



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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

ICASS SpA

S.I.T. N°509

SANTIAGO, NOVIEMBRE DE 2022.

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo según el siguiente formato:

Dirección General de Aguas (DGA), 2022. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca Quebrada de La Concordia, S.I.T. N° 509. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: ICASS SpA.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Arquitecto Sr. Juan Carlos García Pérez de Arce

Director General de Aguas
Ingeniero Civil en Industrias Forestales
Sr. Rodrigo Sanhueza Bravo

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

Inspector Fiscal
Ingeniero Agrónomo Sr. Carlos Flores Arenas

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Agrícola Srta. Pamela García Serrano

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil, Bernardo Capino Díaz

Profesionales:

Especialista en calidad de agua y medio
Ambiente, Hidrogeólogo, Wolf von Igel Grisar
Especialista en caracterización y modelación de aguas
subterráneas, Hidrogeólogo, Fernando Pérez Venegas
Especialista en modelación de recursos hídricos,
Ingeniera Civil, Paulina Rodríguez Chiti
Especialista en economía, Nicolás Jadue Majluf
Especialista en ciencias sociales,
Vivian Ahumada Arredondo
Especialista en SIG, Constanza Jiménez Riveros

Equipo Complementario:

Coordinador, Ingeniero Civil, Adrián Lillo Zenteno
Hidrogeólogo, Kirk Heatwole
Geóloga, Begoña Urtubia Villagrán
Hidrogeóloga, Carolina Saavedra Cerda
Hidrogeólogo, Óscar Zapata Cardona
Ingeniero Civil, Felipe Galaz García
Hidrogeólogo, Daniel Balzan Alzate

Tabla de Contenido General

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
2	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	4
2.1	DIMENSIÓN FÍSICA.....	6
2.1.1	Geomorfología	6
2.1.2	Geología	8
2.1.3	Suelos	15
2.1.4	Hidrología	17
2.1.5	Hidrogeología	20
2.1.6	División Político Administrativa.....	23
2.1.7	Población y Actividad Económica	26
2.2	CLIMA.....	32
2.2.1	Caracterización climática	32
2.2.2	Precipitación.....	35
2.2.3	Temperatura	40
2.2.4	Eventos Extremos y Variabilidad Climática	43
2.2.5	Escenarios de cambio climático	44
2.3	DIMENSIÓN AMBIENTAL.....	47
2.3.1	Unidades Ecosistémicas (Áreas Protegidas, SNASPE, RAMSAR, otros)	47
2.3.2	Glaciares	50
2.4	INFRAESTRUCTURA HÍDRICA.....	51
2.4.1	Obras	51
2.4.2	Red Hidrométrica Superficial, Subterránea	51
2.4.3	Red de Calidad	54
2.5	NUEVAS FUENTES EXISTENTES.....	55
2.5.1	Recarga Artificial de Acuíferos	55
2.5.2	Desalinización de agua de mar.....	55
2.5.3	Uso de aguas servidas tratadas.....	56
2.5.4	Atrapanieblas	56
2.5.5	Agua Atmosférica	57
2.6	GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA	57
2.6.1	Información bibliográfica considerada para el análisis PAC.....	59
2.6.2	Identificación de actores en el territorio.....	59
2.6.3	Descripción de actores en el territorio	60
2.6.4	Mapa de actores en el territorio.....	68
2.6.5	Análisis de Influencia e Interés.....	71
2.6.6	Sociograma.....	74
2.6.7	Identificación de problemáticas levantadas en la PAC	75

2.6.8	Descripción de brechas detectadas en la PAC	77
2.6.9	Brechas a cubrir para una Gobernanza Hídrica de la cuenca	84
2.6.10	Conclusiones	85
3	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL	89
3.1	USO HUMANO.....	89
3.2	NECESIDADES AMBIENTALES	90
3.3	DEMANDA AGRÍCOLA.....	90
3.4	DEMANDA INDUSTRIAL.....	91
3.5	RESUMEN DEMANDAS	92
4	OFERTA HÍDRICA	94
4.1	OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL	94
4.1.1	Fuentes	94
4.1.2	Oferta en la fuente	94
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada.....	94
4.1.4	Calidad actual.....	95
4.1.5	Derechos concedidos	95
4.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS	95
4.2.1	Identificación y descripción del SHAC	95
4.2.2	Stock, recarga y niveles	96
4.2.3	Estadísticas de parámetros de calidad, índices de calidad, análisis crítico. 100	
4.2.4	Fuentes de contaminación	109
4.2.5	Derechos concedidos	110
4.2.6	Resumen Modelo Conceptual	112
5	BALANCE HÍDRICO	115
5.1	MODELO DE SIMULACIÓN	115
5.2	MODELACIÓN NUMÉRICA.....	116
5.2.1	Introducción	116
5.2.2	Objetivo modelación numérica	117
5.2.3	Discretización espacial	117
5.2.4	Discretización temporal.....	119
5.2.5	Condición inicial	119
5.2.6	Condiciones de borde	120
5.3	CALIBRACIÓN Y RESULTADOS PERIODO HISTÓRICO	124
5.3.1	Régimen permanente	124
5.3.2	Régimen transiente	128
5.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	133
5.4.1	Escenarios futuros.....	133
5.4.2	Escenario BAU	133
5.4.1	Escenario de Gestión N°1	135
5.4.1	Escenario de Gestión N°2	135
5.4.2	Resultados Escenarios Futuros	136
5.5	BRECHAS	144
5.5.1	Brechas Hídricas	144

5.5.2	Brechas de Modelación.....	145
5.6	SUSTENTABILIDAD.....	146
5.7	INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA	150
5.8	MERCADO DE AGUAS	151
5.8.1	Marco Conceptual.....	151
6	ACCIONES.....	163
6.1	EJES Y OBJETIVOS PARA EL PEGH CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.....	163
6.2	CARTERA DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN VIGENTES EN LA CUENCA	164
6.3	PROBLEMÁTICAS LEVANTADAS SEGÚN EJES	166
6.4	INICIATIVAS PRESENTADAS EN PAC	168
6.4.1	Relación entre iniciativas levantadas y los objetivos del plan	169
6.5	INICIATIVAS ADICIONALES A PARTIR DEL DIAGNÓSTICO Y DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN 170	
7	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	171
7.1	PRIORIZACIÓN DE INICIATIVAS.....	171
7.1.1	Resumen metodológico	171
7.2	LISTADO DEFINITIVO DE INICIATIVAS PARA INCORPORAR AL PEGH.....	174
7.2.1	Fichas resumen de las iniciativas propuestas.....	176
7.3	PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN DE EJECUCIÓN DEL PLAN	176
7.4	CRONOGRAMA DE LAS SOLUCIONES.....	176
7.5	VALORIZACIÓN DEL PLAN	177
8	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	179
8.1	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	179
8.2	GOBERNANZA DEL PLAN ESTRATÉGICO.....	180
8.3	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	182
9	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....	184
9.1	PLAN DE MONITOREO	184
9.2	MECANISMOS DE EVALUACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES	185

Anexos

ANEXO A ABREVIACIONES

ANEXO B REFERENCIAS

ANEXO C GLOSARIOS

ANEXO D FIGURAS

ANEXO E ANTECEDENTES RECOPIADOS

ANEXO F METODOLOGÍA

ANEXO G SIG

ANEXO H MODELACIÓN

ANEXO I ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN

ANEXO J INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

ANEXO K INICIATIVAS DEL PEGH

Índice de Tablas

TABLA 1-1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PEGH DE CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA	2
TABLA 2-1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN CADA SECCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LLUTA	16
TABLA 2-2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.....	21
TABLA 2-3 SUPERFICIE DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA RESPECTO A LA SUPERFICIE REGIONAL.	24
TABLA 2-4 LOCALIDADES PRESENTES EN CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	24
TABLA 2-5 POBLACIÓN CENSO 2017 PARA ENTIDADES EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.....	26
TABLA 2-6 TOTAL OCUPADOS POR ACTIVIDAD ECONÓMICA DE LA REGIÓN DE ARICA PARINACOTA.	27
TABLA 2-7 PIB REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA POR CLASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA (CIFRAS EN MILES DE MILLONES DE PESOS).	29
TABLA 2-8 EVOLUCIÓN VALOR AGREGADO AL INCORPORAR APP 1.100 HAS DE RIEGO.	31
TABLA 2-9 ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAR LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.....	34
TABLA 2-10 DESCRIPCIÓN DE LOS GCM UTILIZADOS EN LA ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL ..	44
TABLA 2-11 INFORMACIÓN DE ESTACIONES DE NIVELES DE POZOS DE LA RED DE MONITOREO DGA EN LA CUENCA.....	52
TABLA 2-12 REFERENCIAS CONSIDERADAS PARA EL ANÁLISIS DE PAC.	59
TABLA 2-13 CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ACTORES PARA EL ANÁLISIS DE PAC.	59
TABLA 2-14 ACTORES DE SERVICIOS PÚBLICOS.	62
TABLA 2-15 USUARIOS DE AGUA IDENTIFICADOS.....	63
TABLA 2-16 REPRESENTANTES DE LA SOCIEDAD IDENTIFICADOS.	64
TABLA 2-17 ACTORES PRIVADOS (CONCORDIA).	67
TABLA 2-18 INFORMACIÓN DE EXPEDIENTES DE DAA, CAUDALES, POZOS Y LOTES CONCESIONADOS EN ZONA DE ESTUDIO...68	
TABLA 2-19 EJE 1: USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA, RIESGOS HÍDRICOS. ..	76
TABLA 2-20 EJE 2: INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO.	76
TABLA 2-21 EJE 3: GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA.	76
TABLA 2-22 EJE 4: CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO.	77
TABLA 2-23 BRECHAS A ABORDAR PARA UNA GOBERNANZA HÍDRICA.....	85
TABLA 3-1 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DEL USO HUMANO.	90
TABLA 3-2 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DEL USO AGRÍCOLA.	91
TABLA 3-3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DEL USO INDUSTRIAL.	91
TABLA 3-4 RESUMEN DE DEMANDA FÍSICA POR USO.	93
TABLA 4-1 BALANCE HÍDRICO 2021 (CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA).....	97
TABLA 4-2 RECARGA ACUÍFERO CONCORDIA.	97
TABLA 4-3 NIVELES HISTÓRICOS POZOS PAMPA CONCORDIA.	98
TABLA 4-4 RESUMEN RESULTADOS DE EDAD APARENTE DE LAS MUESTRAS ENTREGADAS POR EL LABORATORIO.	109
TABLA 4-5 RESUMEN DE LAS EXTRACCIONES REALES Y LEGALES (DERECHOS CONCEDIDOS) EN CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	111
TABLA 4-6 DETALLE DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA OTORGADOS EN LA CUENCA DE QUEBRADA DE LA CONCORDIA.....	112
TABLA 5-1 CAUDALES Y CONCENTRACIONES DE RECARGAS LATERALES.	121
TABLA 5-2. CAUDALES DE EXTRACCIÓN HISTÓRICOS ESTIMADOS EN EL ACUÍFERO DE LA CONCORDIA.	122
TABLA 5-3 ESTADÍSTICA DE CALIBRACIÓN DE NIVELES PARA LA CONDICIÓN PSEUDO-PERMANENTE.	126
TABLA 5-4. BALANCE HÍDRICO EN PSEUDO-PERMANENTE.	126

TABLA 5-5 ESTADÍSTICAS DE CALIBRACIÓN PARA EL RÉGIMEN TRANSIENTE.....	129
TABLA 5-6 RESUMEN BALANCE RÉGIMEN TRANSIENTE, PROMEDIO 1967-2021 Y PERIODO FINAL 2021.....	131
TABLA 5-7 RESUMEN ESCENARIOS FUTUROS DE SUMULACIÓN.....	133
TABLA 5-8 RECARGAS LATERALES FUTURAS.	134
TABLA 5-9 UBICACIÓN POZO SSR PAMPA CONCORDIA.	135
TABLA 5-10 ESTIMACIÓN CAUDAL DE BOMBEO POZO SSR EN LA PAMPA DE LA CONCORDIA	135
TABLA 5-11 CAUDALES SIMULADOS EN EL ESCENARIO N 2 PARA EL PERIODO 2022-2050	136
TABLA 5-12 BALANCE HÍDRICO DE LOS ESCENARIOS FUTUROS BAU Y ESCENARIOS DE GESTIÓN 1 Y 2. VALORES PROMEDIO DE LOS PERIODOS DE SIMULACIÓN Y VALORES FINALES DE LOS PERIODOS DE SIMULACIÓN.	137
TABLA 5-13 BRECHAS HÍDRICAS EN EL ACUÍFERO.....	145
TABLA 5-14 CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD	146
TABLA 5-15 ANÁLISIS CRITERIO DE CAMBIO DE VOLUMEN ACUÍFERO, PERIODO 1967-2050.	147
TABLA 5-16 ANÁLISIS CRITERIOS DE SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA PERIODO 1967-2050.....	148
TABLA 5-17 ANÁLISIS CRITERIO DE POZOS SECOS ESCENARIO BAU.	148
TABLA 5-18 ANÁLISIS CRITERIO DE POZOS SECOS ESCENARIO Nº1.	149
TABLA 5-19 ANÁLISIS CRITERIO DE POZOS SECOS ESCENARIO Nº2.	149
TABLA 5-20 ANÁLISIS DE CONCENTRACIONES EN ESCENARIO DE GESTIÓN.	150
TABLA 5-21 RESUMEN ANÁLISIS CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD.....	150
TABLA 5-22 INDICADORES DEFINIDOS PARA LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS.....	150
TABLA 5-23 RESULTADOS DE LOS INDICADORES HÍDRICOS DE CUENCA.	151
TABLA 5-24 TRANSACCIONES DE DAA NIVEL REGIONAL EN LAS CUENCAS REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.....	153
TABLA 5-25 VALOR MEDIO DEL PRECIO DE LAS ACCIONES CUENCAS REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.....	154
TABLA 5-26 VALOR MEDIO DEL PRECIO EN [L/S] CUENCAS REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.	155
TABLA 6-1 EJES Y OBJETIVOS PROPUESTOS PARA PEGH DE CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	163
TABLA 6-2 ALCANCE DE LAS TIPOLOGÍAS DE LAS INICIATIVAS DEL PLAN DE ACCIÓN.....	164
TABLA 6-3 TEMÁTICAS Y TIPOS DE SOLUCIONES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO.	165
TABLA 6-4 LISTADO DE PROBLEMÁTICAS PRESENTADOS EN PAC.	166
TABLA 6-5 RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS EN TALLER 1.	167
TABLA 6-6 LISTADO DE INICIATIVAS DE SOLUCIÓN (19) PRESENTADAS EN ACTIVIDADES PAC SEGÚN TIPOLOGÍA.	168
TABLA 6-7 RELACIÓN ENTRE INICIATIVAS IDENTIFICADAS, EJES Y OBJETIVOS DEL PEGH.	169
TABLA 6-8 RESUMEN DE RECOMENDACIONES DESDE EL DIAGNÓSTICO Y LA MODELACIÓN DESARROLLADA	170
TABLA 7-1 RESULTADOS DE VOTACIÓN DE INICIATIVAS EN PAC (TALLER 2) Y PRIORIZACIÓN.	172
TABLA 7-2 RELACIÓN ENTRE LOS PROBLEMAS PRIORIZADOS (P_i) E INICIATIVAS PRIORIZADAS (I_i).	173
TABLA 7-3 LISTADO FINAL DE INICIATIVAS A INCORPORAR EN EL PEGH.	175
TABLA 7-4 LISTADO FINAL DE INICIATIVAS A INCORPORAR EN EL PEGH CON PLAZOS, COSTOS Y RESPONSABLES.	175
TABLA 7-5 INVERSIÓN POR ENTIDAD FINANCIERA.....	177
TABLA 7-6 COSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE) Y VALOR DE COSTO (VAC) ASOCIADOS A LAS INICIATIVAS PRIORIZADAS. .	178
TABLA 8-1 INTERACCIONES CLAVE DE ACTORES DEL TERRITORIO CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	179

Índice de Figuras

FIGURA 2-1 UBICACIÓN DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA EN TERRITORIO CHILENO.	5
FIGURA 2-2 MAPA DE ALTURAS DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	7
FIGURA 2-3 MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	10

FIGURA 2-4 MAPA GEOLÓGICO SECTOR COSTERO DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	12
FIGURA 2-5A COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL SECTOR COSTERO DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	13
FIGURA 2-6 PERFIL GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO	15
FIGURA 2-7 USO DEL SUELO EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	17
FIGURA 2-8 HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	19
FIGURA 2-9 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	20
FIGURA 2-10 MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	22
FIGURA 2-11 MAPA HIDROGEOLÓGICO DE DETALLE DEL SECTOR COSTERO DE LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	23
FIGURA 2-12 CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA EN RELACIÓN A LA COMUNA DE ARICA.	25
FIGURA 2-13 DISTRIBUCIÓN FUERZA LABORAL POR ACTIVIDAD ECONÓMICA EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.	28
FIGURA 2-14 PIB DEL AÑO 2018 ESTIMADO POR SECTOR ECONÓMICO REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA.	29
FIGURA 2-15 ZONAS CLIMÁTICAS DE KÖPPEN PARA LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	33
FIGURA 2-16 ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAR LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	35
FIGURA 2-17 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM) EN LA ESTACIÓN PAMPA CONCORDIA.	36
FIGURA 2-18 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM) EN LAS ESTACIONES LLUTA BAJO.	36
FIGURA 2-19 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM) EN LA ESTACIÓN CHACALLUTA AP.	37
FIGURA 2-20 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (MM) EN LAS ESTACIONES LLUTA BAJO (2013-2021) Y PAMPA CONCORDIA (2018-2021).	37
FIGURA 2-21 VARIACIÓN ESTACIONAL DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN ARICA OFICINA, PERÍODO 1985-2014.	38
FIGURA 2-22 VARIACIÓN ESTACIONAL DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN PUQUIOS, PERÍODO 1975-1981.	38
FIGURA 2-23 PRECIPITACIÓN MEDIA VS ALTURA GEOGRÁFICA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	39
FIGURA 2-24 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA PARA EL PERÍODO 1990 -2020.	40
FIGURA 2-25 TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) DE LA ESTACIÓN CHACALLUTA ARICA AP.	41
FIGURA 2-26 TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) DE LA ESTACIÓN PAMPA CONCORDIA.	41
FIGURA 2-27 TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) DE LA ESTACIÓN LLUTA BAJO.	42
FIGURA 2-28 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) EN LA ESTACIÓN LLUTA BAJO, PERÍODO 2013-2021.	42
FIGURA 2-29 TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA PARA EL PERÍODO	43
FIGURA 2-30 PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA ANUAL EN LAS ESTACIONES PAMPA CONCORDIA Y LLUTA BAJO.	44
FIGURA 2-31 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PRECIPITACIÓN FUTURA PARA LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA EN (A) EL CORTO PLAZO (2016-2035) Y (B) EL MEDIANO PLAZO (2036-2060).	46
FIGURA 2-32 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA FUTURA, PARA LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA EN (A) EL CORTO PLAZO (2016-2035) Y (B) EL MEDIANO PLAZO (2036-2060).	47
FIGURA 2-33 PISOS VEGETACIONALES EN CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA SEGÚN	48
FIGURA 2-34 ÁREAS PROTEGIDAS CERCANAS A LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	50
FIGURA 2-35 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EXISTENTES EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	53
FIGURA 2-36 ESTACIONES DE NIVELES DE POZOS PRESENTES EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	54
FIGURA 2-37 MAPA DE ACTORES CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	60
FIGURA 2-38 POZOS EXISTENTES Y LOTES CONCESIONADOS EN ZONA DE ESTUDIO.	69
FIGURA 2-39 MAPA DISTRIBUCIÓN DE ACTORES EN EL TERRITORIO.	70
FIGURA 2-40 ANÁLISIS DE INFLUENCIA Y NIVELES DE INTERÉS.	71
FIGURA 2-41 SOCIOGRAMA PEGH CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	74
FIGURA 2-42 BRECHAS SEGÚN PRINCIPIOS DE GOBERNANZA DE LA OCDE.	77
FIGURA 3-1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEMANDA FÍSICA DE USO HUMANO	90
FIGURA 3-2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEMANDA FÍSICA DE USO AGRÍCOLA.	91

