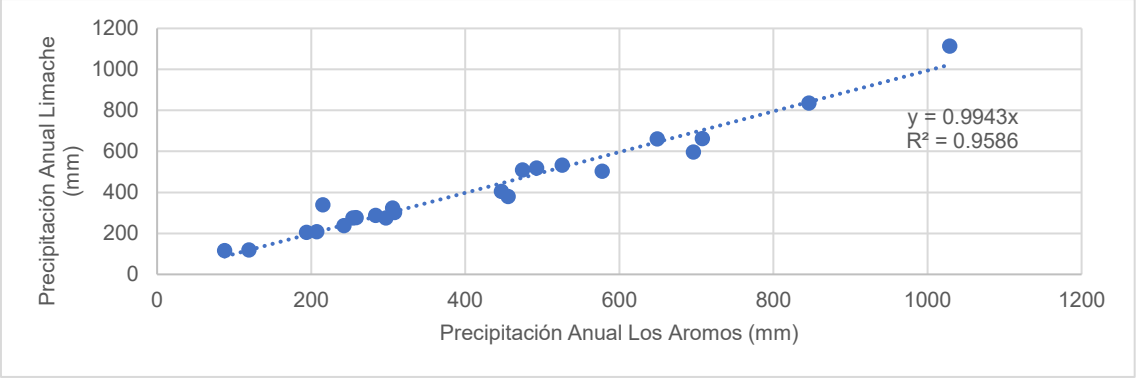
a) Los Aromos vs Putaendo en Resguardo Los Patos



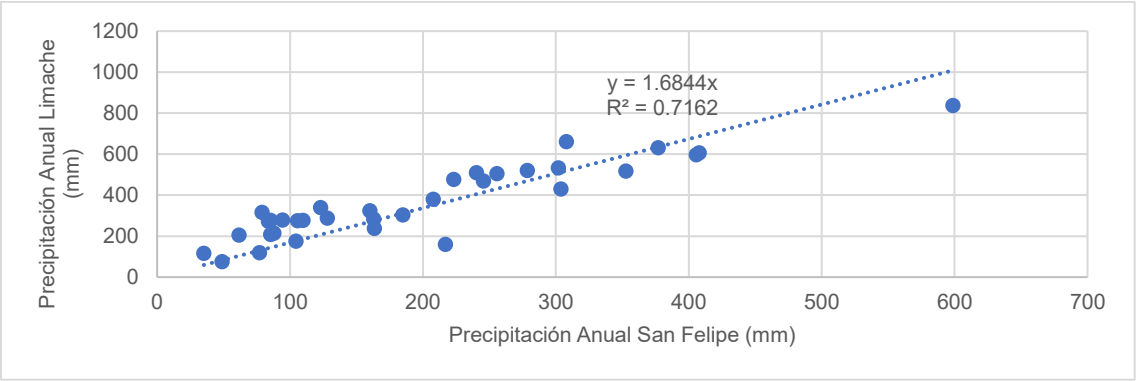
b) Los Aromos vs San Felipe



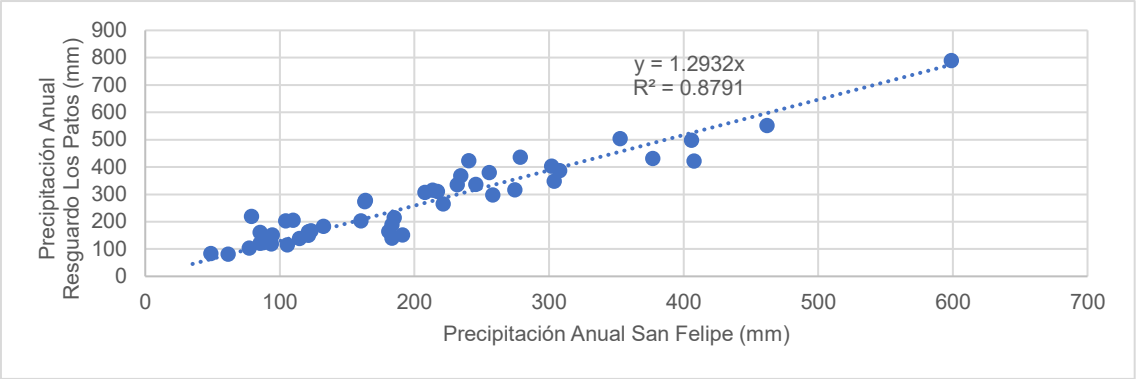
c) Los Aromos vs Limache



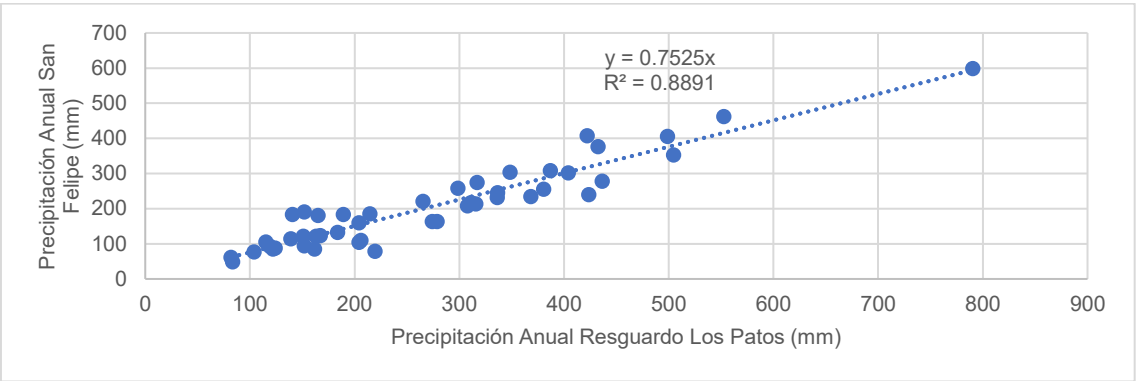
d) San Felipe vs Limache



e) San Felipe vs Putaendo en Resguardo Los Patos



f) Putaendo en Resguardo Los Patos vs San Felipe



D SERIES PLUVIOMÉTRICAS RELLENADAS

ANEXO D

Series Rellenadas de Precipitaciones Mensuales Estaciones de Interés

a) Estación Putaendo en Resguardo Los Patos (mm)

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	65.0	155.0	0.0	0.0	69.0	27.0	55.0	25.0	0.0	0.0	40.0	0.0
1951-1952	10.0	104.0	83.0	152.0	9.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1952-1953	0.0	95.0	104.0	42.0	18.0	56.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953-1954	42.0	88.0	55.0	65.0	234.0	48.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1954-1955	57.0	60.0	68.0	36.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0
1955-1956	22.0	107.0	38.0	49.0	36.0	16.0	34.0	9.0	16.0	0.0	0.0	0.0
1956-1957	13.0	10.0	14.0	82.0	32.0	15.0	5.0	10.0	10.0	0.0	0.0	7.0
1957-1958	0.0	199.0	8.0	37.0	50.0	14.0	7.0	0.0	23.0	0.0	0.0	11.0
1958-1959	0.0	109.0	89.0	22.0	18.0	12.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1959-1960	17.0	53.0	112.0	57.0	74.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0
1960-1961	0.0	22.0	153.0	57.0	27.0	10.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1961-1962	0.0	40.0	106.0	17.0	100.5	9.5	14.5	0.0	3.0	0.0	10.0	2.0
1962-1963	0.0	55.0	159.0	17.0	11.0	3.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1963-1964	0.0	28.0	90.0	75.0	80.0	116.0	13.3	30.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1964-1965	0.0	0.0	51.5	39.5	59.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1965-1966	12.0	49.5	12.5	139.0	259.0	8.0	18.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
1966-1967	16.0	6.0	145.5	92.5	47.5	0.0	5.5	12.5	11.0	0.0	0.0	2.5
1967-1968	0.0	8.0	45.5	45.0	9.0	95.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968-1969	17.5	0.0	9.5	0.0	20.0	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
1969-1970	16.0	5.5	65.5	0.0	32.5	0.5	1.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.5
1970-1971	0.0	113.0	0.0	126.5	12.5	26.0	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971-1972	0.0	2.0	54.0	15.4	26.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	4.0	27.0	191.5	20.0	104.0	58.0	10.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.5	54.0	44.5	92.5	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1974-1975	0.0	61.8	146.5	0.0	8.0	34.0	0.0	8.0	0.0	6.0	4.0	0.0
1975-1976	5.0	35.0	0.5	95.0	53.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1976-1977	5.0	17.0	40.0	2.0	25.0	11.5	33.5	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	3.0	25.5	96.0	189.5	70.0	15.0	28.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.0	3.5	21.5	242.5	18.0	28.0	2.0	108.0	0.0	0.0	8.0	0.0
1979-1980	16.5	7.0	0.0	68.0	51.0	28.5	0.0	13.0	14.0	0.0	6.0	0.0
1980-1981	119.5	15.5	68.0	91.5	10.0	46.0	20.5	0.0	3.5	0.0	0.0	25.0
1981-1982	1.0	96.0	30.0	20.5	28.0	6.0	0.0	0.5	0.0	16.0	0.0	0.0
1982-1983	0.0	94.5	222.0	145.5	71.0	26.0	8.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983-1984	32.0	27.0	79.0	133.0	47.5	30.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	15.5
1984-1985	0.0	31.0	14.0	352.0	24.0	38.0	16.4	3.0	4.5	0.0	7.2	0.0
1985-1986	1.0	27.4	0.0	75.0	2.0	0.6	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0

Año	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1986-1987	1.1	125.0	111.5	0.0	39.5	6.0	2.5	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1987-1988	15.5	10.8	46.2	445.2	239.5	13.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988-1989	0.0	7.5	6.0	26.0	12.9	13.5	0.0	13.0	3.0	0.0	0.0	0.0
1989-1990	3.5	36.5	2.5	97.3	128.5	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990-1991	1.5	6.5	3.6	20.2	41.5	30.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	11.0
1991-1992	3.9	44.0	159.5	107.7	0.0	73.1	2.8	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0
1992-1993	28.5	95.5	155.0	21.0	24.0	50.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	35.2	118.0	12.9	20.5	17.0	11.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0
1994-1995	4.0	23.0	8.5	65.7	3.8	34.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995-1996	11.0	7.0	58.5	29.0	14.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5
1996-1997	19.9	4.0	33.3	22.0	9.4	2.0	1.5	0.0	1.5	0.0	3.5	3.0
1997-1998	0.0	101.0	388.5	23.0	146.1	22.5	47.5	2.0	0.0	0.0	0.0	11.0
1998-1999	15.5	14.0	19.0	0.0	0.0	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999-2000	7.0	2.5	45.5	6.5	96.5	122.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	21.6
2000-2001	20.5	33.5	191.5	65.0	0.0	91.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
2001-2002	3.0	24.5	0.0	199.0	51.8	10.0	12.5	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0
2002-2003	17.0	154.5	166.0	119.5	59.5	19.0	1.0	0.0	0.0	0.1	0.0	9.0
2003-2004	0.0	92.0	23.0	51.0	2.5	0.5	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	24.6
2004-2005	46.5	0.8	50.5	54.2	67.0	24.0	0.0	31.0	0.0	0.5	6.0	0.0
2005-2006	13.5	37.0	106.3	8.5	128.0	46.0	12.0	10.5	0.0	0.0	0.0	2.0
2006-2007	0.0	6.5	46.0	213.5	14.5	1.0	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
2007-2008	0.0	6.2	100.0	30.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008-2009	16.5	92.0	76.0	27.0	120.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.0	81.0	13.0	67.0	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0
2010-2011	0.0	20.0	22.0	35.0	13.0	28.0	7.0	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011-2012	2.0	0.0	77.0	43.0	10.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
2012-2013	29.0	32.0	23.0	0.0	21.5	4.0	26.5	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0
2013-2014	0.0	61.2	24.5	2.5	28.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
2014-2015	0.0	0.9	87.0	5.5	23.0	14.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2015-2016	0.0	0.0	28.6	54.0	1.7	37.4	27.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016-2017	48.0	36.0	103.0	55.0	0.0	0.0	16.1	7.0	37.6	0.0	0.0	0.0
2017-2018	3.0	107.0	49.5	0.4	26.0	10.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-2019	0	12.4	28	24	12	27.5	0.0	0.0	0.0	0	0	1.8

b) Estación San Felipe (mm)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	48.9	116.6	0.0	0.0	51.9	20.3	41.4	18.8	0.0	8.3	0.0	0.0
1951-1952	7.5	78.3	62.5	114.4	6.8	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.0
1952-1953	0.0	71.5	78.3	31.6	13.5	42.1	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953-1954	31.6	66.2	41.4	48.9	176.1	36.1	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954-1955	42.9	45.2	51.2	27.1	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
1955-1956	16.6	80.5	28.6	36.9	27.1	12.0	25.6	6.8	12.0	0.0	0.0	18.8
1956-1957	9.8	7.5	10.5	61.7	24.1	11.3	3.8	7.5	7.5	0.0	0.0	0.0
1957-1958	0.0	149.7	6.0	27.8	37.6	10.5	5.3	0.0	17.3	0.0	0.0	5.3
1958-1959	0.0	82.0	67.0	16.6	13.5	9.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	8.3
1959-1960	12.8	39.9	84.3	42.9	55.7	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960-1961	0.0	16.6	115.1	42.9	20.3	7.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1
1961-1962	0.0	30.1	79.8	12.8	75.6	7.1	10.9	0.0	2.3	0.0	0.0	0.2
1962-1963	0.0	27.0	105.9	10.0	9.2	1.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1963-1964	0.0	21.8	52.3	82.7	68.0	130.1	8.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964-1965	0.0	0.0	40.6	18.0	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1965-1966	8.1	45.2	4.7	132.2	145.6	3.4	2.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0
1966-1967	23.7	2.2	112.8	78.7	20.4	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0
1967-1968	4.0	7.3	22.4	22.0	11.5	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968-1969	8.5	0.0	6.6	0.0	15.2	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969-1970	9.5	9.2	37.7	9.9	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970-1971	0.0	72.5	7.2	100.9	5.6	15.7	6.2	0.0	0.0	5.0	0.0	3.8
1971-1972	0.0	7.1	43.8	11.9	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	0.0	41.5	156.9	34.9	127.5	40.5	3.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.0	15.5	12.4	53.0	0.0	0.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974-1975	0.0	47.8	136.1	5.2	2.2	20.5	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1975-1976	6.0	22.9	0.0	96.3	19.7	0.0	3.3	11.0	0.0	0.0	0.0	0.9
1976-1977	0.0	9.4	29.4	4.0	22.4	8.6	38.3	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	3.5	20.8	70.6	128.8	29.2	0.0	8.9	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.4	6.8	16.5	131.7	14.0	16.8	0.5	53.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	6.8	6.7	0.0	45.0	17.0	20.0	0.0	9.8	2.0	2.0	0.5	0.0
1980-1981	59.3	9.0	48.5	56.6	10.5	68.3	0.0	1.0	2.0	0.0	0.4	0.0
1981-1982	1.0	95.1	26.1	11.4	11.2	0.5	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	10.0
1982-1983	0.0	73.9	167.1	74.5	70.0	13.8	7.6	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
1983-1984	17.6	32.3	84.5	113.4	27.0	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
1984-1985	2.2	25.9	15.9	275.2	19.1	47.3	7.6	0.1	0.2	0.2	0.0	12.0
1985-1986	0.0	17.3	1.7	49.4	4.0	0.7	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986-1987	1.3	103.2	44.8	0.0	28.6	2.0	9.3	14.0	0.0	0.0	0.0	4.5
1987-1988	14.3	28.9	1.1	339.9	182.5	7.5	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1988-1989	0.0	3.3	1.8	16.2	19.4	6.5	0.0	12.8	1.5	0.0	0.0	0.0
1989-1990	4.5	35.3	5.4	62.5	49.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	1.2	0.0	2.0	29.3	33.7	9.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991-1992	4.6	29.1	157.7	58.0	0.9	28.3	5.7	0.0	0.4	0.0	0.0	17.2
1992-1993	25.6	93.3	124.7	8.5	40.2	11.8	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	54.7	60.4	13.4	27.3	25.7	2.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	4.1	26.3	8.9	34.9	1.4	2.6	1.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0
1995-1996	8.4	4.4	22.2	45.5	28.6	17.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
1996-1997	25.9	9.1	16.2	29.7	14.1	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	9.4
1997-1998	0.0	96.4	315.7	26.6	110.2	25.2	30.4	1.8	0.0	0.0	2.6	1.2
1998-1999	14.7	7.8	5.9	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1999-2000	10.6	0.9	42.7	10.4	81.2	57.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000-2001	5.7	12.9	194.9	20.8	0.0	62.8	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7
2001-2002	7.0	25.6	0.7	112.9	48.0	6.5	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002-2003	8.3	97.9	185.3	117.6	34.2	10.8	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0
2003-2004	0.0	65.3	16.5	31.6	1.9	0.9	0.0	2.9	0.0	0.0	0.2	13.1
2004-2005	45.9	2.8	31.8	60.0	48.3	13.6	1.0	38.2	0.0	0.0	0.0	16.6
2005-2006	8.3	24.7	93.2	13.2	68.4	18.8	3.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2006-2007	0.3	5.2	68.1	126.0	20.1	0.0	48.5	0.0	0.0	0.0	6.1	0.3
2007-2008	0.0	1.4	84.4	9.8	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4
2008-2009	6.5	65.8	34.3	30.5	82.6	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.8	90.6	11.6	69.8	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010-2011	0.0	40.0	54.7	25.3	4.7	17.1	2.5	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2011-2012	0.5	0.3	52.7	37.6	10.3	4.2	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-2013	24.5	34.5	16.8	0.4	21.0	0.4	49.1	0.0	34.7	1.8	0.0	0.0
2013-2014	0.0	58.3	18.2	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-2015	0.0	8.5	51.3	7.6	22.3	15.8	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	14.5
2015-2016	0.0	0.0	0.0	29.9	101.3	20.3	28.6	9.1	0.0	1.8	0.0	0.0
2016-2017	45.2	20.9	66.6	34.0	0.0	0.0	25.4	0.0	29.1	0.0	0.0	0.0
2017-2018	2.4	92.7	53.6	11.9	28.2	19.5	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-2019	0.0	2.7	27.6	86.5	11.8	16.2	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

c) Estación Limache (mm)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	142.1	161.2	24.1	0.0	57.5	54.8	3.5	50.6	0.0	0.7	0.0	0.0
1951-1952	46.0	60.4	127.3	156.3	15.7	14.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
1952-1953	0.0	55.3	107.6	110.5	14.7	17.3	14.1	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0
1953-1954	58.3	133.5	19.6	39.9	201.3	63.3	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954-1955	57.5	116.3	191.4	40.4	14.4	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1955-1956	13.5	50.9	62.6	11.8	60.1	9.3	4.8	0.0	9.0	0.0	0.0	36.5
1956-1957	11.5	45.7	39.1	105.9	131.0	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1957-1958	0.0	189.7	25.6	161.2	33.7	22.1	0.0	0.0	66.3	0.0	0.0	0.0
1958-1959	0.0	108.2	195.5	12.6	105.2	37.9	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	11.5
1959-1960	17.2	31.2	174.4	111.0	61.6	20.9	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960-1961	0.0	44.2	169.6	73.8	53.0	6.7	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1961-1962	0.0	25.5	191.3	35.6	134.4	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962-1963	0.0	6.5	209.3	20.9	17.9	14.1	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1963-1964	0.0	64.8	53.1	235.5	188.0	89.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1964-1965	7.4	0.0	64.5	105.2	96.1	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
1965-1966	12.0	29.3	17.2	212.4	221.2	0.0	18.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1966-1967	65.0	2.6	205.2	140.5	35.0	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0
1967-1968	3.9	39.5	44.5	111.0	26.5	90.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968-1969	2.0	0.0	19.0	4.2	20.5	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969-1970	0.0	49.0	66.0	27.3	73.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970-1971	0.0	34.9	33.5	41.0	18.0	26.5	2.0	0.0	0.0	3.2	0.4	0.6
1971-1972	44.5	4.9	128.6	32.3	40.2	14.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972-1973	0.0	132.0	201.0	60.5	161.6	49.8	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1973-1974	0.0	29.7	31.3	64.7	0.4	1.8	48.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974-1975	0.0	135.4	294.5	9.0	4.6	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1975-1976	24.2	23.3	32.7	186.4	40.7	2.7	1.8	11.0	0.0	0.0	0.0	1.8
1976-1977	0.0	22.0	39.8	7.4	40.3	51.2	136.3	42.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1977-1978	8.7	23.6	112.9	257.0	65.0	0.0	40.2	11.4	1.4	0.0	0.0	0.0
1978-1979	0.0	14.6	98.5	285.9	8.2	56.7	0.0	46.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1979-1980	26.5	23.3	0.0	113.0	46.4	31.2	0.0	24.4	11.0	0.0	0.9	0.0
1980-1981	60.6	75.2	93.8	165.8	26.1	80.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
1981-1982	1.8	295.2	34.5	25.6	5.5	26.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
1982-1983	0.0	101.3	263.9	150.6	75.2	25.2	44.8	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0
1983-1984	4.6	50.3	148.2	95.4	107.4	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
1984-1985	0.0	72.7	31.6	381.1	65.4	25.5	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
1985-1986	0.9	33.4	33.9	96.1	0.0	24.2	15.6	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1986-1987	16.3	143.6	88.3	3.8	81.4	2.7	0.0	43.5	0.0	0.0	0.0	0.9
1987-1988	1.5	66.3	26.5	429.6	229.6	23.8	54.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
1988-1989	0.0	0.0	50.8	51.3	81.9	13.7	0.0	6.2	1.4	0.0	0.0	0.0
1989-1990	6.9	16.0	15.6	103.6	80.5	0.0	3.2	0.0	1.9	0.0	0.0	10.5

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	0.0	4.7	1.0	65.4	22.5	22.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991-1992	4.5	43.2	215.8	96.3	11.5	99.8	28.8	0.0	5.8	0.0	0.0	27.5
1992-1993	45.3	181.5	257.1	5.6	118.0	46.5	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993-1994	90.6	57.0	57.6	51.0	43.5	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-1995	31.5	115.5	48.6	36.2	15.2	29.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995-1996	17.8	2.3	65.1	133.3	62.0	2.8	2.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1996-1997	56.1	7.1	52.5	78.9	71.0	3.7	2.1	0.0	1.0	0.0	0.0	4.1
1997-1998	0.0	207.5	418.5	103.2	199.4	105.5	80.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998-1999	32.1	6.3	26.5	17.5	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
1999-2000	11.3	4.0	54.0	32.8	93.5	134.3	5.5	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0
2000-2001	12.4	14.9	421.6	6.0	0.5	168.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001-2002	12.9	43.3	5.0	291.3	72.1	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
2002-2003	0.0	220.7	301.3	134.2	116.3	15.9	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003-2004	0.0	90.5	59.2	54.7	16.4	8.0	1.0	6.0	0.0	0.0	0.0	4.3
2004-2005	52.2	33.3	66.6	103.9	117.3	23.4	0.0	49.7	0.0	0.0	0.0	12.9
2005-2006	2.5	95.5	82.2	30.8	96.9	20.4	29.8	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0
2006-2007	5.0	23.4	84.0	232.7	53.7	3.5	48.2	0.0	0.0	0.0	12.9	0.5
2007-2008	0.0	8.5	89.0	51.2	27.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2008-2009	17.4	195.4	60.7	46.0	161.6	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009-2010	0.0	0.0	135.7	12.9	121.3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010-2011	0.0	46.7	100.9	44.7	7.5	23.9	14.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011-2012	11.9	0.0	116.3	44.2	59.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-2013	0.0	85.0	172.5	0.0	57.2	0.0	56.2	5.5	24.9	0.0	0.0	0.0
2013-2014	0.0	126.3	41.8	2.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-2015	0.0	12.9	155.1	35.3	50.7	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
2015-2016	0.0	0.0	0.0	23.4	170.5	49.6	86.5	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0
2016-2017	100.9	39.3	67.6	93.5	0.0	0.0	20.4	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0
2017-2018	2.5	108.4	147.2	27.3	95.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018-2019	0.0	22.4	82.0	145.7	19.9	27.3	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

E DATOS FLUVIOMÉTRICOS ORIGINALES

ANEXO E

Series Originales de Caudales Medios Mensuales Estaciones de Interés

a) Putaendo en Resguardo Los Patos (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	2.9	3.9	3.2	2.5	3.6	3.7	7.5	10.8	16.8	6.8	4.4	3.5
1951-1952	3.3	3.6	3.8	6.2	5.0	5.1	7.7	14.5	9.8	6.0	7.3	2.9
1952-1953	2.4	3.2	4.0	4.1	4.5	7.4	9.0	17.9	15.8	6.2	3.7	3.1
1953-1954	2.8	3.4	4.6	3.5	8.1	19.2	23.2	62.7	67.1	34.3	15.4	6.8
1954-1955	6.4	5.4	6.1	5.3	5.1	4.7	6.5	18.6	12.4	7.6	3.8	4.2
1955-1956	3.4	5.1	3.5	4.0	3.5	9.2	13.6	30.0	15.3	5.6	3.5	3.9
1956-1957		3.8	3.2	3.2	4.4	4.4	11.6	17.4	4.6	5.2	3.4	2.8
1957-1958	2.7	5.1	5.4	3.3	5.5	5.2	14.8	20.3	18.3	9.0		3.9
1958-1959	3.5	3.3	7.5	3.9	3.7	5.6	18.5	13.7	6.9	4.7	3.8	4.9
1959-1960	4.0	4.0	3.4	6.5	5.5	10.4	12.9	13.9	14.9	5.6	4.5	3.6
1960-1961	3.5	3.5	6.7	2.8	3.2	3.5	6.0	19.3	16.2	7.8	3.4	4.0
1961-1962	2.9	2.3	3.5	5.2	6.8	7.9	17.3	29.2	23.3	7.7	7.4	4.4
1962-1963	2.4	2.3	3.1	4.0	3.9	3.7	7.0	17.7	10.1	6.3	4.9	4.7
1963-1964	4.1	3.4	3.8	5.3	4.6	6.7	10.4	12.6	40.4	45.3	11.5	12.2
1964-1965	8.5	4.3	4.1	4.1	4.0	5.8	6.2	6.8	6.8	4.7	2.8	2.5
1965-1966	2.9	2.6	2.4	3.6	12.5	9.9	17.5	30.4	29.3	26.9	8.6	6.1
1966-1967	5.0	4.2	4.0	3.8	4.1	6.7	9.3	14.0	11.2	7.3	5.1	3.6
1967-1968	3.0	2.6	2.5	2.3	2.2	2.7	4.0	4.2	3.7	2.8	2.3	2.1
1968-1969	1.8	1.6	1.4	1.2	1.3	1.7	1.9	2.2	1.4	1.3	1.3	1.1
1969-1970	1.0	1.2	1.8	1.3	1.4	1.7	2.0	5.6	6.0	2.6		1.0
1970-1971	0.8	1.2	1.0	1.4	2.4	2.5	5.2	11.4	8.8	4.6	2.8	2.0
1971-1972	1.6	1.6	1.4	1.9						2.8		1.6
1972-1973	1.4	2.3	5.5	4.5	6.8	10.0	12.0	22.8	51.5	45.7	18.7	9.4
1973-1974	4.9	4.2	3.9	5.0	4.2	4.3	5.5	15.1	12.0	9.1	4.6	2.6
1974-1975	1.6	1.7	2.7	4.1	3.6	3.8	9.9	17.9	15.5	8.8	4.9	3.5
1975-1976	2.7	2.3	2.5	2.8	4.0	4.5	5.8	7.8	8.2	4.1	3.6	2.5
1976-1977	1.4	1.3	3.1	1.6	4.1	3.8	4.1	6.0		4.0		2.6
1977-1978	2.3	2.0	2.1	26.6	67.4	43.0	39.8	25.7	30.4	14.0	8.8	6.5
1978-1979	4.1	3.5	3.0	7.8	8.5	14.4	26.2	40.0	25.1	1.4	6.4	5.5
1979-1980	3.9	3.5	2.4	2.0	2.8	3.8	5.8	6.9	7.9	5.4	3.7	1.4
1980-1981	1.4	5.2	4.7	4.4	6.4	7.6	10.6	13.6	23.9	10.1	5.6	3.6
1981-1982	2.6	3.3	3.0	2.9	2.8	3.2	3.6	3.4	3.0	4.1	3.8	4.0
1982-1983	3.2	3.1	7.6	17.7	16.6	17.4	20.9	35.0	65.1			
1983-1984					8.0		19.0					
1984-1985						12.2	27.3	34.5	35.9	22.7	12.0	8.8
1985-1986	5.6	4.1					3.4	8.4	5.1	2.9	2.6	2.1