FIGURA 3-3 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEMANDA FÍSICA DE USO INDUSTRIAL.	92
FIGURA 3-4 DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN LA CUENCA.	93
FIGURA 4-1 SHAC EXISTENTES EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	96
FIGURA 4-2 NIVELES PIEZOMÉTRICOS HISTÓRICOS.	99
FIGURA 4-3 NIVELES POZO B1.	100
FIGURA 4-4 NIVELES POZO D3.	100
FIGURA 4-5 UBICACIÓN DE LOS POZOS CON INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	101
FIGURA 4-6 DIAGRAMA DE PIPER CON MUESTRAS RECOPIADAS DE ANTECEDENTES EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	102
FIGURA 4-7 VARIACIÓN TEMPORAL DEL CL, SO ₄ , NA Y CA.	104
FIGURA 4-8 VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CE Y PH.	105
FIGURA 4-9 VARIACIÓN TEMPORAL DEL CL Y SO ₄ .	106
FIGURA 4-10 VARIACIÓN TEMPORAL DEL CA Y NA.	107
FIGURA 4-11 RELACIÓN $\Delta 18O/\Delta D$ DE MUESTRAS TOMADAS POR BOMBEO EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	108
FIGURA 4-12 ESQUEMA MODELO CONCEPTUAL, CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA	114
FIGURA 5-1 DOMINIO DE MODELACIÓN MODFLOW EN LA CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA.	118
FIGURA 5-2 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MODELO MODFLOW EN FILA 24	119
FIGURA 5-3 CONDICIONES DE BORDE.	120
FIGURA 5-4. VARIACIÓN TEMPORAL DEL GHB.	123
FIGURA 5-5 AJUSTE DE NIVELES OBTENIDO EN LA CALIBRACIÓN DE RÉGIMEN PSEUDO-PERMANENTE.	125
FIGURA 5-6 AJUSTE DE LOS VALORES DE CONCENTRACIÓN EN RÉGIMEN PSEUDO-PERMANENTE.	125
FIGURA 5-7. NIVELES PIEZOMÉTRICOS [M S.N.M] EN MODELO PSEUDO-PERMANENTE.	127
FIGURA 5-8. DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN EL MODELO PSEUDO-PERMANENTE.	127
FIGURA 5-9. DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN VISTA DE PERFIL, FILA 68 DEL MODELO PSEUDO-PERMANENTE.	128
FIGURA 5-10 AJUSTE DE NIVELES OBTENIDOS EN LA CALIBRACIÓN DE RÉGIMEN TRANSIENTE.	129
FIGURA 5-11 EVOLUCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN EL RÉGIMEN TRANSIENTE.	130
FIGURA 5-12 EVOLUCIÓN GENERAL HEAD	131
FIGURA 5-13 HIDROGRAMAS PARA LOS POZOS B1, B1-B, B2, B3, B4 Y B8.	132
FIGURA 5-14 ALMACENAMIENTO ACUÍFERO EN RÉGIMEN TRANSIENTE (1967-2021).	133
FIGURA 5-15 PROYECCIÓN GENERAL HEAD BOUNDARY	134
FIGURA 5-16 GRÁFICO RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO PARA CADA ESCENARIO DE SIMULACIÓN	137
FIGURA 5-17 HIDROGRAMA POZOS B2, B1-B, B3, B4, B10, D2.	138
FIGURA 5-18 HIDROGRAMA POZOS D3, D4, D5, D6, D8, D7.	139
FIGURA 5-19 EVOLUCIÓN DE CONCENTRACIÓN EN POZO B2.	140
FIGURA 5-20 EVOLUCIÓN DE CONCENTRACIÓN EN POZO D5.	141
FIGURA 5-21 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN EL MODELO ESCENARIO BAU (2050)	142
FIGURA 5-22 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN VISTA DE PERFIL, FILA 68 DEL MODELO ESCENARIO BAU (2050).	142
FIGURA 5-23 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN EL MODELO ESCENARIO N°1 (2050)	142
FIGURA 5-24 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN VISTA DE PERFIL, FILA 68 DEL MODELO ESCENARIO N°1 (2050).	143
FIGURA 5-25 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN EL MODELO ESCENARIO N°2 (2050)	143
FIGURA 5-26 DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD (KG/M ³) EN VISTA DE PERFIL, FILA 68 DEL MODELO ESCENARIO N°2 (2050).	144
FIGURA 5-27 ALMACENAMIENTO PARA EL PERIODO HISTÓRICO (1967-2021) Y PERIODO FUTURO (2022-2050) PARA CADA ESCENARIO.	147
FIGURA 5-28 VARIABILIDAD DE PRECIOS OBSERVADOS PARA TRANSACCIONES EN [L/S].	155

FIGURA 5-29 PRODUCTIVIDAD MARGINAL DEL AGUA.	157
FIGURA 5-30 VALOR DEL AGUA	157
FIGURA 5-31 PRODUCTIVIDAD MARGINAL DEL AGUA A POBLACIÓN VARIABLE.	161
FIGURA 6-1 TIPOLOGÍAS DE LAS INICIATIVAS DEL PLAN DE ACCIÓN.	164
FIGURA 7-1 ESQUEMA GENERAL PARA ELABORACIÓN DE PEGH.	171
FIGURA 7-2 RELACIÓN PROBLEMAS PRIORIZADOS (P_i) E INICIATIVAS PRIORIZADAS (I_i).	174
FIGURA 7-3 CRONOGRAMA DE INICIATIVAS DEL PEGH	177
FIGURA 7-4 PORCENTAJES DE LA INVERSIÓN TOTAL SEGÚN ENTIDAD FINANCIERA	178
FIGURA 8-1 ESQUEMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PEGH	180
FIGURA 8-2 ESQUEMA DE GOBERNANZA PARA EL PEGH.	182
FIGURA 8-3 ESTRATEGIA COMUNICACIONAL PEGH	183

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado de Chile encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente del agua para el consumo humano, producción de bienes y servicios y la conservación del medio ambiente. Actualmente, en un contexto en que la seguridad hídrica y la eficiencia en la gestión del recurso hídrico se imponen como menester, la planificación en esta materia debe tener un enfoque estratégico.

La DGA ha licitado el estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) en la cuenca Quebrada de La Concordia, con el código 1019-100-LQ21 de Mercado Público, adjudicando en julio del año 2021 su ejecución a la empresa consultora ICASS y con una duración de 14 meses.

Este trabajo, se enmarca dentro de la estrategia DGA que propone un nuevo enfoque de gestión estratégica para la cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción, que cuenten con productos reales de acuerdo a las necesidades propias de la cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para gestionar el agua. Junto a esto, se propone entregar y transferir conocimiento sobre herramientas de cálculo de balance de agua para la cuenca y un portafolio de acciones que considere los efectos del cambio climático.

Una característica única del plan de cuenca, es que se dispondrá de un modelo hidrogeológico operacional actualizable en el tiempo, que apoyará el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar las decisiones en función de la mejor información disponible permanentemente.

Finalmente, se debe resaltar que este trabajo está alineado con las tareas mandatadas al Comité Interministerial de Transición Hídrica Justa, organismo que trabaja en la implementación de una nueva gobernanza de las aguas que considere la creación de consejos de cuencas para enfrentar la escasez hídrica del país y mejorar la gestión del agua. Así mismo, este comité *"ha sido mandatado para avanzar una hoja de ruta de corto, mediano y largo plazo en esta materia tan prioritaria para el país. Finalmente, el*

comité asumió el desafío de la crisis hídrica y trabajará en la articulación de acciones inmediatas, que permitan enfrentar el riesgo de racionamiento hídrico y energético, los requerimientos de agua potable rural, de la pequeña agricultura campesina y las actividades productivas, así como la preservación ecosistémica”¹.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general del presente estudio es proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en la cuenca Quebrada de La Concordia, que oriente la toma de decisiones de agua, mediante la generación de portafolios de acciones para la seguridad hídrica enfocadas en mejoramiento de la información, instituciones e infraestructura de agua, adaptación al cambio climático, y gobernanza.

1.2.2 Objetivos específicos

En la Tabla 1-1, se especifican los objetivos específicos que se desarrollaran durante el contenido de este informe dentro del marco del PEGH de cuenca Quebrada de La Concordia.

Tabla 1-1 Objetivos específicos del PEGH de cuenca Quebrada de La Concordia

Objetivo 01: Describir el estado hídrico actual del área de estudio

Objetivo 02: Caracterizar la hidrogeología del área de estudio.

Objetivo 03: Construir un modelo numérico representativo de las características principales hidrológicas del sistema hídrico del área de estudio.

Objetivo 04: Diagnosticar el estado hídrico del área de estudio para obtener los contenidos del plan estratégico de gestión hídrica.

Objetivo 05: Realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del plan estratégico de gestión hídrica.

¹ Ministerio de Medio Ambiente (5 de agosto de 2022). Comité Interministerial de Transición Hídrica Justa avanza en el diseño de los consejos de cuenca. <https://mma.gob.cl/comite-interministerial-de-transicion-hidrica-justa-avanza-en-el-diseno-de-los-consejos-de-cuenca/>

Objetivo 06: Formular un plan estratégico de gestión hídrica que contemple un portafolio de acciones que promuevan la seguridad hídrica y sostenibilidad de uso del agua en el área de estudio.

Objetivo 07: Compilar avances y productos finales en un sistema de información geográfico, informes, y actividades de difusión

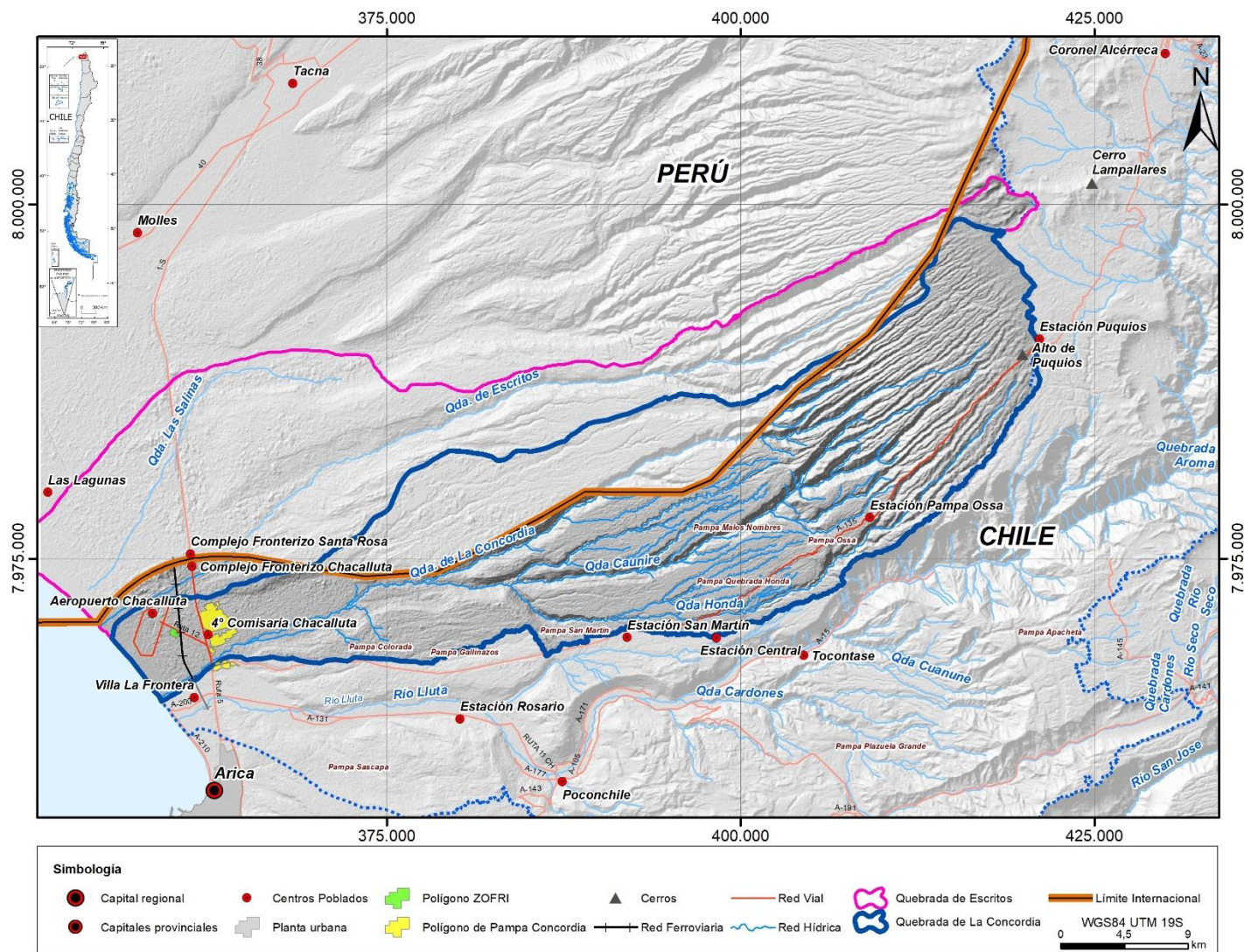
2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca Quebrada de La Concordia, se ubica en el Norte de la región de Arica y Parinacota. Limita al Norte con el territorio peruano, al Sur y al Este con la cuenca del río Lluta y al Oeste con el Océano Pacífico, tal como se puede ver en la Figura 2-1. La cuenca presenta una superficie total de aproximadamente 670 km² en territorio chileno. En esta cuenca las aguas subterráneas son las únicas aguas continentales disponibles.

Existe una delimitación administrativa de la zona chilena, definida por DGA en las cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA). La zona de estudio corresponde a la cuenca Quebrada de La Concordia y considera como subcuenca la misma cuenca. Por lo anterior, dicha delimitación no representa correctamente la realidad topográfica de la cuenca. Por otro lado, la misma delimitación BNA de la DGA no realiza la delimitación de la cuenca Quebrada de Escritos, que nace en Perú y cuyo tramo final se desarrolla en territorio chileno, en la cuenca Quebrada de La Concordia. Por tanto, la cuenca BNA Quebrada de La Concordia delimita un área mayor al real de 670 km². Tanto la cuenca del estudio, así como Quebrada de Escritos, son arreicas, ya que sus cauces están casi todo el año seco.

En el presente estudio se presenta una nueva y mejorada delimitación de las cuencas Quebrada de La Concordia y Quebrada de Escritos distinta a la existente.

ICASS en su constante búsqueda de mejorar la información de cuencas y acercarse a la forma natural de éstas, presenta una nueva forma de cuenca, la cual incluye lado chileno y peruano, para lo cual se utilizó información de diversa índole, como la red hidrográfica nacional, red hidrográfica lado peruano (información previa existente), curvas de nivel cada 20 metros e imágenes satelitales, generándose una nueva delimitación geográfica de la cuenca. Sin embargo, al ser plasmarla en los mapas tamaño carta de este informe y debido al traslape de la nueva delimitación con el trazado del límite internacional, y por fines de visualización gráfica, se ha optado por corregir esta nueva delimitación con el trazado del límite internacional en algunos sectores donde se produce una diferencia visual entre ambas líneas, quedando el resto de la cuenca con la forma que corresponde.



Fuente: Elaboración Propia en base a Mapoteca DGA, 2021.

Figura 2-1 Ubicación de la cuenca Quebrada de La Concordia en territorio chileno.

2.1 Dimensión Física

En los siguientes apartados, se realiza una descripción de las características geográficas de la cuenca Quebrada de La Concordia, incluyendo geomorfología, geología, suelo, hidrología, hidrogeología, división político-administrativa y actividad económica.

2.1.1 Geomorfología

A nivel de la cuenca Quebrada de La Concordia, la geomorfología se compone principalmente por la Cordillera Occidental, Precordillera, Depresión Central y Cordillera de la Costa. A continuación, se presentan las principales características de las diferentes unidades morfoestructurales definidas en la zona de estudio:

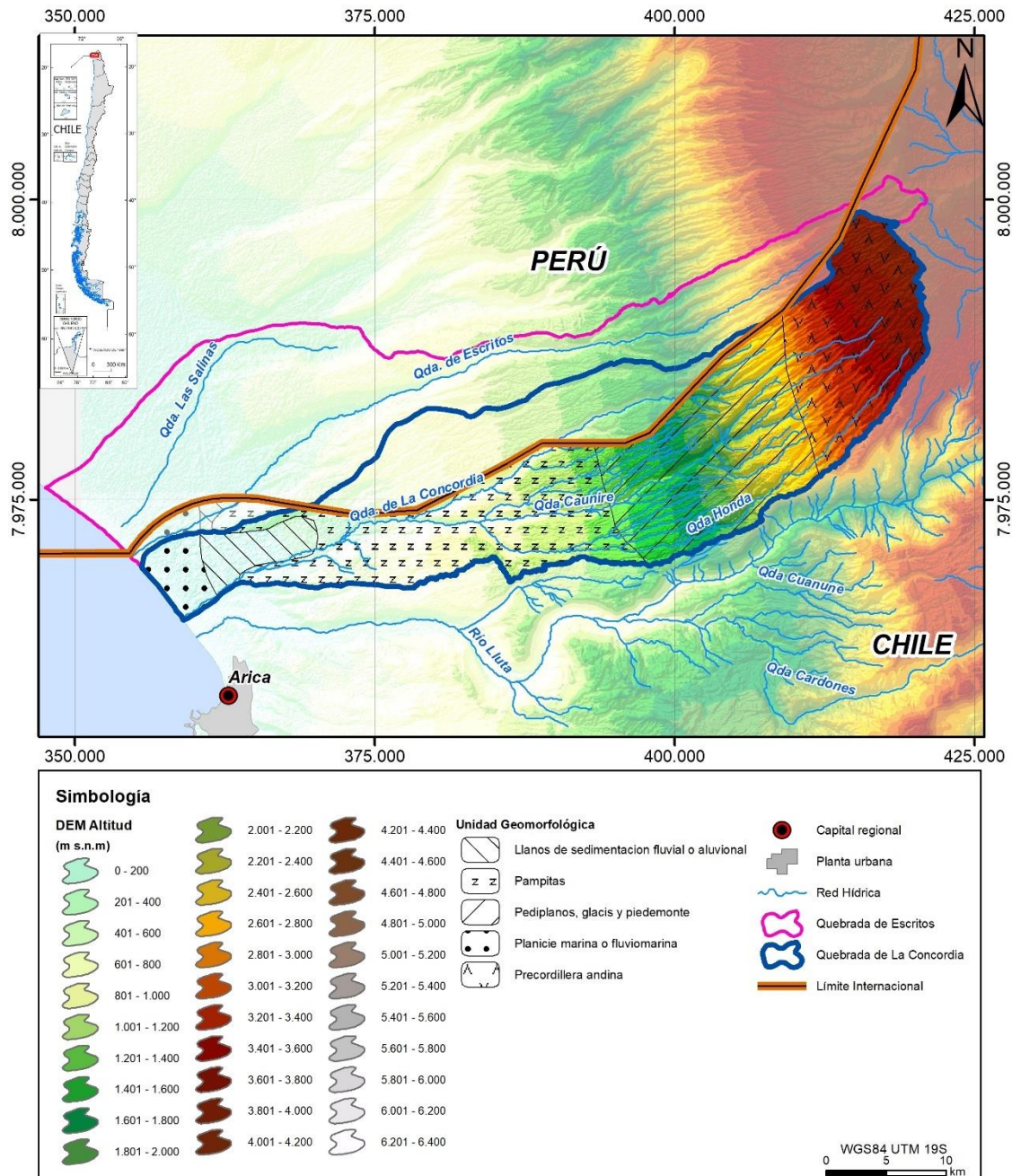
Cordillera Occidental: Esta se presenta en el límite alto de la cuenca Quebrada de La Concordia, sin estar dentro de la cuenca en sí. Presenta una topografía muy irregular, con altitudes que aumentan abruptamente, de oeste a este, de 3.200-3.500 a 5.000-6.350 m s.n.m. Las mayores elevaciones corresponden a los edificios volcánicos neógenos, que rodean las depresiones intra-montañas del Lauca, Surire y Caquena-Cosapilla, que constituyen el Altiplano. El límite de la Cordillera Occidental con la Precordillera es de forma irregular y de origen tectónico.

Precordillera: Se ubica en la parte media alta de la cuenca Quebrada de La Concordia, esta corresponde a una meseta alargada, de un ancho variable entre 25 a 30 km, cuya altitud aumenta de Oeste a Este, de 1.900-2.300 a 3.200-3.800 m s.n.m.

Depresión Central: se encuentra extendida en la mayor parte de la cuenca, la que cuenta con un ancho variable de 40 a 55 km. Es una región de topografía relativamente plana, donde la altitud aumenta de Oeste a Este, de 500-1.000 a 1.900- 2.300 m s.n.m. y está rellena con depósitos volcano-sedimentarios y volcánicos distales, limitada abruptamente al Este por el Sistema de cabalgamiento con vergencia al Oeste, en sus siglas en inglés (WTS).

Cordillera de la Costa: es un cordón de cerros estrecho, de hasta 15 km de ancho y una altitud no superior a 1.200 m s.n.m., de topografía poco accidentada, con colinas redondeadas y valles y/o depresiones anchas. Su altitud disminuye progresivamente hacia el Este, hasta la Depresión Central, mientras que, en el Oeste, su límite con el Océano Pacífico es abrupto debido a una serie de acantilados, llamados "Escarpe Costero". En la zona de estudio, la Cordillera de la Costa se encuentra ausente desde

la zona sur de la ciudad de Arica (en una franja de 50 km), donde en su lugar se extiende un abanico aluvial desde los valles de la Depresión Central hasta el litoral (Madella et al., 2018, Alvan et al., 2020, Narváez., 2021). En la Figura 2-2 se presenta un mapa con la variación altitudinal en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración Propia basado en IDE, Ministerio de Bienes Nacionales 2021.

Figura 2-2 Mapa de Alturas de la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.1.2 Geología

De acuerdo a los antecedentes a escala regional (García et al, 2004), en el extremo norte del territorio chileno afloran rocas que abarcan, en edad, desde el Proterozoico Superior al Holoceno, en las unidades fisiográficas de la Cordillera de La Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera Occidental.

La sucesión litoestratigráfica generalizada se compone por un basamento, de edad proterozoica superior-paleozoica inferior (Complejo Metamórfico de Belén) en el borde oeste de la Cordillera Occidental, localmente sobreyacido, en discordancia angular, por las rocas sedimentarias Estratos Quichoco. Las rocas del Jurásico-Cretácico Inferior, en la Precordillera y Cordillera Occidental, están representadas por la Formación Livilcar, sedimentaria marina-litoral a transicional. En la Cordillera de la Costa, las formaciones Camaraca y Los Tarros, del Jurásico Medio-Superior, están constituidas por hasta 4.000 m de espesor de lavas andesíticas a andesítico-basálticas, con intercalaciones de rocas sedimentarias fosilíferas marinas-litorales, sobreyacidas hacia el este por la Formación Atajaña. En la Depresión Central occidental, se encuentra la Formación Suca del Cretácico Inferior (lavas andesíticas y andesítico-basálticas con intercalaciones de areniscas) (García et al, 2004).

Las sucesiones estratificadas mesozoicas de la Cordillera de la Costa y Depresión Central están intruídas por cuerpos plutónicos e hipabisales, gábricos a granodioríticos, del Jurásico Medio al Cretácico. Durante el Cretácico Superior Alto-Paleoceno, se formaron rocas intrusivas de composición granodiorítica a monzonítica cuarcífera, que afloran en las grandes quebradas que cruzan la Precordillera.

El Oligoceno-Holoceno está representado por extensas sucesiones de rocas volcánicas y sedimentarias continentales, tales como la Formación Azapa compuesta por conglomerados y areniscas fluviales y las tobas ignimbríticas riolíticas, con intercalaciones sedimentarias, fluviales y lacustres, de la Formación Oxaya. Esta última está sobreyacida en la Depresión Central, por la Formación El Diablo (Mioceno Inferior tardío-Mioceno Medio), la Formación Huaylas en la parte oriental de la Precordillera y la Formación Lupica en la Cordillera Occidental.

Estructuras:

La evolución tectónica, tiene una primera etapa en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior, en la Cordillera de la Costa y Depresión Central occidental, y está representado por un período complejo de deformación, predominantemente transcurrente. Una segunda etapa, del Cretácico Superior al Eoceno, con deformaciones contraccionales, y probablemente transpresivas, habría ocurrido en la Depresión Central Oriental y Precordillera. Finalmente, durante el Oligoceno-Holoceno, la deformación contraccional está bien registrada en la Alta Cordillera y Precordillera y representada por pliegues y fallas inversas de vergencia general oeste que involucran al basamento (García et al., 2004).

En la cuenca Quebrada de La Concordia, no existen evidencias de las primeras dos etapas tectónicas. Por el contrario, los mayores cambios en relieve se produjeron durante la tercera etapa tectónica (Oligoceno-Holoceno). Esta deformación se observa como pliegues suaves y fallas menores, además de fallas mayores inversas y de rumbo en la parte oriental de la Depresión Central. Las fallas inversas generan una serie de pliegues anticlinales en la parte nor-este donde aflora la Formación El Diablo e Ignimbrita Oxaya y unas observaciones de fallas inversas en el cerro Pampa Colorada entre la Quebrada de La Concordia y el río Lluta. En el borde costero de la cuenca, se aprecian escarpes de erosión marina y cordones litorales.

Las unidades geológicas que hacen relación al área de la cuenca Quebrada de La Concordia, se presentan en la Figura 2-3.

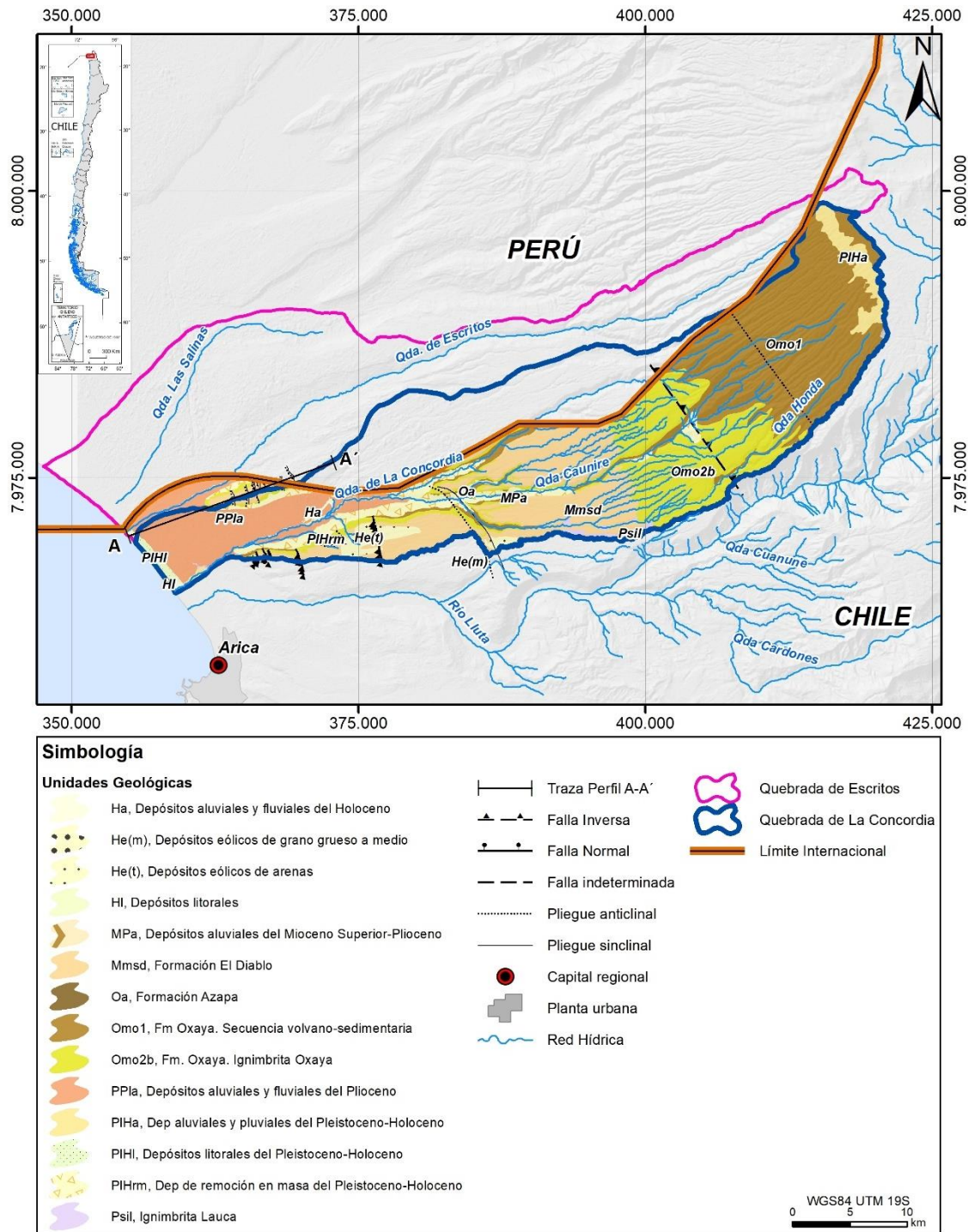
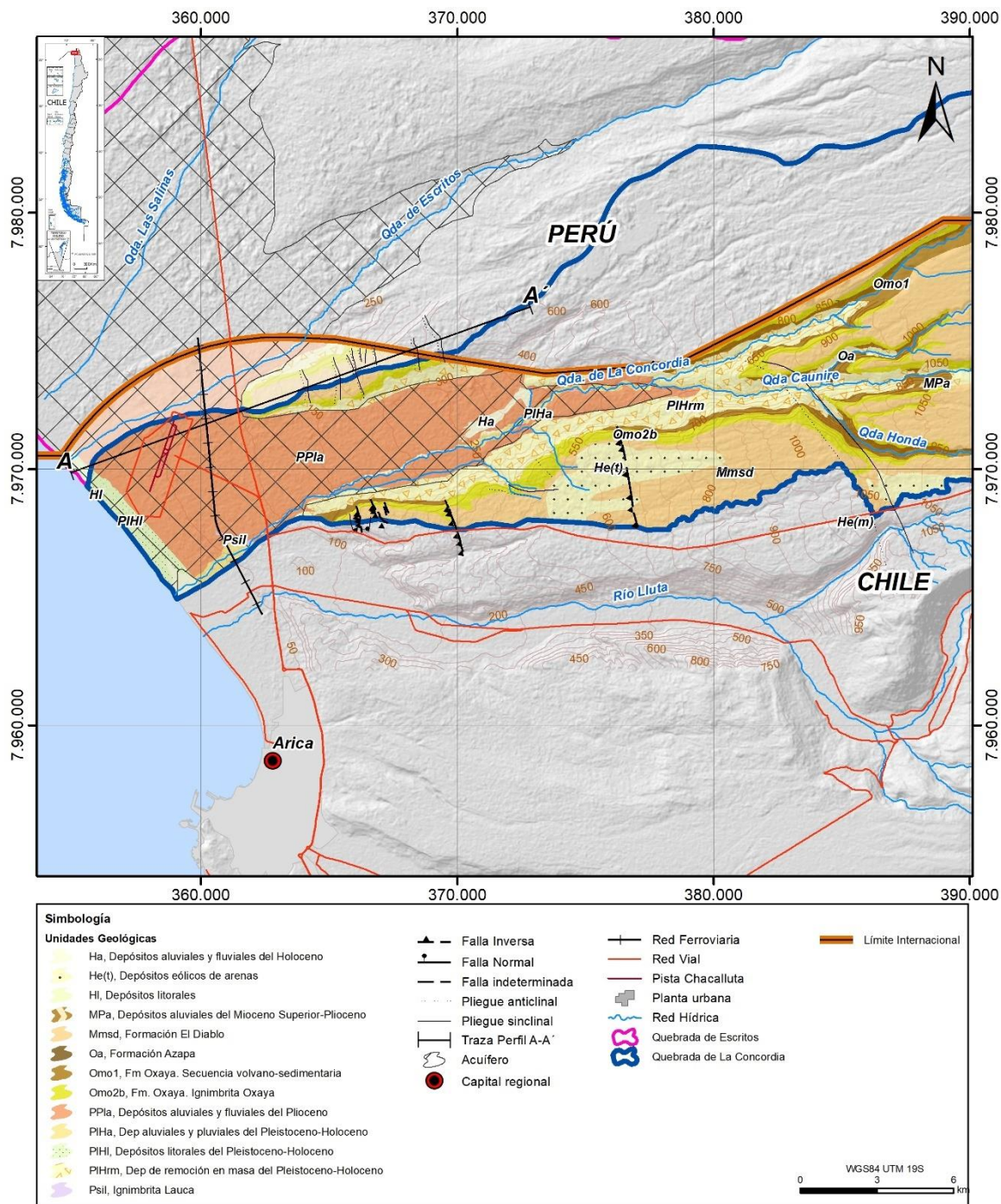


Figura 2-3 Mapa Geológico de la cuenca Quebrada de La Concordia.

Detalle geológico del sector costero de la cuenca:

Las unidades geológicas que hacen relación al área más costera de la cuenca Quebrada de La Concordia, se presentan en la Figura 2-4, y corresponden a:

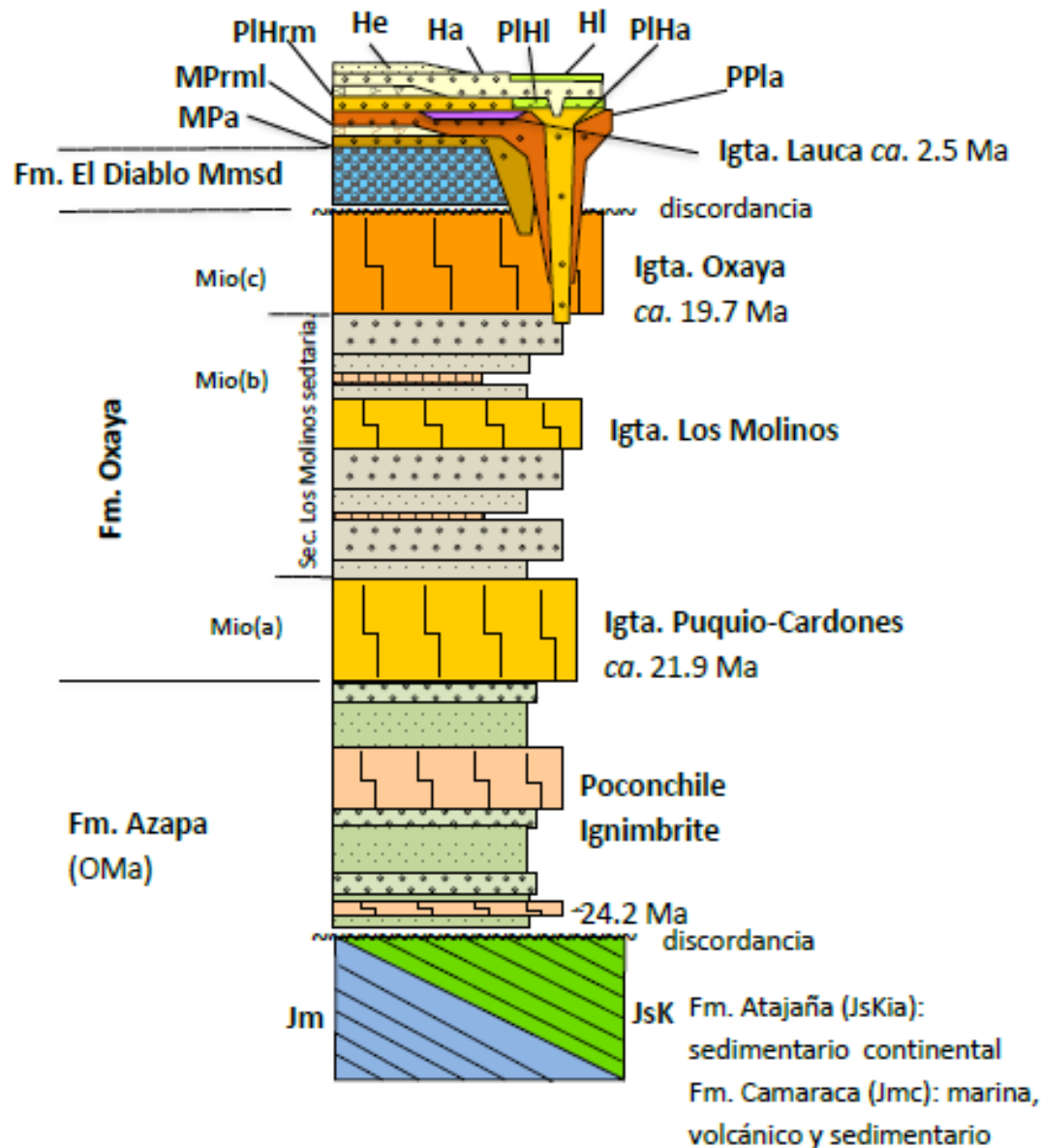
- Depósitos aluviales y fluviales (PPla, PIHa, Ha): constituida por depósitos no consolidados.
- Depósitos litorales del Holoceno y Pleistoceno (HI, PIHI): depósitos no consolidados de arenas de grano grueso y medio, lítica volcánica.
- Depósitos eólicos (He): depósitos activos de arenas eólicas, de color marrón y gris claro, conformada por granos mayoritariamente de cuarzo y líticos andesíticos.
- Volcanes y remanentes de volcanes del Mioceno Inferior (Miv)
- La Formación Azapa (Oa): constituida por sucesiones sedimentarias.
- Depósitos de remoción en masa (PIHrm): Depósitos caóticos de deslizamientos gravitacionales, constituidos por bloques y megabloques asociados a la Quebrada de Escritos.
- Ignimbrita Lauca (Psil): toba soldada en grado leve a moderado, de color rosado claro, gris y pardo rojizo, con cristales de cuarzo, biotita plagioclasa, sanidina y hornblenda subordinada, con contenido variable de líticos y pómez.
- Depósitos aluviales del Mioceno (MPa): depósitos no consolidados de gravas, arenas y limos. Conforman terrazas incisas en la Formación Oxaya y se encuentran disecadas por aluvios PPla.
- Depósitos de remoción en masa del Lluta (MPrml): depósitos de megabloques y bloques hectométricos, conformados por el deslizamiento rotacional de las formaciones Oxaya y El Diablo.
- La Formación Oxaya (OMo): sucesión volcánica continental, se distingue la Ignimbrita Oxaya Distal (Omo2b) en la parte inferior de la cuenca seguida por una sucesión de tobas pardo clara de menor soldamiento o no soldada de carácter piroclástico y sedimentaria aluvial, seguida en la parte superior por la Ignimbrita Oxaya (Omo1b) caracterizada por una porción basal, fuertemente soldada, vítrea y de cristales, con pómez aplastadas.
- La Formación El Diablo (Mimd) que es una sucesión sedimentaria fluvial y lacustre que se expone en la confluencia de las quebradas El Diablo y Azapa, y a unos afloramientos discontinuos de la Ignimbrita Lauca (PII), en la Depresión Central.



Elaboración Propia a partir de García et al. (2004) y DIFROL-SERNAGEOMIN (2021).

Figura 2-4 Mapa Geológico sector costero de la cuenca Quebrada de La Concordia.

En la Figura 2-5 se muestra la columna estratigráfica típica del sector costero de la cuenca, mientras que en la Figura 2-6 se presenta el perfil longitudinal Oeste-Este (A-A') donde se identifican las diferentes unidades geológicas asociadas al sector costero de la cuenca, realizada por el Sernageomin en su última actualización.



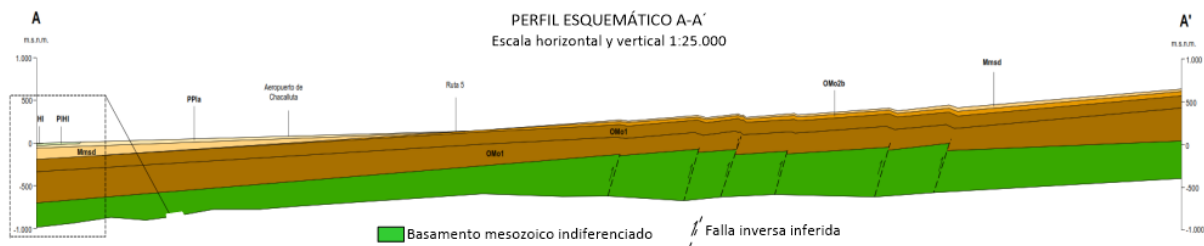
Fuente: SERNAGEOMIN (2021).

Figura 2-5a Columna Estratigráfica del sector costero de la cuenca Quebrada de La Concordia.

CUATERNARIO	HOLOCENO			
	PILESTOCENO			
NEÓGENO		Ha Depósitos aluviales y fluviales (Holoceno superior) Depósitos no consolidados de gravas clastosoportadas e imbricadas, arenas y limos, de origen fluvial, y gravas matriz soportadas, arenas y limos con guijarros, tipo flujo de detritos.	HI Depósitos litorales (Holoceno superior) Depósitos de playa activa (zona intermareal y olas de tormenta), conformados por arenas de grano grueso y medio, lítica volcánica, de color gris a gris oscuras, con laminación plana.	He (t) Depósitos activos de arenas eólicas, de color marrón y gris claro, conformada por granos mayoritariamente de cuarzo y líticos andesíticos, (m) de grano grueso a medio, redondeados y bien seleccionados. Se depositan como dunas transversales (t) o como mantos de arena(m).
		PIHa Depósitos aluviales y fluviales del Pleistoceno-Holoceno Depósitos no consolidados de gravas clastosoportadas e imbricadas, arenas y limos, de origen fluvial. Se encuentran incisos por Ha y cortan a PPIa.	PIHm Depósitos de remoción en masa del Pleistoceno-Holoceno Depósitos caóticos de deslizamientos gravitacionales, constituidos por bloques y megabloques (mesobolón-macrobolón) asociados a laderas de alta pendiente en las quebradas Escritos y Gallinazo de Concordia, y laderas de los ríos Lluta y San José.	PIHl Depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno Depósitos no consolidados de arenas de grano grueso y medio, lítica volcánica, de color gris a gris oscuras, laminadas y bioturbadas por raíces. En la parte alta del depósito incluye una delgada acumulación (20-35 cm) de arenas y gravas subordinadas depositadas por el tsunami de 1888 (no diferenciados). Incluye rasgos morfológicos de cordones litorales.
		PPia Depósitos aluviales y fluviales del Plioceno Superior alto-Pleistoceno Depósitos no consolidados de gravas clastosoportadas e imbricadas, arenas y limos, de origen fluvial, y gravas matriz soportadas, arenas y limos con guijarros, tipo flujo de detritos. Se encuentran incisos por PIHa y cortan a MPa.	Psil Ignimbrita Lauca (Plioceno Superior alto-Pleistoceno; ca. 3-2,5 Ma) Toba soldada en grado leve a moderado, de color rosado claro, gris y pardo rojizo, con cristales de cuarzo, biotita plagioclasa, sanidina y hornblenda subordinada, con contenido variable de líticos y pómez. Puede incluir más de una unidad de flujo.	
		MPa Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno Depósitos no consolidados de gravas, arenas y limos, ubicados en la quebrada de Gallinazos y afluente septentrional. Conforman terrazas incisas en la Formación Oxaya y se encuentran disecadas por aluvios PPIa.	MPml Depósitos de remoción en masa del Lluta (Mioceno Superior-Plioceno) Depósitos de megabloques y bloques hectométricos, conformados por el deslizamiento rotacional de las formaciones Oxaya y El Diablo. Se encuentra disecado por aluvios PPIa y cubierto por arenas eólicas activas He.	
MIOCENO	Mmsd Formación El Diablo (Mioceno Medio-Mioceno Superior bajo) Gravas semiconsolidadas de color gris oscuro y pardo, macizas en bancos de hasta 4 m de espesor, clasto soportadas, con matriz de arena oscura, limos y ceniza re trabada. Se constituye por clastos bien redondeados, subesféricos, de guijarro medio a bolón fino, frecuentemente imbricados, de andesitas y andesitas basálticas frescas y, en menor proporción, tobas riolíticas provenientes de OMo.			
	OMo 2b Sucesión volcánica principalmente piroclástica y sedimentaria aluvial en menor proporción. Se distingue la Ignimbrita Oxaya en la parte superior (2b; ca. 19,39 Ma), conformada por al menos dos unidades de flujo, caracterizadas por una porción basal oscura, fuertemente soldada, vitrea y de cristales, con pómez aplastadas (fiammes), seguida por una sucesión de toba pardo clara de menor soldamiento o no soldada, pumicea y cinerítica. Contiene cristales de cuarzo, plagioclasa, sanidina, biotita y oxhornblenda. La parte inferior de la formación es de carácter piroclástico y sedimentaria aluvial (1; 24,7-21,8 Ma). Consiste en una alternancia de tobas vitreas y de cristales (feldespato, cuarzo, biotita y anfíbola), débil a moderadamente soldada, en parte pumiceas y líticas en proporciones variables, y conglomerados con intercalaciones de areniscas, de colores pardo, gris y verde. Incluye las ignimbritas Pocon Chile, Puquico-Cardones y Los Molinos.			
PALEÓGENO		Oa Formación Azapa (Oligoceno-Mioceno Inferior) Conglomerados clasto y matriz soportados, de colores pardos rojizos, grises y verde, y areniscas con intercalaciones de limolitas y conglomerados, de colores rojizo, gris y verde.		