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1986-1987	1.9	2.0	9.7	4.8	4.7	7.2	11.3	21.0	30.9	13.8	7.8	4.8
1987-1988	3.2	2.9	4.1	14.3	25.0	20.9	32.9	64.6	56.9	36.4	17.1	10.0
1988-1989	6.1	4.9	4.1	3.0	2.9	2.8	3.9	4.5	3.1	2.3	2.0	1.6
1989-1990	1.4	1.5	1.3	1.4	4.6	7.4	11.5	16.4	9.1	4.5	3.1	2.5
1990-1991	2.1					3.0	3.7	4.8	2.8	1.9	1.4	1.2
1991-1992	1.5	2.4	3.4	5.9	4.7	10.0	10.7	21.5	23.0	18.4	7.4	4.6
1992-1993	4.2	4.4	5.9	5.0	5.8	9.1	16.1	21.0	18.2	10.6	5.3	4.0
1993-1994	4.0	8.7	5.6	5.1	4.6	5.5	7.9	12.9	11.2	5.7	3.3	2.5
1994-1995	2.2	2.0	2.0	2.0	2.6	3.5	5.6	10.3	6.8	4.7	2.8	2.2
1995-1996	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	3.0	3.5	6.6	3.4	2.2	1.6	1.4
1996-1997	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.6
1997-1998	0.9	1.1	9.3	7.1	12.0	17.6	18.9	33.1	64.3	42.6	16.6	9.1
1998-1999	6.6	4.2	3.4	2.7	2.4	2.1	2.9	2.7	2.7	2.3	1.8	1.8
1999-2000	1.7	1.6	1.6	1.5	2.1	7.1	10.3	12.3	9.7	4.8	3.0	2.4
2000-2001	2.2	2.2	3.5	7.1	7.8	9.4	20.6	26.2	28.7	11.2	6.1	4.3
2001-2002	3.5	3.0	2.6	4.1	6.3	8.0	14.4	18.3	22.3	9.0	5.6	3.8
2002-2003	3.0	4.1	8.1	7.6	12.5	12.0	18.7	35.3	40.2	22.3	11.0	6.4
2003-2004	4.4	4.3	5.0	5.0	4.2	4.5	7.7	15.7	9.9	5.6	3.7	2.8
2004-2005	2.7	2.3	2.2	2.1	2.8	4.1	3.9	6.5	6.2	3.4	2.5	2.3
2005-2006	2.0	2.1	6.9	4.5	7.4	13.3	20.5	39.1	43.4	22.0	10.7	4.6
2006-2007	3.7	3.2	3.6	7.2	7.1	9.4	21.4	33.3	26.4	13.5	6.0	3.8
2007-2008	2.7	2.2	2.6	2.3	2.4					4.7	3.4	2.7
2008-2009	2.2		5.9	3.9	9.1	9.5	15.7	38.6	27.4	10.8	5.6	4.5
2009-2010	4.1	2.9	2.6	3.1	4.6	6.5	8.9	12.9	12.5	7.2	4.2	4.0
2010-2011	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.6	3.1	4.1	2.8	2.0	1.9	1.6
2011-2012	1.5	1.5	1.6	1.8	2.1	4.7	5.5	8.8	5.6	3.2	2.5	1.9
2012-2013	1.6	2.2	2.1	2.0	2.0	2.2	2.2	5.2	2.9	2.1	1.5	1.3
2013-2014	1.2	1.2	1.6	1.5	1.9	2.3	4.1	8.1	5.8	2.5	1.7	1.5
2014-2015	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	3.2	2.3	1.6	1.1	0.9	1.1
2015-2016	1.0	0.9	0.8	0.9	3.4	5.0	5.6		20.8	11.4	6.2	3.1
2016-2017	3.3	2.9	6.7	4.4	5.3	7.9	10.6	12.7	13.9	8.2	6.5	1.9
2017-2018	0.7	2.9	2.8	2.5	2.0	2.1	2.4	4.7	5.6	3.3	2.6	2.5
2018-2019	1.38	1.21	0.90	0.85	0.96	1.02	1.11	2.42	4.50	4.22	4.45	4.36

b) Aconcagua en Chacabuquito (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	13.8	13.6	9.9	7.8	8.9	15.0	23.6	34.5	71.3	42.8	28.2	19.9
1951-1952	14.3	11.6	12.9	17.6	15.5	16.3	22.0	47.0	56.9	42.8	25.5	17.9
1952-1953	13.7	13.4	13.6	13.3	12.9	21.6	28.4	59.1	77.2	46.8	37.5	23.2
1953-1954	16.4	14.1	15.8	14.0	27.0	42.0	43.6	123.3	177.3	124.6	76.2	37.2
1954-1955	19.8	14.1	14.9	12.0	15.1	20.1	24.7	59.4	57.9	51.5	39.4	20.8
1955-1956	13.4	12.1	12.2	10.4	10.3	16.8	23.4	56.0	54.3	36.4	29.8	20.0
1956-1957	13.2	10.9	9.7	9.2	11.7	12.5	21.1	35.1	29.7	29.3	24.3	19.3
1957-1958	13.6	16.4	17.2	14.1	12.7	17.1	24.1	42.3	59.3	42.2	24.4	20.8
1958-1959	14.1	11.7	16.0	13.4	10.9	14.8	34.9	42.4	39.7	29.5	27.0	20.3
1959-1960	13.4	13.1	12.9	14.5	13.8	21.9	25.6	48.5	69.1	32.9	31.3	19.8
1960-1961	12.2	8.4	13.3	11.3	13.1	16.3	30.3	71.9	83.8	44.6	32.1	28.3
1961-1962	14.6	10.9	14.0	13.0	14.5	18.1	45.5	85.6	96.7	52.9	47.0	20.3
1962-1963	16.2	11.7	12.5	15.2	15.3	16.5	32.9	77.4	67.5	40.9	31.4	20.9
1963-1964	12.7	10.0	10.5	15.2	13.6	27.7	33.1	43.3	148.9	127.3	63.8	31.8
1964-1965	18.1	13.2	10.9	9.3	8.7	11.3	14.2	18.3	20.2	25.6	23.1	19.3
1965-1966	15.0	11.7	9.8	12.0	25.8	27.8	47.9	95.6	83.7	91.6	46.7	26.6
1966-1967		11.7	11.0	14.0	13.4	20.2	29.2	52.2	53.4	46.3	35.6	20.7
1967-1968	14.1	10.0	10.0		6.8	9.1	16.2	22.2	33.1	25.8	22.6	14.0
1968-1969	9.1	7.0	6.2	5.9	5.9	6.6	7.4	15.5	16.2	21.9	19.2	5.9
1969-1970	6.5	5.6	7.3	4.9	6.2	8.7	11.2	36.2	71.1	40.8	31.3	19.1
1970-1971	11.5	9.5	8.6	8.8	10.9	12.5	23.4	47.3	46.4	32.2	26.6	15.3
1971-1972	9.6	7.4	5.7	9.9	11.7	15.7	30.3	63.3	45.0	36.4	26.6	14.1
1972-1973	10.0	17.5	25.4	20.7	25.3	36.1	41.5	75.7	190.7	178.8	97.5	57.8
1973-1974	28.5	18.8	17.0	18.7	16.9	16.6	23.9	52.9	57.2	64.8	40.8	27.3
1974-1975	17.4	12.7	15.7	20.2	18.6	18.4	40.1	66.0	72.2	72.8	39.6	24.1
1975-1976	15.4	11.2	10.3	11.4	13.8	17.9	23.7	32.0	53.9	39.9	25.9	18.5
1976-1977	13.6	9.4	9.4	8.1	8.2	11.1	17.3	28.6	52.8	43.8	26.5	20.9
1977-1978	11.7	10.7	10.9	18.3	22.6	46.4	57.5	93.3	123.0	74.1	46.8	27.1
1978-1979	16.6	13.1	11.4	24.7	23.1	25.2	45.0	90.3	168.4	124.7	56.4	32.4
1979-1980	18.7	15.1	11.4	10.5	14.1	18.6	28.8	38.8	59.9	62.9	40.4	31.7
1980-1981	37.2	31.2	23.4	22.4	23.9	25.8	38.8	64.6	110.9	70.5	54.9	34.0
1981-1982	19.1	18.9	15.5	10.8	12.4	12.6	20.1	37.2	32.9	34.1	26.0	16.3
1982-1983	13.8	14.1	26.9	39.6	33.3	44.9	50.9	88.8	180.3	167.2	112.8	55.6
1983-1984	29.4	19.0	15.4	17.7	19.8	20.2	52.4	94.2	116.4	75.1	49.7	26.5
1984-1985	17.3	12.7	10.0	17.3	18.6	24.9	66.7	90.7	118.4	100.9	63.2	45.8
1985-1986	24.0	18.9	15.3	16.2	14.5	14.5	21.0	58.1	57.4	45.1	34.6	23.3
1986-1987	16.3	14.5	47.6	24.9	22.2	25.6	42.0	78.3	148.3	100.6	61.5	37.7
1987-1988	19.2	14.5	17.8	39.8	50.0	35.6	55.1	146.8	176.1	149.9	78.5	43.3
1988-1989	24.2	15.2	11.0	9.5	10.5	10.5	18.4	32.6	31.7	31.1	29.2	17.4
1989-1990	10.7	9.1	6.5	6.7	14.7	23.0	38.5	78.0	58.3	36.3	25.8	16.8

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	10.5	7.7	7.1	7.0	7.3	11.4	19.0	33.5	29.5	25.5	20.2	15.7
1991-1992	11.9	13.6	16.2	27.5	20.8	33.9	38.3	77.6	85.1	80.2	49.0	32.8
1992-1993	19.0	16.7	21.1	17.7	16.5	22.0	41.4	65.9	74.7	65.0	38.0	26.3
1993-1994	19.8	43.3	32.0	16.3	14.6	17.5	27.7	45.7	54.5	44.1	27.0	21.7
1994-1995	13.8	11.5	10.5	11.7	14.6	18.7	24.6	50.2	56.8	39.5	26.0	18.2
1995-1996	13.1	11.9	10.8	10.5	9.9	16.0	18.4	42.6	39.1	25.9	22.7	19.0
1996-1997	11.9	9.1	8.0	7.4	6.5	6.6	9.0	12.1	14.5	19.5	15.4	13.3
1997-1998	9.5	7.4	25.6	22.3	28.8	38.0	39.7	73.6	132.6	146.0	63.7	35.6
1998-1999	26.1	17.3	12.6	11.8	10.6	9.1	16.5	22.1	27.3	25.5	23.1	16.0
1999-2000	10.5	8.8	8.2	8.8	10.4	22.3	37.0	56.3	51.6	37.1	22.7	16.8
2000-2001	13.4	9.9	13.8	23.2	21.9	24.1	55.9	72.4	122.3	77.7	48.9	27.6
2001-2002	15.7	11.8	9.6	13.0	19.3	22.3	43.0	60.2	106.6	57.3	38.1	22.3
2002-2003	13.7	15.0	24.6	25.5	30.1	31.5	51.1	98.4	135.2	126.7	76.4	39.6
2003-2004	19.9	15.7	16.8	16.7	14.9	15.7	32.8	57.7	52.9	45.0	30.9	19.6
2004-2005	13.6	9.9	9.2	8.9	11.3	17.1	16.1	33.1	43.3	34.4	23.9	18.6
2005-2006	11.1	10.6	32.2	19.9	29.1	37.4	53.6	110.0	162.8	134.8	74.8	28.7
2006-2007	16.4	12.1	12.0	28.2	21.9	24.6	46.8	85.8	107.9	81.0	37.0	25.3
2007-2008	14.3	10.8	10.6	12.9	11.6	17.2	31.2	57.7	53.7	42.4	26.8	17.5
2008-2009	12.7	21.0	22.9	13.5	24.0	25.9	45.1	111.4	102.4	60.7	39.0	23.9
2009-2010	15.9	10.8	9.0	10.5	13.1	22.2	28.5	46.7	71.1	53.3	34.2	25.9
2010-2011	14.5	10.2	9.3	8.6	8.6	8.5	11.8	20.4	18.4	17.3	16.1	12.4
2011-2012	7.9	6.0	5.3	5.6	6.4	10.3	16.4	33.9		25.3	19.3	14.6
2012-2013	9.9	10.8	9.9	9.7	8.4	12.7	14.6	39.9	33.5	32.1	24.1	13.1
2013-2014	8.1	6.2	8.4	7.6	8.4	10.3	18.0	37.9	43.4	30.8	19.9	12.1
2014-2015	8.8	7.0	7.2	6.0	5.5	8.0	18.9	21.0	20.4	21.0	16.2	13.2
2015-2016	8.4	6.2	4.9	5.6	11.1	14.5	20.1	46.9	76.0	57.8	36.7	22.2
2016-2017	21.9	17.2	21.9	17.5	17.7	26.1	34.0	56.8	70.4	55.0	30.9	19.1
2017-2018	17.1	14.2	13.2	11.8	10.3	13.0	18.0	26.9	37.4	23.3	21.9	13.4
2018-2019	10.07	6.75	6.48	5.99	6.39	9.05	11.35	25.13	26.65	23.91	20.33	12.59

c) Juncal en Juncal (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961												
1961-1962												
1962-1963												
1963-1964												
1964-1965												
1965-1966												
1966-1967												
1967-1968												
1968-1969												
1969-1970												
1970-1971	4.1	2.2	1.7		1.9	1.8	3.0	5.8	7.7	6.6	6.8	4.6
1971-1972	2.4	1.5	1.5	1.5	1.5	2.8	4.0	9.4	9.6	10.6	8.4	4.6
1972-1973	3.2	2.3	2.0	1.9	1.8	2.1	4.0	6.8	20.2	25.0	18.8	13.4
1973-1974	7.2	4.1	2.8	2.0	1.6		3.4	8.4	11.9	15.0	11.5	7.8
1974-1975	5.3	3.0	1.9	1.6	2.2	2.2	5.4	9.0	11.2	16.4	11.8	8.6
1975-1976	4.1	2.5	2.0	1.8	1.7	2.6	3.3	4.5	9.7	10.7	7.8	5.9
1976-1977	4.0	3.0				2.4	2.3	6.8	9.8	12.2	8.9	7.3
1977-1978	4.2	2.6	2.3	2.1	1.9	2.5	6.5	12.7	22.4	19.8	14.8	8.8
1978-1979	5.7	3.9	2.8	2.6			5.4	10.7	24.0	30.0	15.8	8.4
1979-1980	4.6	2.9	2.3	2.0	2.0	1.9	3.5	4.6	8.9	16.1	10.5	9.1
1980-1981	5.0	3.2	2.5	2.2	2.4	3.9	4.0	7.3	21.8	17.2	15.3	8.0
1981-1982	4.3	2.6	2.1	2.0	2.8	3.3	4.6	7.6	9.3	10.5	7.7	5.7
1982-1983	4.2	3.0	2.7	2.6	2.6	3.0	4.2	8.9	20.4	25.6	20.5	9.4
1983-1984	6.1	4.7	4.1	3.8				8.9	16.2	14.4	10.3	6.0
1984-1985	3.8	2.5	2.1		1.8	1.9	4.1	6.4	11.3	12.3	12.0	10.4
1985-1986	6.0	4.0	3.4	2.9	2.6	2.3	3.1	9.3	12.8	12.2	8.4	8.1
1986-1987	4.6							9.3	13.7	19.7	14.1	12.0
1987-1988	6.1	3.3	2.9	2.6	2.4	2.4	3.9	11.3	16.5	19.7	15.0	11.8
1988-1989	7.6	3.9	2.7	2.2	1.9	2.2	3.7	7.2	8.9	9.7	9.6	6.4
1989-1990	3.9	2.2	1.9	1.7	1.5	2.0	4.6	9.3	10.6	9.6	7.0	4.8

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	2.7	1.9	1.6	1.4	1.6	1.6	2.9	10.9	8.3	7.2	6.1	5.6
1991-1992	2.9	2.1	1.8	1.7	1.6	1.9	4.2	8.2	10.5	9.2	12.4	9.5
1992-1993	5.0	3.3	2.5	2.4	2.3	2.7	5.0	8.5	10.2	10.9	10.9	9.6
1993-1994	5.6	5.1	2.8	2.4	2.5	3.0	4.6	7.5	8.1	10.5	7.2	5.8
1994-1995	2.7	2.2	2.0	1.8	1.8	2.3	3.3	8.4	11.7	10.1	7.8	5.7
1995-1996	4.0	2.7	2.0	1.7	1.6	2.2	3.3	8.3	9.1	7.0	6.8	6.0
1996-1997	3.2	2.4	1.6	1.5	1.6	1.8	2.3	3.6	4.5	6.2	5.4	4.0
1997-1998	2.8	1.8	1.3	1.4	1.6	2.1	3.1	6.5	12.2	17.7	12.7	7.9
1998-1999	6.0	3.7	2.8	2.1	1.7	1.7	4.2	6.0	7.9	7.6	7.6	5.0
1999-2000	2.6	2.5	1.8	1.6	1.8	2.3	4.4	10.1	9.6	10.0	6.8	5.0
2000-2001	3.5	2.2	1.8	1.6	1.7	2.1	6.3	8.6	15.0	15.0	13.3	9.1
2001-2002	5.5	3.2	2.5	2.1	2.0	2.1	5.8	8.7	15.6	13.4	10.5	6.5
2002-2003	3.7	2.7	2.3	2.1	2.2	2.3	4.3	9.2	15.1	21.1	16.8	11.6
2003-2004	7.0	4.3	3.1	2.7	2.7	3.1	4.6	7.9	10.4	11.1	10.6	7.1
2004-2005	4.0	2.5	2.1	1.8	1.8	2.3	2.6	3.7	6.0	9.5	8.8	5.3
2005-2006	2.9	2.0	1.8	1.7	1.9	2.0	4.1	8.4	18.8	24.0	15.7	9.7
2006-2007	6.2	4.2	2.8	2.7	2.4	3.1	5.7	9.5	16.0	18.6	11.0	8.7
2007-2008	5.0	3.4	2.7	2.5	2.1	2.6	4.2	5.8				
2008-2009	3.7	2.6	2.1	1.9	1.7		6.4	9.4	11.4	10.3	8.7	7.3
2009-2010	5.8	3.1	2.1	1.9	1.9	2.3	3.3	5.6	10.3	11.9	9.9	9.2
2010-2011	6.1	4.2	3.4	2.9	2.7	2.8	3.6	4.8	6.4	7.3	6.5	5.3
2011-2012	3.3	2.3	1.9	1.7	1.7	2.1	3.2	6.0	8.6	8.3	7.4	6.2
2012-2013	3.7	2.7	2.3	2.3	2.3	3.0	3.2	6.5	9.0	9.5	7.3	4.7
2013-2014	3.4	5.8	2.5	1.8	2.7	1.9	2.5			9.2	6.7	4.3
2014-2015	3.1	2.2	1.8	1.7	2.0	1.8	3.5	4.8	5.6	6.5	5.4	4.5
2015-2016	2.9	1.7	1.2	1.9	1.0	1.2	1.3	3.6	8.1	9.8	8.5	6.4
2016-2017	4.6		2.0	1.7	1.8	3.4	4.0	6.8	8.9	10.2	7.4	5.4
2017-2018	3.9	2.7	2.2	2.0	1.8	2.3	2.7	4.7	7.6	6.6	6.7	4.5
2018-2019	3.23	2.11	1.58	1.44	1.55	2.07	2.14	4.32	6.11	7.12	7.54	4.96

d) Estero Pocuro en Sifón (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	0.2	0.9	0.5	0.3	0.8	0.7	1.3	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2
1951-1952	0.3	0.6	0.8	1.8	1.1	0.9	0.8	0.9	0.5	0.3	0.4	0.2
1952-1953	0.2	0.5	1.1	1.1	1.0	1.7	1.4	1.5	1.0	0.5	0.3	0.3
1953-1954	0.3	0.5	0.8	1.0	4.1	7.0	3.6	3.3	2.3	1.2	0.6	0.4
1954-1955	0.4	0.4	0.8	0.7	0.8	0.6	0.6	0.8	0.4	0.4	0.5	0.5
1955-1956	0.5	0.5	0.8	0.6	0.5	0.7	0.8	1.0	0.4			
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961								1.3	0.6	0.3	0.3	0.4
1961-1962	0.2	0.2	0.4									
1962-1963				0.9	1.1	1.1	1.3	1.6	1.1	0.6	0.4	0.4
1963-1964	0.3	0.3	0.3	0.4	1.9	5.1	6.6	5.8	2.6	1.2	0.7	0.5
1964-1965	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.1	0.2	0.7	0.3
1965-1966	0.3	0.2	0.4	0.5	5.9	3.2	3.5	3.7	1.8	0.9	0.3	0.4
1966-1967	0.3	0.3	0.6	1.0	1.8	0.8	1.7		1.7	0.6	0.4	0.3
1967-1968	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	1.4	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1
1968-1969	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1969-1970	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
1970-1971	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4		0.3	0.1	0.1
1971-1972	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
1972-1973	0.2	1.1	4.4	3.3	4.8	4.4	3.1	2.8	2.8	1.5	0.6	0.6
1973-1974	0.8	0.5	0.5	2.0	0.7	0.6	0.8	0.9	0.5	0.3	0.3	0.2
1974-1975	0.1	0.2	1.1	2.3	1.0	0.8	1.0	1.1	0.8	0.4	0.3	0.3
1975-1976	0.3	0.3	0.5	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2
1976-1977	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.9	1.7	0.6	0.3	0.2	0.2
1977-1978	0.2	0.2	0.1	3.2	3.5	3.8	3.6	3.5	2.4	1.6	1.5	1.5
1978-1979	1.3	1.3	1.4	5.3	3.1	2.8	3.1	3.5	2.0	0.9	0.5	0.4
1979-1980	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.8	0.5	0.6	0.5	0.2	0.4	0.1
1980-1981	1.1	1.2	0.7	1.5	1.3	0.9	0.8	1.2	1.2			
1981-1982			0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1
1982-1983	0.1	0.6	6.7									
1983-1984							2.5	2.1	1.1	0.6	0.5	0.4
1984-1985	0.3	0.4	0.4	2.3	3.3	3.8	6.0	3.4	2.1	1.1	0.7	0.6
1985-1986	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.6	0.7	0.3	0.2	0.2	0.1
1986-1987	0.2	0.2	4.2						0.9	0.4	0.3	0.3
1987-1988	0.2	0.3	0.6	6.9	7.9	3.9	4.0	3.8	2.2	1.5	0.8	0.5
1988-1989	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1
1989-1990	0.1	0.3	0.2	0.2	1.7	1.7	1.4	1.3	0.5	0.3	0.2	0.2

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
1991-1992	0.1	0.4	0.9	3.1	1.7	2.1	1.7	1.6	1.0	0.4	0.3	0.3
1992-1993	0.3	0.8	2.7	2.5	1.8	2.3	2.1	1.6	1.0	0.5	0.4	0.3
1993-1994	0.5	1.4	1.6	1.2	0.9	0.8	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
1994-1995	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1
1995-1996	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1
1996-1997	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
1997-1998	0.1	0.3	9.8	4.9	4.6	5.4	3.7	3.3	2.6	1.5	0.7	0.5
1998-1999	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
1999-2000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.3	1.1	1.0	0.5	0.2	0.2	0.1
2000-2001	0.2	0.2	1.4	3.5	2.4	2.7	2.9	2.1	1.7	0.8	0.6	0.5
2001-2002	0.5	0.4	0.4	0.8	1.3	1.4	1.5	1.3	0.8	0.4	0.3	0.3
2002-2003	0.3	0.8	3.6	2.3	4.3	3.2	2.5	2.2	1.5	0.9	0.5	0.4
2003-2004	0.3	0.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
2004-2005	0.1	0.2	0.2	0.2	0.6	0.8	0.6	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2
2005-2006	0.2	0.2	2.3	1.1	2.2	3.1	2.1	2.0	1.4	0.6	0.4	0.2
2006-2007	0.2		0.3	3.8	2.4	1.4	1.6	1.4	0.7	0.4	0.3	
2007-2008	0.3	0.2	0.3	0.3								
2008-2009			2.6	1.5	3.5	1.5	1.4	1.4	0.7	0.5	0.3	0.3
2009-2010	0.2	0.2	0.3	0.3	0.9	2.4	1.4	1.4	1.0	0.4	0.4	0.4
2010-2011	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.2
2011-2012	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1
2012-2013	0.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2
2013-2014	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3		0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
2014-2015	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	
2015-2016		0.2			0.9	0.5	1.0	1.3	0.9	0.4	0.3	0.3
2016-2017	0.7				0.9	0.7	0.8	0.8				0.2
2017-2018	0.3	0.6	0.7	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
2018-2019	0.14	0.23	0.33	0.34	0.31	0.37	0.43	0.48	0.34	0.29	0.18	0.14

e) Aconcagua en Romeral (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960				35.1	33.7	23.3	16.5	54.6	69.6	36.1	12.7	13.8
1960-1961	14.8	18.7	33.7	27.1	24.4	6.7	15.8	74.1	70.8	20.2	7.1	22.4
1961-1962	16.5	11.7	24.3	18.5	22.6	28.4	43.2	85.3	99.9	29.2	15.3	12.6
1962-1963	13.8	12.8			1.1	0.6	0.8	1.9	1.4	0.8		0.6
1963-1964	0.7	0.8	1.0	1.5	1.6	82.6	51.9	62.7	212.2	203.4	48.7	25.7
1964-1965	20.8	19.5	24.9	24.8	22.3	17.0	2.7	2.4	3.5	3.6	9.8	29.1
1965-1966	22.2	21.2	20.9	35.7	58.3	45.2	58.2	123.4	87.0	107.5	27.6	23.5
1966-1967	30.4	27.3	24.5	42.8	38.2	24.9	27.5	57.1	48.7	36.9	25.3	13.7
1967-1968	16.8	19.8	25.6	23.7	17.7	14.8		7.0	12.0	4.0	5.6	6.7
1968-1969	7.5	10.0	10.9	11.3	10.5	8.5	7.3	4.1	3.1	2.4	2.9	4.3
1969-1970	4.8	8.3	14.8	11.1	12.4	2.5	2.5					
1970-1971							5.1	20.4	17.5	3.5	2.2	2.8
1971-1972	4.5	7.6	13.3	20.4	17.2	7.1	12.1	36.6	13.3	7.7	4.2	4.7
1972-1973	5.1	24.3	51.1	41.4	56.5	62.5	34.6	64.5	96.6			
1973-1974												
1974-1975												
1975-1976												
1976-1977					13.8	6.4	9.2	30.0	17.9	27.6	10.5	11.2
1977-1978	9.7	14.4	23.3	54.4		21.4	50.6	131.4	158.2	79.5	29.6	13.0
1978-1979	12.7	12.5	16.3	55.2	8.8	8.6						
1979-1980												
1980-1981												
1981-1982												
1982-1983												
1983-1984												
1984-1985												
1985-1986												
1986-1987												
1987-1988												
1988-1989												
1989-1990												

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991												
1991-1992												
1992-1993												
1993-1994												
1994-1995									11.5	10.6	9.4	10.0
1995-1996	10.4	9.8										
1996-1997												
1997-1998												
1998-1999												8.3
1999-2000	8.5	10.6	13.9	15.4	13.9	13.0	9.1	10.1	3.6	5.7	3.9	6.2
2000-2001	10.9	11.9	26.7	27.0	12.1	15.3	28.7	42.7	102.1	47.2	21.1	14.5
2001-2002	11.9	14.7	12.7	29.4	34.0	26.5	36.0	45.1	77.9	25.5	14.7	12.3
2002-2003		31.2	94.9	112.9	70.5	46.5	50.3	103.8	111.3	82.5	44.4	24.8
2003-2004	12.9	19.4	27.7	21.9	14.0	10.5	15.5	29.8	26.1	17.4	11.6	10.4
2004-2005	16.4	17.4	17.2	20.6	25.7	14.2	6.7	20.4	16.3	8.8	6.5	9.6
2005-2006	8.1	15.3	35.5	29.5	39.2	38.2	40.1	123.8	138.2	88.1	46.4	21.5
2006-2007	20.6	24.8	27.9	50.6	43.9	32.3	32.6	57.8	71.4	52.9	21.6	13.7
2007-2008	13.6	14.0	29.0	29.1							6.1	9.1
2008-2009	10.3	36.3	53.0	29.8	57.6	28.3	25.5	136.6	99.8	48.4	25.9	17.0
2009-2010	16.3	19.8	30.3	39.8	44.1	33.2	15.0	36.1	53.7	29.8	17.0	18.8
2010-2011	15.7	21.5	29.9	27.9	18.1	6.1	3.9	9.7	2.6	4.9	4.1	4.6
2011-2012	5.3	5.4	8.7	13.9	8.9	4.3	3.6	9.2	12.1	6.8	5.4	4.2
2012-2013	4.9	10.9	19.9	16.6	7.7	2.2	2.9	11.2	7.6	5.2	6.7	3.6
2013-2014	3.1	7.0	16.5	14.0	6.9	1.5	1.0	13.4	11.0	4.9	4.6	3.1
2014-2015	1.4	3.6	13.1	11.0	4.1	3.3	2.0	3.4	2.5	3.0	2.9	2.4
2015-2016	1.7	1.9	1.0	6.6	19.7	7.6	5.0			27.5	6.1	1.0
2016-2017	26.1	22.8	37.9	27.2	16.4	8.9	18.4	33.3	46.0	21.7	7.3	3.4
2017-2018	10.1	23.2	28.3	24.0	16.4	6.5	7.8	11.6	11.3	1.1	4.4	3.5
2018-2019	3.77	3.29	10.95	14.90	5.57	2.66	2.46	5.30	6.37	4.52	4.11	3.24

f) Aconcagua en San Felipe (m3/s)

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951												
1951-1952												
1952-1953												
1953-1954												
1954-1955												
1955-1956												
1956-1957												
1957-1958												
1958-1959												
1959-1960												
1960-1961												
1961-1962												
1962-1963				4.4	4.6		14.0	34.5	21.7	4.8	1.4	0.5
1963-1964	0.2	0.0	0.7	3.5	3.3	19.4	8.0	20.0	112.9	145.0	68.5	16.6
1964-1965	5.0	2.0	2.2		2.0	1.8	0.1	0.1	0.2	3.1	3.5	3.8
1965-1966	5.2	4.1	5.8	9.8	30.4	14.2	22.1	72.6	64.5	77.4	27.4	
1966-1967	1.8	1.5			6.7		6.2	32.0	34.7	26.5	15.0	1.7
1967-1968					1.7			2.3	6.6	1.7		
1968-1969												
1969-1970								16.0	43.8	14.2	5.5	3.4
1970-1971	2.0	2.5	2.9	4.4	6.8		11.7	24.7	26.7	8.0	3.2	2.5
1971-1972			5.8	8.6	8.0	4.9	24.0	48.7	25.4	13.6	10.3	
1972-1973		20.0	33.0	30.0	38.4	44.1	36.2	61.6	149.3	115.0	22.8	6.0
1973-1974				16.4	13.1	2.3	3.3	24.7	29.1	32.6	12.6	4.8
1974-1975	3.1	2.8	7.0			4.0	16.8	37.9	47.2	44.5	16.3	4.6
1975-1976	3.5	2.6	3.7	5.6	5.4	1.2	1.4	4.3	19.8	11.0	3.8	2.8
1976-1977	8.6	1.0	2.4	1.6	0.2	0.2	0.5	25.8	25.5	19.2	4.1	3.4
1977-1978	0.8	1.0	1.9	26.9								
1978-1979												
1979-1980												
1980-1981										18.9	14.2	10.0
1981-1982	7.0	14.3	13.8	10.4	5.9		1.2	7.4	5.9	6.0	4.2	1.1
1982-1983	2.1	6.3	11.6		27.6	26.2	25.9	59.5	123.4	123.5	80.6	43.9
1983-1984	23.8	12.2	13.9	11.0	18.6	8.9	27.2	74.8	77.4	43.8	27.3	15.4
1984-1985	5.9	8.2	7.7	22.4	16.4	11.8	41.1	60.9	98.0	84.6	52.4	32.9
1985-1986	15.3	11.7	10.9	15.5	9.2	0.8	2.0	37.3	42.2	26.1		4.3
1986-1987	1.8	4.5	52.2	25.3	14.3	9.3	23.7	63.6	118.6	69.9	39.7	20.5
1987-1988	7.3	8.5	13.4	49.7	72.7	29.9	40.2	127.0	112.9	109.0	60.3	39.1
1988-1989	20.7	11.1	9.7	4.6	3.7	1.9	2.1	13.9	9.2	6.7	6.6	3.2
1989-1990	2.7	3.9	3.6	2.7	10.1	7.6	14.2	56.4	33.1	14.5	7.4	3.8

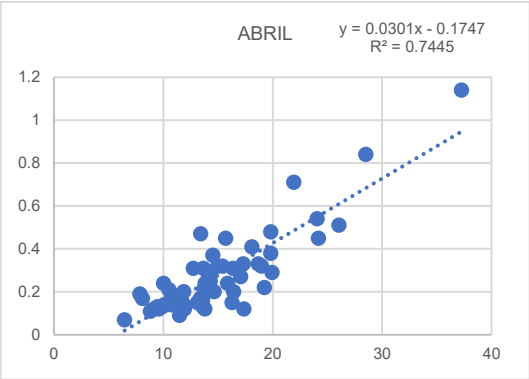
AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	3.7	2.9	2.1	2.1	0.6	0.9	1.6	9.3	4.7	4.1	3.3	2.3
1991-1992	3.0	7.1	13.4	25.2	14.4	20.0	17.7	53.6	61.1	69.4	27.6	18.2
1992-1993	11.8	11.1	21.0	16.8	13.0	11.3	19.6	44.1	51.1	48.6	22.0	10.4
1993-1994	11.7	38.2	25.9	12.7	6.6	6.4	16.8	32.6	32.6	27.2	8.2	5.1
1994-1995	3.1	3.6	7.2	7.9	9.3	3.5	5.3	32.9	33.8	19.0	5.8	2.6
1995-1996	2.6	4.2	7.5	11.7	8.5	5.6	1.5	23.7	18.3	3.8	3.9	3.7
1996-1997	2.4	1.3	2.7	3.2	0.4	0.2	0.1	0.0	2.3	2.9	3.0	2.9
1997-1998	1.0	1.4	32.9	18.7	32.4	42.1	32.0	67.8	123.9	101.7	37.0	19.5
1998-1999	15.1	11.6	9.9	3.6	0.9	0.3	0.6	1.0	3.1	2.1	2.0	1.9
1999-2000	1.2	0.6	1.3	3.7	3.7	17.9	19.7	31.8	26.0	14.3	1.9	0.7
2000-2001	2.4	2.0	11.7	21.6	15.4	15.6	34.5	44.0	88.2	52.3	27.3	10.8
2001-2002	5.5	6.3	4.5	9.3	15.9	13.6	23.5	39.2	71.9	24.3	12.3	3.0
2002-2003	2.8	7.7	25.6	20.3	31.9	24.5	31.2	69.8	102.7	93.4	41.5	22.1
2003-2004	14.7	19.0	16.5	10.8	3.6	4.6	4.1	27.0	24.7	20.1	15.9	15.4
2004-2005	9.3	6.1	6.5	5.9	5.5	7.8	4.1	15.7	15.1	10.3	3.1	3.5
2005-2006	1.7	6.0	27.0	17.9	27.9	32.3	35.8	85.7	103.3	73.5	54.3	17.5
2006-2007	8.5	5.8	14.3	30.7	12.1	12.1	28.6	63.0	62.9	42.6	10.2	7.3
2007-2008	5.3	4.7	4.5	6.1								3.1
2008-2009	2.4	16.6	28.4				29.4	78.1	71.5	48.9		
2009-2010							11.1					
2010-2011								3.4		3.4	3.8	
2011-2012						0.6	2.5			9.1	6.0	5.0
2012-2013			7.2	6.1	0.7	0.4	1.0	14.8	8.5	9.2	9.3	3.5
2013-2014	1.8	2.0	6.9	6.2	2.5	0.4				6.5	3.9	2.3
2014-2015	1.1	1.8	6.2	3.4	0.3	0.3	0.4				2.7	1.8
2015-2016	0.9	0.7	0.1	1.4	8.9	5.0	7.3	36.8	58.4	33.9	13.2	1.8
2016-2017	13.8	11.0	7.2	11.6	12.8	11.0	15.2	25.3	34.9	29.0	9.9	3.3
2017-2018	6.7	13.5	16.4	13.7	8.9	1.5	0.1	5.1	13.4	1.9	5.3	2.3
2018-2019	1.85	0.55	3.23	4.56	0.53	0.87	1.56	9.39	9.33	6.13	6.08	4.01

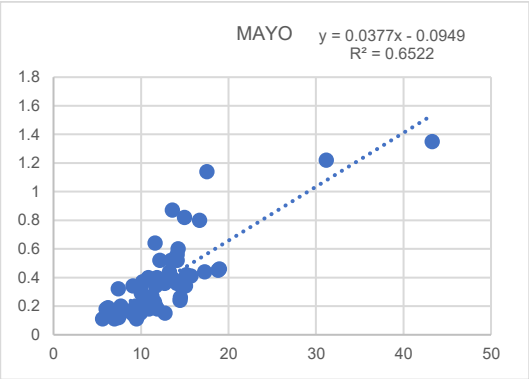
F REGRESIONES LINEALES, ANÁLISIS DE CAUDAL

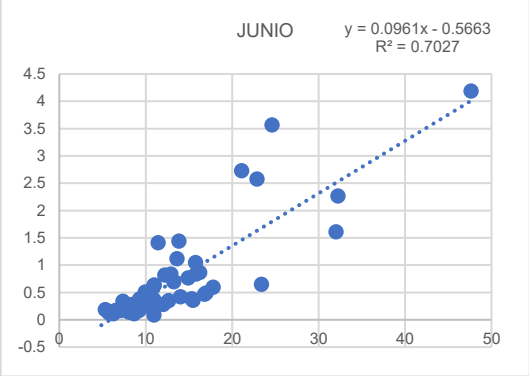
ANEXO F

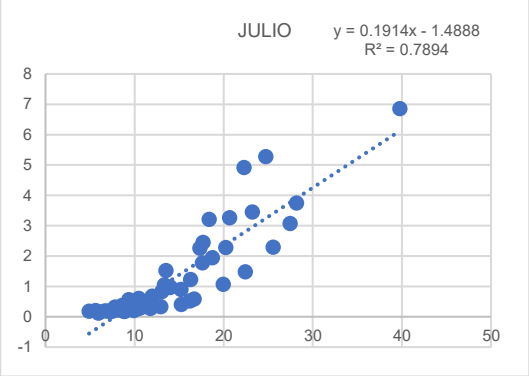
Análisis de Regresión Lineal para Relleno de Series de Caudal (m3/s)

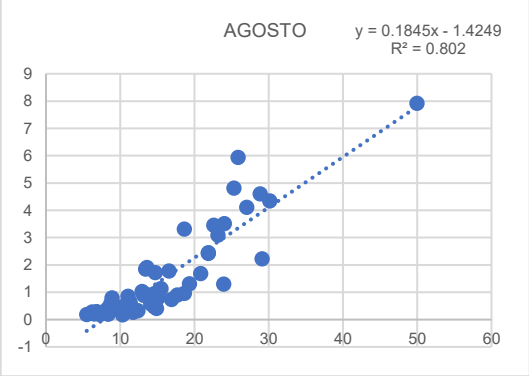
a) Aconcagua en Chacabuquito vs Pocuro

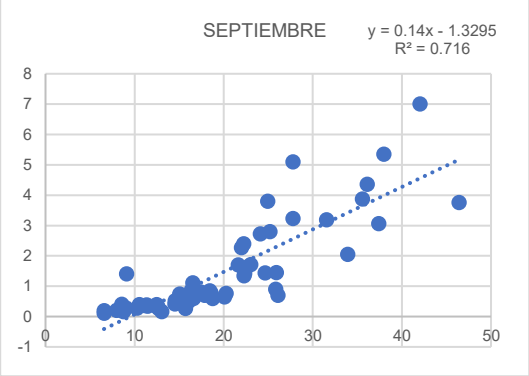


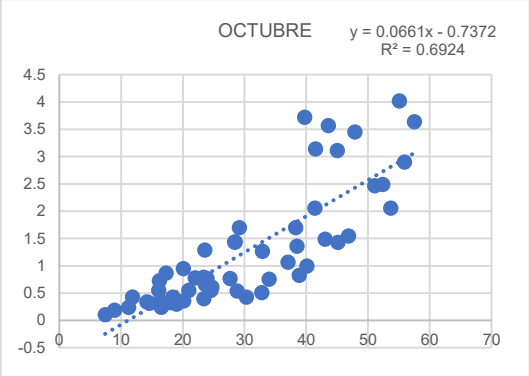


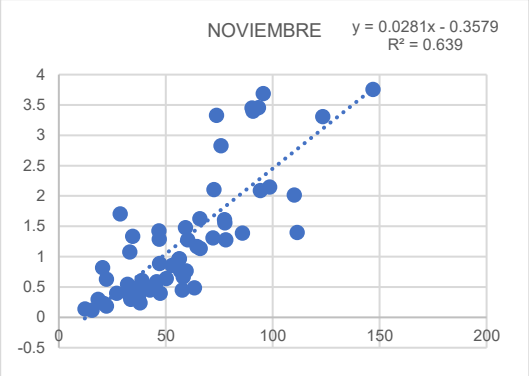


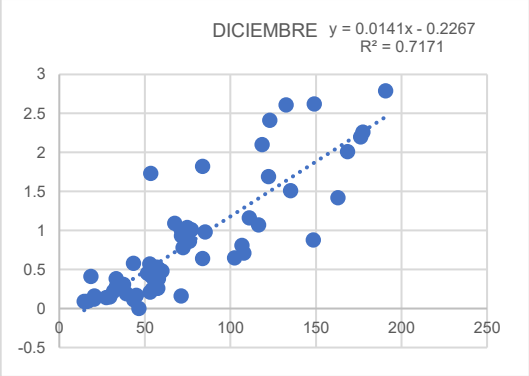


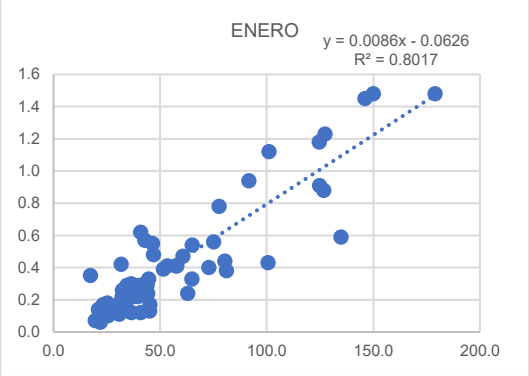


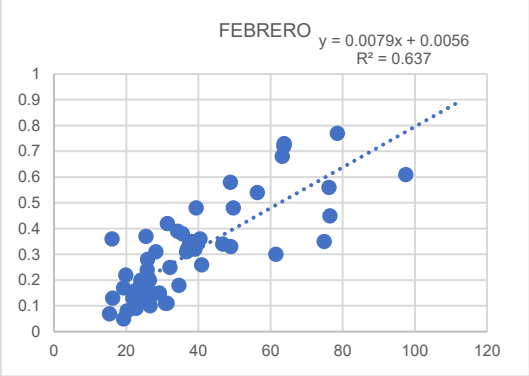


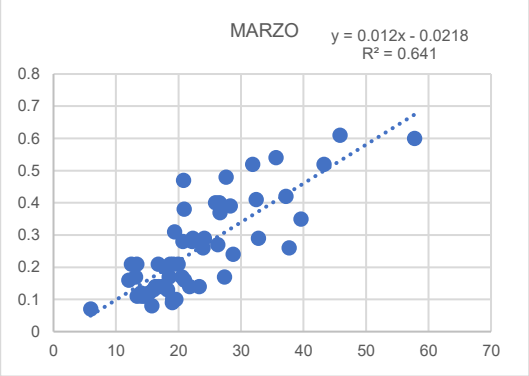

OCTUBRE
y = 0.0661x - 0.7372
R² = 0.6924


NOVIEMBRE
y = 0.0281x - 0.3579
R² = 0.639

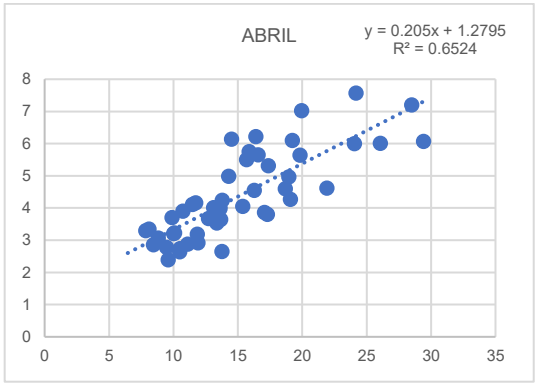

DICIEMBRE
y = 0.0141x - 0.2267
R² = 0.7171

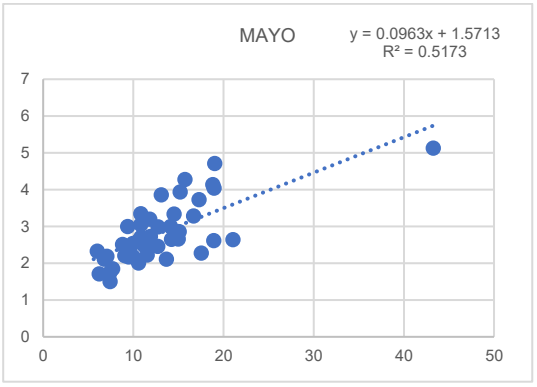

ENERO
y = 0.0086x - 0.0626
R² = 0.8017

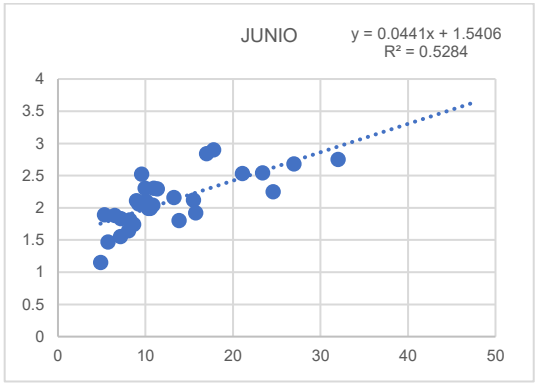

FEBRERO
y = 0.0079x + 0.0056
R² = 0.637

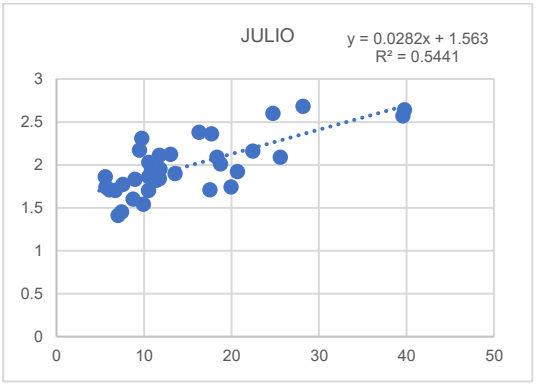

MARZO
y = 0.012x - 0.0218
R² = 0.641

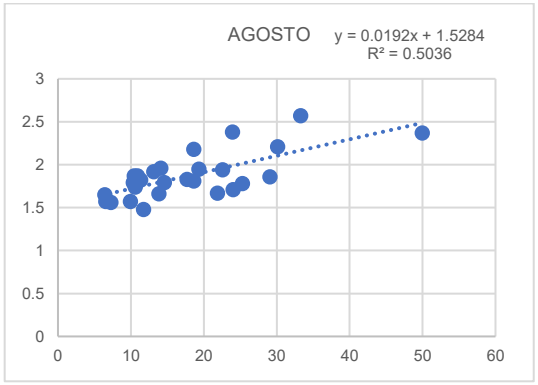
b) Aconcagua en Chacabuquito vs Juncal en Juncal

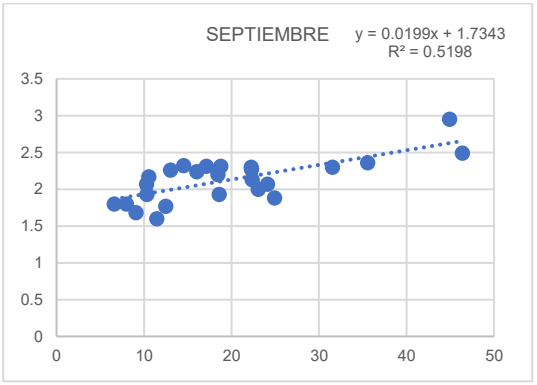


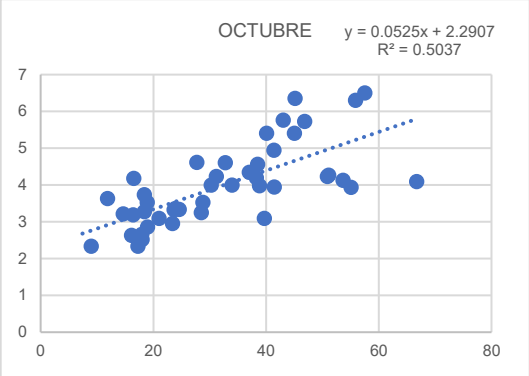


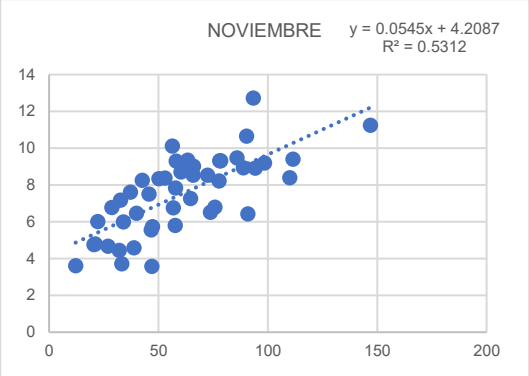


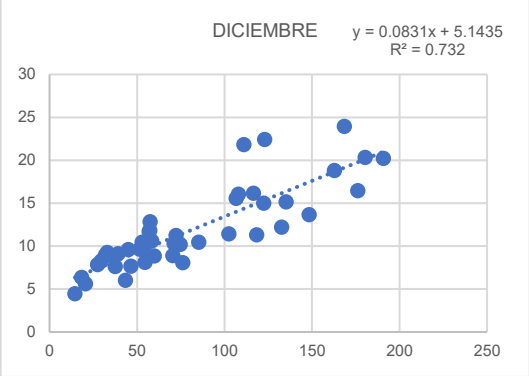


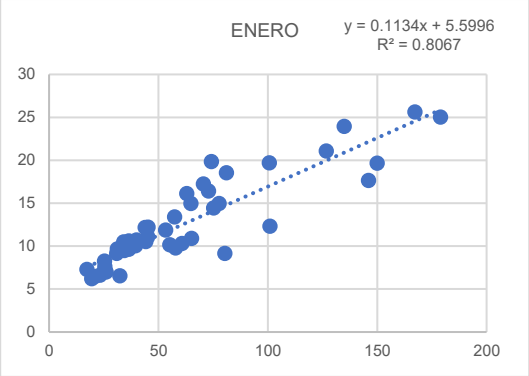


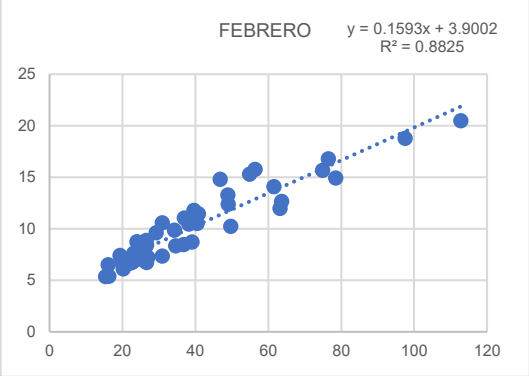


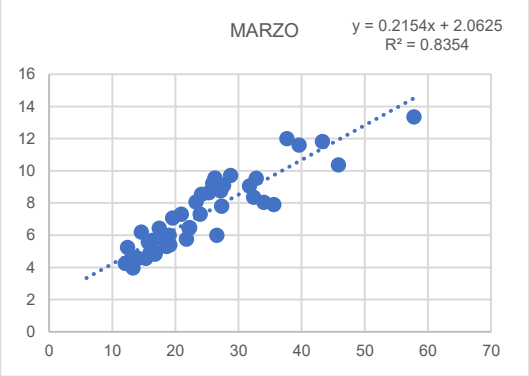

OCTUBRE
y = 0.0525x + 2.2907
R² = 0.5037
0 1 2 3 4 5 6 7
0 20 40 60 80


NOVIEMBRE
y = 0.0545x + 4.2087
R² = 0.5312
0 2 4 6 8 10 12 14
0 50 100 150 200

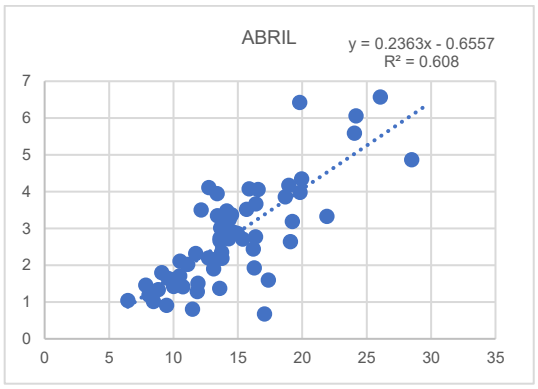

DICIEMBRE
y = 0.0831x + 5.1435
R² = 0.732
0 5 10 15 20 25 30
0 50 100 150 200 250

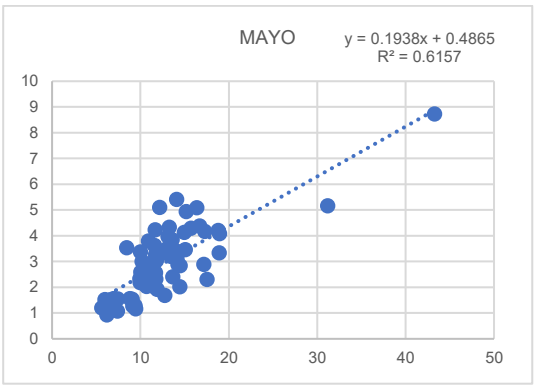

ENERO
y = 0.1134x + 5.5996
R² = 0.8067
0 5 10 15 20 25 30
0 50 100 150 200

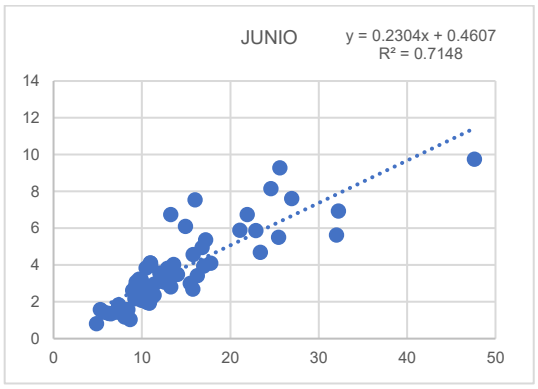

FEBRERO
y = 0.1593x + 3.9002
R² = 0.8825
0 5 10 15 20 25
0 20 40 60 80 100 120

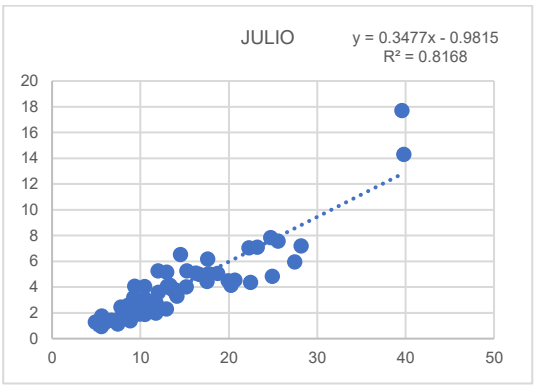

MARZO
y = 0.2154x + 2.0625
R² = 0.8354
0 2 4 6 8 10 12 14 16
0 10 20 30 40 50 60 70

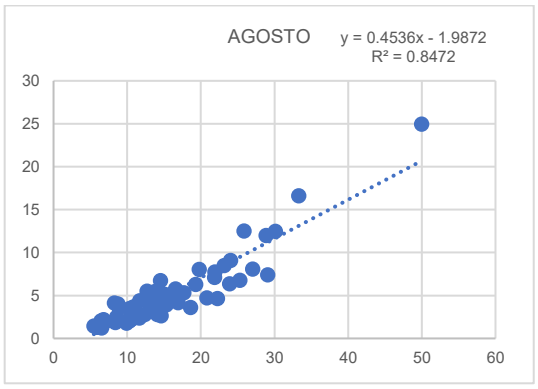
c) Aconcagua en Chacabuquito vs Putaendo en Resguardo Los Patos

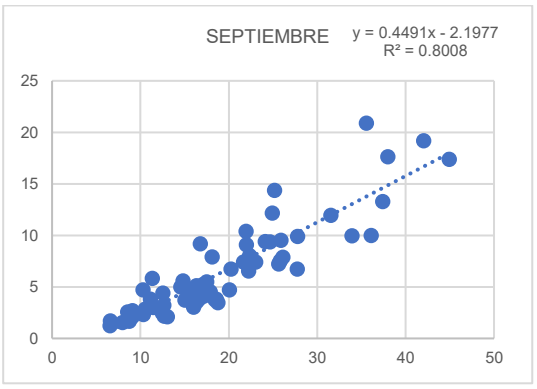


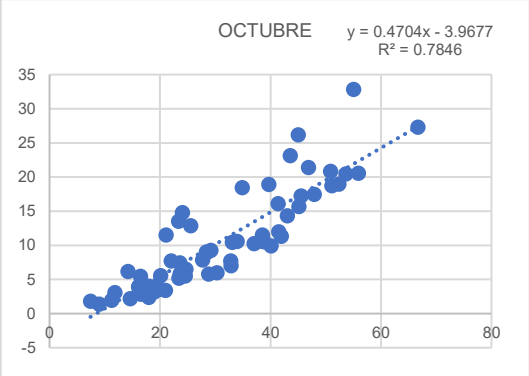


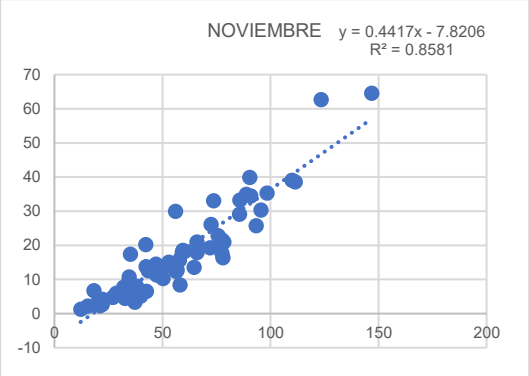


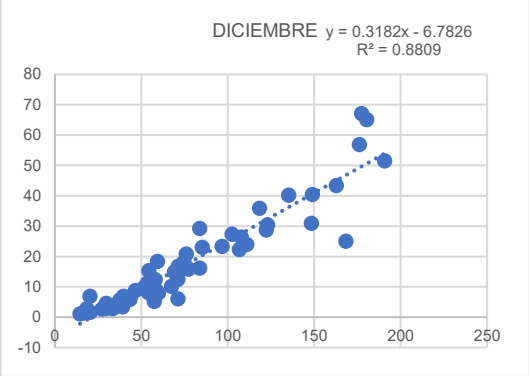


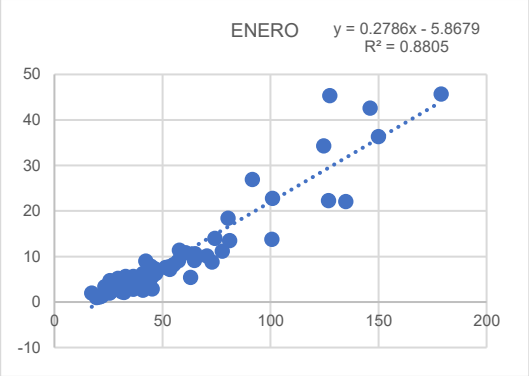


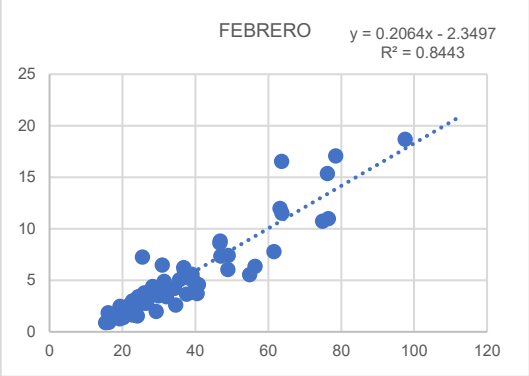


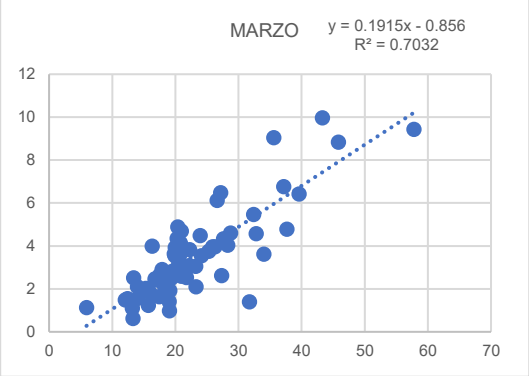

OCTUBRE
y = 0.4704x - 3.9677
R² = 0.7846


NOVIEMBRE
y = 0.4417x - 7.8206
R² = 0.8581

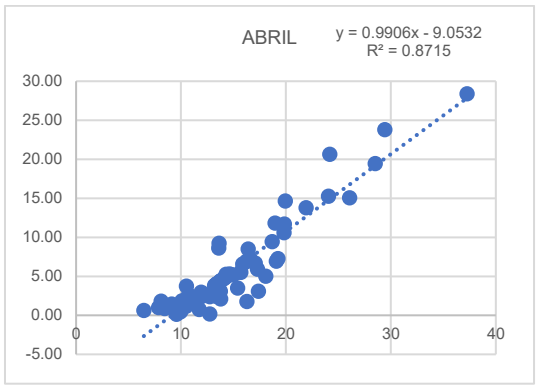

DICIEMBRE
y = 0.3182x - 6.7826
R² = 0.8809

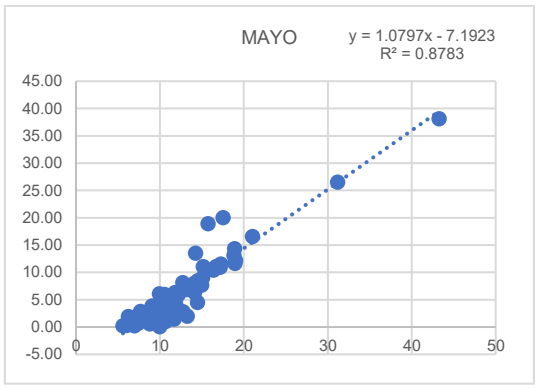

ENERO
y = 0.2786x - 5.8679
R² = 0.8805

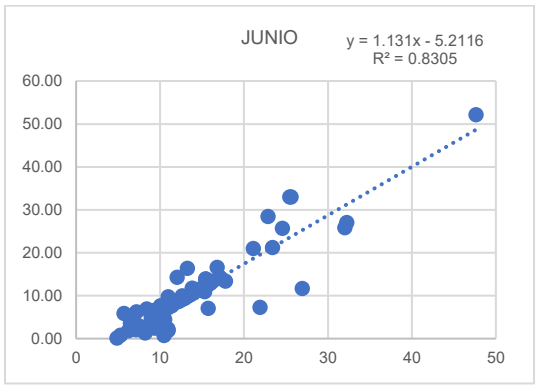

FEBRERO
y = 0.2064x - 2.3497
R² = 0.8443

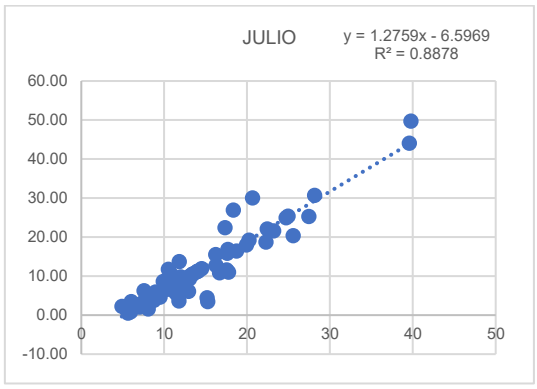

MARZO
y = 0.1915x - 0.856
R² = 0.7032

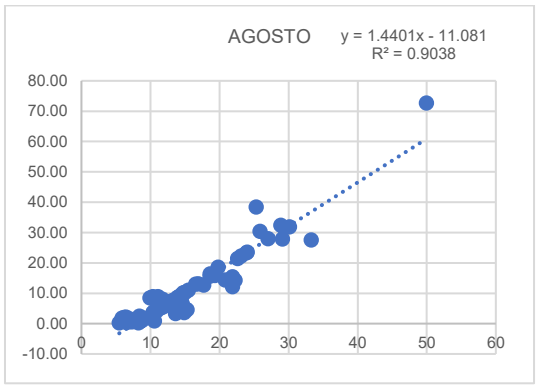
d) Aconcagua en Chacabuquito vs San Felipe