Fuente: SERNAGEOMIN (2021).

Figura 2-5b Simbología de la Columna Estratigráfica del sector costero de la cuenca Quebrada de La Concordia.



Fuente: Recuperado de DIFROL-SERNAGEOMIN (2021)

Figura 2-6 Perfil Geológico Esquemático

2.1.3 Suelos

La descripción de los suelos, realizados para el río Lluta por la DGA (2004), son relacionables con la cuenca Quebrada de La Concordia, la cual se ha dividido en cuatro secciones:

- Sección superior de la cuenca (alta cordillera) Zona de altiplano; suelos con desarrollo orgánico débil (esqueléticos), de material volcánico. Gran capacidad de retención de agua. Existen cuencas cerradas con drenaje restringido y suelos de alto contenido de materia orgánica conocidos como bofedales. Sin embargo, esta sección no se encuentra en la cuenca.
- Sección media de la cuenca (precordillera) Planos deposicionales o conos aluviales, sobre los que se desarrollan suelos estratificados por lluvias torrenciales del invierno altiplánico. El escurrimiento superficial se realiza de dos maneras: como erosión lineal en el curso superior y medio de las quebradas, y como erosión laminar en el curso inferior de dichas depresiones, dejando las laderas verticales.
- Sección baja del valle de la cuenca, suelos con alta salinidad producto de su defectuoso drenaje y asociado a alta evapotranspiración.

La evaporación (DIFROL-ICASS,2021) de referencia totaliza los 4 mm/día según el promedio temporal 2019-2020 derivado de la estimación indirecta con el método FAO Penman-Monteith² utilizando el registro de las variables meteorológicas (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar) en la estación Pampa Concordia del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

² El INIA dispone de una plataforma virtual (<https://agrometeorologia.cl/evapotranspiracion/#>) donde es posible consultar los valores de evapotranspiración de referencia para las estaciones meteorológicas que administra actualmente.

d) Sección costera (cordillera de la Costa y plataforma de abrasión) Influencia coluvial, suelos poco desarrollados. Ocupan terraza marina baja.

Tabla 2-1 Características de los suelos en cada sección de la cuenca del río Lluta

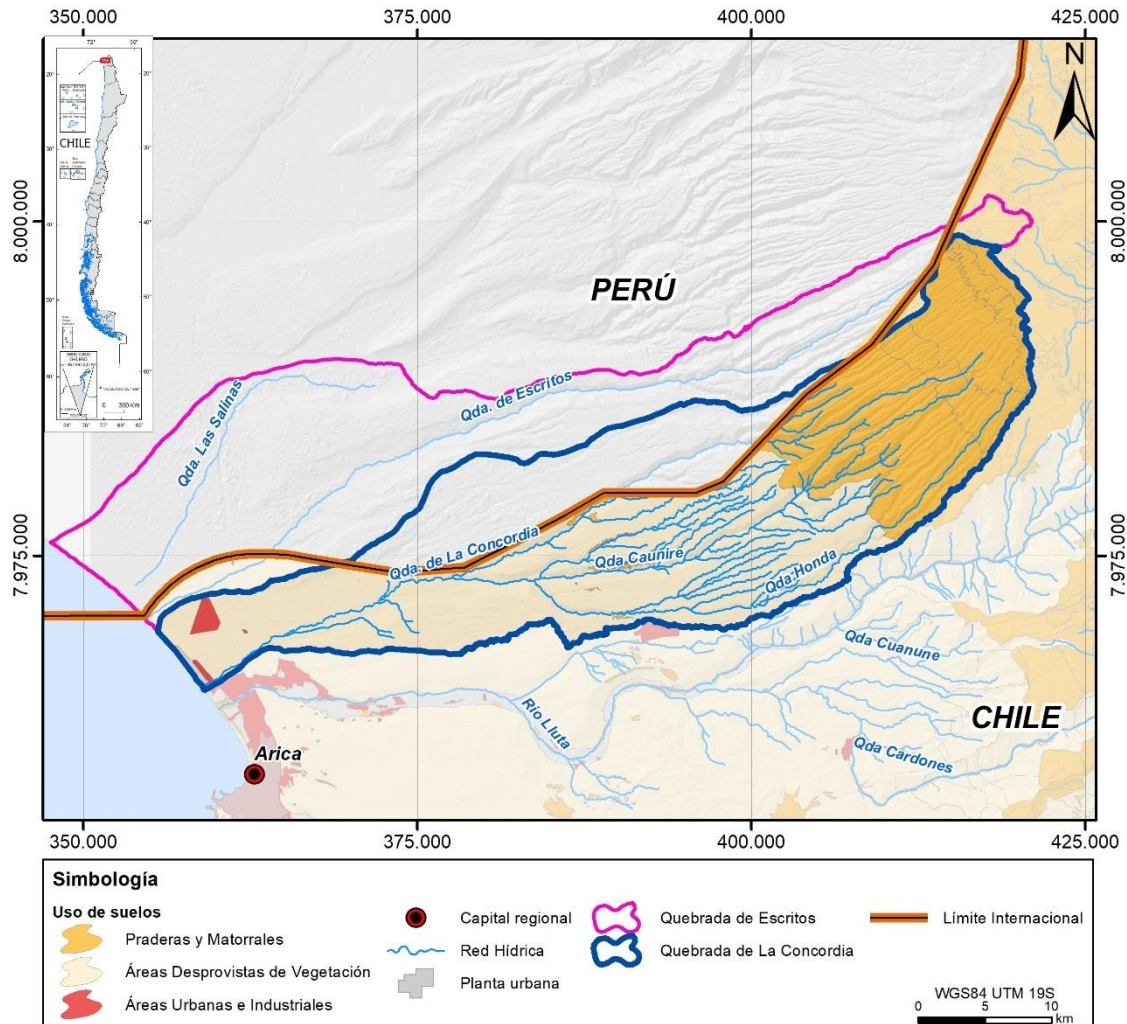
Sección de la cuenca	Textura	Permeabilidad	Escorrentía	Riesgo de Erosión
Superior (altiplano)	Gruesa	Alta	Lenta	Bajo
Media (precordillera)	Gruesa y masiva	Alta	Lenta	Bajo
Baja (valle)	Moderadamente fina	Media	Media	Moderado, depende de precipitaciones
Costera (Cordillera de la Costa y plataforma de abrasión)	Franca y gruesa	Media-alta	Media-lenta	Moderado-bajo

Fuente: DGA (2004).

Adicionalmente, de acuerdo al IDE (2021), se reconocen 3 tipos de usos de suelo (Figura 2-7) y aunque no presenten gran variabilidad, se clasifican de acuerdo a su ubicación y las condiciones hidro-climáticas de la cuenca:

- I) Áreas desprovistas de vegetación
- II) Praderas y matorrales
- III) Áreas urbanas e industriales

La distribución espacial de los usos de suelo en la cuenca Quebrada de La Concordia, muestra que la mayor área corresponde a "Áreas desprovistas de vegetación".



Fuente: Elaboración Propia basado en Infraestructura de Datos Espaciales, Ministerio de Bienes Nacionales, (IDE, 2021).

Figura 2-7 Uso del Suelo en la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.1.4 Hidrología

En el sector en estudio, no hay cursos permanentes de agua superficial. Según DGA (2010), entre los años 1985 a 2010 no se ha producido ningún evento de escorrentía superficial. No se cuenta con estaciones de monitoreo de caudal, pero tampoco se cuenta con algún antecedente de escorrentía desde ese período.

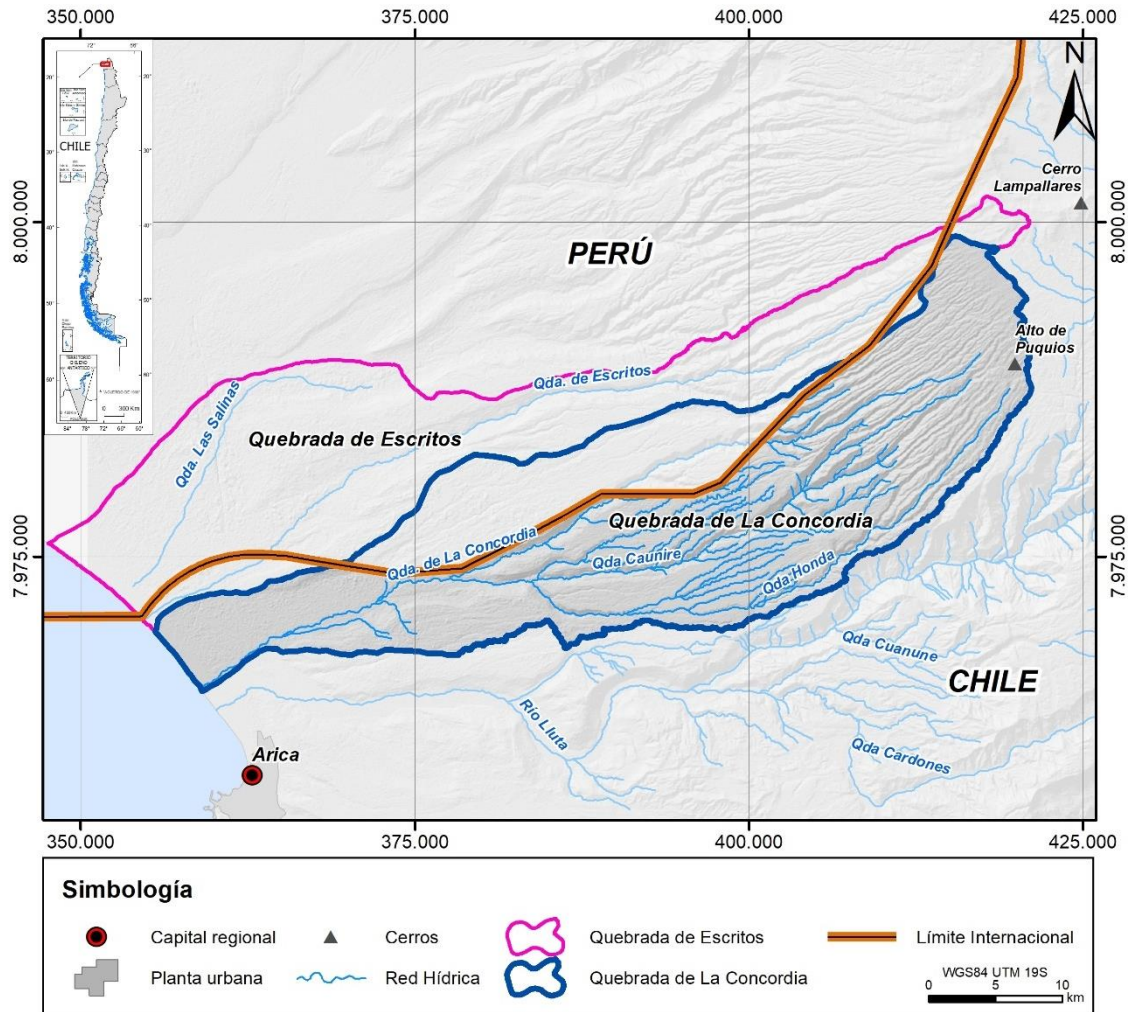
El inventario de cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA) de la DGA, asigna el código 011 a la cuenca Quebrada de La Concordia (Mapoteca DGA y DGA, 2014), cuya delimitación administrativa se muestra en la Figura 2-8. El polígono que define la cuenca de este estudio, no coincide exactamente con el polígono de la cuenca del BNA.

Esto se debe a que se utilizó como definición de la cuenca del río Lluta, adyacente inmediatamente al sur, al área del estudio DGA (2021)³.

Como fue indicado al comienzo del capítulo 2, la cuenca administrativa BNA Quebrada de La Concordia incluye la parte baja (26,6 km²) de la cuenca compartida con Perú y denominada Quebrada de Escritos (ver Figura 2-8). Por otro lado, la cuenca Quebrada de La Concordia también tiene presencia en el territorio peruano, por lo tanto, ambas tienen el carácter de cuencas compartidas entre Chile y Perú. A partir de lo anterior, se sugiere evaluar una posible definición actualizada de la delimitación de cuencas en esta zona del país, incorporando la cuenca Quebrada de Escritos. Finalmente, para efectos del presente estudio, la información analizada se centra en el lado chileno de las cuencas antes mencionadas.

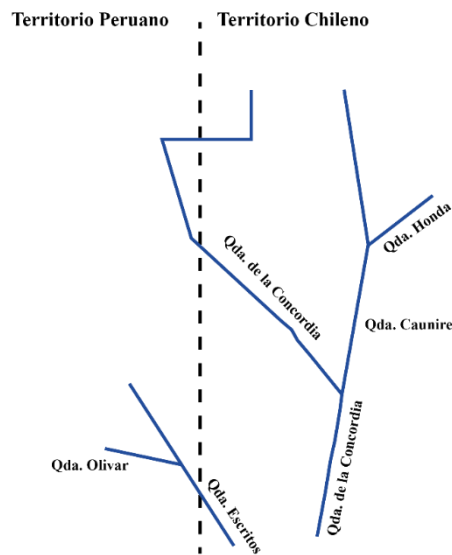
La cuenca Quebrada de La Concordia se extiende desde la Precordillera hasta el Océano Pacífico, pasando por la Depresión Central y las Planicies Costeras. Su cauce principal nace entre los Cerros Lampallares y Alto de Puquios, a una altitud de 4.250 m s.n.m. y 3.750 m s.n.m. respectivamente. El cauce principal de la cuenca Quebrada de La Concordia lo constituye la quebrada de La Concordia, con una extensión aproximada de 69 km en el sector chileno. Su tributario principal es la quebrada Honda. El cauce principal de la cuenca Quebrada de Escritos es la misma quebrada de Escritos, sin embargo, ésta se presenta en Chile sólo en el sector bajo de su cuenca hidrológica. En la Figura 2-9 se presenta un diagrama unifilar de la zona de estudio.

³ En dicho estudio, la cuenca del río Lluta se definió basándose en la cuenca definida por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), corregida según los modelos de elevación digitales disponibles (Alos Palsar y SRTM). Estos productos tienen una resolución espacial de grilla de 12,5 m x 12,5 m, y 30 m x 30 m, respectivamente, y se encuentran disponibles para todo el territorio nacional en sus respectivas páginas de origen, así como en la Mapoteca DGA.



Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca DGA 2021, IDE Ministerio de Bienes Nacionales (IDE, 2021).

Figura 2-8 Hidrografía de la cuenca Quebrada de La Concordia.



Fuente: Elaboración propia Modificada en base a SIG Hidrografía, cauces secundarios, Mapoteca DGA 2016.

Figura 2-9 Diagrama unifilar de la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.1.5 Hidrogeología

En la cuenca se reconocen 4 Unidades Hidrogeológicas (UH), las cuales fueron definidas a partir de antecedentes geológicos e hidrogeológicos, además, de información obtenida por trabajos de terreno. Las UH se describen a continuación (DIFROL-ICASS, 2021):

- **Unidad Hidrogeológica I (UH-I):** se encuentra definida como de importancia hidrogeológica alta-media, la cual ha sido correlacionada con los depósitos fluviales, aluviales, litorales, eólicos y de remoción en masa del Mioceno-Holoceno, incluyendo además la Ignimbrita Lauca del Plioceno Superior alto al Pleistoceno. Los valores de permeabilidad asociados a la UH-I se encuentran en el rango entre 0,2-200 m/d.
- **Unidad Hidrogeológica II (UH-II):** se encuentra clasificada como de importancia hidrogeológica media-baja, correlacionada principalmente a gravas semiconsolidadas con matriz de arena, limos y ceniza re trabajada de la Formación El Diablo (Mmsd), rocas volcánicas-remanentes de volcanes del Mioceno Inferior (Miv) y la Ignimbrita Oxaya (Omo2b). Los valores de permeabilidad asignados a la UH-II se encuentran entre 0,01-10 m/d.
- **Unidad Hidrogeológica III (UH-III):** Esta unidad se define de importancia hidrogeológica media-baja, constituida por la secuencia volcano-sedimentaria

basal de la Formación Oxaya (OMo1), denominada informalmente también como secuencia Los Molinos, consistente en una alternancia de tobas y conglomerados con intercalaciones de areniscas y calizas, y las rocas sedimentarias de la Formación Azapa (Oa), predominantemente conglomerados y areniscas con intercalaciones de limolitas. En la parte media alta de la cuenca se encuentra la Ignimbrita Oxaya (Omo1b) la cual presenta mayor grado de soldamiento. Los valores de permeabilidad asociados a la UH-III se encuentran entre 0,001-1 m/d.

- **Unidad Hidrogeológica IV (UH-IV):** corresponde al Basamento impermeable indiferenciado. Esta unidad estaría conformada por las unidades volcánico-sedimentarias mesozoicas e intrusivas, que tendrían una permeabilidad primaria muy baja, con una permeabilidad secundaria que podría estar asociada a fracturas. Los datos de permeabilidad asignados se encuentran entre <0,01 m/d.

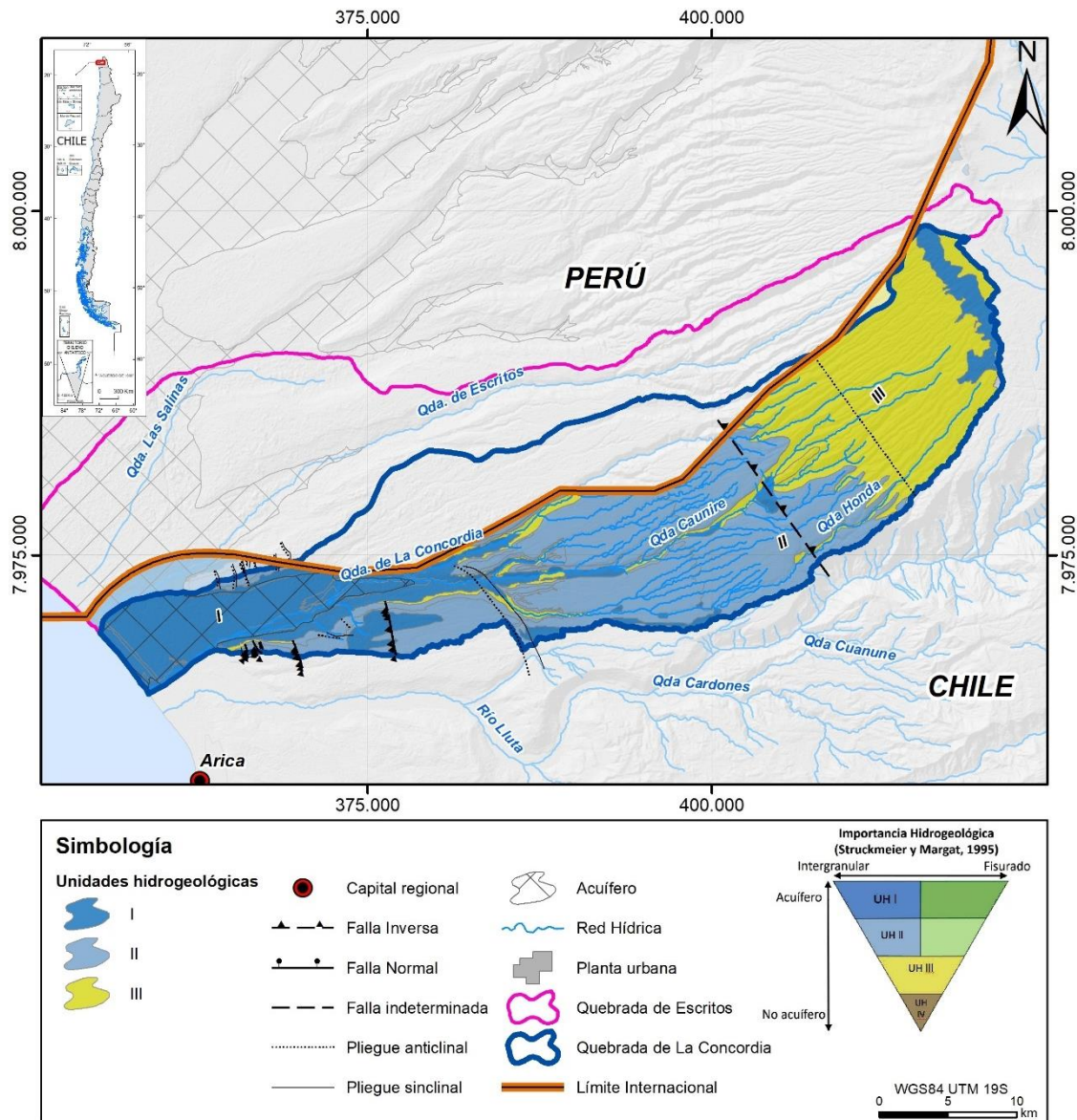
Esta clasificación se extrapoló para el resto de la cuenca, según la clasificación que se presenta en la Tabla 2-2, mientras que su distribución en la cuenca se muestra en la Figura 2-10. En esta misma figura se muestra el sector del acuífero compartido entre Perú y Chile.