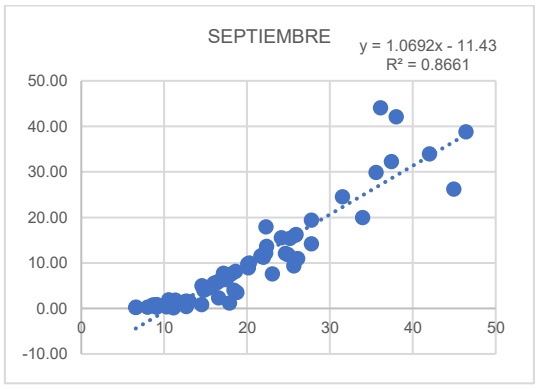


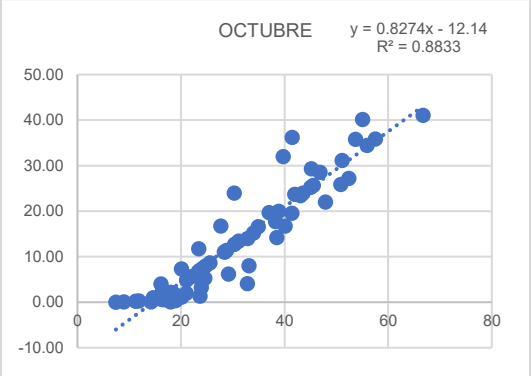


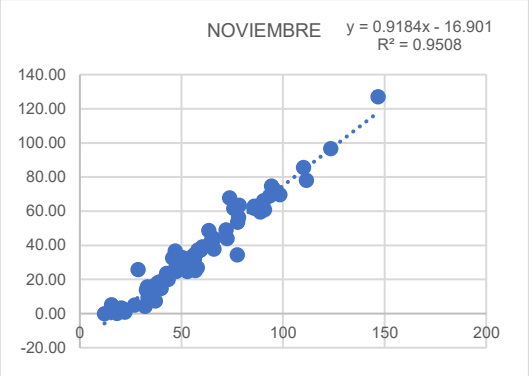


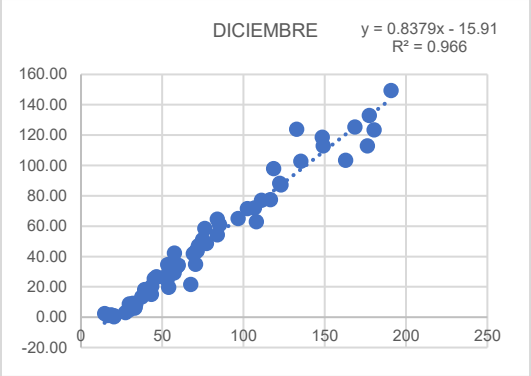


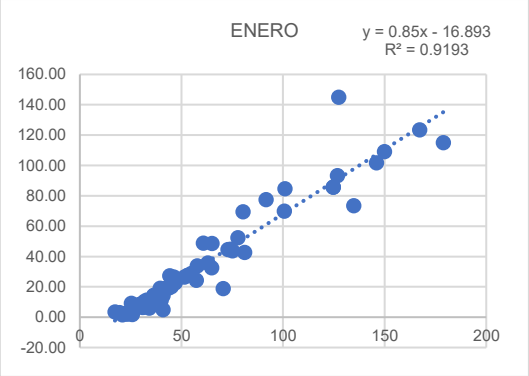


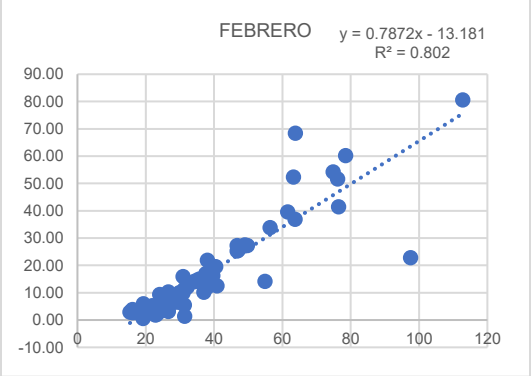


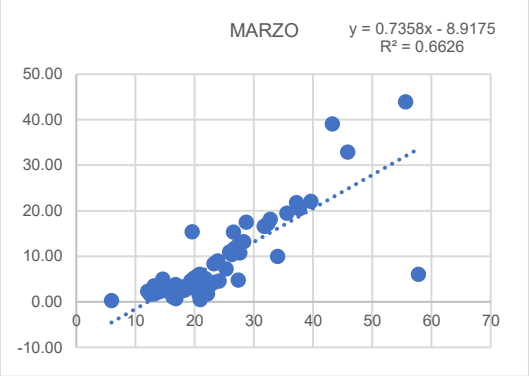

OCTUBRE
y = 0.8274x - 12.14
R² = 0.8833
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
0
20
40
60
80


NOVIEMBRE
y = 0.9184x - 16.901
R² = 0.9508
140.00
120.00
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
-20.00
0
50
100
150
200

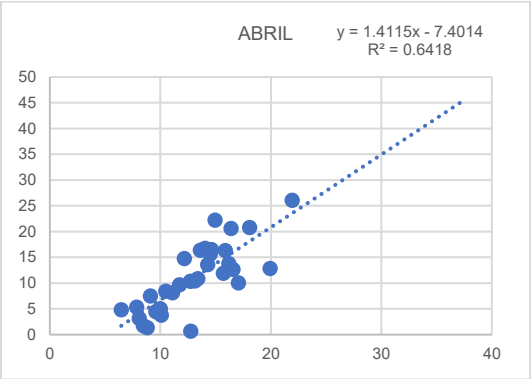

DICIEMBRE
y = 0.8379x - 15.91
R² = 0.966
160.00
140.00
120.00
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
-20.00
0
50
100
150
200
250

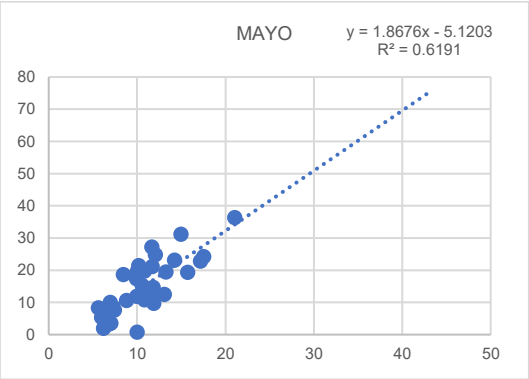

ENERO
y = 0.85x - 16.893
R² = 0.9193
160.00
140.00
120.00
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
-20.00
0
50
100
150
200

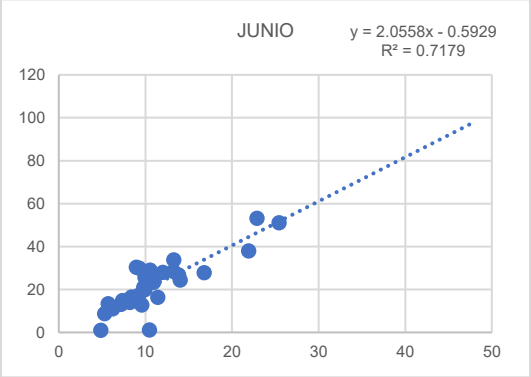

FEBRERO
y = 0.7872x - 13.181
R² = 0.802
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
0
20
40
60
80
100
120

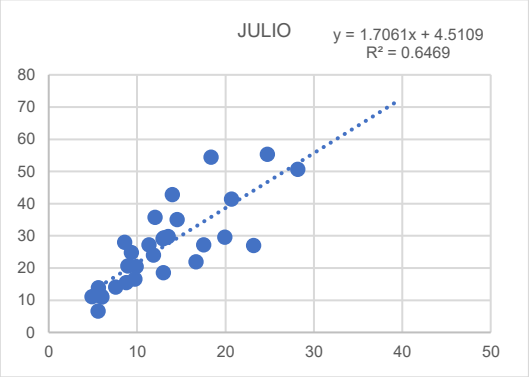

MARZO
y = 0.7358x - 8.9175
R² = 0.6626
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
0
10
20
30
40
50
60
70

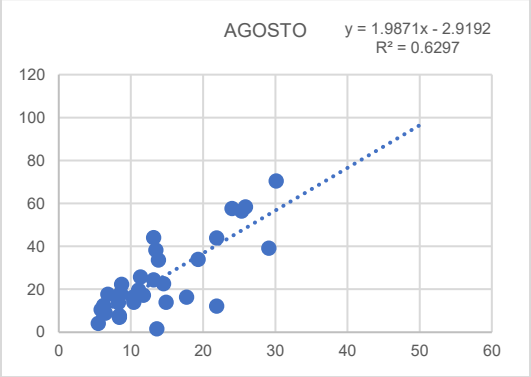
e) Aconcagua en Chacabuquito vs Aconcagua en Romeral

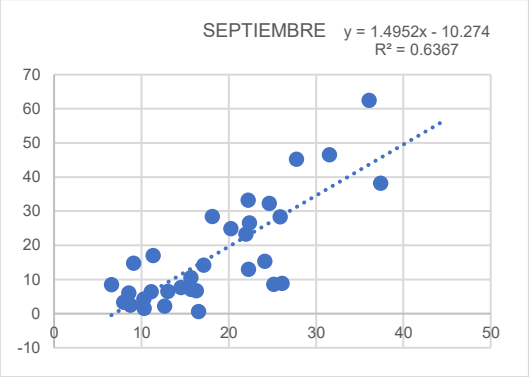


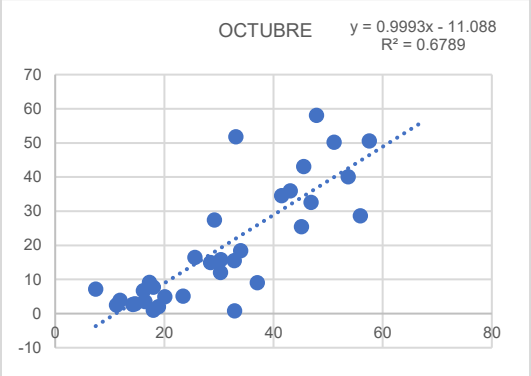


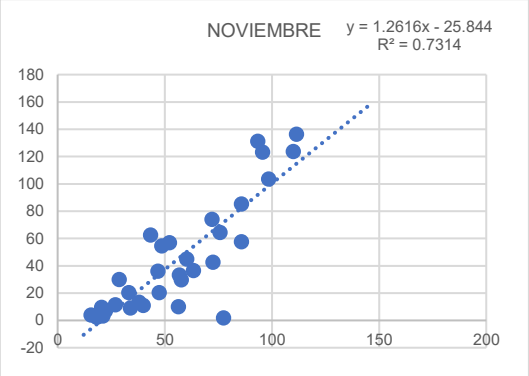


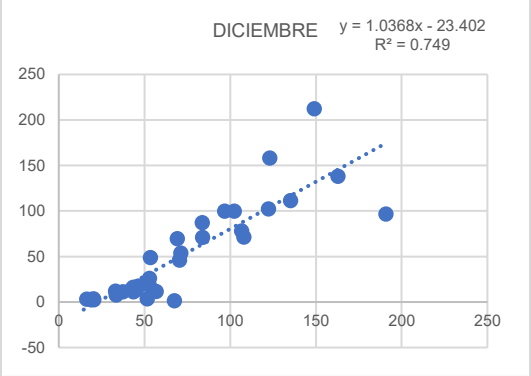


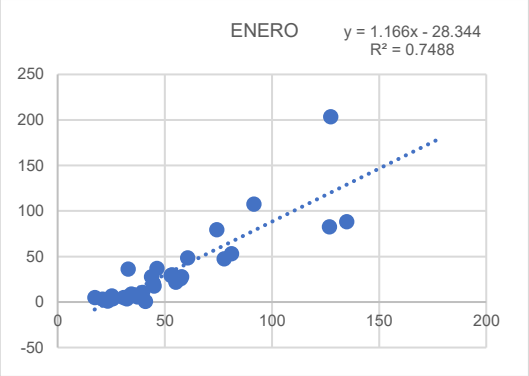


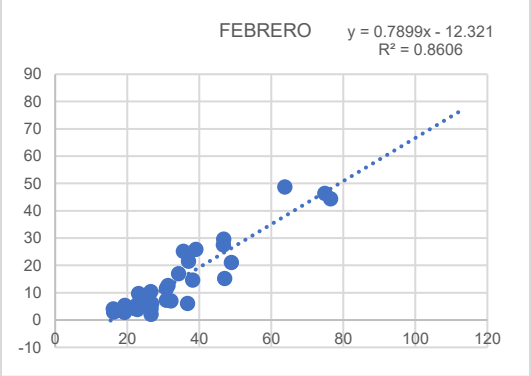


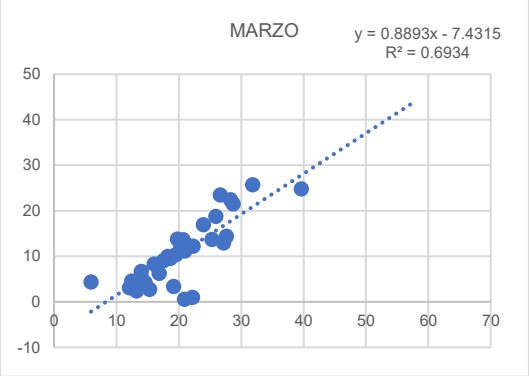

OCTUBRE
y = 0.9993x - 11.088
R² = 0.6789


NOVIEMBRE
y = 1.2616x - 25.844
R² = 0.7314


DICIEMBRE
y = 1.0368x - 23.402
R² = 0.749


ENERO
y = 1.166x - 28.344
R² = 0.7488


FEBRERO
y = 0.7899x - 12.321
R² = 0.8606


MARZO
y = 0.8893x - 7.4315
R² = 0.6934

G SERIES FLUVIOMÉTRICAS RELLENADAS

ANEXO G

Series Rellenadas de Caudales Medios Mensuales Estaciones de Interés

a) Putaendo en resguardo Los Patos

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	2.9	3.9	3.2	2.5	3.6	3.7	7.5	10.8	16.8	6.8	4.4	3.5
1951-1952	3.3	3.6	3.8	6.2	5.0	5.1	7.7	14.5	9.8	6.0	7.3	2.9
1952-1953	2.4	3.2	4.0	4.1	4.5	7.4	9.0	17.9	15.8	6.2	3.7	3.1
1953-1954	2.8	3.4	4.6	3.5	8.1	19.2	23.2	62.7	67.1	34.3	15.4	6.8
1954-1955	6.4	5.4	6.1	5.3	5.1	4.7	6.5	18.6	12.4	7.6	3.8	4.2
1955-1956	3.4	5.1	3.5	4.0	3.5	9.2	13.6	30.0	15.3	5.6	3.5	3.9
1956-1957	2.5	3.8	3.2	3.2	4.4	4.4	11.6	17.4	4.6	5.2	3.4	2.8
1957-1958	2.7	5.1	5.4	3.3	5.5	5.2	14.8	20.3	18.3	9.0	2.7	3.9
1958-1959	3.5	3.3	7.5	3.9	3.7	5.6	18.5	13.7	6.9	4.7	3.8	4.9
1959-1960	4.0	4.0	3.4	6.5	5.5	10.4	12.9	13.9	14.9	5.6	4.5	3.6
1960-1961	3.5	3.5	6.7	2.8	3.2	3.5	6.0	19.3	16.2	7.8	3.4	4.0
1961-1962	2.9	2.3	3.5	5.2	6.8	7.9	17.3	29.2	23.3	7.7	7.4	4.4
1962-1963	2.4	2.3	3.1	4.0	3.9	3.7	7.0	17.7	10.1	6.3	4.9	4.7
1963-1964	4.1	3.4	3.8	5.3	4.6	6.7	10.4	12.6	40.4	45.3	11.5	12.2
1964-1965	8.5	4.3	4.1	4.1	4.0	5.8	6.2	6.8	6.8	4.7	2.8	2.5
1965-1966	2.9	2.6	2.4	3.6	12.5	9.9	17.5	30.4	29.3	26.9	8.6	6.1
1966-1967	5.0	4.2	4.0	3.8	4.1	6.7	9.3	14.0	11.2	7.3	5.1	3.6
1967-1968	3.0	2.6	2.5	2.3	2.2	2.7	4.0	4.2	3.7	2.8	2.3	2.1
1968-1969	1.8	1.6	1.4	1.2	1.3	1.7	1.9	2.2	1.4	1.3	1.3	1.1
1969-1970	1.0	1.2	1.8	1.3	1.4	1.7	2.0	5.6	6.0	2.6	4.1	1.0
1970-1971	0.8	1.2	1.0	1.4	2.4	2.5	5.2	11.4	8.8	4.6	2.8	2.0
1971-1972	1.6	1.6	1.4	1.9	3.3	4.8	10.3	20.2	7.6	2.8	3.1	1.6
1972-1973	1.4	2.3	5.5	4.5	6.8	10.0	12.0	22.8	51.5	45.7	18.7	9.4
1973-1974	4.9	4.2	3.9	5.0	4.2	4.3	5.5	15.1	12.0	9.1	4.6	2.6
1974-1975	1.6	1.7	2.7	4.1	3.6	3.8	9.9	17.9	15.5	8.8	4.9	3.5
1975-1976	2.7	2.3	2.5	2.8	4.0	4.5	5.8	7.8	8.2	4.1	3.6	2.5
1976-1977	1.4	1.3	3.1	1.6	4.1	3.8	4.1	6.0	10.0	4.0	3.1	2.6
1977-1978	2.3	2.0	2.1	26.6	67.4	43.0	39.8	25.7	30.4	14.0	8.8	6.5
1978-1979	4.1	3.5	3.0	7.8	8.5	14.4	26.2	40.0	25.1	1.4	6.4	5.5
1979-1980	3.9	3.5	2.4	2.0	2.8	3.8	5.8	6.9	7.9	5.4	3.7	1.4
1980-1981	1.4	5.2	4.7	4.4	6.4	7.6	10.6	13.6	23.9	10.1	5.6	3.6
1981-1982	2.6	3.3	3.0	2.9	2.8	3.2	3.6	3.4	3.0	4.1	3.8	4.0
1982-1983	3.2	3.1	7.6	17.7	16.6	17.4	20.9	35.0	65.1	40.7	20.9	9.8
1983-1984	6.3	4.2	4.0	5.2	8.0	6.9	19.0	33.8	30.3	15.1	7.9	4.2
1984-1985	3.4	2.9	2.8	5.0	6.4	12.2	27.3	34.5	35.9	22.7	12.0	8.8
1985-1986	5.6	4.1	4.0	4.6	4.6	4.3	3.4	8.4	5.1	2.9	2.6	2.1
1986-1987	1.9	2.0	9.7	4.8	4.7	7.2	11.3	21.0	30.9	13.8	7.8	4.8

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1987-1988	3.2	2.9	4.1	14.3	25.0	20.9	32.9	64.6	56.9	36.4	17.1	10.0
1988-1989	6.1	4.9	4.1	3.0	2.9	2.8	3.9	4.5	3.1	2.3	2.0	1.6
1989-1990	1.4	1.5	1.3	1.4	4.6	7.4	11.5	16.4	9.1	4.5	3.1	2.5
1990-1991	2.1	2.0	2.1	1.5	1.3	3.0	3.7	4.8	2.8	1.9	1.4	1.2
1991-1992	1.5	2.4	3.4	5.9	4.7	10.0	10.7	21.5	23.0	18.4	7.4	4.6
1992-1993	4.2	4.4	5.9	5.0	5.8	9.1	16.1	21.0	18.2	10.6	5.3	4.0
1993-1994	4.0	8.7	5.6	5.1	4.6	5.5	7.9	12.9	11.2	5.7	3.3	2.5
1994-1995	2.2	2.0	2.0	2.0	2.6	3.5	5.6	10.3	6.8	4.7	2.8	2.2
1995-1996	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	3.0	3.5	6.6	3.4	2.2	1.6	1.4
1996-1997	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.6
1997-1998	0.9	1.1	9.3	7.1	12.0	17.6	18.9	33.1	64.3	42.6	16.6	9.1
1998-1999	6.6	4.2	3.4	2.7	2.4	2.1	2.9	2.7	2.7	2.3	1.8	1.8
1999-2000	1.7	1.6	1.6	1.5	2.1	7.1	10.3	12.3	9.7	4.8	3.0	2.4
2000-2001	2.2	2.2	3.5	7.1	7.8	9.4	20.6	26.2	28.7	11.2	6.1	4.3
2001-2002	3.5	3.0	2.6	4.1	6.3	8.0	14.4	18.3	22.3	9.0	5.6	3.8
2002-2003	3.0	4.1	8.1	7.6	12.5	12.0	18.7	35.3	40.2	22.3	11.0	6.4
2003-2004	4.4	4.3	5.0	5.0	4.2	4.5	7.7	15.7	9.9	5.6	3.7	2.8
2004-2005	2.7	2.3	2.2	2.1	2.8	4.1	3.9	6.5	6.2	3.4	2.5	2.3
2005-2006	2.0	2.1	6.9	4.5	7.4	13.3	20.5	39.1	43.4	22.0	10.7	4.6
2006-2007	3.7	3.2	3.6	7.2	7.1	9.4	21.4	33.3	26.4	13.5	6.0	3.8
2007-2008	2.7	2.2	2.6	2.3	2.4	5.5	10.7	17.6	10.3	4.7	3.4	2.7
2008-2009	2.2	4.6	5.9	3.9	9.1	9.5	15.7	38.6	27.4	10.8	5.6	4.5
2009-2010	4.1	2.9	2.6	3.1	4.6	6.5	8.9	12.9	12.5	7.2	4.2	4.0
2010-2011	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.6	3.1	4.1	2.8	2.0	1.9	1.6
2011-2012	1.5	1.5	1.6	1.8	2.1	4.7	5.5	8.8	5.6	3.2	2.5	1.9
2012-2013	1.6	2.2	2.1	2.0	2.0	2.2	2.2	5.2	2.9	2.1	1.5	1.3
2013-2014	1.2	1.2	1.6	1.5	1.9	2.3	4.1	8.1	5.8	2.5	1.7	1.5
2014-2015	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.6	3.2	2.3	1.6	1.1	0.9	1.1
2015-2016	1.0	0.9	0.8	0.9	3.4	5.0	5.6	12.9	20.8	11.4	6.2	3.1
2016-2017	3.3	2.9	6.7	4.4	5.3	7.9	10.6	12.7	13.9	8.2	6.5	1.9
2017-2018	0.7	2.9	2.8	2.5	2.0	2.1	2.4	4.7	5.6	3.3	2.6	2.5
2018-2019	1.38	1.21	0.90	0.85	0.96	1.02	1.11	2.42	4.50	4.22	4.45	4.36

b) Aconcagua en Chacabuquito

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	13.8	13.6	9.9	7.8	8.9	15.0	23.6	34.5	71.3	42.8	28.2	19.9
1951-1952	14.3	11.6	12.9	17.6	15.5	16.3	22.0	47.0	56.9	42.8	25.5	17.9
1952-1953	13.7	13.4	13.6	13.3	12.9	21.6	28.4	59.1	77.2	46.8	37.5	23.2
1953-1954	16.4	14.1	15.8	14.0	27.0	42.0	43.6	123.3	177.3	124.6	76.2	37.2
1954-1955	19.8	14.1	14.9	12.0	15.1	20.1	24.7	59.4	57.9	51.5	39.4	20.8
1955-1956	13.4	12.1	12.2	10.4	10.3	16.8	23.4	56.0	54.3	36.4	29.8	20.0
1956-1957	13.2	10.9	9.7	9.2	11.7	12.5	21.1	35.1	29.7	29.3	24.3	19.3
1957-1958	13.6	16.4	17.2	14.1	12.7	17.1	24.1	42.3	59.3	42.2	24.4	20.8
1958-1959	14.1	11.7	16.0	13.4	10.9	14.8	34.9	42.4	39.7	29.5	27.0	20.3
1959-1960	13.4	13.1	12.9	14.5	13.8	21.9	25.6	48.5	69.1	32.9	31.3	19.8
1960-1961	12.2	8.4	13.3	11.3	13.1	16.3	30.3	71.9	83.8	44.6	32.1	28.3
1961-1962	14.6	10.9	14.0	13.0	14.5	18.1	45.5	85.6	96.7	52.9	47.0	20.3
1962-1963	16.2	11.7	12.5	15.2	15.3	16.5	32.9	77.4	67.5	40.9	31.4	20.9
1963-1964	12.7	10.0	10.5	15.2	13.6	27.7	33.1	43.3	148.9	127.3	63.8	31.8
1964-1965	18.1	13.2	10.9	9.3	8.7	11.3	14.2	18.3	20.2	25.6	23.1	19.3
1965-1966	15.0	11.7	9.8	12.0	25.8	27.8	47.9	95.6	83.7	91.6	46.7	26.6
1966-1967	16.0	11.7	11.0	14.0	13.4	20.2	29.2	52.2	53.4	46.3	35.6	20.7
1967-1968	14.1	10.0	10.0	11.3	6.8	9.1	16.2	22.2	33.1	25.8	22.6	14.0
1968-1969	9.1	7.0	6.2	5.9	5.9	6.6	7.4	15.5	16.2	21.9	19.2	5.9
1969-1970	6.5	5.6	7.3	4.9	6.2	8.7	11.2	36.2	71.1	40.8	31.3	19.1
1970-1971	11.5	9.5	8.6	8.8	10.9	12.5	23.4	47.3	46.4	32.2	26.6	15.3
1971-1972	9.6	7.4	5.7	9.9	11.7	15.7	30.3	63.3	45.0	36.4	26.6	14.1
1972-1973	10.0	17.5	25.4	20.7	25.3	36.1	41.5	75.7	190.7	178.8	97.5	57.8
1973-1974	28.5	18.8	17.0	18.7	16.9	16.6	23.9	52.9	57.2	64.8	40.8	27.3
1974-1975	17.4	12.7	15.7	20.2	18.6	18.4	40.1	66.0	72.2	72.8	39.6	24.1
1975-1976	15.4	11.2	10.3	11.4	13.8	17.9	23.7	32.0	53.9	39.9	25.9	18.5
1976-1977	13.6	9.4	9.4	8.1	8.2	11.1	17.3	28.6	52.8	43.8	26.5	20.9
1977-1978	11.7	10.7	10.9	18.3	22.6	46.4	57.5	93.3	123.0	74.1	46.8	27.1
1978-1979	16.6	13.1	11.4	24.7	23.1	25.2	45.0	90.3	168.4	124.7	56.4	32.4
1979-1980	18.7	15.1	11.4	10.5	14.1	18.6	28.8	38.8	59.9	62.9	40.4	31.7
1980-1981	37.2	31.2	23.4	22.4	23.9	25.8	38.8	64.6	110.9	70.5	54.9	34.0
1981-1982	19.1	18.9	15.5	10.8	12.4	12.6	20.1	37.2	32.9	34.1	26.0	16.3
1982-1983	13.8	14.1	26.9	39.6	33.3	44.9	50.9	88.8	180.3	167.2	112.8	55.6
1983-1984	29.4	19.0	15.4	17.7	19.8	20.2	52.4	94.2	116.4	75.1	49.7	26.5
1984-1985	17.3	12.7	10.0	17.3	18.6	24.9	66.7	90.7	118.4	100.9	63.2	45.8
1985-1986	24.0	18.9	15.3	16.2	14.5	14.5	21.0	58.1	57.4	45.1	34.6	23.3
1986-1987	16.3	14.5	47.6	24.9	22.2	25.6	42.0	78.3	148.3	100.6	61.5	37.7
1987-1988	19.2	14.5	17.8	39.8	50.0	35.6	55.1	146.8	176.1	149.9	78.5	43.3
1988-1989	24.2	15.2	11.0	9.5	10.5	10.5	18.4	32.6	31.7	31.1	29.2	17.4
1989-1990	10.7	9.1	6.5	6.7	14.7	23.0	38.5	78.0	58.3	36.3	25.8	16.8

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	10.5	7.7	7.1	7.0	7.3	11.4	19.0	33.5	29.5	25.5	20.2	15.7
1991-1992	11.9	13.6	16.2	27.5	20.8	33.9	38.3	77.6	85.1	80.2	49.0	32.8
1992-1993	19.0	16.7	21.1	17.7	16.5	22.0	41.4	65.9	74.7	65.0	38.0	26.3
1993-1994	19.8	43.3	32.0	16.3	14.6	17.5	27.7	45.7	54.5	44.1	27.0	21.7
1994-1995	13.8	11.5	10.5	11.7	14.6	18.7	24.6	50.2	56.8	39.5	26.0	18.2
1995-1996	13.1	11.9	10.8	10.5	9.9	16.0	18.4	42.6	39.1	25.9	22.7	19.0
1996-1997	11.9	9.1	8.0	7.4	6.5	6.6	9.0	12.1	14.5	19.5	15.4	13.3
1997-1998	9.5	7.4	25.6	22.3	28.8	38.0	39.7	73.6	132.6	146.0	63.7	35.6
1998-1999	26.1	17.3	12.6	11.8	10.6	9.1	16.5	22.1	27.3	25.5	23.1	16.0
1999-2000	10.5	8.8	8.2	8.8	10.4	22.3	37.0	56.3	51.6	37.1	22.7	16.8
2000-2001	13.4	9.9	13.8	23.2	21.9	24.1	55.9	72.4	122.3	77.7	48.9	27.6
2001-2002	15.7	11.8	9.6	13.0	19.3	22.3	43.0	60.2	106.6	57.3	38.1	22.3
2002-2003	13.7	15.0	24.6	25.5	30.1	31.5	51.1	98.4	135.2	126.7	76.4	39.6
2003-2004	19.9	15.7	16.8	16.7	14.9	15.7	32.8	57.7	52.9	45.0	30.9	19.6
2004-2005	13.6	9.9	9.2	8.9	11.3	17.1	16.1	33.1	43.3	34.4	23.9	18.6
2005-2006	11.1	10.6	32.2	19.9	29.1	37.4	53.6	110.0	162.8	134.8	74.8	28.7
2006-2007	16.4	12.1	12.0	28.2	21.9	24.6	46.8	85.8	107.9	81.0	37.0	25.3
2007-2008	14.3	10.8	10.6	12.9	11.6	17.2	31.2	57.7	53.7	42.4	26.8	17.5
2008-2009	12.7	21.0	22.9	13.5	24.0	25.9	45.1	111.4	102.4	60.7	39.0	23.9
2009-2010	15.9	10.8	9.0	10.5	13.1	22.2	28.5	46.7	71.1	53.3	34.2	25.9
2010-2011	14.5	10.2	9.3	8.6	8.6	8.5	11.8	20.4	18.4	17.3	16.1	12.4
2011-2012	7.9	6.0	5.3	5.6	6.4	10.3	16.4	33.9	39.4	25.3	19.3	14.6
2012-2013	9.9	10.8	9.9	9.7	8.4	12.7	14.6	39.9	33.5	32.1	24.1	13.1
2013-2014	8.1	6.2	8.4	7.6	8.4	10.3	18.0	37.9	43.4	30.8	19.9	12.1
2014-2015	8.8	7.0	7.2	6.0	5.5	8.0	18.9	21.0	20.4	21.0	16.2	13.2
2015-2016	8.4	6.2	4.9	5.6	11.1	14.5	20.1	46.9	76.0	57.8	36.7	22.2
2016-2017	21.9	17.2	21.9	17.5	17.7	26.1	34.0	56.8	70.4	55.0	30.9	19.1
2017-2018	17.1	14.2	13.2	11.8	10.3	13.0	18.0	26.9	37.4	23.3	21.9	13.4
2018-2019	10.07	6.75	6.48	5.99	6.39	9.05	11.35	25.13	26.65	23.91	20.33	12.59

c) Juncal en Juncal

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	4.1	2.9	2.0	1.8	1.7	2.0	3.5	6.1	11.1	10.4	8.4	6.4
1951-1952	4.2	2.7	2.1	2.1	1.8	2.1	3.4	6.8	9.9	10.5	8.0	5.9
1952-1953	4.1	2.9	2.1	1.9	1.8	2.2	3.8	7.4	11.6	10.9	9.9	7.1
1953-1954	4.6	2.9	2.2	2.0	2.0	2.6	4.6	10.9	19.9	19.7	16.0	10.1
1954-1955	5.3	2.9	2.2	1.9	1.8	2.1	3.6	7.4	10.0	11.4	10.2	6.5
1955-1956	4.0	2.7	2.1	1.9	1.7	2.1	3.5	7.3	9.7	9.7	8.7	6.4
1956-1957	4.0	2.6	2.0	1.8	1.8	2.0	3.4	6.1	7.6	8.9	7.8	6.2
1957-1958	4.1	3.1	2.3	2.0	1.8	2.1	3.6	6.5	10.1	10.4	7.8	6.5
1958-1959	4.2	2.7	2.2	1.9	1.7	2.0	4.1	6.5	8.4	8.9	8.2	6.4
1959-1960	4.0	2.8	2.1	2.0	1.8	2.2	3.6	6.8	10.9	9.3	8.9	6.3
1960-1961	3.8	2.4	2.1	1.9	1.8	2.1	3.9	8.1	12.1	10.7	9.0	8.1
1961-1962	4.3	2.6	2.2	1.9	1.8	2.1	4.7	8.9	13.2	11.6	11.4	6.4
1962-1963	4.6	2.7	2.1	2.0	1.8	2.1	4.0	8.4	10.7	10.2	8.9	6.6
1963-1964	3.9	2.5	2.0	2.0	1.8	2.3	4.0	6.6	17.5	20.0	14.1	8.9
1964-1965	5.0	2.8	2.0	1.8	1.7	2.0	3.0	5.2	6.8	8.5	7.6	6.2
1965-1966	4.3	2.7	2.0	1.9	2.0	2.3	4.8	9.4	12.1	16.0	11.3	7.8
1966-1967	4.6	2.7	2.0	2.0	1.8	2.1	3.8	7.1	9.6	10.8	9.6	6.5
1967-1968	4.2	2.5	2.0	1.9	1.7	1.9	3.1	5.4	7.9	8.5	7.5	5.1
1968-1969	3.1	2.2	1.8	1.7	1.6	1.9	2.7	5.1	6.5	8.1	7.0	3.3
1969-1970	2.6	2.1	1.9	1.7	1.6	1.9	2.9	6.2	11.1	10.2	8.9	6.2
1970-1971	4.1	2.2	1.7	1.8	1.9	1.8	3.0	5.8	7.7	6.6	6.8	4.6
1971-1972	2.4	1.5	1.5	1.5	1.5	2.8	4.0	9.4	9.6	10.6	8.4	4.6
1972-1973	3.2	2.3	2.0	1.9	1.8	2.1	4.0	6.8	20.2	25.0	18.8	13.4
1973-1974	7.2	4.1	2.8	2.0	1.6	2.1	3.4	8.4	11.9	15.0	11.5	7.8
1974-1975	5.3	3.0	1.9	1.6	2.2	2.2	5.4	9.0	11.2	16.4	11.8	8.6
1975-1976	4.1	2.5	2.0	1.8	1.7	2.6	3.3	4.5	9.7	10.7	7.8	5.9
1976-1977	4.0	3.0	2.0	1.8	1.7	2.4	2.3	6.8	9.8	12.2	8.9	7.3
1977-1978	4.2	2.6	2.3	2.1	1.9	2.5	6.5	12.7	22.4	19.8	14.8	8.8
1978-1979	5.7	3.9	2.8	2.6	2.0	2.2	5.4	10.7	24.0	30.0	15.8	8.4
1979-1980	4.6	2.9	2.3	2.0	2.0	1.9	3.5	4.6	8.9	16.1	10.5	9.1
1980-1981	5.0	3.2	2.5	2.2	2.4	3.9	4.0	7.3	21.8	17.2	15.3	8.0
1981-1982	4.3	2.6	2.1	2.0	2.8	3.3	4.6	7.6	9.3	10.5	7.7	5.7
1982-1983	4.2	3.0	2.7	2.6	2.6	3.0	4.2	8.9	20.4	25.6	20.5	9.4
1983-1984	6.1	4.7	4.1	3.8	1.9	2.1	5.0	8.9	16.2	14.4	10.3	6.0
1984-1985	3.8	2.5	2.1	2.1	1.8	1.9	4.1	6.4	11.3	12.3	12.0	10.4
1985-1986	6.0	4.0	3.4	2.9	2.6	2.3	3.1	9.3	12.8	12.2	8.4	8.1
1986-1987	4.6	3.0	3.6	2.3	2.0	2.2	4.5	9.3	13.7	19.7	14.1	12.0
1987-1988	6.1	3.3	2.9	2.6	2.4	2.4	3.9	11.3	16.5	19.7	15.0	11.8
1988-1989	7.6	3.9	2.7	2.2	1.9	2.2	3.7	7.2	8.9	9.7	9.6	6.4
1989-1990	3.9	2.2	1.9	1.7	1.5	2.0	4.6	9.3	10.6	9.6	7.0	4.8

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	2.7	1.9	1.6	1.4	1.6	1.6	2.9	10.9	8.3	7.2	6.1	5.6
1991-1992	2.9	2.1	1.8	1.7	1.6	1.9	4.2	8.2	10.5	9.2	12.4	9.5
1992-1993	5.0	3.3	2.5	2.4	2.3	2.7	5.0	8.5	10.2	10.9	10.9	9.6
1993-1994	5.6	5.1	2.8	2.4	2.5	3.0	4.6	7.5	8.1	10.5	7.2	5.8
1994-1995	2.7	2.2	2.0	1.8	1.8	2.3	3.3	8.4	11.7	10.1	7.8	5.7
1995-1996	4.0	2.7	2.0	1.7	1.6	2.2	3.3	8.3	9.1	7.0	6.8	6.0
1996-1997	3.2	2.4	1.6	1.5	1.6	1.8	2.3	3.6	4.5	6.2	5.4	4.0
1997-1998	2.8	1.8	1.3	1.4	1.6	2.1	3.1	6.5	12.2	17.7	12.7	7.9
1998-1999	6.0	3.7	2.8	2.1	1.7	1.7	4.2	6.0	7.9	7.6	7.6	5.0
1999-2000	2.6	2.5	1.8	1.6	1.8	2.3	4.4	10.1	9.6	10.0	6.8	5.0
2000-2001	3.5	2.2	1.8	1.6	1.7	2.1	6.3	8.6	15.0	15.0	13.3	9.1
2001-2002	5.5	3.2	2.5	2.1	2.0	2.1	5.8	8.7	15.6	13.4	10.5	6.5
2002-2003	3.7	2.7	2.3	2.1	2.2	2.3	4.3	9.2	15.1	21.1	16.8	11.6
2003-2004	7.0	4.3	3.1	2.7	2.7	3.1	4.6	7.9	10.4	11.1	10.6	7.1
2004-2005	4.0	2.5	2.1	1.8	1.8	2.3	2.6	3.7	6.0	9.5	8.8	5.3
2005-2006	2.9	2.0	1.8	1.7	1.9	2.0	4.1	8.4	18.8	24.0	15.7	9.7
2006-2007	6.2	4.2	2.8	2.7	2.4	3.1	5.7	9.5	16.0	18.6	11.0	8.7
2007-2008	5.0	3.4	2.7	2.5	2.1	2.6	4.2	5.8	9.6	10.4	8.2	5.8
2008-2009	3.7	2.6	2.1	1.9	1.7	2.2	6.4	9.4	11.4	10.3	8.7	7.3
2009-2010	5.8	3.1	2.1	1.9	1.9	2.3	3.3	5.6	10.3	11.9	9.9	9.2
2010-2011	6.1	4.2	3.4	2.9	2.7	2.8	3.6	4.8	6.4	7.3	6.5	5.3
2011-2012	3.3	2.3	1.9	1.7	1.7	2.1	3.2	6.0	8.6	8.3	7.4	6.2
2012-2013	3.7	2.7	2.3	2.3	2.3	3.0	3.2	6.5	9.0	9.5	7.3	4.7
2013-2014	3.4	5.8	2.5	1.8	2.7	1.9	2.5	6.3	8.8	9.2	6.7	4.3
2014-2015	3.1	2.2	1.8	1.7	2.0	1.8	3.5	4.8	5.6	6.5	5.4	4.5
2015-2016	2.9	1.7	1.2	1.9	1.0	1.2	1.3	3.6	8.1	9.8	8.5	6.4
2016-2017	4.6	3.2	2.0	1.7	1.8	3.4	4.0	6.8	8.9	10.2	7.4	5.4
2017-2018	3.9	2.7	2.2	2.0	1.8	2.3	2.7	4.7	7.6	6.6	6.7	4.5
2018-2019	3.23	2.11	1.58	1.44	1.55	2.07	2.14	4.32	6.11	7.12	7.54	4.96

d) Estero Pocuro en Sifón

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	0.24	0.87	0.51	0.32	0.79	0.74	1.29	1.34	0.93	0.57	0.31	0.21
1951-1952	0.29	0.64	0.84	1.78	1.13	0.85	0.78	0.89	0.53	0.30	0.37	0.20
1952-1953	0.20	0.52	1.12	1.05	1.03	1.70	1.44	1.48	1.01	0.48	0.34	0.28
1953-1954	0.31	0.52	0.84	0.97	4.11	7.00	3.57	3.31	2.26	1.18	0.56	0.42
1954-1955	0.38	0.36	0.77	0.68	0.78	0.64	0.61	0.77	0.38	0.39	0.48	0.47
1955-1956	0.47	0.52	0.82	0.61	0.47	0.71	0.79	0.96	0.41	0.25	0.24	0.22
1956-1957	0.22	0.31	0.36	0.28	0.73	0.42	0.66	0.63	0.20	0.19	0.20	0.21
1957-1958	0.23	0.52	1.08	1.21	0.91	1.06	0.85	0.83	0.62	0.30	0.20	0.23
1958-1959	0.25	0.34	0.97	1.08	0.58	0.74	1.57	0.83	0.34	0.19	0.22	0.22
1959-1960	0.23	0.40	0.68	1.29	1.12	1.74	0.95	1.00	0.75	0.22	0.25	0.22
1960-1961	0.19	0.22	0.71	0.68	1.00	0.95	1.27	1.31	0.64	0.33	0.25	0.39
1961-1962	0.20	0.18	0.42	0.99	1.25	1.20	2.27	2.05	1.14	0.39	0.38	0.22
1962-1963	0.31	0.35	0.64	0.90	1.08	1.11	1.27	1.61	1.09	0.62	0.42	0.38
1963-1964	0.31	0.33	0.34	0.41	1.90	5.09	6.55	5.82	2.62	1.23	0.73	0.52
1964-1965	0.41	0.44	0.63	0.57	0.58	0.38	0.34	0.30	0.12	0.16	0.65	0.31
1965-1966	0.32	0.20	0.44	0.45	5.94	3.23	3.45	3.69	1.82	0.94	0.34	0.37
1966-1967	0.31	0.34	0.64	0.99	1.84	0.76	1.70	1.15	1.73	0.55	0.38	0.28
1967-1968	0.29	0.29	0.49	0.46	0.29	1.40	0.73	0.63	0.38	0.16	0.13	0.12
1968-1969	0.12	0.11	0.11	0.12	0.08	0.11	0.11	0.12	0.09	0.06	0.05	0.07
1969-1970	0.07	0.11	0.34	0.19	0.27	0.16	0.24	0.48	0.16	0.12	0.11	0.10
1970-1971	0.09	0.11	0.11	0.17	0.31	0.39	0.40	0.40	0.44	0.26	0.13	0.12
1971-1972	0.12	0.12	0.13	0.21	0.26	0.26	0.43	0.49	0.17	0.12	0.10	0.11
1972-1973	0.24	1.14	4.44	3.27	4.81	4.35	3.14	2.83	2.79	1.48	0.61	0.60
1973-1974	0.84	0.45	0.49	1.95	0.73	0.59	0.77	0.86	0.47	0.33	0.26	0.17
1974-1975	0.12	0.15	1.05	2.28	0.96	0.84	1.00	1.14	0.78	0.40	0.34	0.29
1975-1976	0.32	0.27	0.47	0.47	0.83	0.70	0.66	0.55	0.41	0.29	0.28	0.17
1976-1977	0.16	0.20	0.35	0.23	0.38	0.36	0.87	1.71	0.57	0.29	0.15	0.16
1977-1978	0.15	0.23	0.09	3.21	3.45	3.75	3.64	3.46	2.41	1.63	1.52	1.45
1978-1979	1.29	1.33	1.41	5.28	3.09	2.79	3.11	3.45	2.01	0.91	0.54	0.41
1979-1980	0.33	0.34	0.28	0.29	0.58	0.77	0.54	0.61	0.48	0.24	0.36	0.06
1980-1981	1.14	1.22	0.65	1.48	1.29	0.90	0.83	1.17	1.16	0.54	0.44	0.39
1981-1982	0.40	0.62	0.36	0.32	0.32	0.29	0.36	0.32	0.26	0.15	0.13	0.14
1982-1983	0.12	0.56	6.70	6.08	4.71	4.96	2.63	2.14	2.30	1.37	0.90	0.65
1983-1984	0.71	0.62	0.91	1.91	2.22	1.49	2.49	2.09	1.07	0.56	0.48	0.40
1984-1985	0.33	0.36	0.36	2.26	3.31	3.80	6.01	3.40	2.10	1.12	0.68	0.61
1985-1986	0.54	0.46	0.39	0.52	0.47	0.41	0.55	0.67	0.26	0.17	0.18	0.14
1986-1987	0.15	0.24	4.19	3.28	2.68	2.26	2.04	1.84	0.88	0.43	0.30	0.26
1987-1988	0.22	0.26	0.60	6.86	7.92	3.87	4.02	3.76	2.20	1.48	0.77	0.52
1988-1989	0.45	0.42	0.37	0.37	0.42	0.39	0.41	0.39	0.22	0.18	0.15	0.14
1989-1990	0.14	0.34	0.17	0.20	1.72	1.71	1.36	1.28	0.50	0.30	0.24	0.21

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1990-1991	0.21	0.20	0.17	0.19	0.18	0.34	0.30	0.30	0.15	0.10	0.08	0.08
1991-1992	0.12	0.39	0.87	3.08	1.68	2.05	1.70	1.56	0.98	0.44	0.33	0.29
1992-1993	0.32	0.80	2.73	2.45	1.78	2.27	2.06	1.63	1.04	0.54	0.35	0.27
1993-1994	0.48	1.35	1.61	1.23	0.94	0.80	0.77	0.59	0.25	0.24	0.15	0.14
1994-1995	0.22	0.23	0.24	0.41	0.62	0.59	0.55	0.64	0.26	0.22	0.15	0.13
1995-1996	0.15	0.18	0.24	0.28	0.32	0.49	0.43	0.45	0.19	0.16	0.09	0.09
1996-1997	0.20	0.14	0.14	0.18	0.20	0.19	0.19	0.14	0.09	0.07	0.07	0.21
1997-1998	0.13	0.32	9.84	4.92	4.60	5.35	3.72	3.33	2.61	1.45	0.72	0.54
1998-1999	0.51	0.44	0.35	0.28	0.26	0.27	0.24	0.19	0.14	0.12	0.12	0.13
1999-2000	0.15	0.16	0.16	0.19	0.24	1.34	1.07	0.97	0.45	0.22	0.16	0.14
2000-2001	0.17	0.16	1.44	3.45	2.42	2.72	2.90	2.11	1.69	0.78	0.58	0.48
2001-2002	0.45	0.40	0.35	0.83	1.31	1.41	1.49	1.28	0.81	0.41	0.33	0.29
2002-2003	0.31	0.82	3.57	2.29	4.34	3.18	2.47	2.15	1.51	0.88	0.45	0.35
2003-2004	0.29	0.41	0.47	0.59	0.41	0.38	0.51	0.45	0.21	0.13	0.11	0.10
2004-2005	0.13	0.15	0.17	0.20	0.60	0.80	0.55	1.08	0.58	0.29	0.18	0.21
2005-2006	0.18	0.22	2.27	1.07	2.22	3.06	2.06	2.02	1.42	0.59	0.35	0.24
2006-2007	0.20	0.36	0.28	3.75	2.44	1.43	1.55	1.39	0.71	0.38	0.32	0.28
2007-2008	0.25	0.24	0.30	0.33	0.72	1.07	1.32	1.26	0.54	0.30	0.22	0.19
2008-2009	0.21	0.70	2.58	1.52	3.51	1.45	1.43	1.40	0.65	0.47	0.32	0.26
2009-2010	0.24	0.21	0.27	0.32	0.89	2.39	1.44	1.43	1.01	0.41	0.39	0.40
2010-2011	0.37	0.37	0.38	0.38	0.37	0.40	0.43	0.82	0.41	0.35	0.36	0.21
2011-2012	0.19	0.18	0.19	0.21	0.22	0.27	0.35	0.37	0.22	0.18	0.17	0.11
2012-2013	0.13	0.40	0.30	0.24	0.19	0.27	0.32	0.53	0.29	0.22	0.20	0.17
2013-2014	0.17	0.19	0.28	0.23	0.26	0.11	0.33	0.24	0.11	0.11	0.22	0.16
2014-2015	0.11	0.15	0.20	0.16	0.18	0.20	0.33	0.23	0.16	0.14	0.13	0.14
2015-2016	0.08	0.16	0.09	0.09	0.85	0.52	0.95	1.29	0.86	0.41	0.31	0.28
2016-2017	0.71	0.55	1.54	1.86	0.90	0.70	0.76	0.77	0.77	0.41	0.25	0.21
2017-2018	0.27	0.60	0.70	0.29	0.17	0.16	0.33	0.40	0.31	0.17	0.13	0.11
2018-2019	0.14	0.23	0.33	0.34	0.31	0.37	0.43	0.48	0.34	0.29	0.18	0.14

e) Aconcagua en Romeral

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	12.1	20.2	19.8	17.8	14.7	12.2	12.5	17.7	50.5	21.5	10.0	10.3
1951-1952	12.8	16.5	25.9	34.5	27.8	14.1	10.9	33.4	35.6	21.6	7.8	8.5
1952-1953	12.0	19.9	27.3	27.2	22.8	22.1	17.3	48.7	56.6	26.2	17.3	13.2
1953-1954	15.7	21.2	31.8	28.3	50.8	52.5	32.4	129.8	160.4	116.9	47.8	25.6
1954-1955	20.5	21.2	30.0	24.9	27.0	19.7	13.6	49.1	36.6	31.7	18.8	11.1
1955-1956	11.5	17.6	24.4	22.3	17.6	14.8	12.2	44.8	32.9	14.1	11.2	10.3
1956-1957	11.2	15.2	19.3	20.3	20.3	8.4	10.0	18.5	7.4	5.9	6.8	9.8
1957-1958	11.8	25.4	34.7	28.6	22.3	15.3	12.9	27.5	38.0	20.8	7.0	11.0
1958-1959	12.5	16.7	32.3	27.4	18.7	11.8	23.7	27.7	17.8	6.0	9.0	10.7
1959-1960	11.5	19.3	26.0	35.1	33.7	23.3	16.5	54.6	69.6	36.1	12.7	13.8
1960-1961	14.8	18.7	33.7	27.1	24.4	6.7	15.8	74.1	70.8	20.2	7.1	22.4
1961-1962	16.5	11.7	24.3	18.5	22.6	28.4	43.2	85.3	99.9	29.2	15.3	12.6
1962-1963	13.8	12.8	25.2	30.4	1.1	0.6	0.8	1.9	1.4	0.8	12.5	0.6
1963-1964	0.7	0.8	1.0	1.5	1.6	82.6	51.9	62.7	212.2	203.4	48.7	25.7
1964-1965	20.8	19.5	24.9	24.8	22.3	17.0	2.7	2.4	3.5	3.6	9.8	29.1
1965-1966	22.2	21.2	20.9	35.7	58.3	45.2	58.2	123.4	87.0	107.5	27.6	23.5
1966-1967	30.4	27.3	24.5	42.8	38.2	24.9	27.5	57.1	48.7	36.9	25.3	13.7
1967-1968	16.8	19.8	25.6	23.7	17.7	14.8	5.1	7.0	12.0	4.0	5.6	6.7
1968-1969	7.5	10.0	10.9	11.3	10.5	8.5	7.3	4.1	3.1	2.4	2.9	4.3
1969-1970	4.8	8.3	14.8	11.1	12.4	2.5	2.5	19.8	50.3	19.3	12.4	9.5
1970-1971	8.8	12.5	17.2	19.6	18.7	8.4	5.1	20.4	17.5	3.5	2.2	2.8
1971-1972	4.5	7.6	13.3	20.4	17.2	7.1	12.1	36.6	13.3	7.7	4.2	4.7
1972-1973	5.1	24.3	51.1	41.4	56.5	62.5	34.6	64.5	96.6	180.2	64.7	43.9
1973-1974	32.8	30.0	34.3	36.4	30.6	14.5	12.8	40.8	35.9	47.2	19.9	16.9
1974-1975	17.1	18.7	31.7	39.0	34.1	17.3	29.0	57.4	51.5	56.6	19.0	14.0
1975-1976	14.3	15.8	20.6	24.0	24.5	16.4	12.5	14.5	32.4	18.2	8.1	9.0
1976-1977	11.8	12.4	18.6	18.3	13.8	6.4	9.2	30.0	17.9	27.6	10.5	11.2
1977-1978	9.7	14.4	23.3	54.4	41.9	21.4	50.6	131.4	158.2	79.5	29.6	13.0
1978-1979	12.7	12.5	16.3	55.2	8.8	8.6	33.9	88.1	151.1	117.1	32.2	21.4
1979-1980	19.0	23.0	22.7	22.5	25.1	17.5	17.7	23.1	38.6	45.0	19.6	20.8
1980-1981	45.2	53.1	47.5	42.8	44.6	28.3	27.7	55.6	91.6	53.8	31.0	22.8
1981-1982	19.5	30.2	31.2	23.0	21.7	8.6	9.0	21.0	10.7	11.4	8.2	7.1
1982-1983	12.0	21.2	54.8	72.0	63.2	56.9	39.7	86.2	163.5	166.6	76.8	42.0
1983-1984	34.1	30.3	31.1	34.8	36.4	19.9	41.2	93.0	97.3	59.2	26.9	16.2
1984-1985	17.0	18.6	20.0	34.0	34.0	27.0	55.5	88.6	99.3	89.3	37.6	33.3
1985-1986	26.5	30.2	30.9	32.1	25.9	11.4	9.9	47.4	36.2	24.3	15.0	13.3
1986-1987	15.6	21.9	97.3	47.0	41.3	28.0	30.8	73.0	130.4	89.0	36.2	26.1
1987-1988	19.7	21.9	36.0	72.3	96.3	42.9	43.9	159.3	159.1	146.4	49.7	31.0
1988-1989	26.7	23.2	21.9	20.7	17.8	5.4	7.3	15.3	9.5	7.9	10.7	8.1
1989-1990	7.7	11.8	12.7	15.9	26.3	24.2	27.4	72.5	37.0	14.0	8.1	7.5
1990-1991	7.4	9.2	14.1	16.5	11.5	6.8	7.9	16.4	7.1	1.3	3.6	6.5

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1991-1992	9.4	20.3	32.8	51.3	38.4	40.4	27.1	72.1	64.8	65.2	26.4	21.7
1992-1993	19.3	26.0	42.7	34.7	29.9	22.6	30.3	57.2	54.0	47.4	17.7	15.9
1993-1994	20.6	75.7	65.2	32.3	26.0	15.8	16.6	31.7	33.1	23.1	9.0	11.9
1994-1995	12.0	16.4	21.0	24.5	26.1	17.7	13.5	37.4	11.5	10.6	9.4	10.0
1995-1996	10.4	9.8	21.7	22.4	16.8	13.6	7.3	27.8	17.2	1.9	5.6	9.5
1996-1997	9.3	11.9	15.9	17.2	10.0	2.5	0.8	5.9	0.1	0.5	1.9	4.4
1997-1998	6.0	8.7	52.0	42.5	54.4	46.5	28.6	67.1	114.0	141.8	38.0	24.2
1998-1999	29.4	27.1	25.4	24.6	18.1	3.3	5.4	2.1	4.9	1.4	5.9	8.3
1999-2000	8.5	10.6	13.9	15.4	13.9	13.0	9.1	10.1	3.6	5.7	3.9	6.2
2000-2001	10.9	11.9	26.7	27.0	12.1	15.3	28.7	42.7	102.1	47.2	21.1	14.5
2001-2002	11.9	14.7	12.7	29.4	34.0	26.5	36.0	45.1	77.9	25.5	14.7	12.3
2002-2003	11.9	31.2	94.9	112.9	70.5	46.5	50.3	103.8	111.3	82.5	44.4	24.8
2003-2004	12.9	19.4	27.7	21.9	14.0	10.5	15.5	29.8	26.1	17.4	11.6	10.4
2004-2005	16.4	17.4	17.2	20.6	25.7	14.2	6.7	20.4	16.3	8.8	6.5	9.6
2005-2006	8.1	15.3	35.5	29.5	39.2	38.2	40.1	123.8	138.2	88.1	46.4	21.5
2006-2007	20.6	24.8	27.9	50.6	43.9	32.3	32.6	57.8	71.4	52.9	21.6	13.7
2007-2008	13.6	14.0	29.0	29.1	20.2	15.4	20.0	46.9	32.3	21.1	6.1	9.1
2008-2009	10.3	36.3	53.0	29.8	57.6	28.3	25.5	136.6	99.8	48.4	25.9	17.0
2009-2010	16.3	19.8	30.3	39.8	44.1	33.2	15.0	36.1	53.7	29.8	17.0	18.8
2010-2011	15.7	21.5	29.9	27.9	18.1	6.1	3.9	9.7	2.6	4.9	4.1	4.6
2011-2012	5.3	5.4	8.7	13.9	8.9	4.3	3.6	9.2	12.1	6.8	5.4	4.2
2012-2013	4.9	10.9	19.9	16.6	7.7	2.2	2.9	11.2	7.6	5.2	6.7	3.6
2013-2014	3.1	7.0	16.5	14.0	6.9	1.5	1.0	13.4	11.0	4.9	4.6	3.1
2014-2015	1.4	3.6	13.1	11.0	4.1	3.3	2.0	3.4	2.5	3.0	2.9	2.4
2015-2016	1.7	1.9	1.0	6.6	19.7	7.6	5.0	33.3	55.4	27.5	6.1	1.0
2016-2017	26.1	22.8	37.9	27.2	16.4	8.9	18.4	33.3	46.0	21.7	7.3	3.4
2017-2018	10.1	23.2	28.3	24.0	16.4	6.5	7.8	11.6	11.3	1.1	4.4	3.5
2018-2019	3.77	3.29	10.95	14.90	5.57	2.66	2.46	5.30	6.37	4.52	4.11	3.24

f) Aconcagua en San Felipe

AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1950-1951	4.46	7.42	6.01	3.24	1.25	4.25	6.98	14.49	43.74	19.28	8.67	5.19
1951-1952	4.99	5.26	9.38	15.83	10.98	5.69	5.65	26.03	31.61	19.31	6.21	3.24
1952-1953	4.40	7.25	10.16	10.34	7.26	11.53	11.07	37.27	48.66	22.54	17.04	8.37
1953-1954	7.07	8.00	12.64	11.16	27.98	33.98	24.00	96.71	132.84	85.59	51.69	21.83
1954-1955	10.59	7.99	11.64	8.62	10.38	9.80	7.94	37.56	32.47	26.31	18.70	6.03
1955-1956	4.06	5.87	8.56	6.65	3.41	6.17	6.80	34.37	29.47	14.10	10.13	5.22
1956-1957	3.83	4.50	5.71	5.11	5.40	1.49	4.87	15.09	8.78	8.37	5.13	4.63
1957-1958	4.25	10.45	14.22	11.35	6.87	6.52	7.39	21.71	33.61	18.79	5.27	6.02
1958-1959	4.78	5.37	12.90	10.49	4.21	3.99	16.59	21.83	17.21	8.48	7.53	5.60
1959-1960	4.03	6.91	9.42	11.89	8.49	11.87	8.67	27.44	41.87	11.24	11.45	5.06
1960-1961	2.77	1.84	9.79	7.80	7.55	5.64	12.72	49.15	54.20	20.74	12.13	13.23
1961-1962	5.29	4.50	10.63	9.87	9.57	7.63	25.66	61.82	65.04	27.47	25.51	5.51
1962-1963	6.89	5.41	8.96	4.41	4.63	5.90	14.03	34.49	21.65	4.81	1.44	0.51
1963-1964	0.18	0.04	0.73	3.45	3.31	19.37	8.03	20	112.88	144.98	68.47	16.6
1964-1965	5.03	1.98	2.24	5.22	2.02	1.82	0.07	0.1	0.21	3.06	3.49	3.79
1965-1966	5.17	4.06	5.79	9.76	30.39	14.19	22.06	72.64	64.48	77.38	27.35	11.66
1966-1967	1.76	1.5	7.18	11.18	6.66	9.99	6.24	32.01	34.72	26.48	14.99	1.72
1967-1968	4.71	3.55	6.05	10.41	1.71	0.85	0.69	2.25	6.59	1.73	3.58	2.23
1968-1969	1.45	0.22	1.82	0.85	1.85	0.29	0.01	5.27	1.02	2.32	0.60	0.33
1969-1970	0.63	0.22	3.09	2.22	2.05	0.75	0.21	16.04	43.84	14.17	5.54	3.41
1970-1971	1.97	2.53	2.91	4.4	6.82	1.42	11.74	24.72	26.65	7.99	3.22	2.54
1971-1972	0.13	0.72	5.83	8.62	8.01	4.87	24.03	48.74	25.35	13.57	10.34	2.26
1972-1973	0.57	20.04	33	30.04	38.44	44.09	36.21	61.59	149.33	115	22.83	6.03
1973-1974	19.47	13.11	13.98	16.39	13.07	2.33	3.26	24.72	29.11	32.6	12.58	4.79
1974-1975	3.1	2.84	7	19.21	15.61	4.03	16.79	37.87	47.17	44.51	16.26	4.55
1975-1976	3.52	2.59	3.68	5.6	5.4	1.19	1.37	4.29	19.75	10.98	3.8	2.81
1976-1977	8.62	1	2.44	1.57	0.23	0.17	0.49	25.82	25.49	19.21	4.05	3.42
1977-1978	0.75	0.98	1.89	26.89	21.46	38.79	35.87	68.90	87.15	44.69	25.30	12.16
1978-1979	7.28	6.88	7.69	24.97	22.27	15.41	25.24	66.13	125.31	85.70	33.92	17.22
1979-1980	9.43	9.05	7.63	6.77	8.94	8.17	11.42	18.48	34.11	35.60	19.62	16.59
1980-1981	28.41	26.57	21.23	22.03	23.40	16.13	19.97	42.31	77.03	18.88	14.17	9.97
1981-1982	6.96	14.33	13.8	10.43	5.91	1.62	1.15	7.41	5.91	5.99	4.17	1.06
1982-1983	2.1	6.34	11.64	44.01	27.58	26.22	25.9	59.53	123.35	123.52	80.57	43.92
1983-1984	23.82	12.21	13.87	10.96	18.57	8.94	27.21	74.75	77.36	43.78	27.29	15.36
1984-1985	5.93	8.15	7.66	22.39	16.37	11.79	41.06	60.9	98.01	84.64	52.38	32.93
1985-1986	15.29	11.67	10.88	15.48	9.16	0.84	1.98	37.31	42.18	26.13	14.39	4.29
1986-1987	1.78	4.51	52.16	25.33	14.32	9.34	23.74	63.63	118.56	69.89	39.66	20.46
1987-1988	7.3	8.5	13.37	49.67	72.68	29.88	40.15	127.01	112.92	108.99	60.26	39.11
1988-1989	20.65	11.08	9.71	4.59	3.72	1.93	2.09	13.86	9.17	6.69	6.59	3.17
1989-1990	2.66	3.89	3.63	2.65	10.13	7.59	14.23	56.35	33.13	14.48	7.42	3.82
1990-1991	3.74	2.86	2.06	2.06	0.61	0.85	1.6	9.34	4.68	4.13	3.29	2.29