Según se puede observar en la Figura 2-10, las Unidades Hidrogeológicas UH-I, UH-II y UH-III afloran en los sectores bajo, medio y alto de la cuenca. Sin embargo, éstas deberían tener una baja presencia de agua en los sectores medios y altos, debido a la baja recarga en la zona.

Tabla 2-2 Unidades Hidrogeológicas en cuenca Quebrada de La Concordia.

UH	Descripción y Unidad Geológica	Tipo de permeabilidad	Importancia hidrogeológica	Tipo de Unidad
I	Depósitos aluviales y fluviales (PPla, PIHa, Ha)	Primaria	Alta-Media	Acuífero poroso no consolidado
	Depósitos litorales del Holoceno y Pleistoceno (HI, PIHI)			
	Depósitos eólicos (He)			
	Depósitos de remoción en masa (PIHrm)			
	Ignimbrita Lauca (Psil)			
	Depósitos aluviales del Mioceno (MPa)			
	Depósitos de remoción en masa del Lluta (MPrml)			
	Depósitos coluviales Cuaternarios (Qc)			
II	Formación El Diablo (Mmsd)	Primaria	Media-Baja	Acuífero de media a baja permeabilidad (Ocasionalmente acuitado)
	Volcanes y remanentes de volcanes del Mioceno Inferior (Miv)			
	Ignimbrita Oxaya (Fm. Oxaya, OMo2b)			
III	Formación Oxaya (OMo1)	Primaria / Secundaria	Media-Baja	Acuífero volcano-sedimentario
	Formación Azapa (Oa)			
IV	Basamento Mesozoico indiferenciado	Secundaria	Muy baja o nula	Acuíclodo

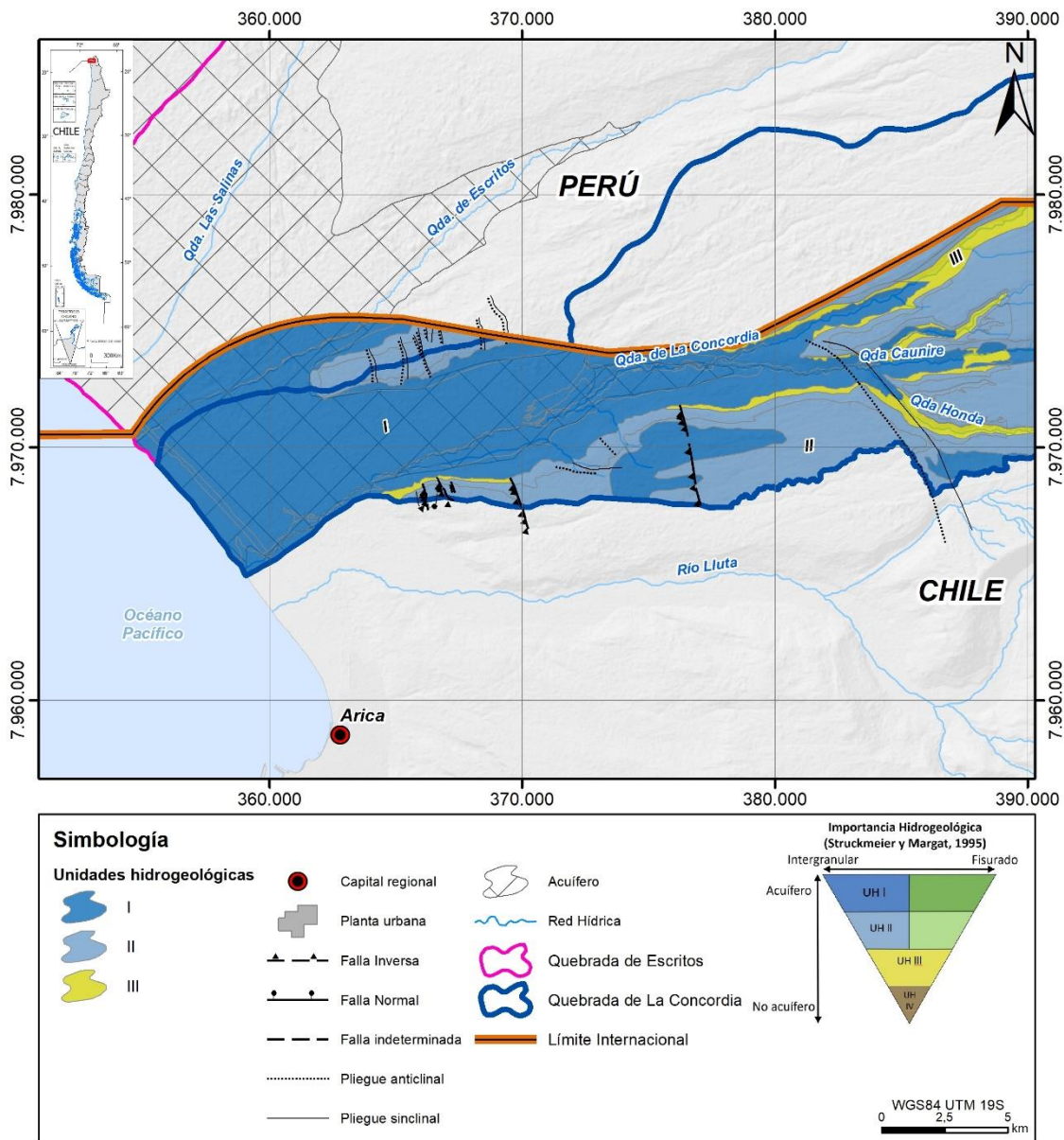
Elaboración Propia a partir de DIFROL-ICASS, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10 Mapa hidrogeológico de la cuenca Quebrada de La Concordia.

Dado que el sector de importancia hidrogeológica está en el sector más costero de la cuenca, se muestra en la Figura 2-11, el mapa hidrogeológico con más detalle en este sector.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11 Mapa hidrogeológico de detalle del sector costero de la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.1.6 División Político Administrativa

La cuenca Quebrada de La Concordia se ubica en la región de Arica y Parinacota, provincia y comuna de Arica, abarcando aproximadamente el 4,1% de la superficie regional (Tabla 2-3). En la Figura 2-12 se muestra la ubicación de la cuenca en relación a la comuna de Arica. Dicha comuna, tiene el carácter de Zona Fronteriza, lo que

implica que DIFROL debe emitir una autorización para la realización de actos jurídicos conforme lo disponen diversas normas legales.

Tabla 2-3 Superficie de la cuenca Quebrada de La Concordia respecto a la superficie regional.

Cuenca	Región	Provincia	Superficie región (km ²)	Superficie cuenca (km ²)	Porcentaje de superficie de la cuenca en la región (%)
Quebrada de La Concordia	Arica y Parinacota	Arica	16.873	697	4,1%

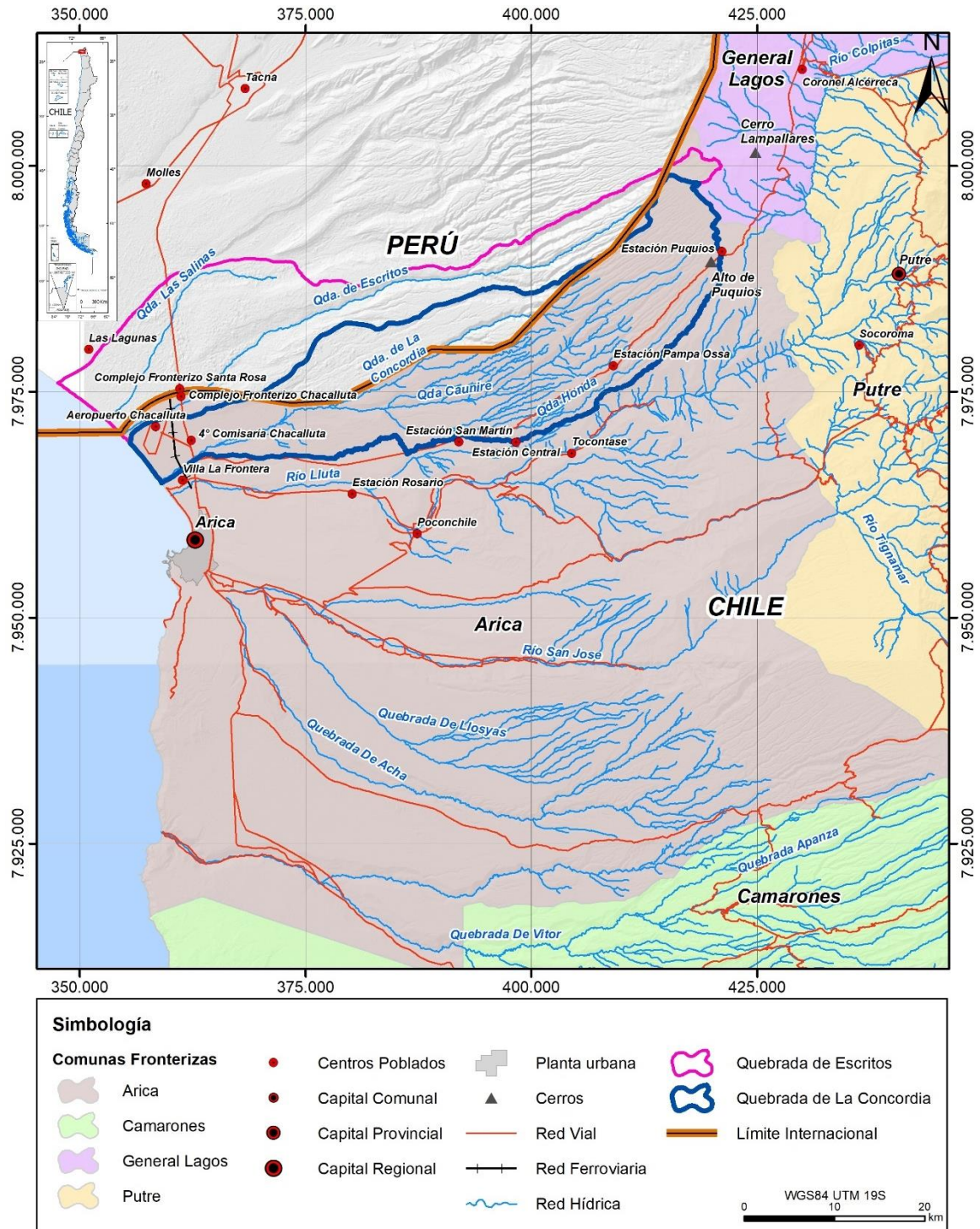
En la cuenca no existen poblados, razón por la cual se han identificado las localidades, y entidades definidas por el INE, el cual desarrolla un total de 4 localidades pertenecientes a la cuenca Quebrada de La Concordia. En la Tabla 2-4 se presenta las localidades y entidades⁴. Sin embargo, en la cuenca se emplazan una serie de servicios, como el aeropuerto de Chacalluta, el complejo fronterizo Chacalluta, la 4ª Comisaría de Chacalluta, y áreas productivas como el polígono industrial de ZOFRI y las concesiones agrícolas de Pampa Concordia.

Tabla 2-4 Localidades presentes en cuenca Quebrada de La Concordia.

Cuenca	Localidad	Entidad
Quebrada de La Concordia	Gallinazos	Villa Frontera
	Pampa Concordia	Pampa Concordia
	Central	Central
	Pampa San Martín	Pampa San Martín

Fuente: Elaboración propia en base a información del Instituto Nacional de Estadísticas, 2018.

⁴ Según INE (2018), entidad de población es un asentamiento humano dentro de una localidad, con nombre propio reconocido por sus habitantes, mientras que localidad es un área geográfica con nombre propio de conocimiento generalizado por la población.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2-12 Cuenca Quebrada de La Concordia en relación a la comuna de Arica.

2.1.7 Población y Actividad Económica

Población

La población estimada de las 4 localidades pertenecientes a la cuenca Quebrada de La Concordia, según el censo 2017 del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), es de 82 habitantes, los cuales se centran principalmente en la entidad Pampa Concordia, con una población estimada de 63 (Tabla 2-5).

Tabla 2-5 Población censo 2017 para entidades en la cuenca Quebrada de La Concordia.

Entidad	Total	Hombres	Mujeres	0-5 años	6-14 años	15-64 años	Mayores 65 años	Migrantes que residen en Chile	Pertenecientes a pueblo originario
Villa Frontera	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pampa Concordia	63	36	27	10	5	41	7	39	53
Central	7	7	0	0	0	7	0	0	0
San Martín	12	8	4	0	0	8	4	0	11

Fuente: Elaboración propia en base a información del Instituto Nacional de Estadísticas 2017.

Fuerza de trabajo

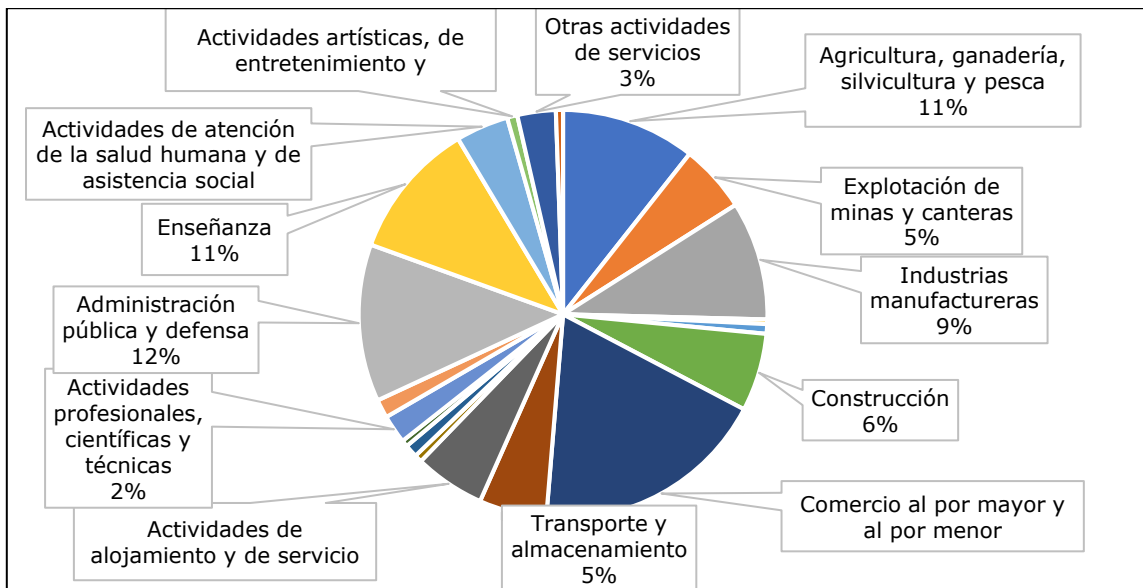
Existe un número menor de personas que atienden los servicios ubicados en la cuenca (aeropuerto, complejo fronterizo, comisaría y retén de Carabineros), sin embargo, en los años noventa comenzó a funcionar el Parque Industrial Chacalluta de ZOFRI, el que agrupa a varias empresas, y que da trabajo a un número menor de personas. En los últimos años, se han constituido cuatro concesiones agrícolas en el sector de Pampa Concordia, dadas por la Cooperativa de Servicios Agrícolas de Pampa Concordia (Concordia COOP) - Asociación de Pequeños Agricultores de Arica y Parinacota (APAAP), la Semillera CORTEVA, y las empresas Pampa SpA y la Sociedad Agrícola Comercial Valle Nuevo Ltda.; los cuales están enfocados en la producción y comercialización agrícola. La mayor parte de los habitantes de la cuenca son trabajadores de estos proyectos. A escala regional, en la Tabla 2-6 se muestra una estimación de la cantidad de ocupados a partir del censo de 2017.

Tabla 2-6 Total Ocupados por Actividad Económica de la región de Arica Parinacota.

Actividad Económica	2018	2019	2020	2021
	(miles de personas)			
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	10,92	10,02	9,98	11,09
Explotación de minas y canteras	6,05	6,02	4,83	5,60
Industrias manufactureras	8,14	8,13	7,39	9,81
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	0,48	0,20	0,16	0,38
Suministro de agua	0,51	0,67	0,70	0,80
Construcción	6,25	8,67	5,93	6,43
Comercio al por mayor y al por menor	17,92	20,82	16,87	19,42
Transporte y almacenamiento	9,15	8,47	5,94	5,57
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	6,09	7,80	6,50	5,82
Información y comunicaciones	0,91	1,48	0,98	0,63
Actividades financieras y de seguros	0,96	0,92	0,97	1,06
Actividades inmobiliarias	0,48	0,70	0,66	0,54
Actividades profesionales, científicas y técnicas	2,23	2,33	2,36	2,35
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	2,01	1,94	1,29	1,53
Administración pública y defensa	11,63	11,58	13,09	12,98
Enseñanza	11,96	10,32	10,34	11,36
Actividades de atención de la salud y de asistencia social	5,07	5,44	4,83	4,35
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	1,29	1,61	0,53	0,84
Otras actividades de servicios	2,17	3,42	2,11	3,17
Actividades de los hogares como empleadores	2,15	1,43	0,98	0,59
Total	106,36	111,99	96,57	104,30

Fuente: Elaboración propia en base a información del Instituto Nacional de Estadísticas 2018.

En la Figura 2-13 se muestra una gráfica de la distribución de los ocupados en cada una de las actividades económicas presentes en la región. De estas cifras se aprecia una fuerte concentración primeramente en el sector comercio e industria, pero se destaca fuerte participación del sector administración pública y defensa presente en la zona, la que absorbe el 12% de la fuerza laboral. El sector de actividad agropecuaria-silvícola también expone una fuerte absorción del empleo en la región, el cual representa el 11% del total de ocupados. A nivel nacional el empleo que concentra el sector agropecuario-silvícola asciende a aproximadamente 6,5% del total con lo que se puede inferir que esta región en particular expone una cierta vocación agrícola.



Fuente: Elaboración propia en base Cuentas Nacionales 2021 Banco Central.

Figura 2-13 Distribución Fuerza Laboral por Actividad Económica en la región de Arica y Parinacota.

De estas cifras se desprende que en la región existe una tasa de ocupación aproximada de 42%, pero gran parte del empleo se concentra en la comuna de Arica.

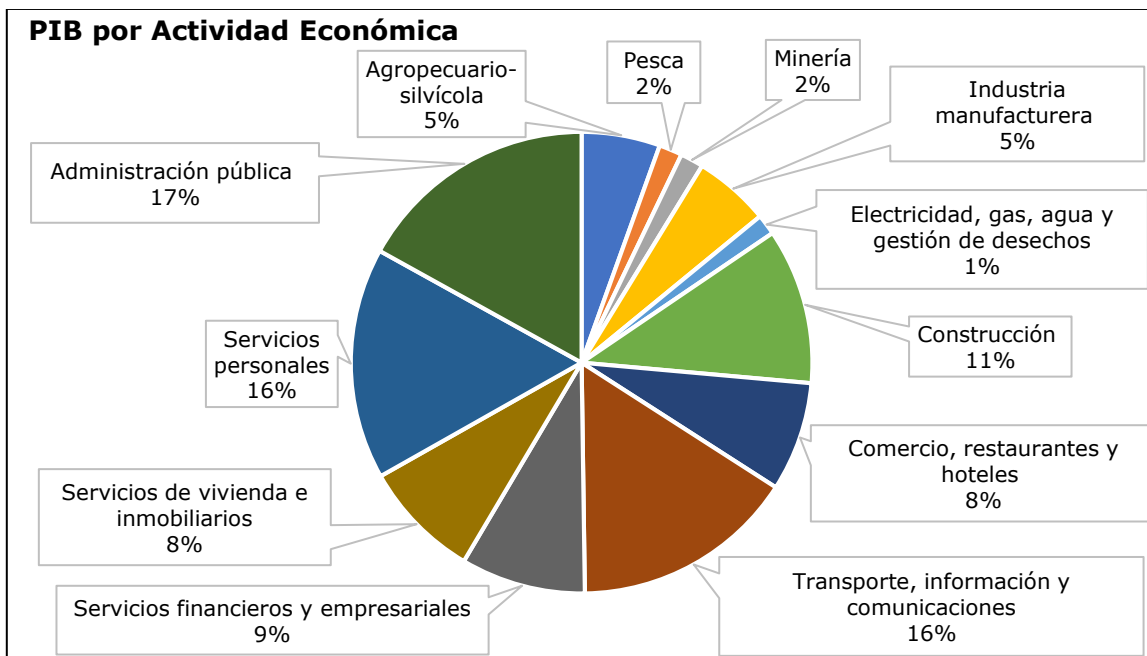
Actividad Económica

Siguiendo el mismo patrón observado en las estimaciones del empleo, y tal como lo muestran las cifras de la Tabla 2-7 y la Figura 2-14, dentro de la generación económica de la cuenca se destacan los servicios de administración pública y defensa, los servicios personales (salud, educación, asistencia social), transporte y comunicaciones. También exponen relevancia económica los sectores de construcción conjuntamente con los servicios de vivienda, financieros y empresariales.