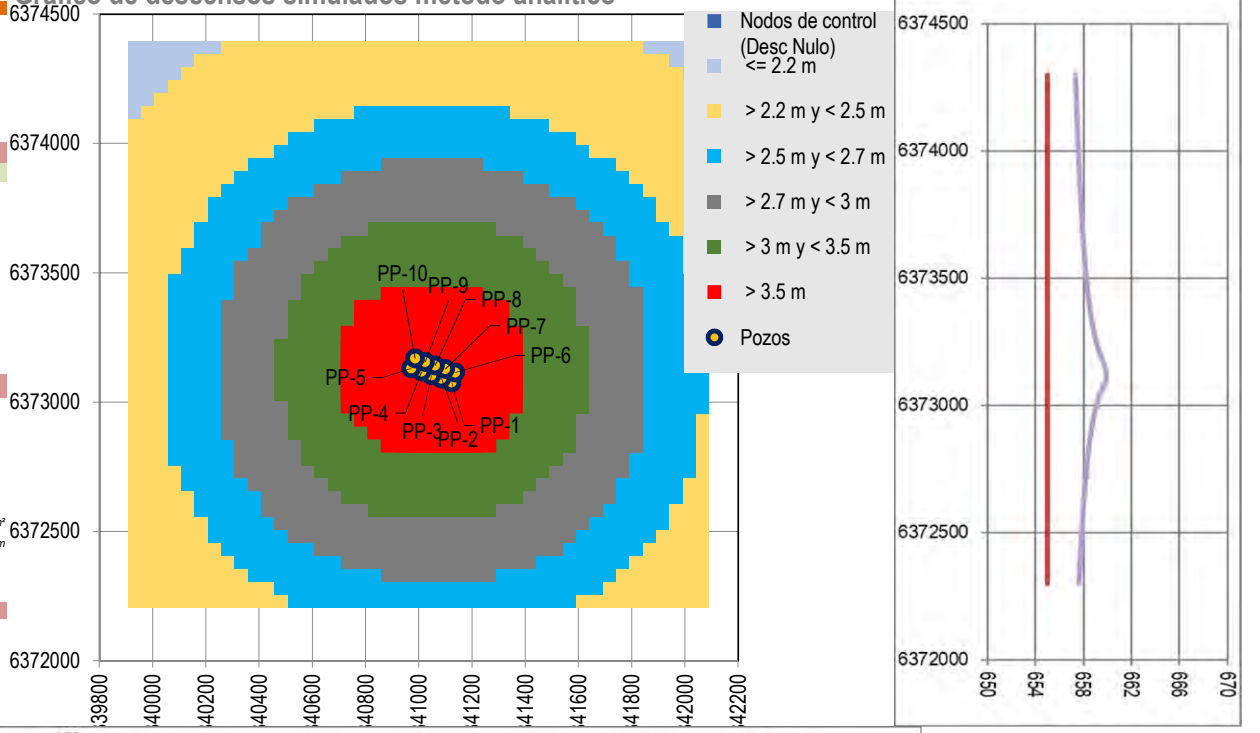
AÑO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1991-1992	2.98	7.14	13.4	25.24	14.42	19.97	17.74	53.62	61.06	69.35	27.56	18.15
1992-1993	11.82	11.07	20.99	16.79	12.99	11.26	19.58	44.13	51.13	48.55	21.98	10.43
1993-1994	11.7	38.16	25.85	12.69	6.62	6.36	16.77	32.62	32.59	27.23	8.19	5.12
1994-1995	3.11	3.57	7.15	7.9	9.29	3.53	5.27	32.94	33.75	18.97	5.81	2.58
1995-1996	2.55	4.17	7.49	11.71	8.49	5.56	1.45	23.69	18.28	3.77	3.94	3.65
1996-1997	2.36	1.29	2.67	3.2	0.38	0.2	0.07	0.03	2.31	2.92	3	2.85
1997-1998	1.04	1.38	32.94	18.69	32.38	42.12	32.02	67.79	123.94	101.73	36.97	19.51
1998-1999	15.08	11.56	9.91	3.6	0.91	0.29	0.56	0.95	3.06	2.08	2.03	1.93
1999-2000	1.16	0.61	1.28	3.74	3.73	17.9	19.73	31.75	26	14.32	1.89	0.69
2000-2001	2.44	1.95	11.73	21.6	15.4	15.56	34.47	43.98	88.22	52.3	27.25	10.79
2001-2002	5.52	6.32	4.45	9.27	15.87	13.63	23.45	39.24	71.9	24.25	12.25	3.04
2002-2003	2.83	7.7	25.63	20.34	31.87	24.53	31.18	69.77	102.67	93.35	41.52	22.11
2003-2004	14.65	18.95	16.54	10.81	3.61	4.57	4.11	26.96	24.73	20.07	15.93	15.44
2004-2005	9.25	6.11	6.54	5.86	5.54	7.76	4.05	15.69	15.05	10.29	3.08	3.51
2005-2006	1.74	6.01	27.04	17.94	27.88	32.28	35.84	85.7	103.31	73.54	54.26	17.51
2006-2007	8.53	5.81	14.25	30.66	12.12	12.06	28.55	63.01	62.91	42.64	10.15	7.29
2007-2008	5.27	4.67	4.45	6.07	5.31	6.60	13.44	35.93	28.96	18.98	7.37	3.05
2008-2009	2.41	16.58	28.39	10.59	23.55	16.21	29.35	78.11	71.49	48.85	18.35	9.02
2009-2010	6.57	4.42	4.91	6.74	7.54	12.18	11.1	25.76	43.55	27.76	14.05	10.96
2010-2011	5.18	3.74	5.28	4.28	0.79	0.70	0.30	3.38	1.60	3.36	3.83	1.72
2011-2012	1.01	0.32	0.77	0.45	2.17	0.57	2.54	13.98	16.45	9.07	6	4.99
2012-2013	0.45	4.45	7.16	6.13	0.7	0.4	1.03	14.84	8.45	9.21	9.33	3.52
2013-2014	1.81	1.95	6.87	6.24	2.48	0.36	2.21	17.64	20.31	6.48	3.94	2.31
2014-2015	1.05	1.84	6.21	3.4	0.3	0.3	0.36	2.05	0.94	1.57	2.72	1.79
2015-2016	0.9	0.65	0.1	1.44	8.9	5.02	7.33	36.83	58.43	33.88	13.17	1.76
2016-2017	13.79	10.97	7.22	11.56	12.75	10.96	15.18	25.29	34.94	28.99	9.93	3.28
2017-2018	6.69	13.52	16.37	13.69	8.87	1.5	0.11	5.11	13.41	1.89	5.31	2.34
2018-2019	1.85	0.55	3.23	4.56	0.53	0.87	1.56	9.39	9.33	6.13	6.08	4.01

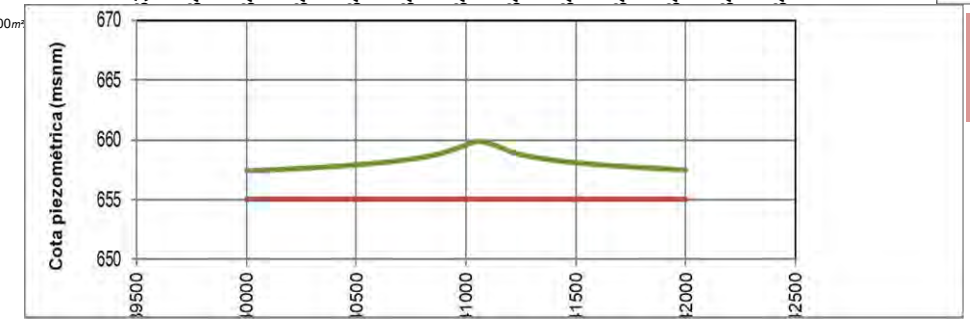
H MEMORIAS DE CALCULO RECARGA ARTIFICIAL

SIMULACIÓN CAMPO DE POZOS

Número de pozos a simular	Np	10
Caudal promedio de drenaje	Qb	287 L/s
Diámetro de los pozos	Dp	600 mm
Formación rocosa		Aluvial Acongua
Permeabilidad promedio	K	2.50E-03 m/s
		250 m/d
Almacenamiento específico promedio	Sy	8.0%
Almacenamiento eslástico específico promedio	Ss	1.00E-06 1/m
Cota piezométrica de referencia	Ho	655 msnm
Características constructivas de los pozos		
Profundidad de los pozos	L	200 m
		Pérdidas de carga (Curva característica - valores promedio)
Coeficiente A	A	6.26E-05 días/m²
Coeficiente B	B	2.80E-10 días²/m⁵
Coeficiente n	n	2
Eficiencia		90%
Datos del acuífero		
Fecha referencia		01-Jan-20
Cota del muro del acuífero	Zf	350 msnm
Espesor saturado del acuífero	B	200 m
Transmisividad de referencia	T	49900 m²

Gráfico de descensos simulados método analítico





Ascensos	m	Cota
Min	2.10	652.90
Máx	4.88	650.12

I: APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS OFICIALES DE SUSTENTABILIDAD PARA ESCENARIOS PREDICTIVOS

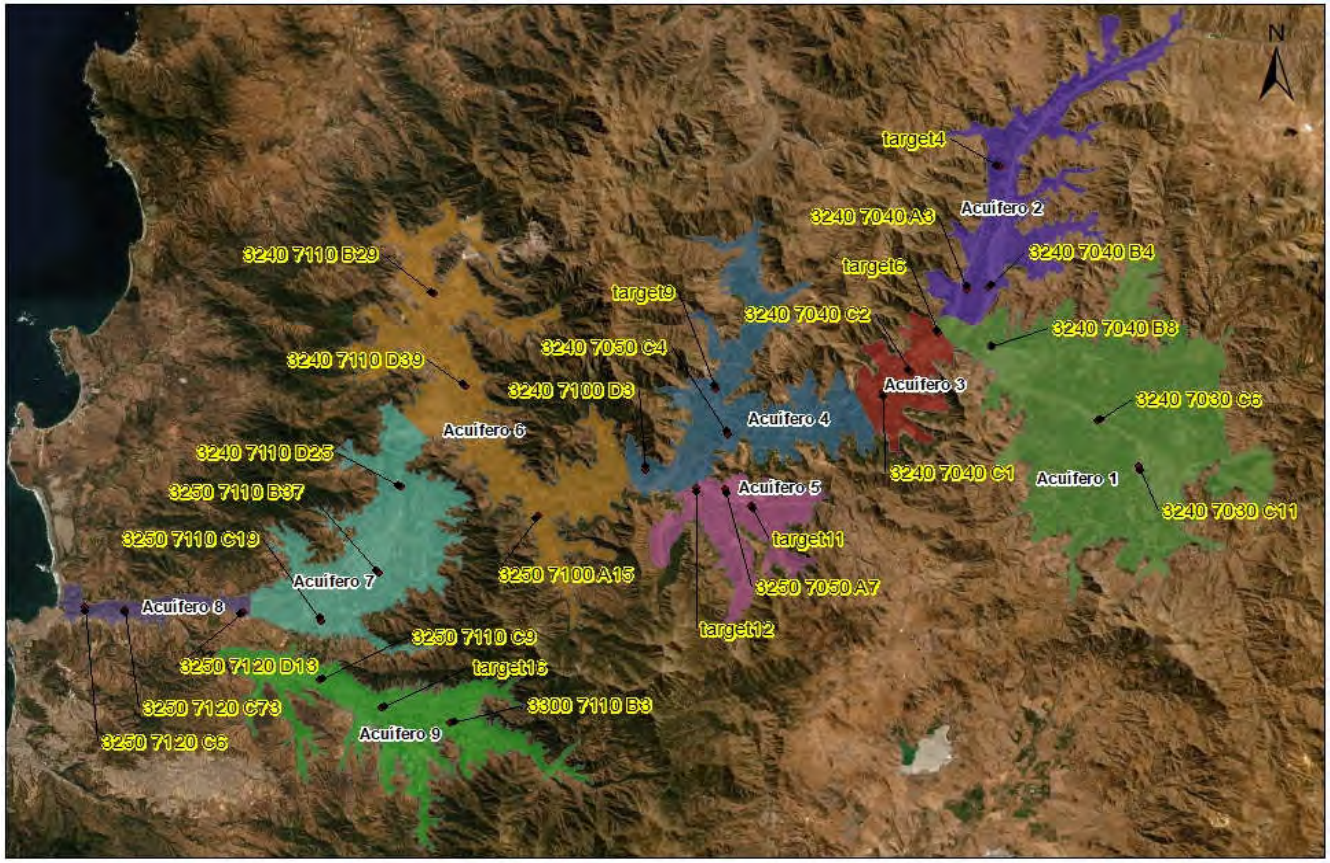
Criterio 1: Descensos sustentables en el tiempo a nivel de sector acuífero

Es decir, los descensos generales en el sector deben estar estabilizados para una operación del sistema de 50 años.

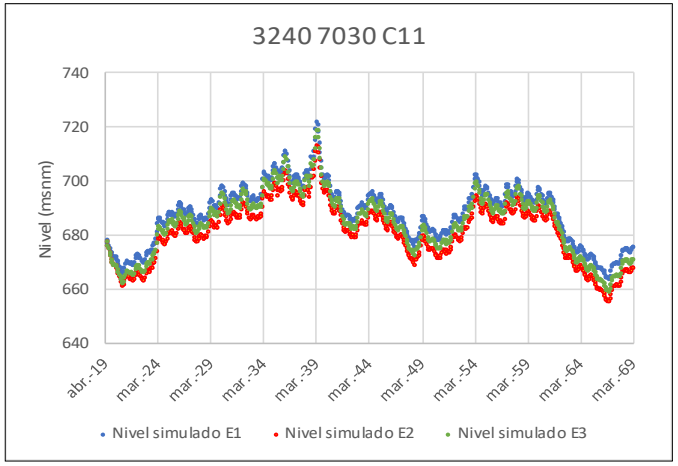
A continuación se presentan hidrogramas de nivel para pozos seleccionados en cada sector acuífero, considerando los 3 escenarios de simulación presentados en el informe principal:

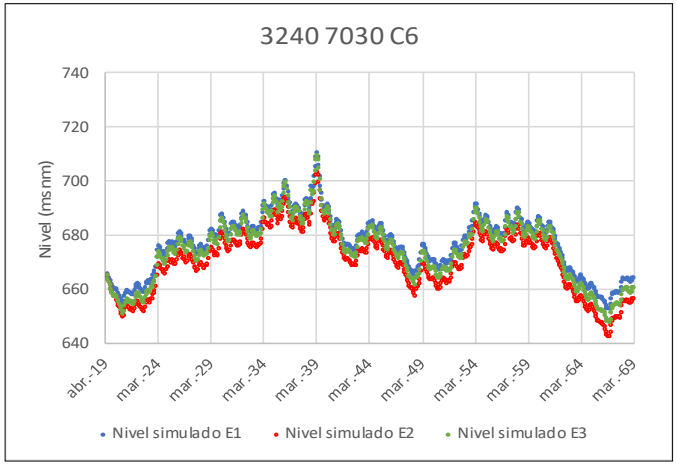
Escenario 1 (demanda comprometida a Abr-2019)
Escenario 2 (Escenario 1 + bombeos adicionales en baterías pozos DOH sectores Putaendo, San Felipe y LlayLlay)
Escenario 3 (Escenario 2 + recarga artificial en acuífero San Felipe)

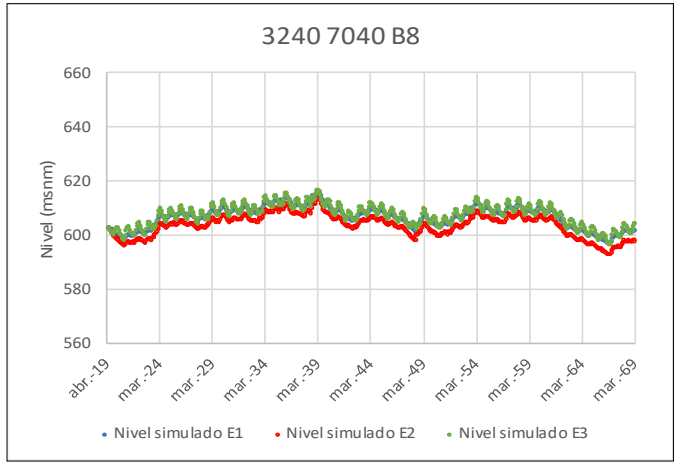
Figura 1: Mapa de ubicación pozos de observación



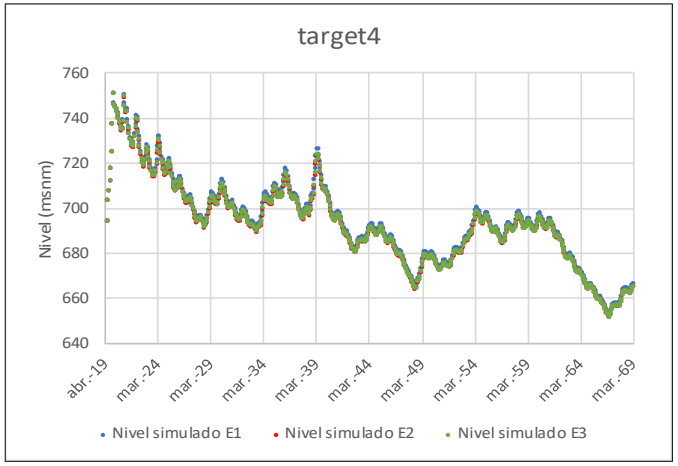
Acuífero 1

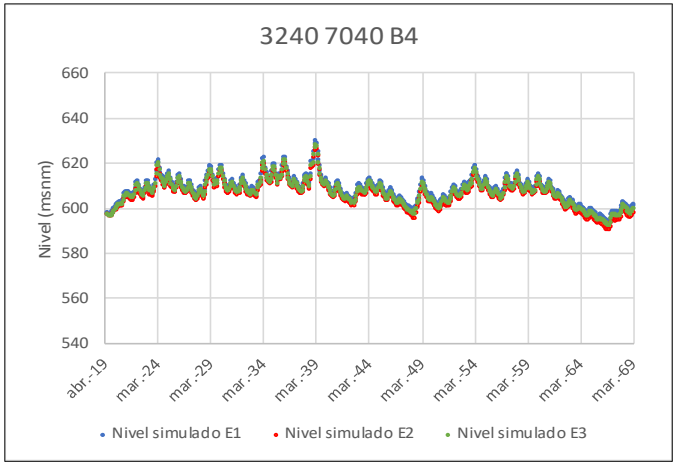


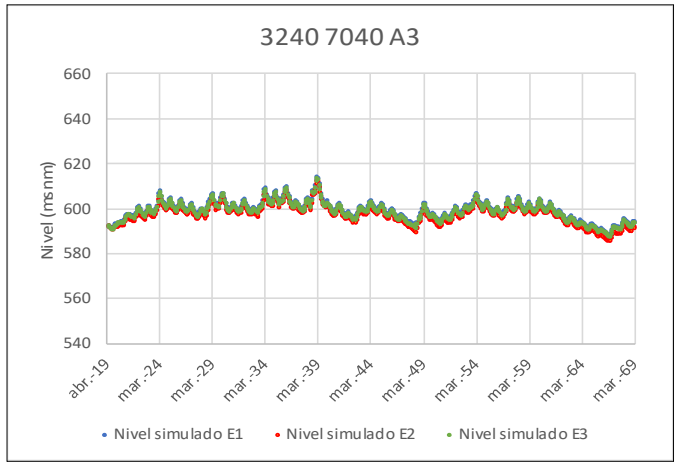




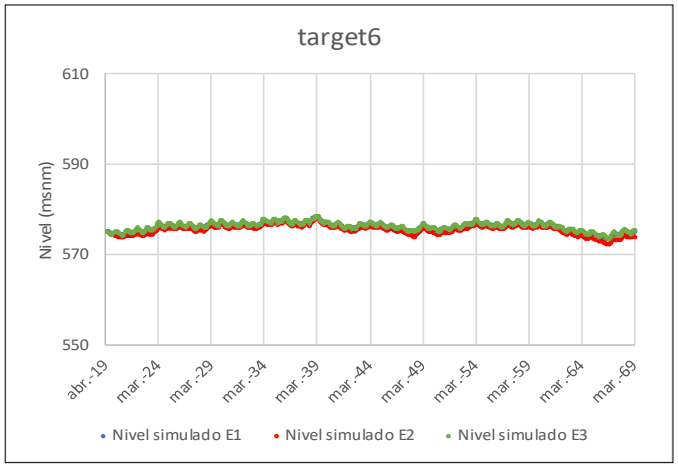
Acuífero 2

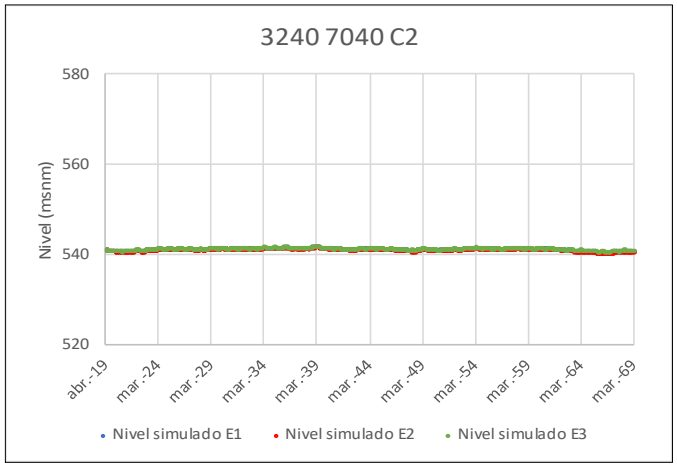


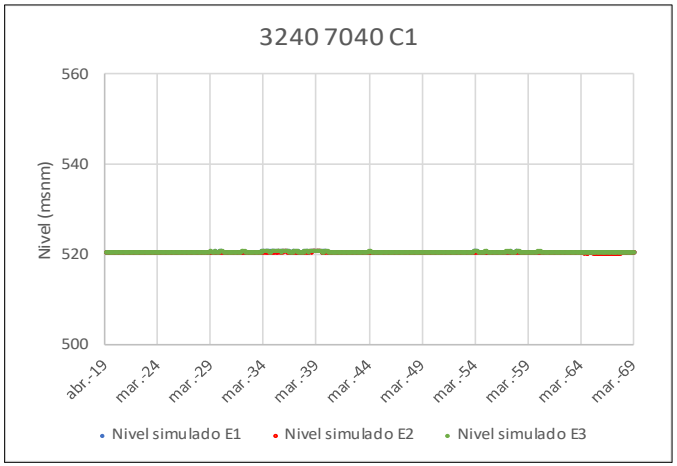




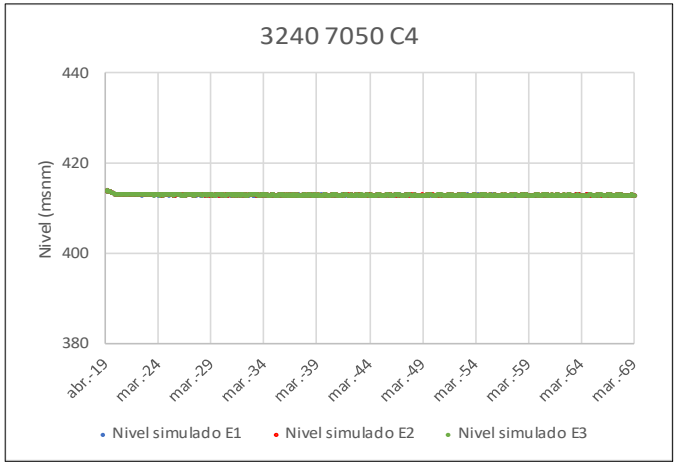
Acuífero 3

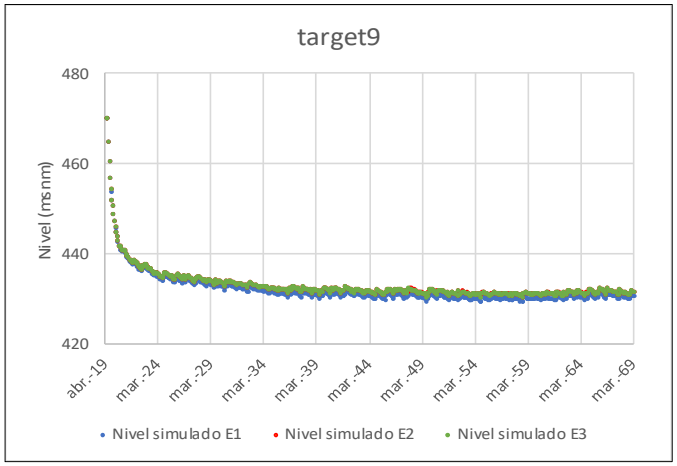


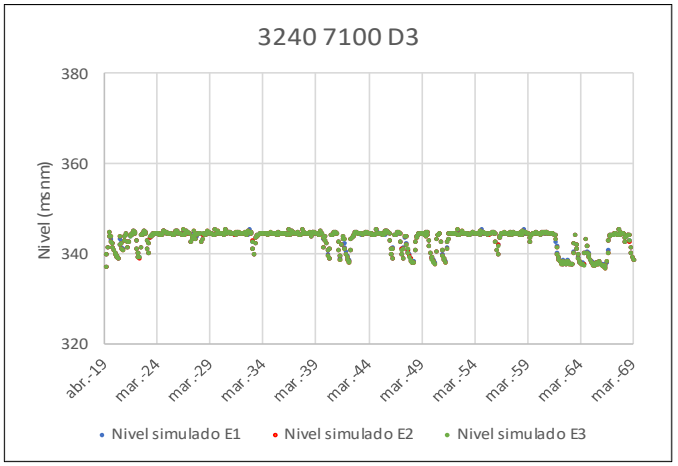




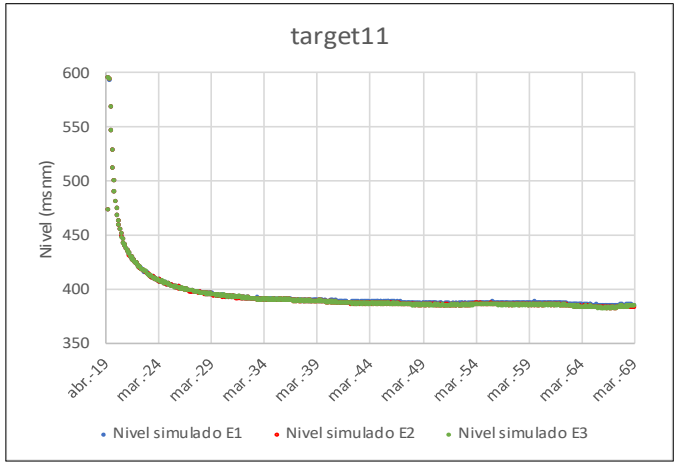
Acuífero 4

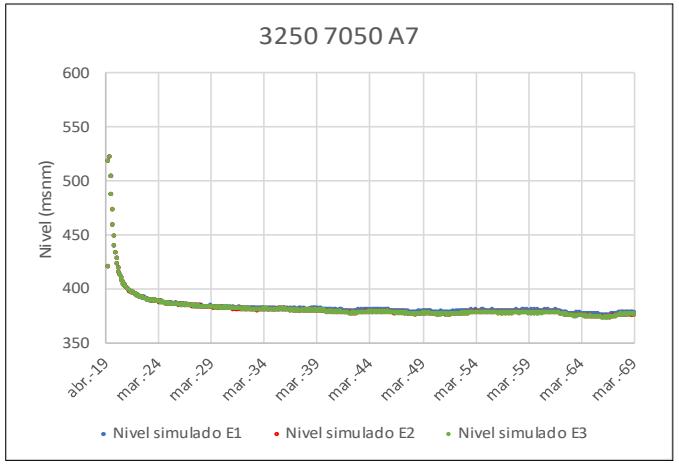


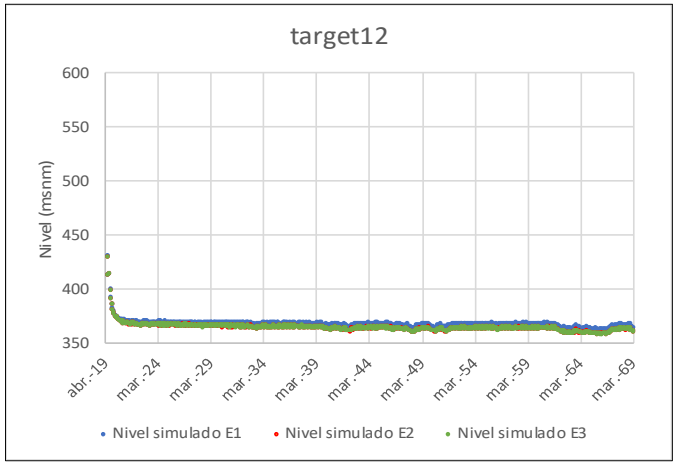




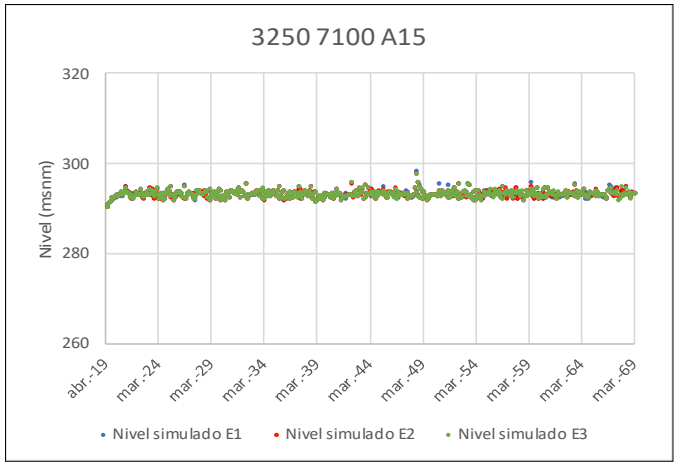
Acuífero 5

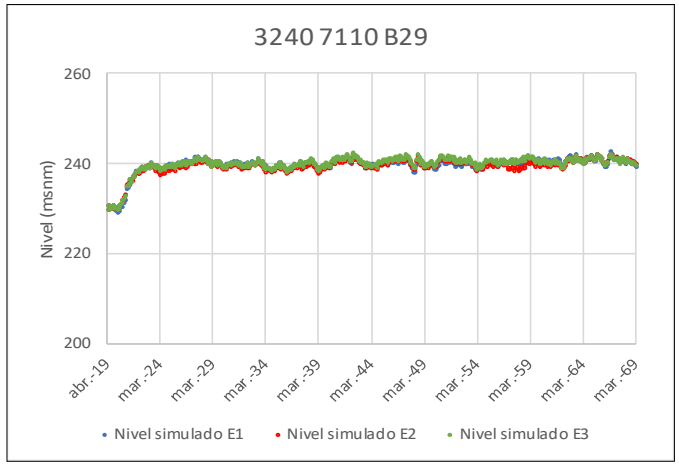


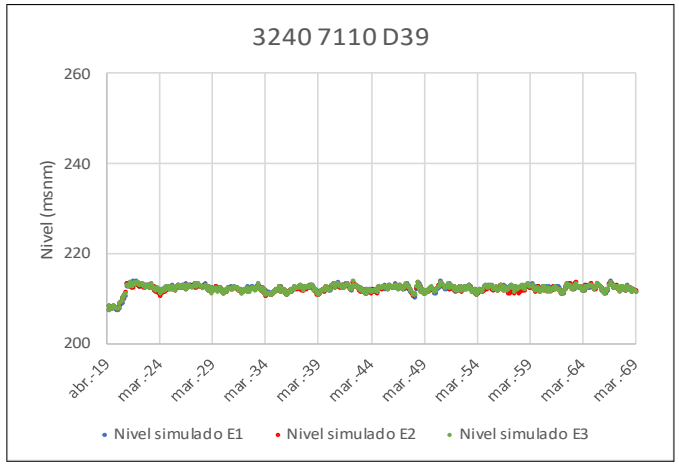




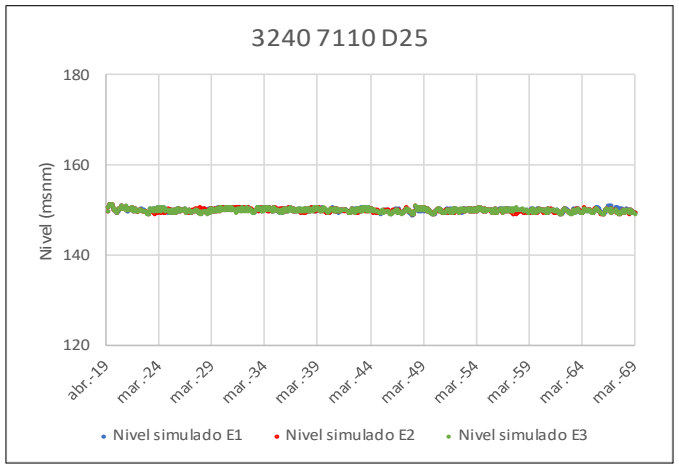
Acuífero 6

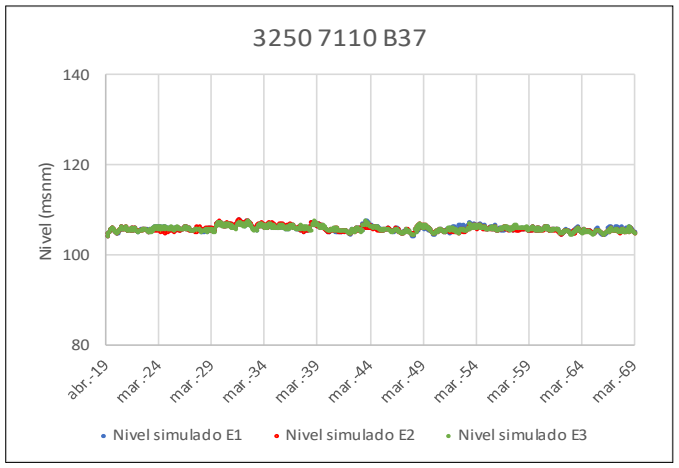


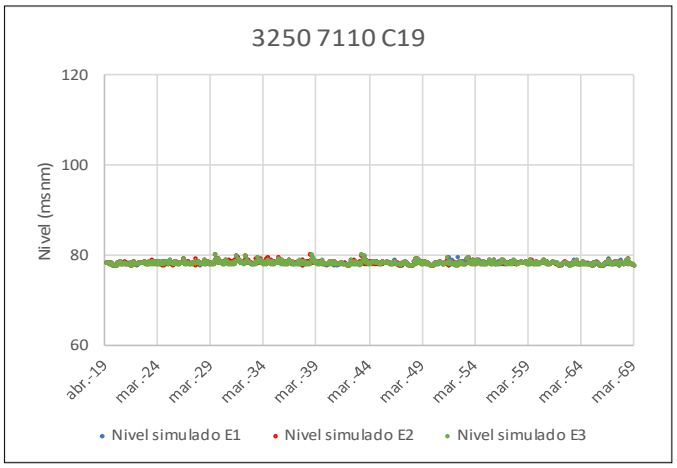




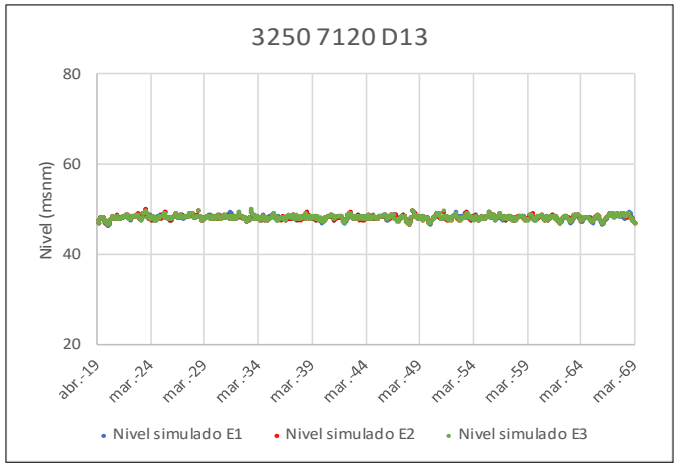
Acuífero 7

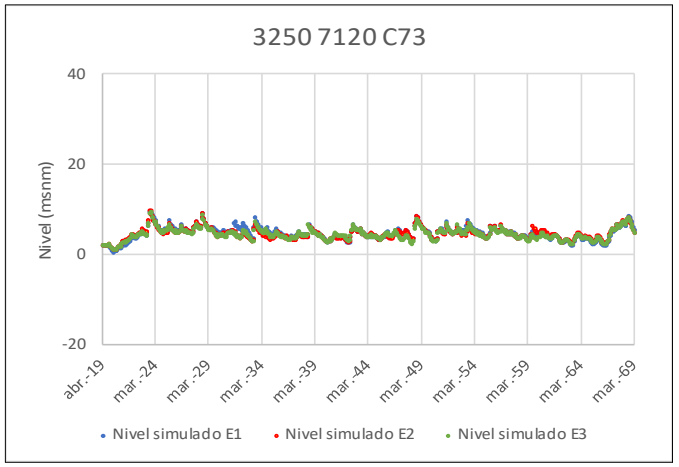


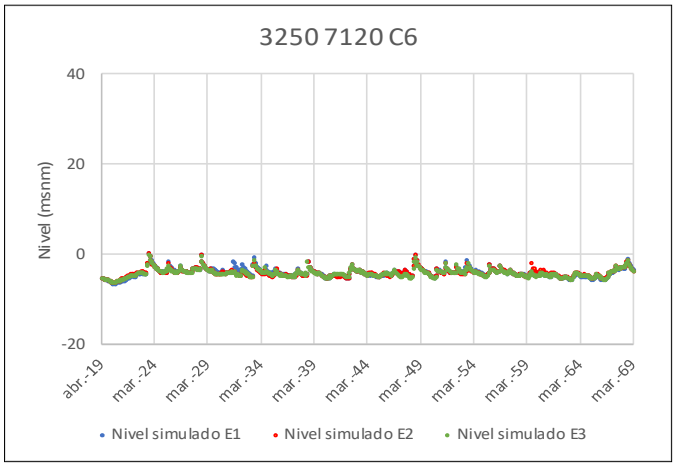




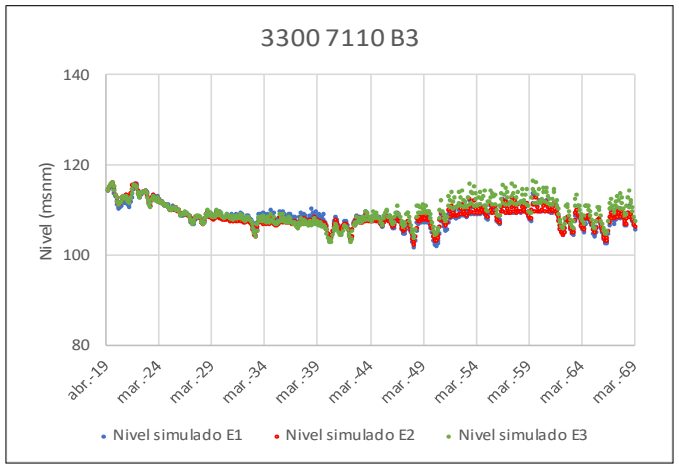
Acuífero 8

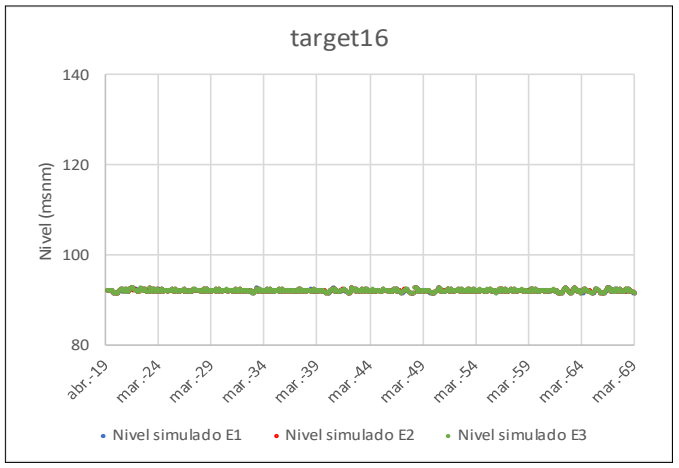


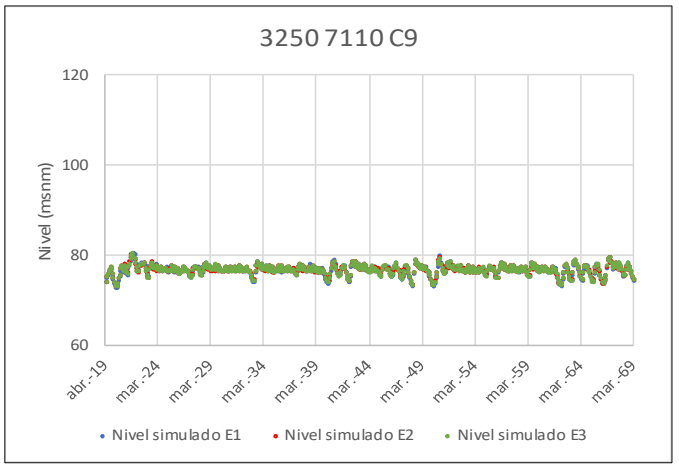




Acuífero 9







No se observa una clara tendencia descendente en el nivel de la napa en los pozos de observación, como muestran estos pozos representativos del sistema subterráneo, recuperándose los niveles en ciclos húmedos o bien lográndose un nuevo equilibrio. Así, se concluye que en cada sector acuífero no se producen descensos sostenidos.

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: i) Aumento de infiltración en el sector acuífero debido al aumento de la explotación y, ii) Disminución de los afloramientos del río.

$$\Delta Q \leq 10\,\% \cdot Q_{ANUAL\ ,\ 85\,\%}$$

Los caudales referenciales para comparación son los mismos usados en DICTUC de 2009 (Afloramiento promedio escenario base DICTUC).
De la misma forma, el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia pasante en el río corresponde al definido en dicho estudio (QANUAL, 85%).

Tabla 2: Interferencia río acuífero

			Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
Sector Acuífero	**QANUAL 85% (m^3/s)**	**Afloramiento neto promedio Escenario Base DICTUC (m^3/s)**	**Afloramiento neto promedio (m^3/s)**	**ΔQ (m^3/s)**	**Grado de Interferencia (%)**	**Afloramiento neto promedio (m^3/s)**	**ΔQ (m^3/s)**	**Grado de Interferencia (%)**	**Afloramiento neto promedio (m^3/s)**	**ΔQ (m^3/s)**	**Grado de Interferencia (%)**
Acuífero 3 Panquehue	3.41	5.98	5.04	0.94	27.6	4.49	1.49	43.7	5.1	0.88	25.8
Acuífero 4 Catemu	2.25	1.31	1.61	-	-	1.61	-	-	1.61	-	-
Acuífero 6 Nogales-Hijuelas	8.97	-0.02	-0.05	0.03	0.3	-0.06	0.04	0.4	-0.05	0.03	0.3
Acuífero 7 Quillota	3.77	-0.41	-0.37	-	-	-0.38	-	-	-0.37	-	-
Acuífero 8 Aconcagua desembocadura	13.31	-0.1	-0.28	0.18	1.4	-0.28	0.18	1.4	-0.28	0.18	1.4

Para los Escenarios 1 (demada comprometida) y 2 (pozos adicionales DOH en Putaendo, San Felipe y Llayllay), respecto al caso base de DICTUC de 2009, se obtiene en los acuíferos 4 y 7 una disminución de la interferencia debido al incremento de las recuperaciones y menor percolación desde el río respectivamente. Por otra parte, el aumento de interferencia en el acuífero 6 entre el Escenario 1 y el Escenario 2 del presente estudio es marginal.

Para el Escenario 2, el aumento es significativo en el acuífero 3, no obstante, este cálculo no considera que el agua subterránea bombeada desde los nuevos pozos DOH se destina al río por lo que en la práctica su efecto sobre el río también es menor. Se aprecia que la interferencia sobre el río es solamente mayor al 10% del QANUAL, 85% en el acuífero 3, pero aquí aplica el mismo comentario anterior, gran parte del efecto se debe a los pozos de la DOH (históricos y proyectados) que devuelven el agua al río.

Como una parte importante del agua recargada artificialmente en el Escenario 3 (Escenario 2 + Recarga artificial en San Felipe) vuelve al río aguas abajo, la interferencia en el acuífero 3 mejora notablemente para este escenario.

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.

$$Q_{OFERTA} > 95\% \cdot Q_{DEMANDA}$$

Tabla 3: Satisfacción de la demanda por sector acuifero [3]

Sector Acuífero	Demanda Comprometida		Caudal previsible								
			Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Caudal nominal (m^3/s) [1]	Caudal previsible (m^3/s)	Caudal impuesto [2] (m^3/s)	Caudal simulado (m^3/s)	Satisfacción Demanda (%)	Caudal impuesto (m^3/s)	Caudal simulado (m^3/s)	Satisfacción Demanda (%)	Caudal impuesto (m^3/s)	Caudal simulado (m^3/s)	Satisfacción Demanda (%)
Acuífero 1 San Felipe	16.44	4.65	4.19	3.45	82.3%	5.44	4.48	82.4%	5.44	4.48	82.4%
Acuífero 2 Putaendo	0.92	0.38	0.37	0.37	99.9%	0.48	0.48	99.9%	0.48	0.48	99.9%
Acuífero 3 Panquehue	3.02	0.84	0.77	0.77	99.4%	0.77	0.77	99.4%	0.77	0.77	99.4%
Acuífero 4 Catemu	7.53	1.22	1.73	1.34	77.7%	1.73	1.35	78.4%	1.73	1.35	78.4%
Acuífero 5 Llayllay	4.15	0.90	0.90	0.88	97.5%	0.96	0.93	96.7%	0.96	0.93	96.7%
Acuífero 6 Nogales-Hijuelas	7.81	2.41	2.29	2.11	92.0%	2.29	2.11	92.1%	2.29	2.11	92.1%
Acuífero 7 Quillota	9.97	2.78	2.75	2.51	91.4%	2.75	2.51	91.4%	2.75	2.51	91.4%
Acuífero 8 Aconcagua desembocadura	4.31	1.04	0.96	0.92	95.6%	0.96	0.92	95.6%	0.96	0.92	95.6%
Acuífero 9 Limache	5.69	1.33	1.59	1.10	69.6%	1.59	1.10	69.6%	1.59	1.10	69.3%
Total modelo	**59.84**	**15.55**	**15.55**	**13.45**	**86.5%**	**16.96**	**14.65**	**86.4%**	**16.96**	**14.65**	**86.4%**

Notas:

(1) Caudales nominales asociados a la demanda comprometida, es decir considendo aquellas captaciones que cuentan con derechos "vivos" (concedidos, pendientes, con recursos de reconsideración, etc.) hasta el ultimo aprobado en cada sector acuífero.

Los caudales nominales para cada SHAC provienen de la planilla DAA SubterraneosOTORGADOSACONCAGUAABRIL2019_2.xls entregada por la IF el día 3 de Mayo de 2019.

(2) Resultan algunas diferencias al contabilizar los pozos sobre los Zone Budget que utiliza el modelo Modflow para cada acuífero, al utilizar las coordenadas señaladas en el archivo anterior versus la asignación de pozos a cada acuífero de acuerdo con lo informado en dicho archivo excel (columa sector acuífero).

Para efectos de este estudio prevalece la información de coordenadas de ubicación de planilla DGA (Columna B de esta planilla) y su equivalente en términos de caudal previsible (mediante aplicación de factores de uso).

(3) Para la evaluación de este criterio se consideran los volúmenes (simulados) de extracción promedio para un período de 50 años, entre abril-19 y marzo-2069.

A partir de la Tabla 3 se observa que, para el Escenario 1 (demanda comprometida), los acuíferos 9 Limache (70%), 4 Catemu (78%), 1 San Felipe (82%), 7 Quillota (91%) y 6 Nogales-Hijuelas (92%) presentarían un nivel de satisfacción de demanda igual o inferior al 95%.

Para los Escenarios 2 y 3 en tanto, no se observan variaciones importantes en los porcentajes de satisfacción de la demanda por sector acuífero, encontrándose que los acuíferos 9 Limache, 4 Catemu, 1 San Felipe, 7 Quillota y 6 Nogales-Hijuelas continúan con niveles de satisfacción iguales o inferiores al 95%.

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.

$$\frac{N_{POZOS\,SECOS}}{N_{TOTAL\,POZOS}} < 5\%$$

Se entiende por Pozo seco a aquel pozo de bombeo en el cual el nivel piezométrico simulado ha descendido por debajo de la cota de la o las capas en las que se encuentra habilitado el sondaje.

Así, a partir de la condición de niveles piezométricos simulados para los modelos: Escenario 1, Escenario 2 y Escenario 3, se determinan el N° total de pozos, el N° de pozos que se secan al final de cada escenario y el % de pozos secos (con respecto al total)

Tabla 4: Resumen pozos secos por acuifero

Sector acuífero	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	N° Total pozos	Nº pozos secos	Pozos secos (%)	N° Total pozos	Nº pozos secos	Pozos secos (%)	N° Total pozos	Nº pozos secos	Pozos secos (%)
Acuífero 1 San Felipe	296	67	22.6%	321	73	22.7%	321	72	22.4%
Acuífero 2 Putaendo	22	0	0.0%	27	0	0.0%	27	0	0.0%
Acuífero 3 Panquehue	54	7	13.0%	54	7	13.0%	54	7	13.0%
Acuífero 4 Catemu	123	10	8.1%	123	8	6.5%	123	8	6.5%
Acuífero 5 Llayllay	84	4	4.8%	86	5	5.8%	86	6	7.0%
Acuífero 6 Nogales-Hijuelas	867	57	6.6%	867	55	6.3%	867	56	6.5%
Acuífero 7 Quillota	1231	68	5.5%	1231	68	5.5%	1231	68	5.5%
Acuífero 8 Aconcagua desembocadura	141	19	13.5%	141	21	14.9%	141	21	14.9%
Acuífero 9 Limache	1478	368	24.9%	1478	372	25.2%	1478	368	24.9%
Total modelo	4296	600	14.0%	4328	609	14.1%	4328	606	14.0%

A partir de la Tabla 4 se observa que para el Escenario 1 (demanda comprometida) todos los acuíferos, salvo los sectores 2 Putaendo y 5 Llayllay, presentan una proporción de pozos secos mayor al 5%. La mayor proporción se registraría en los acuíferos 9 Limache (24.9%) y 1 San Felipe (22.6%).

Asímismo, el análisis del Escenario 2 (pozos adicionales DOH en Putaendo, San Felipe y Llayllay) muestra que todos los acuíferos, salvo el sector 2 Putaendo, presentan una proporción de pozos secos mayor al 5%. La mayor proporción se registraría en los acuíferos 9 Limache (25.2%) y 1 San Felipe (22.7%).

En cuanto al análisis del Escenario 3 (Escenario 2 + Recarga artificial en San Felipe), todos los acuíferos, salvo el sector 2 Putaendo, presentan una proporción de pozos secos mayor al 5%. En tanto, la mayor proporción de pozos secos se registraría en los acuíferos 9 Limache (24.9%) y 1 San Felipe (22.4%), con resultados bastante similares a los obtenidos con el Escenario 1.

Cabe mencionar que para los 3 escenarios considerados, el acuífero 2 Putaendo (0%) no presenta pozos secos.

J: TOPOLOGIA DEL WEAP

260000 290000 320000 350000 380000 410000

6420000 6390000 6360000 6330000

N

Región Valparaíso

República de Argentina

Región Metropolitana de Santiago

OCEÁNO PACIFICO

dN09_S03_4 Emb_Chacrillas S03 Qbs03 S04 Qbs04 dS01_5 S01_6 Qbs01_6 dS01_6 QBO02 Ac02 dCh02 S05 Qbs05 QPANQ QPUT dS05 S01_8 S01_5 Qbs01_5 dS01_8 QBO03 Ac03 dS06 dS01_8 QBO04 QLLAY_A dS07 S06 Qbs06 San_Felipe QCUR Qbs01_4 Qbs01_3 S01_3 S01_4 Qbs01_7 S01_7 dS01_7 S01_1 Qbs01_1 S01_2 Qbs01_2 Ac01 QBO01 Qbs07 S07 Ac04 dCh11 Qbs08 S08 QLLAY_C dS08 S02_7 dS02_7 Qbs02_7 S02_5 Qbs02_5 S02_4 Qbs02_4 Qbs02_1 S02_1 dN02_perm dCh18 dCh01 Chacabuquito dCh19 dN02_event Qbs02_3 S02_3 Qbs02_2 S02_2 Qbs02_6 S02_6 dS02_6 dCh13 dCh17 dCh14 dCh16 dCh15 S10 Qbs10 QBO06 Ac06 Dren LasVegas Romeral dS10 dCh06 dCh04 S09 Qbs09 dS09 dN19_S09_Ch12 dCh05 dCh03 S11 Qbs11 dS11 dN22_perm QBO05 Ac05 dCh07 Ac10 S20 dS20 QBO10 Qbs20 dCh09 dPermN27 dS12 dS13 dCh08 S13 Qbs13 Qbs12 S12 dS14 dS15 dS16 Qbs14 Ac08 Qbs17 S17 dS17 S14 Ac07 Qbs15 QBO07 S15 Qbs16 Qbs18 S16 S18 dS18 QBO08 dCh10 Emb_Aromos S19 Qbs19 Ac09 QBO09 dS19

SIMBOLOGÍA

- Sitio de demanda
- Sector de Riego
- Embalse
- Sector acuifero
- Estación fluviométrica
- Ríos
- Canales de trasvase
- Conducciones
- Flujos de retorno
- Escorrentía/infiltración
- Área de estudio
- Límite regional
- Límite internacional

0 7.5 15 30 KM

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S 1:310,000

Gobierno de Chile gob.cl

Elementos del Modelo WEAP ACN

PREP.: A.F.T.	FECHA: Octubre 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 1
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 02	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\CLSCL2005ERV01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WP\430_CIS_CAD\431_Map_Files\01_Entrega_Octubre2019\Anexo 1A_Elementos del Modelo WEAP ACN.mxd

260000 290000 320000 350000 380000 410000

6420000 6390000 6360000 6330000

N

Región Valparaíso

República de Argentina

Región Metropolitana de Santiago

OCEÁNO PACIFICO

Putaendo

San Francisco

El Cobre

Quintero

Ch01_CChaq

Ch02_Pasco

Ch03_Lorino

Ch04_Rabuco

Ch05_LasKoipel

Ch06_ElMelon

Ch07_Waddington

Ch08_Mauco

Ch09_Sequel

Ch10_Aconcagua

Ch11_Purehue

Ch12_10A

Ch13_Cjun

Ch14_Chalmeo

Ch15_ExtConcaAndina

Ch15_Ext5_CAnd

Ch16_ExtConcaAndina

Ch17_Chac_Pobl

Ch18_EsA_Chvolma

Ch19_MSurAndes

Juncal

Blanco

Catemu

Pocuro

Aconcagua

Rabuco

Ramadillo_23

N_24_27

N_29_30

N8_22

N13_19

CC_S01

CC_S01_1

CC_S01_2

CC_S01_3

CC_S01_4

CC_S01_5

CC_S01_6

CC_S01_7

CC_S02

CC_S02_1

CC_S02_2

CC_S02_3

CC_S02_4

CC_S02_5

CC_S02_6

CC_S03

CC_S04

CC_S05

CC_S06

CC_S07

CC_S08

CC_S09

CC_S10

CC_S11

CC_S12

CC_S13

CC_S14

CC_S15

CC_S16

CC_S17

CC_S18

CC_S19

CC_S20

CE_01

CE_02

CE_03

CE_04

CE_05

CE_06

CE_07

CE_08

CE_09

CE_10

CE_11

CE_12

CE_13

CE_14

CE_15

CE_16

CE_17

CE_18

CE_19

CE_20

CE_21

CS01

CS02

CS03

CS04

CS05

CS06

CS07

CS08

CS09

CS10

CS11

CS12

CS13

CS14

CS15

CS16

CS17

CS18

CS19

CS20

CS21

SIMBOLOGÍA

- Sitio de demanda
- Sector de Riego
- Embalse
- Sector acuifero
- Estación fluviométrica
- Ríos
- Canales de trasvase
- Conducciones
- Flujos de retorno
- Escorrentía/infiltración
- Área de estudio
- Límite regional
- Límite internacional

0 7.5 15 30 KM

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S 1:310,000

Gobierno de Chile

gob.cl

Elementos del Modelo WEAP ACN

PREP.: A.F.T.	FECHA: Octubre 2019	PROYECTO: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua	Figura 2
DIB.: J.R.G.	N° PROY.: MOP0023		
APR.: E.A.G.	N° TAREA: 02	CLIENTE: Ministerio de Obras Publicas - Dirección General de Aguas División de Estudios y Planificación	

Path: \\CLSCL2005ERV01\22-Projects\705_DGA\MOP0023\400_WEAP\430_GIS_CAD\431_Map_Files\101_Entrega_Octubre2019\Anexo 1B_Elementos del Modelo WEAP ACN.mxd

K: TALLER ETAPA 1

1 INTRODUCCION

El presente anexo sintetiza la metodología y contenidos del taller impartido con ocasión del término de la Etapa 1 del proyecto Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua.

El taller se llevó a cabo en las dependencias del centro de Eventos Bulnes (http://eventosbulnes.cl/) entre el 19 y 23 de Agosto de 2019, a través de cinco jornadas de clases consecutivas, de 8 horas de duración cada una, salvo el último día con jornada parcial.

Los asistentes correspondieron a profesionales de diversos organismos públicos, en particular de la División de Estudios y Planificación de la DGA, así como a otros actores interesados en el proyecto (Asesores de la Primera Junta de Vigilancia río Aconcagua, colaboradores UC Davis, profesores universitarios y alumnos, entre otros). La lista completa de asistencia se acompaña al final de este apéndice.

El objetivo fundamental del taller fue transmitir los resultados de los escenarios de gestión realizados con los modelos actualizados del valle (MOS y VM ACN 2019), y capacitar al público para correr nuevos escenarios predictivos desde el ingreso de las principales variables de entrada hasta la obtención e interpretación de los resultados fundamentales (errores, balances hídricos, niveles de agua subterránea, etc).

También se hizo hincapié en los principales conceptos inherentes a la modelación hidrogeológica, seguido de la realización de un ejercicio práctico para la aplicación subcuenca río Purapel (VII Región) de manera que el alumno adquiriera parte de las destrezas necesarias para llevar a cabo un trabajo de este tipo en casos reales.

El curso fue relatado básicamente por los señores Eduardo Abujatum (Jefe de Proyecto) y Juan Pablo Riquelme (Hidrogeólogo Senior), contando además con la participación de la mayoría del equipo WSP para este servicio de consultoría.

2 METODOLOGIA APLICADA

2.1 ESQUEMA DE TRABAJO

El esquema de trabajo adoptado consideró las siguientes presentaciones en PowerPoint, especialmente diseñadas para los fines de esta capacitación.

Todas las ponencias quedaron disponibles para los asistentes en formato digital.

Durante el curso se realizó una prueba a fin de verificar el grado de entendimiento del auditorio, junto con la facilidad del profesor para impartir sus conocimientos y experiencia, esto además permitió al profesor darse cuenta en general de la buena base hidrogeológica y preparación de la mayoría de los asistentes.

Presentación n°1. Teoría de las aguas subterráneas.

- El agua subterránea dentro del ciclo hidrológico.
- Importancia del agua subterránea.
- Definiciones básicas.
- Parámetros hidrogeológicos de flujo y transporte.
- Formulación teórica de las aguas subterráneas.
- Teoría de la modelación de aguas subterráneas.

Presentación n°2. Desarrollo del modelo conceptual.