Tabla 2-7 PIB Región de Arica y Parinacota por clase de actividad económica (Cifras en miles de millones de pesos).

Actividad Económica	2017	2018	2019
Agropecuario-silvícola	61	61	61
Pesca	18	22	18
Minería	32	21	18
Industria manufacturera	69	71	59
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	16	16	16
Construcción	120	113	121
Comercio, restaurantes y hoteles	88	86	85
Transporte, información y comunicaciones	174	170	174
Servicios financieros y empresariales	96	94	97
Servicios de vivienda e inmobiliarios	89	92	92
Servicios personales	184	193	180
Administración pública	175	179	188
Producto interno bruto	1.123	1.114	1.107
	5.94%	-0.80%	-0.63%

Fuente: Base de datos estadísticos Cuentas Nacionales del Banco Central 2021.



Fuente: Elaboración propia en base Cuentas Nacionales 2021 Banco Central.

Figura 2-14 PIB del año 2018 estimado por sector económico región de Arica y Parinacota.

PIB Per cápita

La productividad general de la región de Arica y Parinacota estimada en función del PIB per cápita es de 4,42 MMM\$-2013, cifra que es equivalente a la mitad del promedio nacional. Sin embargo, esta cifra es comparable al PIB per cápita asociado a regiones sin participación del sector minero y de vocación agropecuario silvícola dentro de las cuales se encuentra El Maule, La Araucanía, y Los Ríos.

Evaluación Escenarios de Desarrollo Pampa Concordia

El sector agropecuario silvícola, si bien representa sólo el 5% del PIB estimado de la región, es relevante tanto por el consumo de los recursos hídricos como también por el encadenamiento productivo que induce sobre el resto de los sectores económicos y en la población. En este sentido el área de la cuenca Quebrada de La Concordia si bien en la actualidad se encuentra prácticamente despoblada, el desarrollo de proyectos agrícolas puede ser un pilar relevante para la inducción económica y social de este sector.

Haciendo uso de la modelación de la arquitectura productiva de la región de Arica y Parinacota disponible a partir de la aproximación de su Matriz Insumo Producto, a continuación, se realiza una evaluación inductiva de lo que podría significar para la región en estudio la incorporación de 1.100 hectáreas de cultivos agrícolas asumiendo una idéntica estructura tecnológica de la matriz productiva regional.

Con este propósito, con el modelo MIP Insumo Producto se simula la incorporación de 1.100 hectáreas de riego a las 11.168 ha disponibles en la región según el censo agropecuario 2006-2007, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2-8.

Los resultados de la simulación muestran, por una parte, que el agro mantiene su productividad por hectárea, pues es uno de los supuestos del ejercicio. No obstante, lo que se pretende destacar es la capacidad inductiva que encadena la actividad agrícola.

A la luz de lo anterior, si bien las 1.100 has adicionales generan en el agro un PIB adicional de 6,1 MMM \$, a nivel regional logra encadenar 55 MMM \$ por el crecimiento que induce en el resto de los sectores económicos de la región (Tabla 2-8). Por otra parte, si bien en el sector agrícola en particular el proyecto genera del orden de 1.000 empleos, a nivel regional se generan del orden de 6.000, es decir aproximadamente 5 empleos por ha adicional.

Tabla 2-8 Evolución Valor Agregado al incorporar app 1.100 has de Riego.

Sectores Económicos	Delta PIB
	MMM \$ -2013
Agropecuaria Silvícola	6,1
Pesca Extractiva	0,2
Minería	0,2
Industria Manufacturera	2,5
Electricidad, Gas y Agua	0,8
Construcción	5,6
Comercio, Hoteles y Restaurantes	5,2
Transporte y Comunicaciones	5,5
Intermediación Financiera y Servicios Empresariales	4,5
Propiedad de Vivienda	4,8
Servicios Sociales y Personales	10,1
Administración Pública	9,3
PIB regional	55,0
Fuerza Trabajo Adicional	5.912
Aguas m ³ /s Adicional	0,750
Población Inducida	12.771
Has	1.100

Las cifras expuestas en el cuadro anterior permiten calcular la contribución marginal del agua en virtud de este proyecto específico.

Valoración regional agua

- Delta Aguas: 0,75 m³/s = 23.665.954 m³/año
- Delta PIB Regional 55 MMM \$ 2013
- Valor Marginal del Agua 73.227 Millones de \$ / m³/s adicional
- Valor Marginal del Agua 2.322 \$/m³

Valoración agrícola del agua

- Delta Aguas: 0,70 m³/s = 22.116.825 m³/año
- Delta PIB Sectorial 6,1 MMM \$ 2013
- Valor Marginal del Agua: 8.698 Millones de \$ / m³/s adicional
- Valor Marginal del Agua 276 \$/m³

Los resultados de esta simulación preliminar permiten concluir que, en forma privada para el sector agrícola le resultaría muy difícil pagar los costos de producir y transportar las aguas necesarias para su proyecto, no así si se evalúa globalmente para la región, pues el valor marginal de 2.322 \$/m³ permitiría incluso cubrir los costos de desalación, por ejemplo.

2.2 Clima

2.2.1 Caracterización climática

La característica árida de la cuenca Quebrada de La Concordia se debe principalmente a dos factores que la condicionan:

- La influencia del anticiclón del Pacífico Sur que bloquea el paso de sistemas frontales.
- El efecto barrera de la Cordillera de Los Andes, que impide el paso de masas de aire húmedas que provienen del sector tropical hacia la cuenca.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, en la cuenca se distinguen 5 zonas climáticas dispuestas en franjas longitudinales de extrema aridez, que van desde la línea de la costa hasta la Precordillera. Esta información es obtenida del sistema de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) del Ministerio de Bienes Nacionales, la cual se presenta en la Figura 2-15. Las zonas climáticas presentes en el área de estudio son:

Clima desértico cálido (BWh): Se presenta en la franja oeste de la cuenca y su desembocadura, es decir, en la parte baja de la zona de estudio. Esta se caracteriza por una temperatura media de 18,5 °C.

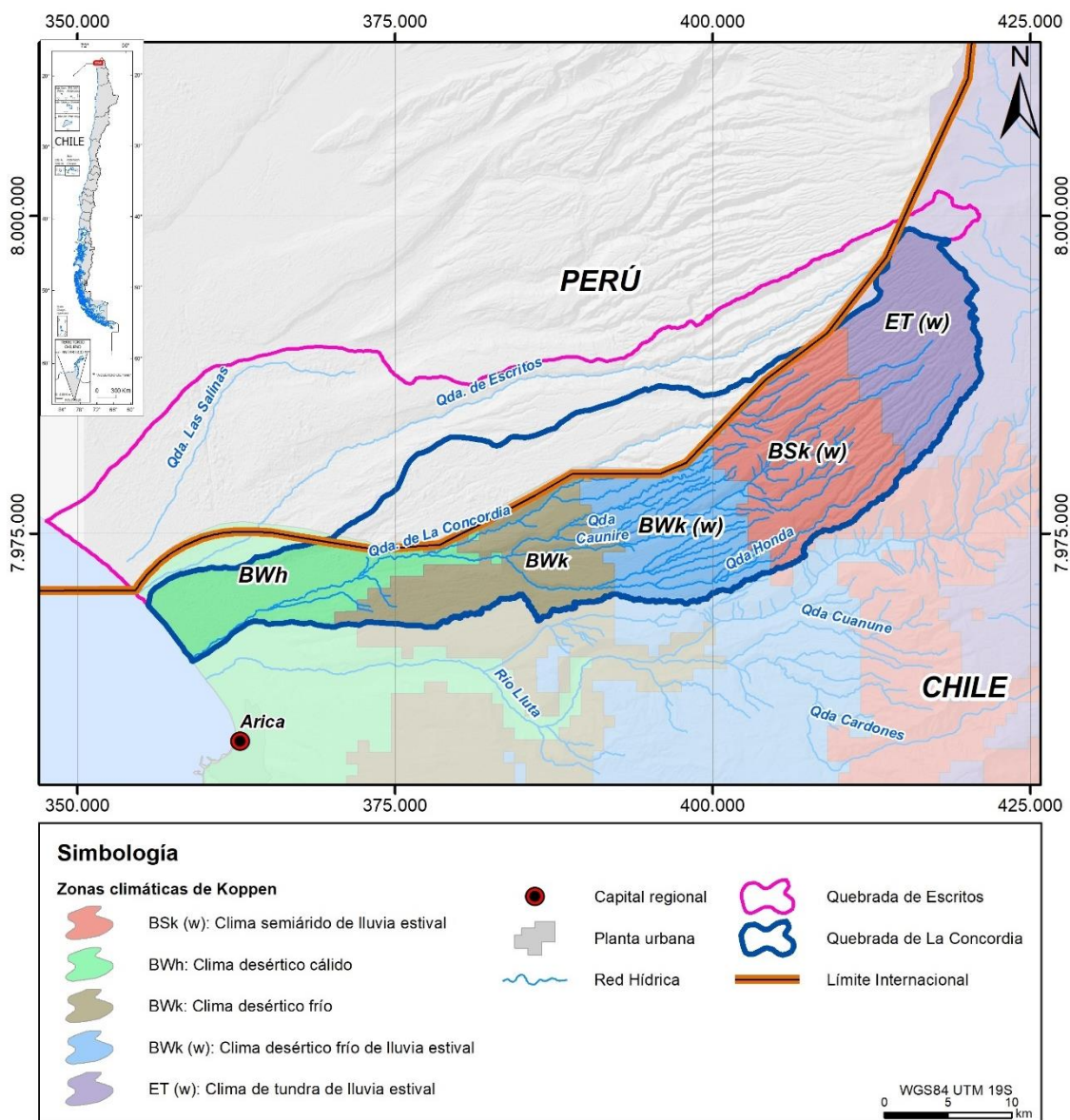
Clima desértico frío (BWk): Se presenta en la zona media-baja de la cuenca, caracterizado por una muy baja humedad relativa, con cielos despejados y cambios de temperatura entre el día y la noche. La temperatura media corresponde a 16°C.

Clima desértico frío de lluvia estival (BWk(w)): Se presenta en la zona media de la cuenca, este se caracteriza por una temperatura media de 13°C.

Clima semiárido de lluvia estival (BSk(w)): Se presenta en la zona media-alta de la cuenca, este se caracteriza por una temperatura media de 8,5°C.

Clima de tundra de lluvia estival (ET(w)): Se presenta en la parte alta de la cuenca, la cual se destaca por un régimen de precipitaciones mezclado, observándose precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Las de origen ciclónico se presentan con intervalos de varios años, cuando suceden inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país. En estos casos,

suelen ser mayores a las del verano. Debido a la altura, las temperaturas son relativamente frías, con un promedio aproximado de 4°C.



Elaboración Propia basado en Infraestructura de Datos Espaciales 2021, Ministerio de Bienes Nacionales (IDE, 2021).

Figura 2-15 Zonas climáticas de Köppen para la cuenca Quebrada de La Concordia.

No existen estaciones meteorológicas de la DGA en la cuenca con un registro de más de 10 años, razón por la que a continuación se analiza información de estaciones de otras entidades existentes en la cuenca y en su entorno. La Tabla 2-9 resume los antecedentes de las estaciones utilizadas para caracterizar la cuenca, cuya distribución se muestra en la Figura 2-16.

Tabla 2-9 Estaciones Meteorológicas utilizadas para caracterizar la cuenca Quebrada de La Concordia.

Nombre Estación	Dueño	Cota	Ubicada en Quebrada de La Concordia	Vigente	Período con información	Observación
		(m s.n.m.)				
Pampa Concordia	INIA	102	SI	SI	2019 - 2021	Está en la cuenca
Lluta Bajo	INIA	225	NO	SI	2013 - 2021	Está muy cerca de la cuenca
Oficina Arica	DGA	20	NO	SI	1974 - 2021	Estación de la DGA más cercana a la cuenca
Puquios	DGA	3750	NO	NO	1975 - 1981	Está muy cerca de la cuenca
Chacalluta Arica Ap	Dirección Meteorológica de Chile	63	SI	NO	1959 - 1985	Tiene un amplio registro
DIFROL-Concordia	DIFROL	1492	NO	SI	2021 - 2021	Está en la zona media de la cuenca

La estación instalada más recientemente corresponde a la estación DIFROL-Concordia, puesta en funcionamiento en mayo del 2021, con el objetivo de representar el régimen de precipitaciones en sectores cercanos a la cabecera de la cuenca, en el marco del estudio DIFROL-ICASS (2021).

Ésta se encuentra ubicada en el sector de la antigua Estación Central, donde actualmente está situado el retén de Carabineros de Chile de Central. Esta estación permite monitorear variables como la precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, presión de vapor, velocidad del viento y radiación solar.

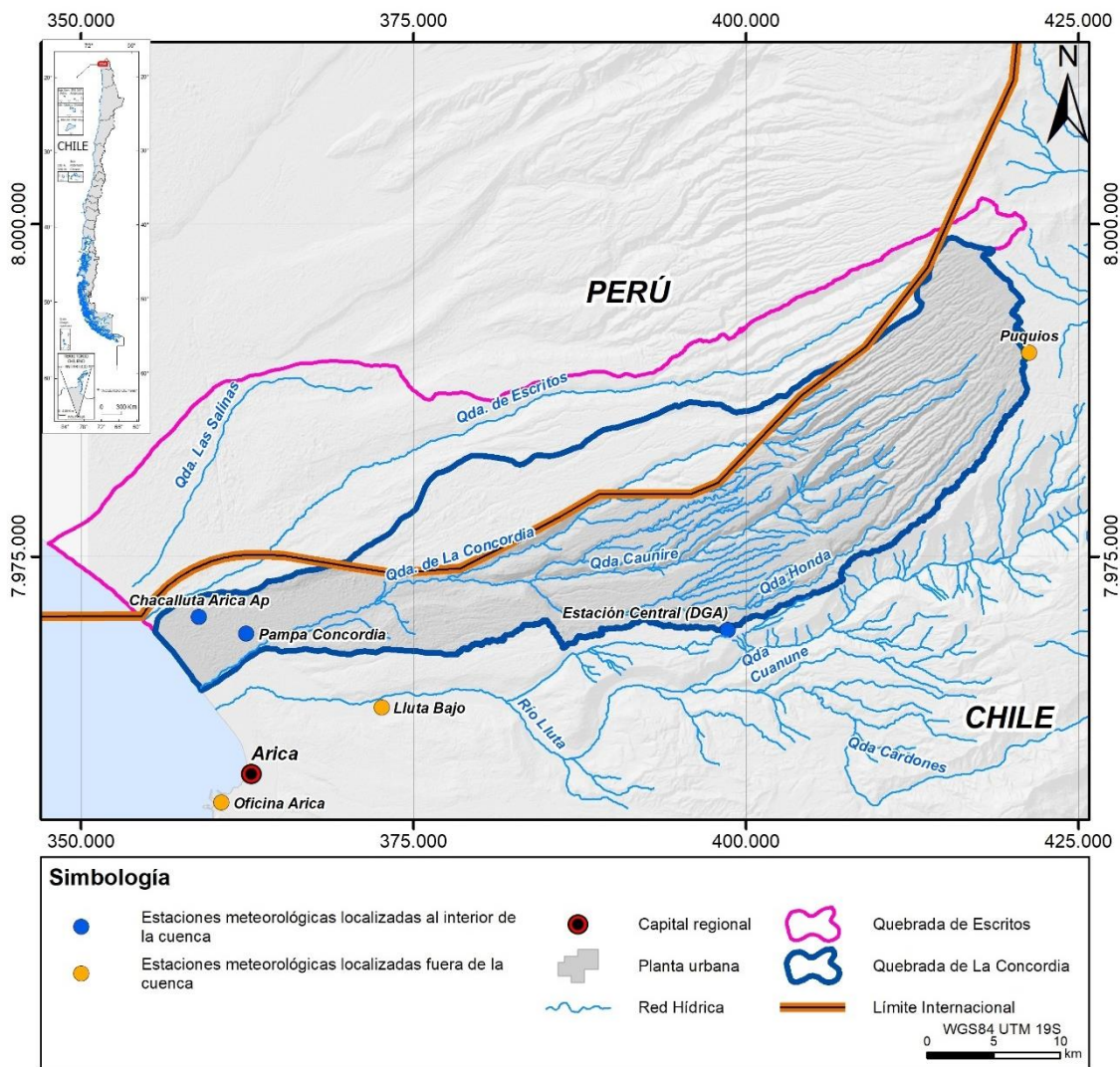
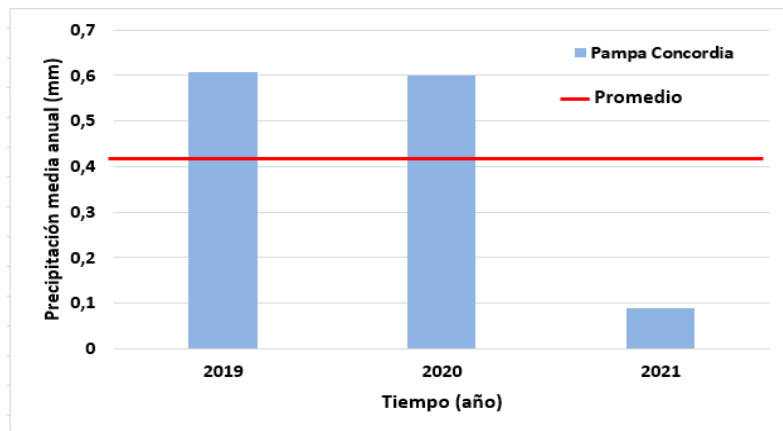


Figura 2-16 Estaciones Meteorológicas utilizadas para caracterizar la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.2.2 Precipitación

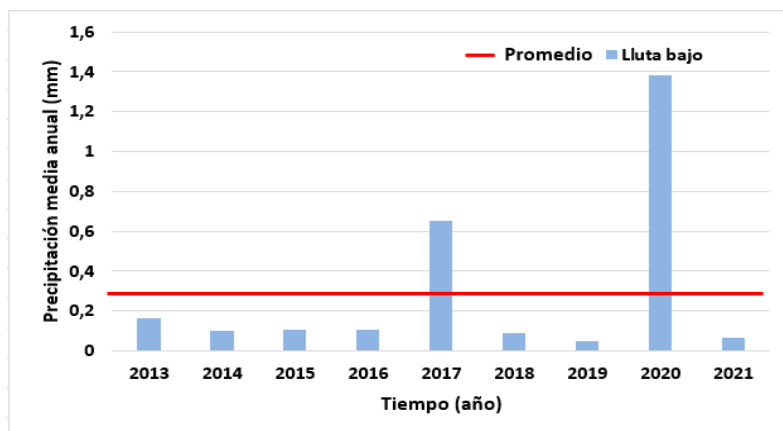
En la cuenca Quebrada de La Concordia se tienen pocos registros de precipitación, ya que estas son escasas o nulas y ocurren principalmente en el sector alto. En la Figura 2-17 se aprecia un gráfico de barras que representa la variación estacional de la precipitación media anual para los tres años de registro de la estación Pampa Concordia, donde se observa que la precipitación media en la estación corresponde a 0,43 mm/año y una precipitación mínima para el año 2021 con una precipitación media de 0,09 mm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-17 Precipitación media anual (mm) en la estación Pampa Concordia.

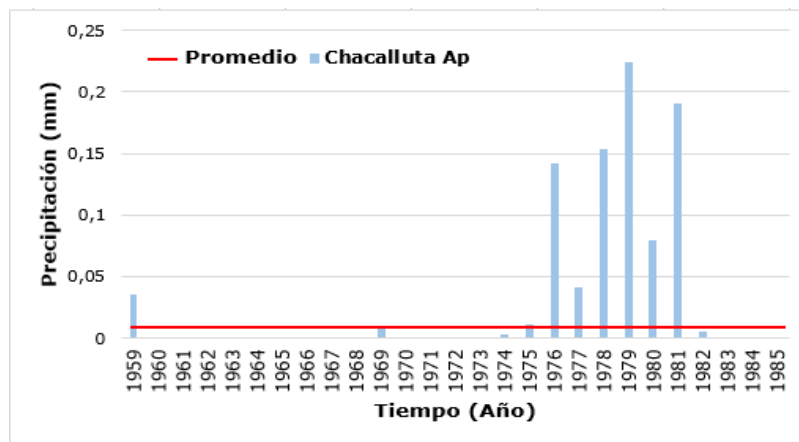
En la Figura 2-18, se presenta un gráfico de barras para el periodo comprendido entre el 2013 y el 2021 registrado en la estación Lluta Bajo, donde se observa que la precipitación media registrada es de 0,3 mm, con un valor máximo promedio en el año 2020 de 1,3 mm y un valor mínimo promedio en el año 2019 de 0,05 mm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-18 Precipitación media anual (mm) en las estaciones Lluta Bajo.