- ¿Por qué modelar?
- ¿A qué etapa de la modelación hidrogeológica corresponde?
- ¿Qué es un modelo conceptual? Objetivos e importancia.
- Etapas principales para el desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual.

Presentación n°3. Conceptos de recarga artificial.

- Objetivos y ventajas de la recarga artificial.
- Sistemas de recarga artificial más comunes.
- Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de recarga.
- Criterios de valoración de la viabilidad de un proyecto de recarga artificial.
- Fenómeno de colmatación.
- Mecanismos de colmatación.
- La recarga artificial como medio de adecuación al cambio climático en la gestión hídrica.
- Análisis de los resultados de la prueba piloto de Curimón.
- Propuesta de recarga artificial para el SHAC San Felipe.

Presentación n°4. Desarrollo de un modelo numérico Modflow, parte I.

- Discretización espacial.
- Elección de condiciones de borde y sus características.
- Ingreso de parámetros hidráulicos.
- Condiciones iniciales.
- Pozos de observación.

Presentación n°5. Desarrollo de un modelo numérico Modflow, parte II.

- Calibración.
- Validación.
- Escenarios predictivos.
- Análisis de sensibilidad.
- Presentación de resultados.
- Seguimiento.

Presentación n°6. Ejercicio práctico subcuenca río Purapel.

Presentación°7. Modelo de Operación MOS ACN 19.

- Caracterización hidrológica de la cuenca Aconcagua.
- Conceptualización del modelo de operación del sistema – MOS.
- Operación general del MOS.

Presentación n°8. Operación modelo calibración / simulaciones VM ACN 19, parte I.

- Generalidades modelo hidrogeológico.
- Preparación e ingreso series de recarga.
- Preparación e ingreso archivos de bombeo.
- Configuración condiciones de borde.
- Pozos de observación de niveles.
- Zonas de balance.
- Ejecución modelo.

Presentación n°9. Operación modelo calibración / simulaciones VM ACN 19, parte I.

- Obtención de resultados.
- Procesamiento de resultados.
- Análisis de resultados.

Presentación n°.10. Construcción escenarios gestión MOS VM ACN 19.

- Demanda comprometida Abril de 2019.
- Proyecto de nuevos pozos DOH.
- Proyecto de recarga artificial en el acuífero 1 de San Felipe.
- Aumento del uso efectivo de los nuevos pozos DOH.



Figura 1. Fotografías de la ejecución del taller 1

wsp

"Sistema de Gestión Integrado"
R-SGI-05-V02

FECHA		
19	8	19

(CHARLA ___) (INDUCCION ___) (REUNION ___) (TALLER X) (CAPACITACION ___)

INSTRUCTOR	Eduardo Bujestum	RUT	8.891.540-2
GERENCIA / AREA			
NOMBRE DOCUMENTO / COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS	Tópicos básicos aguas subterráneas Modelación hidrogeológica conceptual Modelación hidrogeológica numérica Recarga artificial Levantamiento hidrológico integrado Ocoa-Yaguate Modelo MOS hidrológico modelo MODFLOW, Escenarios predictivos		

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Pamela García Serrano	Ing. Analista DGA	24.917.566-8	
2	Natalia Ramos Mora	Memorista	18.104.283-4	
3	CRISTIAN HADAD W.	ING. JVA1	15.315.523-2	
4	VÍCTOR CUEVAS V.	PROFESOR UNAB	11620906-3	
5	Luis Astroza Alvarez	Memorista	17.602.879-3	
6	Cristopher Lobet Arranda	técnico	16.287.246-2	
7	VÍCTOR H. REYES D.	INSPECTOR FISCAL DPR-DGH	13.027.725-K	
8	Andrea Osses	Jefa(S) DEP.	13.027.959-7	
9	HECTOR NEGRON ORTIZ	D.I. D.G.A	14.763.710-2	
10	Franco Cerderos G4	Ing. Analista DGA	13253518-3	
11	Alfredo Alvarez	Asem DGA	15.590.072-5	
12	Carlos Flores Arenas	modelador DGA	21.146.004-8	
13	Vicente Figueroa Sanhueza	tesista Unab	19.243.017-8	
14				
15				

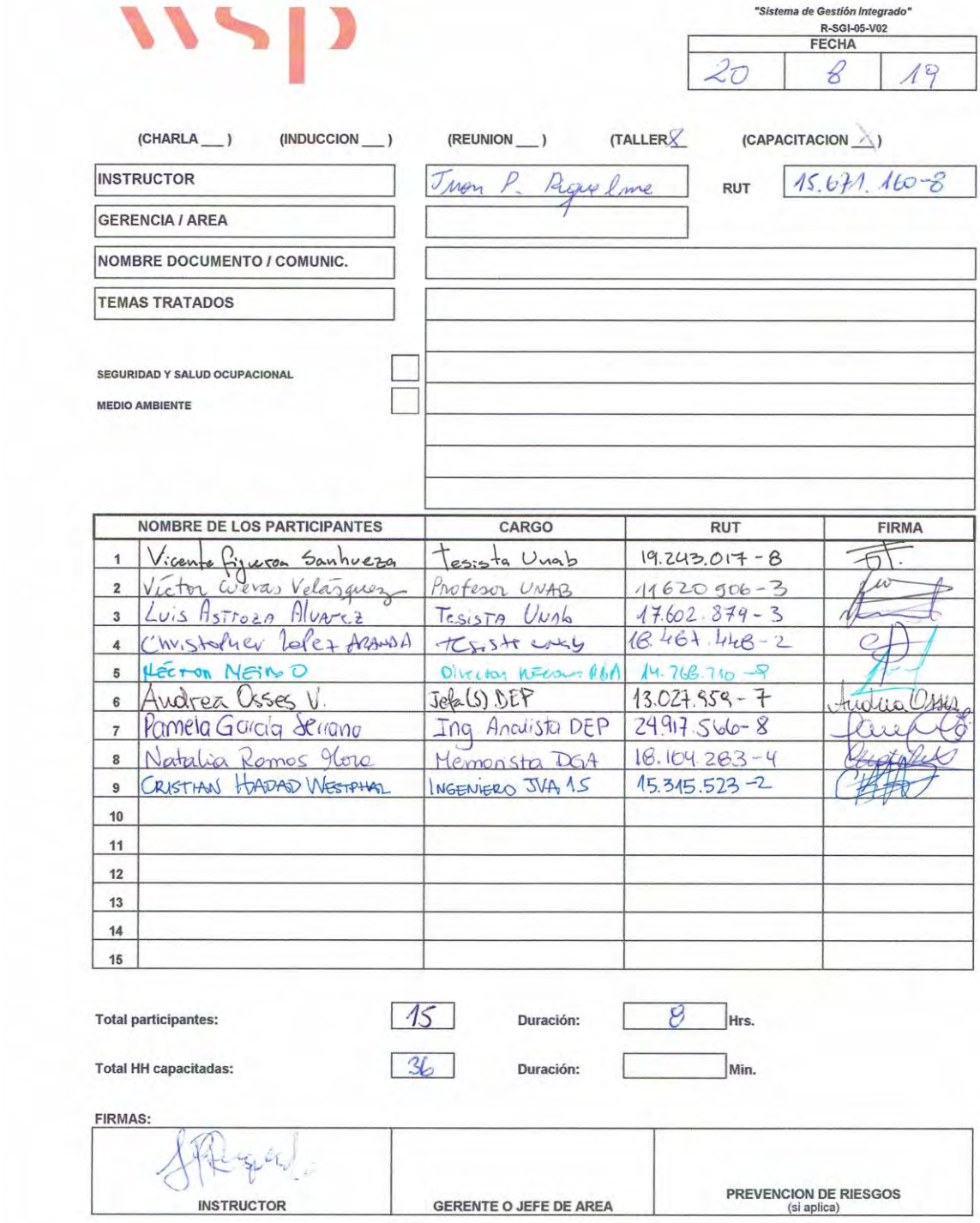
Total participantes: 15 Duración: 8 Hrs.

Total HH capacitadas: 36 Duración: ___ Min.

FIRMAS:

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE AREA	PREVENCION DE RIESGOS (si aplica)

Figura 2. Lista de asistencia



"Sistema de Gestión Integrado"
R-SGI-05-V02

FECHA		
20	8	19

(CHARLA ___) (INDUCCION ___) (REUNION ___) (TALLER X) (CAPACITACION ___)

INSTRUCTOR	Juan P. Riquelme	RUT	15.671.160-8
GERENCIA / AREA			
NOMBRE DOCUMENTO / COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐
MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Vicente Figueroa Sanhueza	Tesista Unab	19.243.017-8	
2	Víctor Cuevas Velásquez	Profesor UNAB	11620906-3	
3	Luis Astroza Alvarez	Tesista Unab	17.602.879-3	
4	Christopher Lopez Aranda	Tesista Unab	18.467.448-2	
5	Héctor Neira O	Director Nacional ABA	14.768.710-9	
6	Andrea Osses V.	Jefa(S) DEP	13.027.959-7	
7	Pamela García Serrano	Ing Analista DEP	24.917.566-8	
8	Natalia Ramos Mora	Memonsta DGA	18.104.283-4	
9	Cristhan Haddad Westphal	Ingeniero JVA 1.5	15.315.523-2	
10				
11				
12				
13				
14				
15				

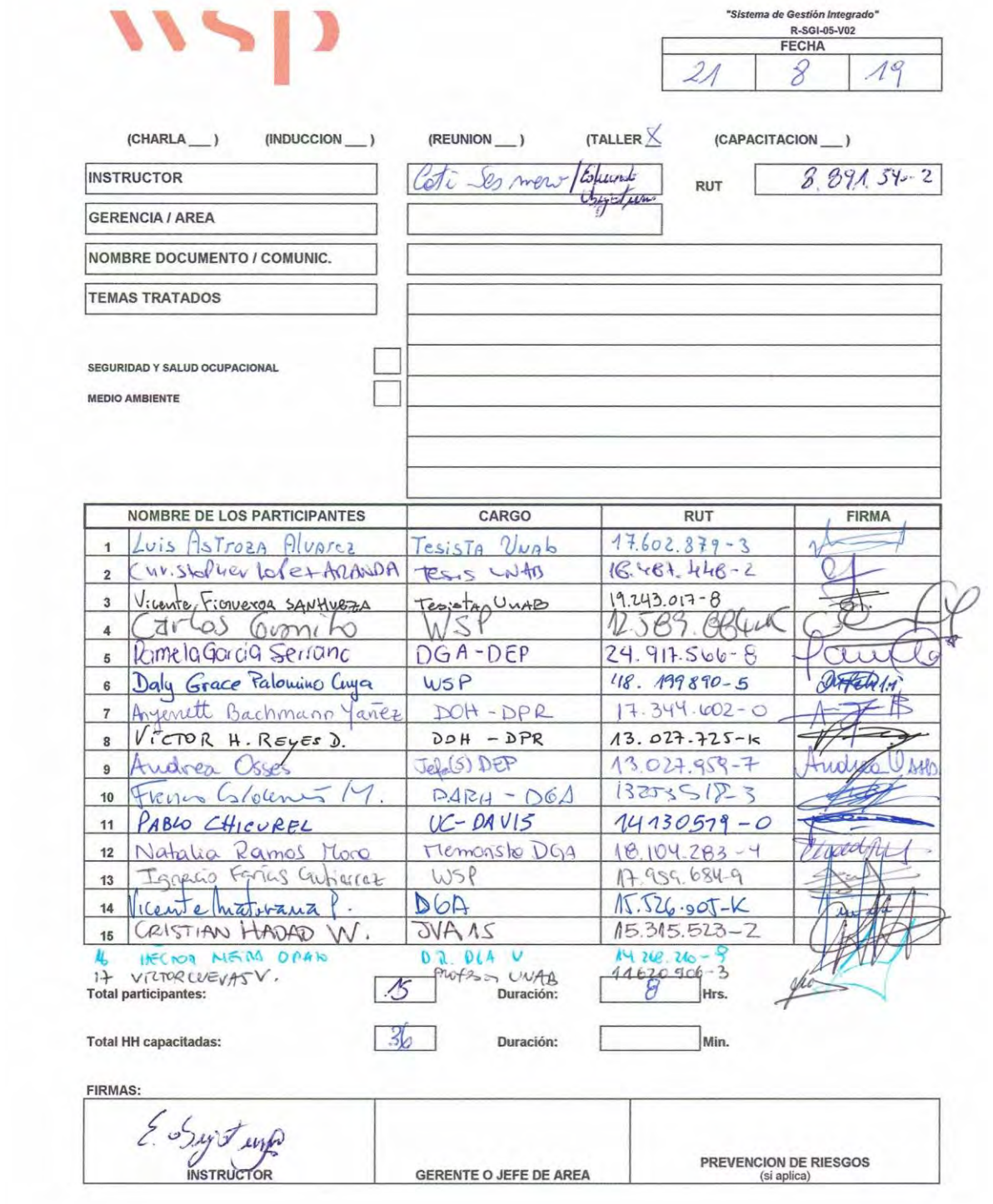
Total participantes: 15 Duración: 8 Hrs.

Total HH capacitadas: 36 Duración: ___ Min.

FIRMAS:

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE AREA	PREVENCION DE RIESGOS (si aplica)

Figura 2. Lista de asistencia



"Sistema de Gestión Integrado"
R-SGI-05-V02

FECHA		
21	8	19

(CHARLA ___) (INDUCCION ___) (REUNION ___) (TALLER X) (CAPACITACION ___)

INSTRUCTOR	Coti Sesmero / Eduardo Espinoza	RUT	8.891.54-2
GERENCIA / AREA			
NOMBRE DOCUMENTO / COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐
MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Luis Astroza Alvarez	Tesista Unab	17.602.879-3	
2	Cristobal Lobet Aranda	Tesis UNAB	18.481.448-2	
3	Vicente Figueroa Sanhueza	Tesista Unab	19.243.017-8	
4	Carlos Gomito	WSP	12.583.084-K	
5	Pamela Garcia Serrano	DGA-DEP	24.917.566-8	
6	Daly Grace Palomino Cuya	WSP	118. 199890-5	
7	Anyenett Bachmann Yañez	DOH - DPR	17.344.602-0	
8	VICTOR H. REYES D.	DOH - DPR	13.027.725-K	
9	Andrea Osses	Jefa(S) DEP	13.027.959-7	
10	Francisca Gloeckner M.	DARH - DGA	13.253.518-3	
11	PABLO CHICUREL	UC-DAVIS	14130579-0	
12	Natalia Ramos Mora	Fiscalizadora DGA	18.104.283-4	
13	Ignacio Farías Gutierrez	WSP	17.959.684-9	
14	Vicente Matamala P.	DGA	15.526.907-K	
15	CRISTIAN HADAD W.	JVA 15	15.315.523-2	
16	IGNACIO NEIRA OPAZO	DZ. DGA V	14.248.246-9	
17	VICTOR CUEVAS V.	Profesor UNAB	14.620.906-3	

Total participantes: 15 Duración: 8 Hrs.

Total HH capacitadas: 36 Duración: ___ Min.

FIRMAS:

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE AREA	PREVENCION DE RIESGOS (si aplica)
E. Sesmero		

Figura 2. Lista de asistencia

"Sistema de Gestión Integrado"
R-SGI-05-V02

FECHA		
22	8	19

(CHARLA ___) (INDUCCION ___) (REUNION ___) (TALLER X) (CAPACITACION ___)

INSTRUCTOR	EDUARDO ABUJATUM	RUT	8.891.540-2
GERENCIA / AREA			
NOMBRE DOCUMENTO / COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐
MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	CRISTIAN HADAD W.	ING. HIDRAULICO JVA 1S	15.315.523-2	
2	[illegible]	D. Recursos DGA U	M.768.210-9	
3	Vicente Figueroa Sanhueza	Tesista Unab	19.243.017-8	
4	VÍCTOR CUEVAS V.	DOCENTE UNAB	11620906-3	
5	Luis Astroza Alvarez	Tesista Unab	17.602.879-3	
6	Christopher Lopez [illegible]	Tesista UNAB	16.481.446-2	
7	Kimela Garáa Serrano	DGA-MOP	24.917.566-8	
8	PABLO CHICUREL	UC-DAVIS	14.130.579-0	
9	Andrea Osses	Jefa(S) DEP-DGA	13027.959-7	
10	Franco Glocner M.	DGA - DARH	13253518-3	
11	Natalia Ramos M.	Mecanico DGA	16.104.283-4	
12				
13				
14				
15				

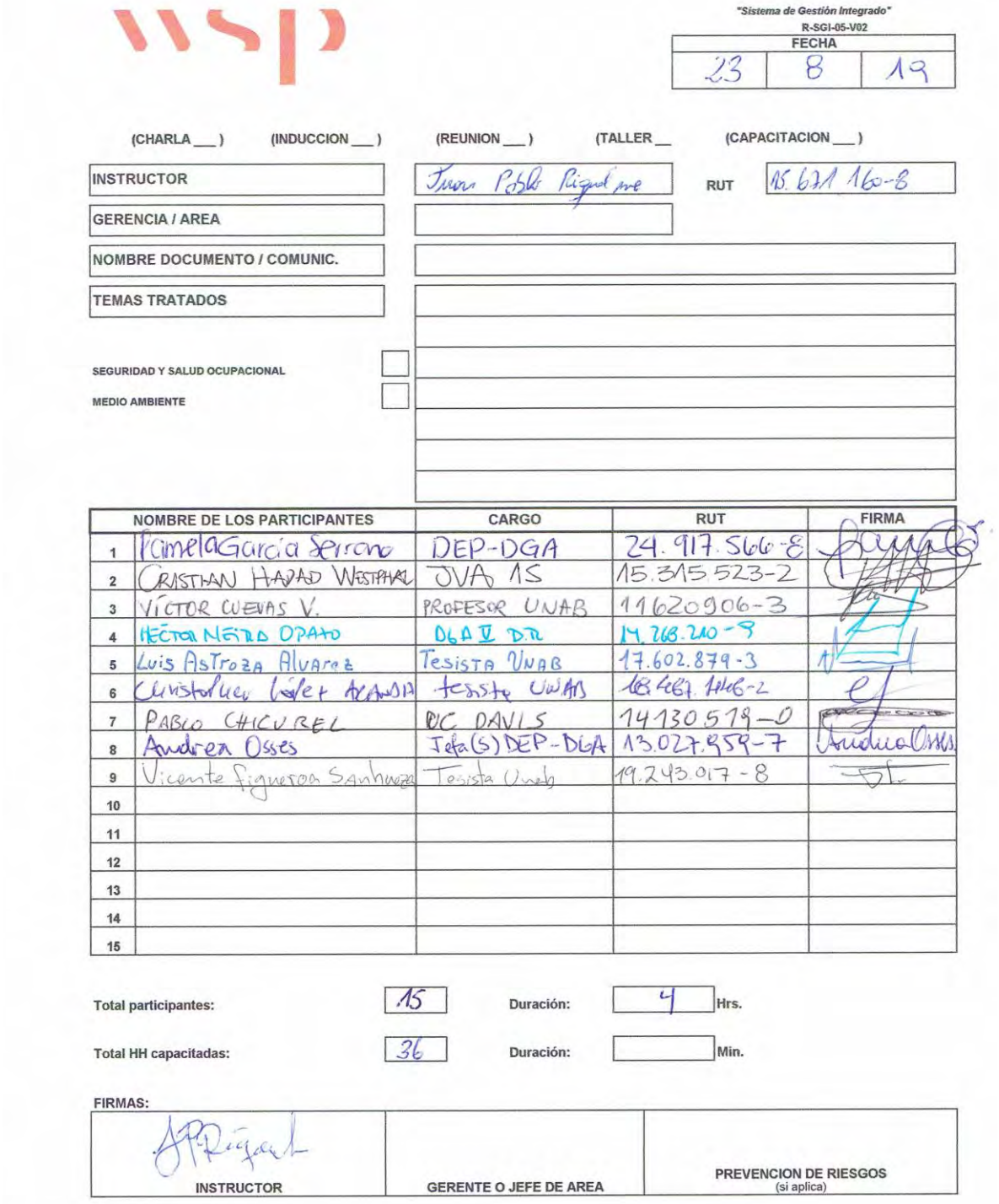
Total participantes: 15 Duración: 8 Hrs.

Total HH capacitadas: 36 Duración: ___ Min.

FIRMAS:

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE AREA	PREVENCION DE RIESGOS (si aplica)
[signature]		

Figura 2. Lista de asistencia



"Sistema de Gestión Integrado"
R-SGI-05-V02

FECHA		
23	8	19

(CHARLA ___) (INDUCCION ___) (REUNION ___) (TALLER __ (CAPACITACION ___)

INSTRUCTOR	Juan Pablo Riquelme	RUT	15.671.160-8
GERENCIA / AREA			
NOMBRE DOCUMENTO / COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐
MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Pamela García Serrano	DEP-DGA	24.917.566-8	
2	CRISTIAN HADAD WESTPHAL	JVA 1S	15.315.523-2	
3	VÍCTOR CUEVAS V.	PROFESOR UNAB	11620906-3	
4	HÉCTOR NEIRA OPAZO	DGA V D.R	14.268.210-9	
5	Luis Astroza Alvarez	Tesista UNAB	17.602.879-3	
6	Christopher Valet Acuña	tesista UNAB	18.467.1046-2	
7	PABLO CHICUREL	DC DAVIS	14130519-0	
8	Andrea Osses	Jefa(S) DEP-DGA	13.027.959-7	
9	Vicente Figueroa Sanhueza	Tesista Unab	19.243.017-8	
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Total participantes: 15 Duración: 4 Hrs.

Total HH capacitadas: 36 Duración: ___ Min.

FIRMAS:

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE AREA	PREVENCION DE RIESGOS (si aplica)

Figura 2. Lista de asistencia

L: TALLER ETAPA 2

1 INTRODUCCION

El presente anexo sintetiza la metodología y contenidos del taller dictado con ocasión del término de la Etapa 2 del proyecto Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua. El taller se realizó en las dependencias del centro de Eventos Neuralis (http://neuralis.cl/) durante la última semana de Octubre de 2019.

Los asistentes correspondieron a profesionales de distintos organismos públicos, en particular de la División de Estudios y Planificación de la DGA, así como a otros actores interesados en el proyecto (Asesores Juntas de Vigilancia río Aconcagua, colaboradores UC Davis, profesores universitarios y alumnos, entre otros). La nómina completa de asistencia se adjunta al final de este apéndice.

El objetivo fundamental del taller fue transmitir los resultados de la migración de los modelos MOS y VM ACN 2019 actualizados del valle del río Aconcagua a Weap y Modflow nativo respectivamente y, capacitar al público en el uso de dichos programas con hincapié en la realización por parte de los alumnos de ejercicios prácticos.

El curso fue relatado básicamente por los señores Eduardo Abujatum (Jefe de Proyecto), Agustin Ferrer (Ingeniero de Proyecto), Rodrigo Varas (Ingeniero de Proyecto) y Juan Pablo Riquelme (Hidrogeólogo Senior).

2 METODOLOGIA APLICADA

2.1 ESQUEMA DE TRABAJO

El esquema de trabajo consideró las siguientes presentaciones en PowerPoint, especialmente diseñadas para los fines de esta capacitación, que quedaron disponibles para el público.

Presentación n°1. Presentación herramienta Weap

- Enfoque modelación hidrológica
- ¿Qué es Weap?
- Elementos de Weap

Presentación n°2. Ejemplo de aplicación Weap

- Ejemplo de aplicación simplificado, interactivo con el usuario

Presentación n°3. Migración modelo Weap Aconcagua, parte I

- Elementos Weap Aconcagua
- Limitaciones y simplificaciones adoptadas

Presentación n°4. Migración MPL

- Introducción a Python (programación al objeto)
- Migración MPL-Python
- Comparación de resultados de caudales de entrada al Weap

Presentación n°5. Migración modelo Weap Aconcagua, parte II

- Ajuste estaciones fluviométricas
- Resultados de recarga

Presentación n°6. Migración Visual Modflow a Modflow nativo

- Resumen modelo VM ACN 2019
- Modflow nativo y extracción de resultados
- Comparación de resultados (balances y niveles)

Presentación°7. Ejercicio completo GWV - Modflow nativo

- Ejemplo de aplicación interactivo de desagüe para las fundaciones de una obra civil



Figura 1. Fotografías de la realización del taller 2

DGA

wsp

FECHA		
28	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER X) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	AGUSTIN FERRER	RUT	18446449-7
GERENCIA			
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS	TALLER ETAPA 2 ACN-19 H. INICIO = 9:00 H. FIN = 16:00		

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

Figura 2. Lista de asistencia

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Maria Inés Cortes	DGA RM	14152391-0	
2	Nicolás Ovalle Paragave	DGA UOU	13.991.861-7	
3	LEONARDO SOSA BADILLA	DGA RM	26034453-6	
4	HECTOR MEJIAS OPAZO	D.G.A VALPARAISO	14.268.210-9	
5	PAUL DOUROJEANNI	DGA DEP	16365331-1	
6	Pamela Garcia Serrano	DGA DEP	24917566-8	
7	Luis Cadal López	DGA DARH	13.571.740-K	
8	Nicolás Ruiz Contreras	DGA UOU	16.870.984-6	
9	SHIRLEY ALFARO.	DGA UOU	13.417.284-8	
10	Audrea Osses	DGA DEP	13.027.958-7	
11	Franco Calderón	DGA DARH	13.253.518-3	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES		DURACIÓN	
TOTAL HH CAPACITADAS		DURACIÓN	

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS

Figura 2. Lista de asistencia

FECHA		
28	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER X) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	AGUSTIN FERRER	RUT	18446449-7
GERENCIA			
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	VICTOR CUEVAS	PROFESOR UNAB	11620906-3	
2	DARIO VARGAS	HIDRICA CONSULTORES	16476538-5	
3	Sergio Duarte	HIDRICA CONSULTORES	15736714	
4	PABLO CHICUREL	HIDROGEOLOGO	7730579-0	
5	Vicente Figueroa	Tesista Unab	19.243.017-8	
6	EDUARDO RUBIO A.	ING. P. ERIDANUS	15.377.171-6	
7	IGNACIO AGUIRRE	ING. P ERIDANUS	18334278-9	
8	ESTEBAN VELIZ	ING Proyectos	18641448-9	
9	Natalia Ramos Mora	Memorista	18.104.283-4	
10	ORLANDO ACOSTA	Dir Ejec.	10.050.378-6	
11	CRISTIAN HADAD	ING. JVAM	15.315.523-2	
12	RODRIGO VARAS	ING. PROYECTO	18.673.469-6	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES ☐ DURACIÓN ☐

TOTAL HH CAPACITADAS ☐ DURACIÓN ☐

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS
Agustin		

Figura 2. Lista de asistencia

DGA

FECHA		
29	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER X) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	- Juan Pablo Requelme	RUT	15.671.162-8
GERENCIA	- Agustín Ferrer		
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS	TALLER ETAPA 2 ACN-19 H. INICIO = 9:00 H. FIN = 14:00		

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Natalia Rojas	Memorista	18.104.283-4	
2	Pamela Garda Serrano	DGA-DEP	24917566-8	
3	Paul Pourbaix Anni	DGA - DEP	16.365.331-1	
4	Héctor Neira Ojeda	DGA - Adquisiciones	14.268.210-9	
5	Leonardo Sosa	DGA RM	26034453-6	
6	Shirley Alfaro	DGA UOU	13472348	
7	Nicolás Ruiz C.	DGA UOU	16.870.184-6	
8	Luis Vidal López	DGA DARH	13.591.710-K	
9	Franco Cabrera	DGA - DARH	13253518-3	
10	Nicolás Cuto P	DGA - UOU	13.931.861-7	
11	Andrea Osses	DGA - DEP	13.027.959-7	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES	☐	DURACIÓN	☐
TOTAL HH CAPACITADAS	☐	DURACIÓN	☐

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS

Figura 2. Lista de asistencia

FECHA		
29	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER X) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	- Juan Pablo Reyes	RUT	15.671.160-8
GERENCIA	- Agustin Ferrer		
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	EDUARDO RUBIO A.	DIR. EJ. ERIDANUS LTDA	15.377.131-6	
2	IGNACIO AGUIRRE	ERIDANUS LTDA	18934219-9	
3	DARIO VARGAS	HIDROLOGIA CONSULTORES	10476538-5	
4	Sergio Duarte	HIDRICA	15736744	
5	VICTOR LUEVAS	PROFESOR UNAB	11620506-3	
6	Francisco Cerda	GERENTE S.V.U Arcangel	24.122.157-6	
7	CRISTIAN HADAD W.	INGENIERO JVA'S	15.315.583-2	
8	ESTEBAN VELIZ J.	Ingen. Proyectos WSP	18641418-8	
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES	☐	DURACIÓN	☐
TOTAL HH CAPACITADAS	☐	DURACIÓN	☐

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS

Figura 2. Lista de asistencia

DGA

FECHA		
30	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER___) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	Oscar Pulido Riquelme	RUT	15.671.160-3
GERENCIA			
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS	TALLER ETAPA 2 ACN-19 H. INICIO = 9:00 H. FIN = 15:00		

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	Natalia Ramos	Memorista	18.104.283-4	
2	Luis Cabal Lopez	DGA DARH	13.571.710-K	
3	HECTOR NEIRA OJEDA	DGA - UNIFORMES	14.768.210-9	
4	Leonardo Sosa	DGA RM	26034453-6	
5	Francisco Valera	DGA - DARH	13203518-3	
6	Nicolás Ruiz C.	DGA - UOU	16.870.984-6	
7	Pamela Garcia Serrano	DGA - DEP	24.917.566-8	
8	Nicolás Soto P	DGA - UOU	13.931.861-7	
9	Shirley Alfaro	DGA - UOU	13.717.234-8	
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES ☐ DURACIÓN ☐

TOTAL HH CAPACITADAS ☐ DURACIÓN ☐

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS

Figura 2. Lista de asistencia

NO DGA.

FECHA		
30	10	2019

(CHARLA___) (INDUCCIÓN___) (REUNIÓN___) (TALLER X) (CAPACITACIÓN___)

INSTRUCTOR	Juan Pablo Riquelme	RUT	15.621.160-8
GERENCIA			
NOMBRE DOCUMENTO/COMUNIC.			
TEMAS TRATADOS			

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ☐

MEDIO AMBIENTE ☐

	NOMBRE DE LOS PARTICIPANTES	CARGO	RUT	FIRMA
1	EDUARDO RUBIOA.	DIR. EJEC. ERIDANUS	15377171-6	
2	IGNACIO AGUIRRE	ERIDANUS	18934299	
3	Sergio Duarte	HIDRICA	15736741 4	
4	DIEGO VARGAS	HIDRICA	16476538-5	
5	Vicente Figueroa	Tesista Unab	19.243017-8	
6	Pablo Quezada	PEDROGEOLOGO UCHILE	14730579-0	
7	Victor Cuevas	PROFESOR UNAB	11620906-3	
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

TOTAL PARTICIPANTES ☐ DURACIÓN ☐

TOTAL HH CAPACITADAS ☐ DURACIÓN ☐

FIRMAS

INSTRUCTOR	GERENTE O JEFE DE ÁREA	PREVENCIÓN DE RIESGOS
JP Riquelme		

Figura 2. Lista de asistencia