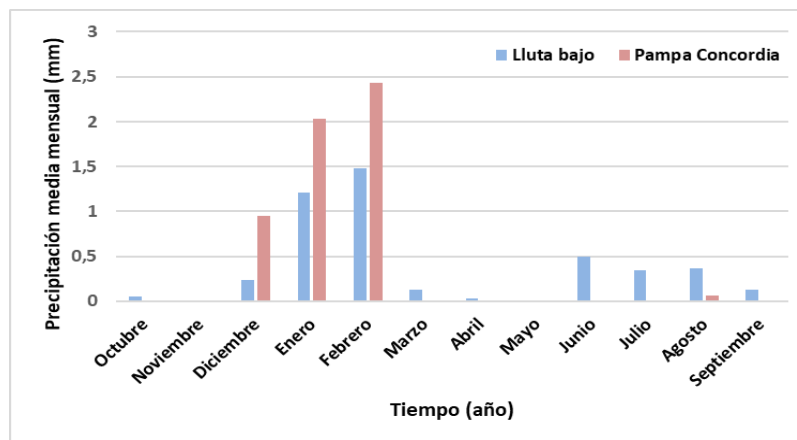
En la Figura 2-19, se presenta un gráfico de barras para el periodo comprendido entre el 1959 y 1985 registrado en la estación Chacalluta Ap, donde se observa que la precipitación media registrada es de 0,03 mm, con un valor máximo promedio en el año 1979 de 0,23 mm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-19 Precipitación media anual (mm) en la estación Chacalluta Ap.

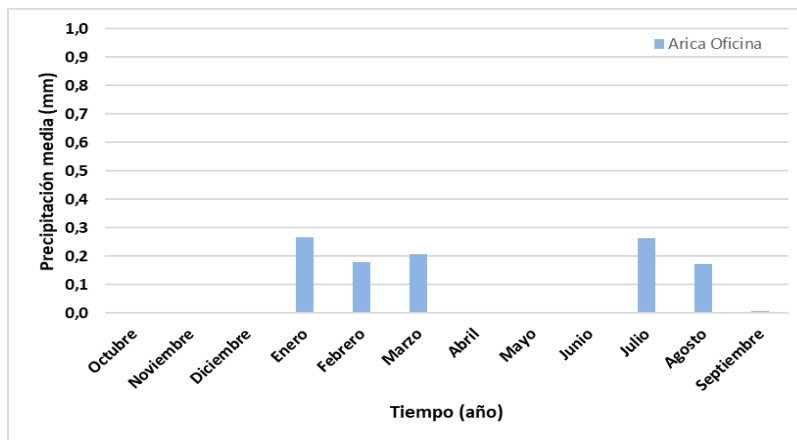
En la Figura 2-20, se aprecia la variación estacional, considerando el inicio del año hidrológico en el mes de octubre, el cual coincide con el inicio del invierno altiplánico, Los datos son de las estaciones meteorológicas Pampa Concordia y Lluta Bajo, y se puede observar que la precipitación media mensual no supera los 2,5 mm.



Fuente: Elaboración propia.

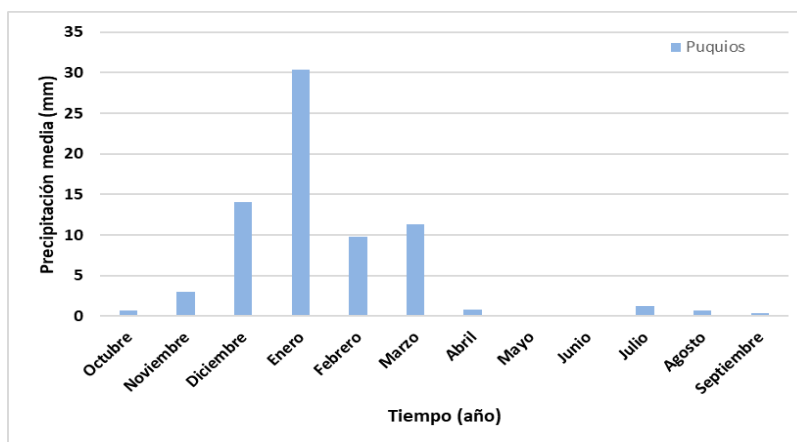
Figura 2-20 Precipitación media mensual (mm) en las estaciones Lluta Bajo (2013-2021) y Pampa Concordia (2018-2021).

La Figura 2-21 muestra la curva de variación estacional considerando el inicio del año hidrológico en el mes de octubre correspondiente a la estación Arica Oficina. A partir de la distribución mensual de precipitaciones para la estación Arica Oficina en una escala temporal comprendida entre 1985 y 2020, se reconoce que las precipitaciones se presentan en invierno y verano, aunque no superan los 0,3 mm. Además, en la Figura 2-22 se incluye la curva de variación estacional para la estación Puquios, ubicada en la parte alta de la cuenca, la cual cuenta con un período de registro desde 1975 a 1981, que, si bien no es muy amplio, se considera como una representación a las condiciones de altura de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

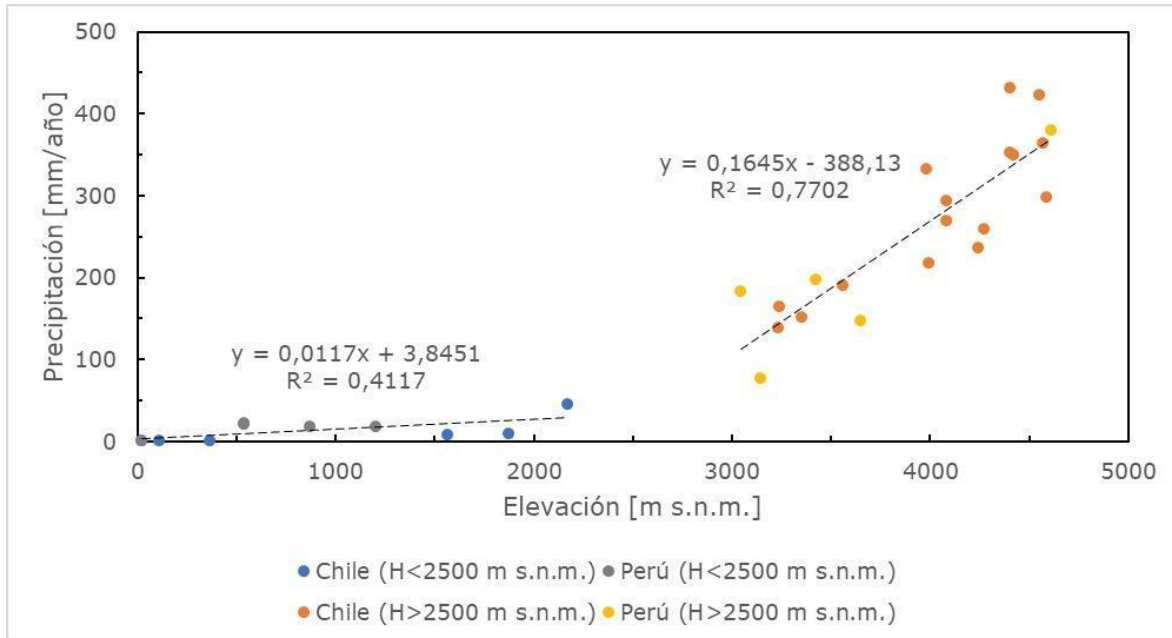
Figura 2-21 Variación estacional de precipitación en la estación Arica Oficina, período 1985-2014.



Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

Figura 2-22 Variación estacional de precipitación en la estación Puquios, período 1975-1981.

En la Figura 2-23 muestra el promedio de las precipitaciones de las diferentes estaciones meteorológicas presentes en el sector, relacionándolas con la altura sobre el nivel del mar de cada una de estas, dando como resultado que a partir de los 3.000 m s.n.m. las precipitaciones aumentan desde los 100 a los 450 mm/año; las estaciones que se encuentran por debajo de los 2.000 m s.n.m. tienen precipitaciones menores a 10 mm/año y se tiene un vacío de información entre las alturas de 2.200 a 3.000 m s.n.m. debido que no se tienen estaciones a dichas alturas geográficas.

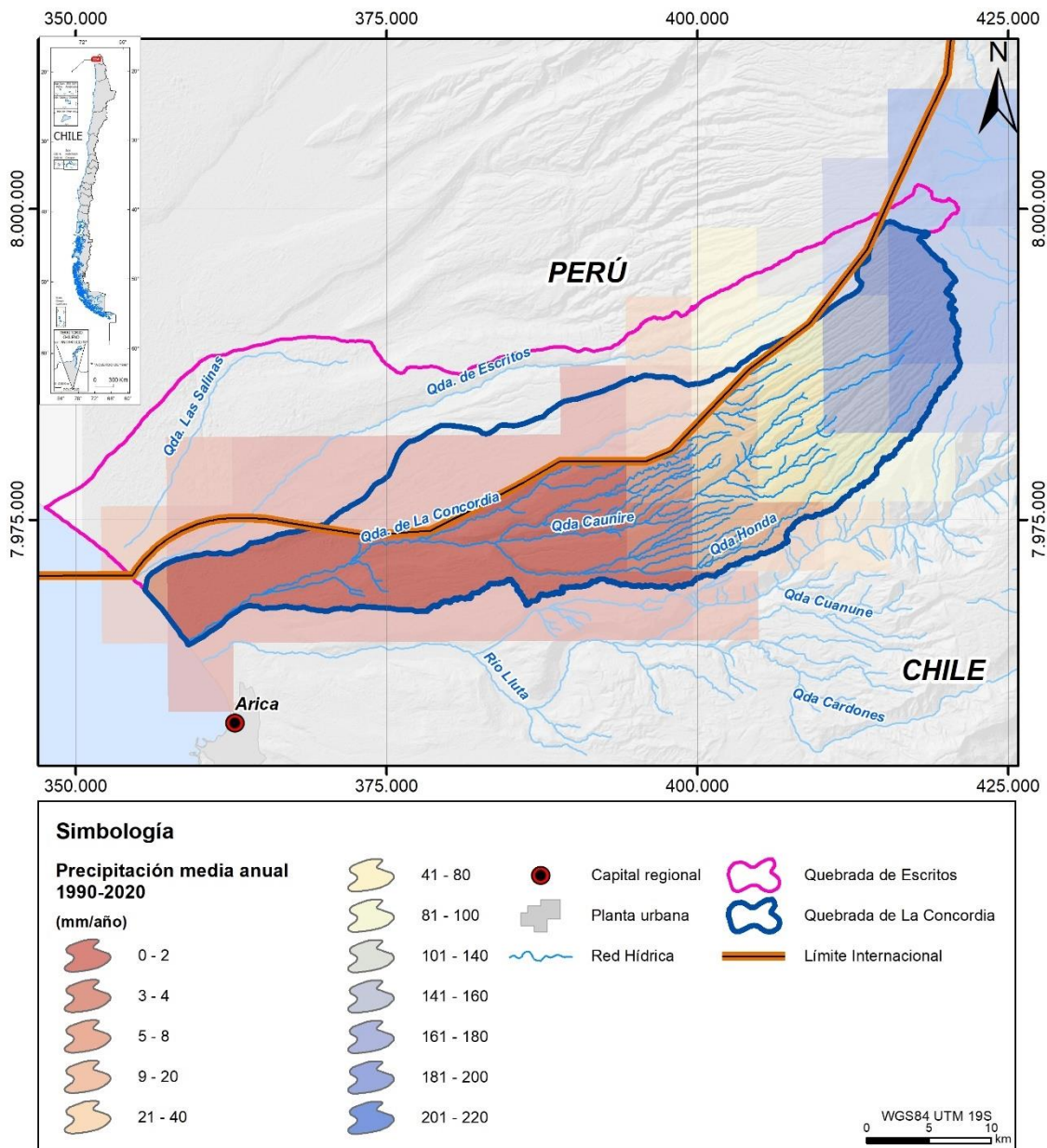


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-23 Precipitación media vs altura geográfica de estaciones meteorológicas.

En la Figura 2-24 se muestra la precipitación media anual de la cuenca, a partir del conjunto de datos CR2MET v2⁵, base que incluye datos distribuidos espacialmente y coherentes con la información observacional disponible y datos satelitales. Cabe señalar que este conjunto de datos fue utilizado como base para la actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018a).

⁵ Desarrollado por investigadores de CR2 y publicado en <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>. CR2MET es un análisis grillado de la precipitación y temperatura (máxima y mínima) diaria para todo Chile continental, con resolución de 0,05 grados, y con datos de 1979 a 2020.



Fuente: Elaboración propia, en base a antecedentes CR2MET v2.

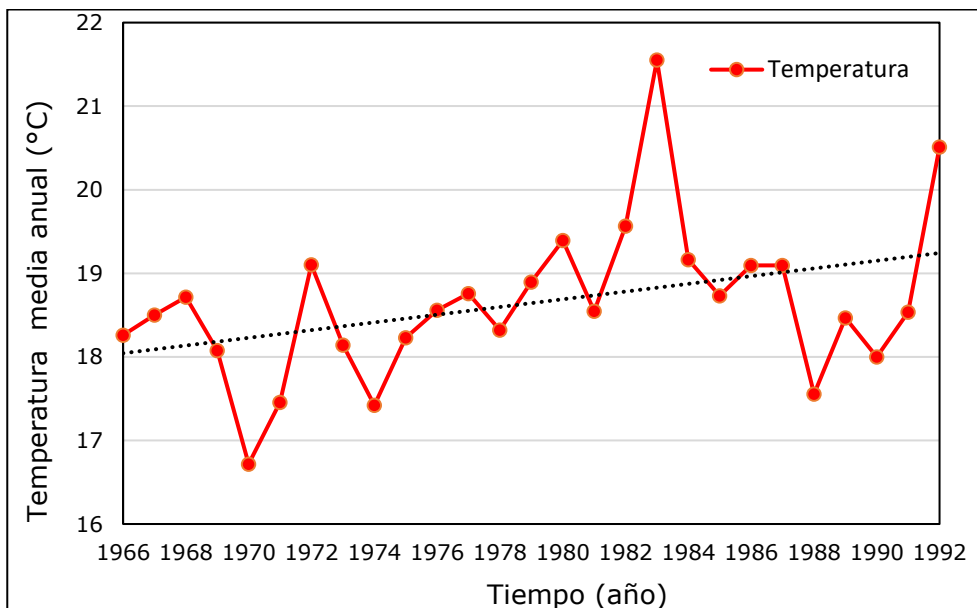
Figura 2-24 Precipitación media anual en la cuenca Quebrada de La Concordia para el período 1990 -2020.

2.2.3 Temperatura

La evolución histórica de la temperatura en la cuenca se analizó con los registros de la estación Chacalluta Arica Ap, perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile, para el período comprendido entre los años 1966 y 1991 y las estaciones Pampa Concordia y Lluta Bajo, pertenecientes a la Red Agrometeorológica del INIA, para el período

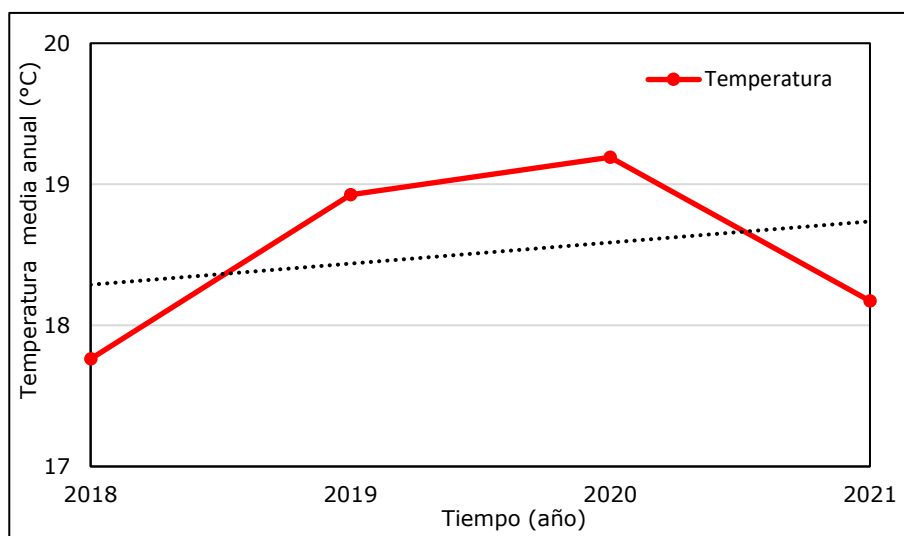
comprendido entre los años hidrológicos 2018-2021 y 2013-2021 respectivamente, cuyos valores se presentan en las Figura 2-25, Figura 2-26 y Figura 2-27.

El valor máximo de temperatura media anual registrado en la estación Chacalluta Arica Ap corresponde 21,5 °C para el año 1983, así mismo la temperatura máxima media anual para esta estación Pampa Concordia en el período analizado alcanza los 19,2°C en el 2020, mientras que en la estación Lluta Bajo alcanza los 19,9°C en el 2015.



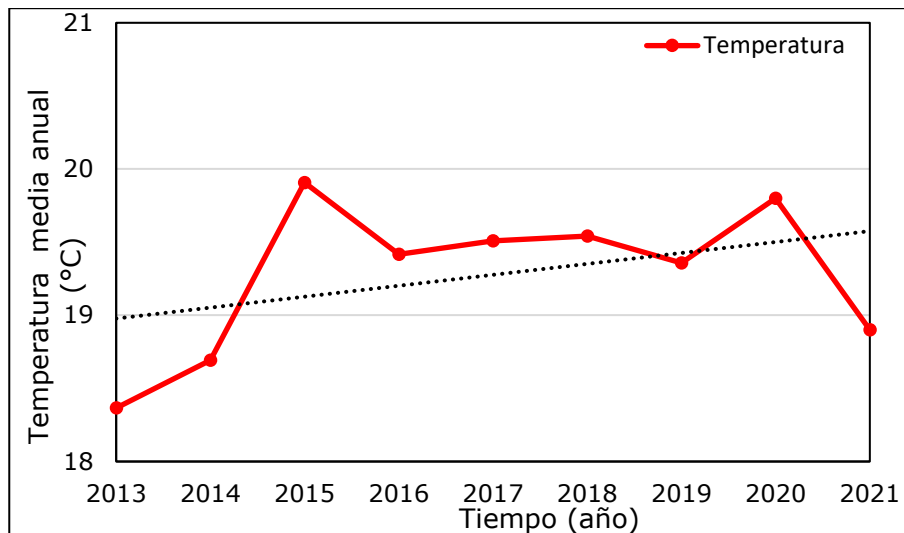
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-25 Temperatura media anual (°C) de la estación Chacalluta Arica Ap.



Fuente: Elaboración propia.

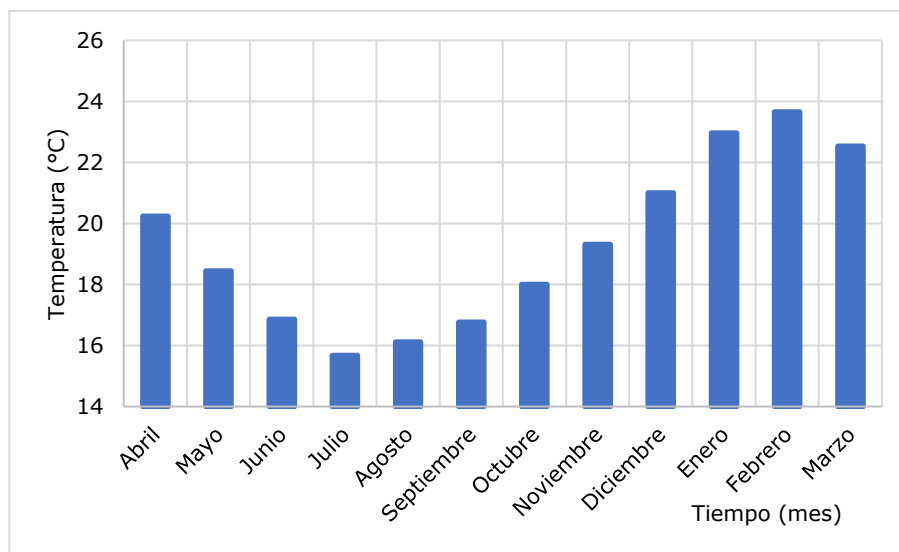
Figura 2-26 Temperatura media anual (°C) de la estación Pampa Concordia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-27 Temperatura media anual (°C) de la estación Lluta Bajo.

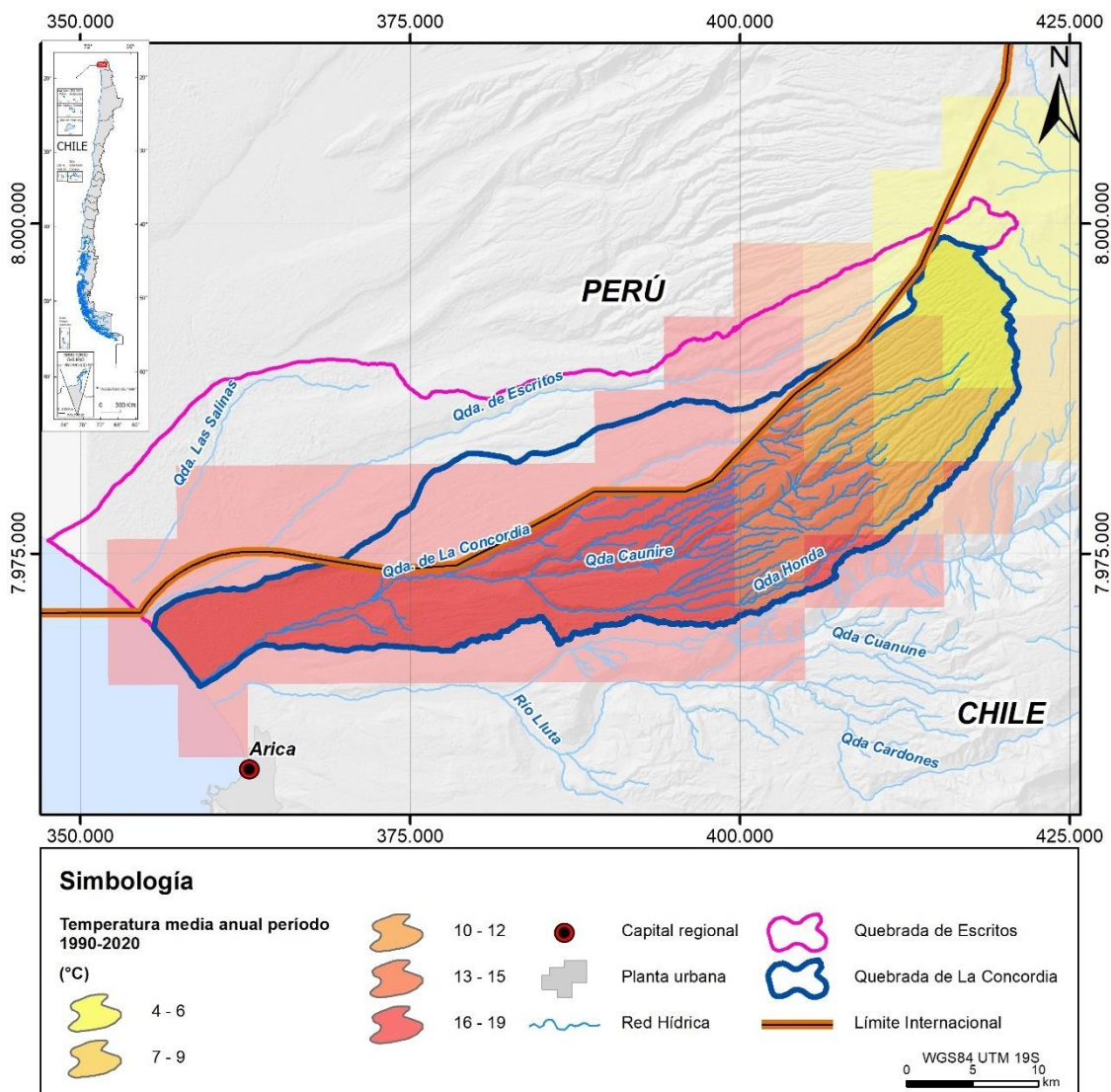
La variación mensual de la temperatura se muestra en la Figura 2-28 con los datos de temperatura obtenidos de la estación Lluta Bajo, donde se aprecia que las menores temperaturas medias se producen durante la época invernal con el mínimo en el mes de Julio, mientras que las mayores temperaturas se alcanzan en la época estival con el máximo en el mes de febrero.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-28 Temperatura media mensual (°C) en la estación Lluta Bajo, período 2013-2021.

En la Figura 2-29 se muestra la temperatura media anual de la cuenca, a partir del conjunto de datos CR2MET v2.



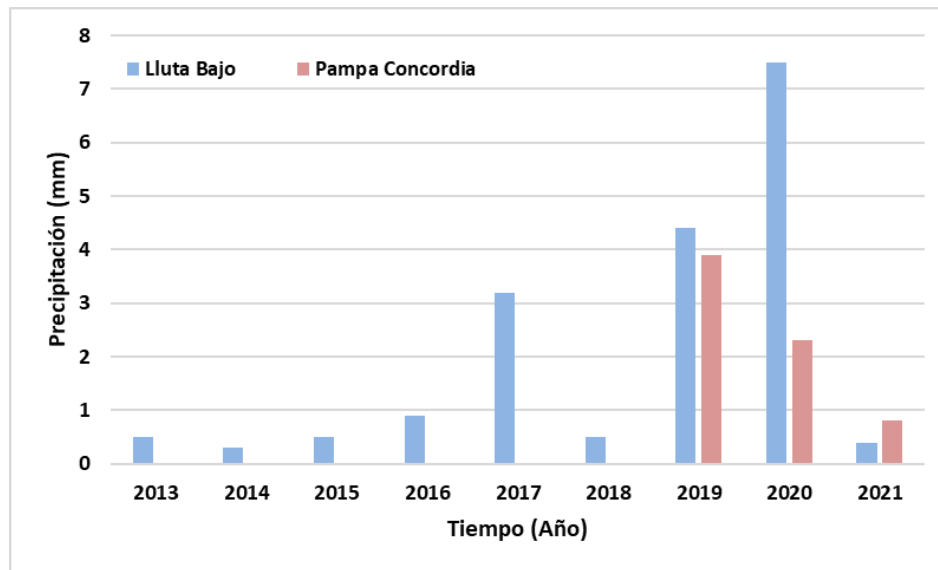
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-29 Temperatura media anual en cuenca Quebrada de La Concordia para el período 1990 -2020.

2.2.4 Eventos Extremos y Variabilidad Climática

En la Figura 2-30 se presentan las precipitaciones máximas diarias anuales para las estaciones meteorológicas Pampa Concordia y Lluta Bajo entre los años 2019-2021 y 2013-2021 respectivamente. Al tratarse de una cuenca desértica, las precipitaciones tienden a ser muy bajas o incluso nulas. Las precipitaciones máximas diarias para la

estación Pampa Concordia son cercanas a los 4 mm, mientras que para la estación Lluta Bajo es de 7,3 mm aproximadamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-30 Precipitación máxima diaria anual en las estaciones Pampa Concordia y Lluta Bajo.

2.2.5 Escenarios de cambio climático

Para la evaluación del escenario de cambio climático del presente estudio, se revisaron los Modelos de Circulación Global (GCMs) especificados en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a), correspondientes a los modelos UTA, CSIRO, IPSL y MIROC. Estos modelos tienen distinta sensibilidad climática, tal como se indica en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10 Descripción de los GCM utilizados en la Actualización del Balance Hídrico Nacional

GCM	Sensibilidad climática*	Autor
CSIRO-MK3-6-0	Baja extrema	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence
CSSM4	Baja moderada	National Center for Atmospheric Research
MIROC-ESM	Alta moderada	Agency for Marine-Earth Science and Technology/Atmosphere and Ocean Research Institute/National Institute for Environmental Studies
IPSL-CM5A-LR	Alta extrema	Institut Pierre-Simon Laplace

*La sensibilidad climática se refiere a la respuesta global del sistema climático a las forzantes antropogénicas

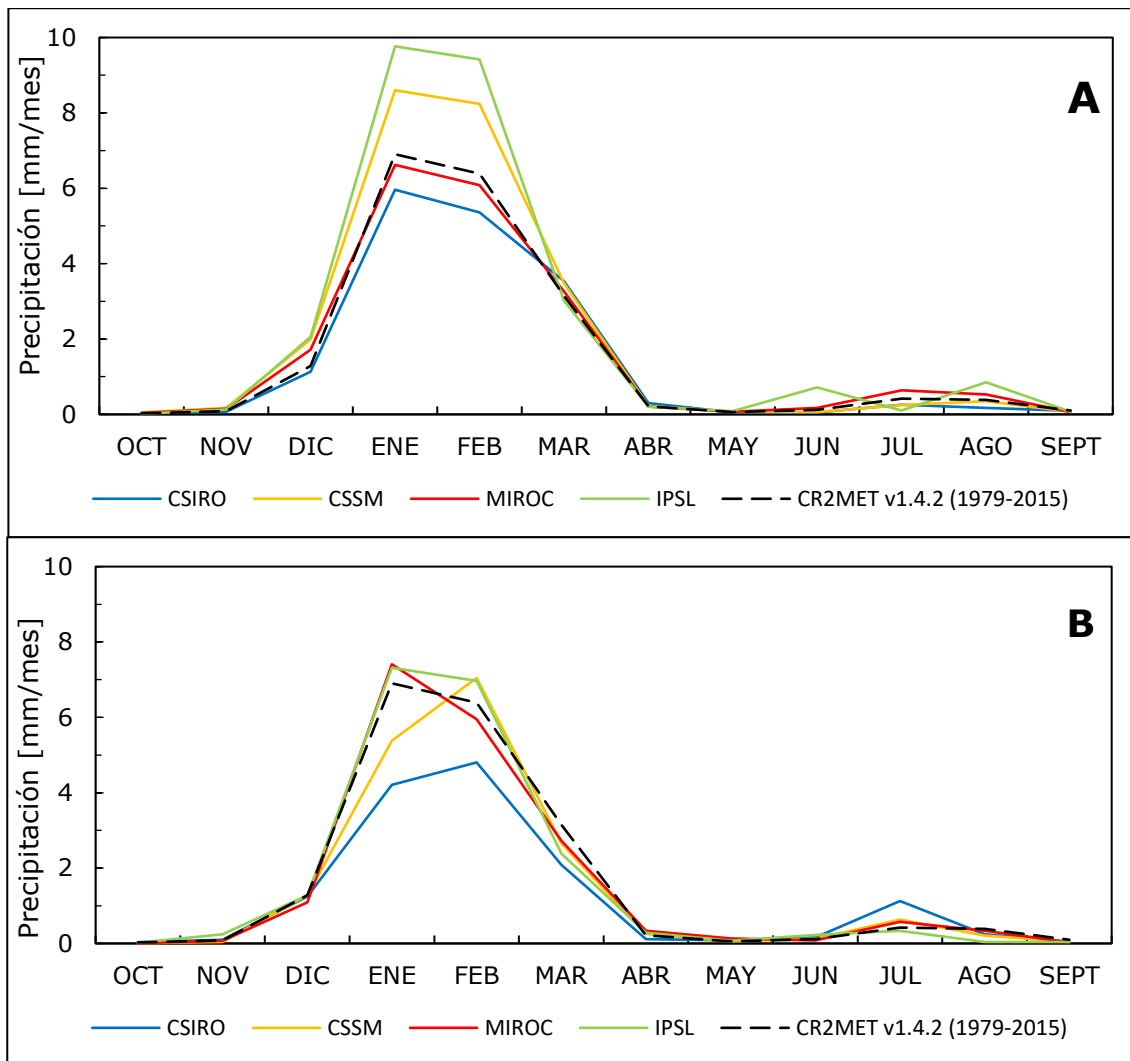
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, y de acuerdo a las bases de licitación de este estudio, se evaluó aquel escenario climático más desfavorable, el RCP 8,5 (RCP: sigla de *Representative*

Concentration Pathway o Trayectorias de Concentración Representativas de gases de efecto invernadero). Este escenario menciona que cada año la radiación incidente aumenta hacia el 2100 de modo de incrementar $8,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$ respecto de la era preindustrial. Esto representa, por ejemplo, cambios en las temperaturas de hasta $+3^{\circ}\text{C}$ y disminuciones del 50% de las precipitaciones en los casos más extremos (DGA, 2017a).

Dado que las proyecciones de cambio climático se basan en simulaciones numéricas con GCMs que abarcan todo el globo, sus mallas son generalmente gruesas (mayores a 100 km). Una evaluación de cambio climático a escala regional, así como el impacto en la hidrología continental, necesita de un método que permita re-escalar la información gruesa de los GCM hasta una escala regional más fina, útil para los estudios de impacto. La reciente Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) utilizó el método *Quantile Delta Mapping* (QDM), para corregir las temperaturas diurnas máxima y mínimas de los GCMs seleccionados, así como también para escalar la precipitación, dado que preserva los cambios absolutos (utilizados típicamente para temperatura) o relativos (e,g precipitación) en los cuantiles, corrigiendo al mismo tiempo los sesgos en la distribución de frecuencia de la variable simulada, respecto de la referencia, logrando ajustar la variable simulada a la distribución de referencia, y mantener los cambios en el tiempo (absolutos) de los distintos percentiles (DGA,2017a).

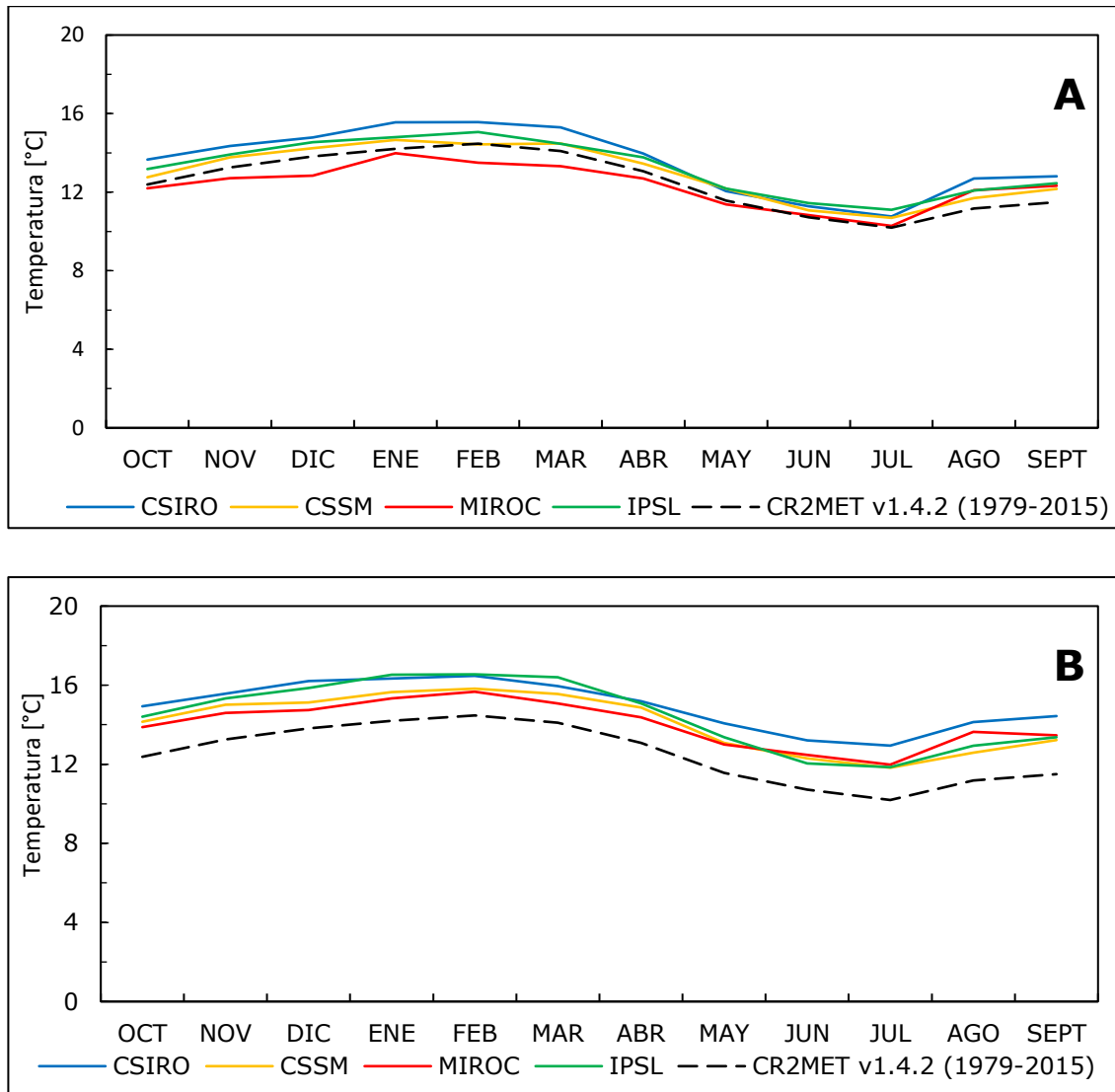
La Figura 2-31 muestra el comportamiento mensual proyectado para la precipitación en la cuenca de acuerdo con los cuatro modelos de circulación global evaluados en la actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) y respecto al período histórico estimado a través del producto CR2MET v1,4,2, considerando dos intervalos temporales: el corto plazo (2016-2035) y el mediano plazo (2036-2060). En el primer intervalo, por un lado, podría esperarse hasta un incremento sobre los 5 mm en la precipitación originada durante eventos de invierno altiplánico, mientras que, en el segundo intervalo, por otro lado, se reduciría la magnitud de dichas precipitaciones. Por último, el comportamiento de la precipitación proyectada en el invierno austral se mantendría similar al período histórico, tanto en el corto como a mediano plazo.



Fuente: Elaboración propia, según proyecciones de GCMs utilizados en la actualización del balance hídrico, respecto al período histórico 1979-2015.

Figura 2-31 Distribución mensual de precipitación futura para la cuenca Quebrada de La Concordia en (A) el corto plazo (2016-2035) y (B) el mediano plazo (2036-2060).

La Figura 2-32 muestra, de manera análoga a la Figura 2-31, el comportamiento mensual proyectado para la temperatura en la cuenca. En el corto plazo, por un lado, las temperaturas se mantendrían cercanas a aquellas observadas en el período histórico, mientras que, en el mediano plazo, la totalidad de los modelos proyectan un incremento de la temperatura entre 2 a 3°C.



Fuente: Elaboración propia, según proyecciones de GCMs utilizados en la actualización del balance hídrico, respecto al período histórico 1979-2015.

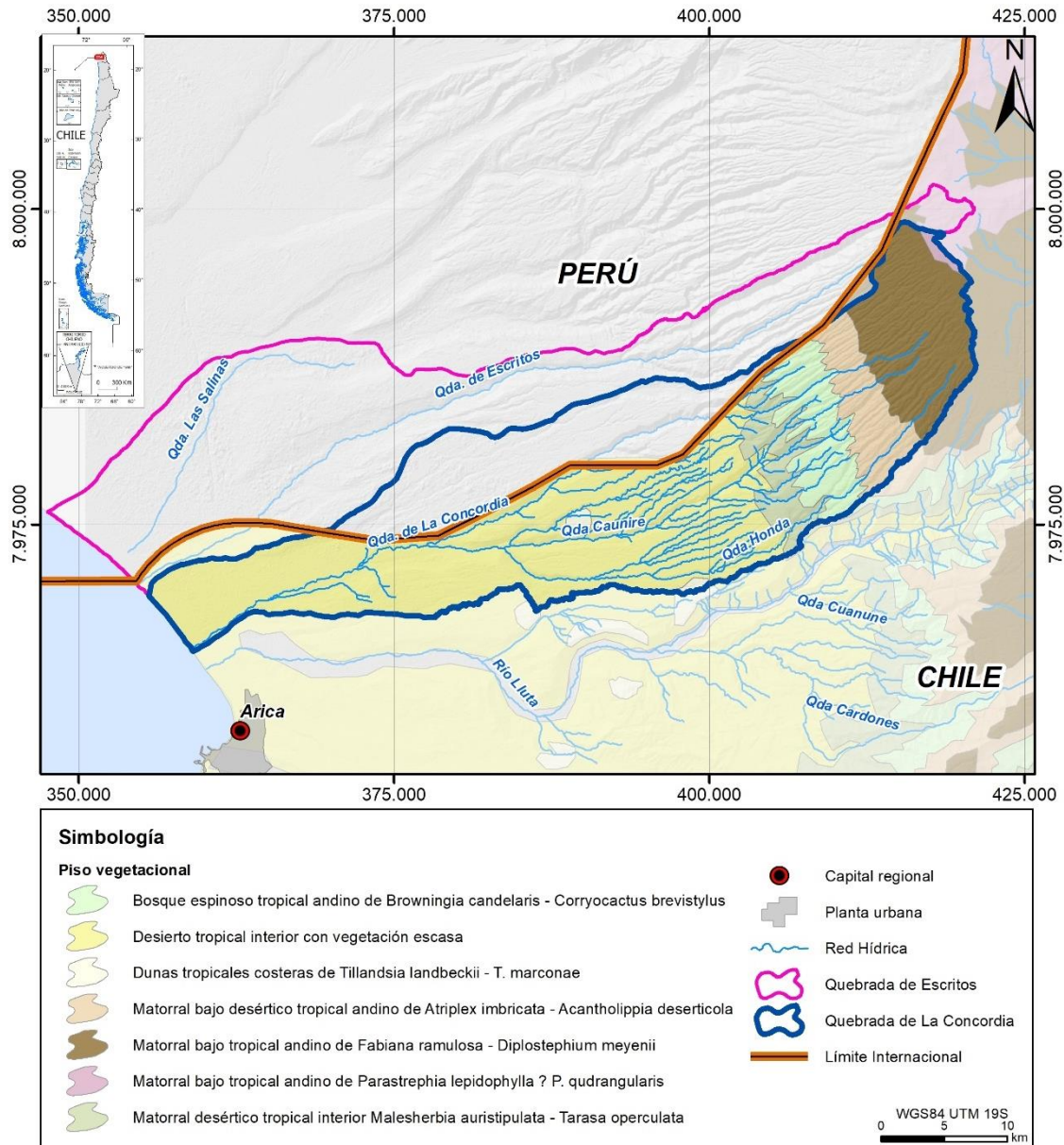
Figura 2-32 Distribución mensual de la temperatura futura, para la cuenca Quebrada de La Concordia en (A) el corto plazo (2016-2035) y (B) el mediano plazo (2036-2060).

2.3 Dimensión Ambiental

2.3.1 Unidades Ecosistémicas (Áreas Protegidas, SNASPE, RAMSAR, otros)

A continuación, se describen las formaciones vegetacionales que se han identificado dentro de la cuenca Quebrada de La Concordia, de los cuales destaca el piso identificado como “Desierto tropical interior con vegetación escasa”, ya que cubre la

mayor área de la cuenca con casi el 58,33%. Los pisos vegetacionales (Figura 2-33) representados en esta sección fueron realizados por Luebert & Plischoff, (2017).



Fuente: Elaboración Propia basado en información disponible en Infraestructura de Datos Espaciales 2021, Ministerio de Bienes Nacionales (IDE, 2021).

Figura 2-33 Pisos vegetacionales en cuenca Quebrada de La Concordia según Luebert & Plischoff (2017).

En gran medida, los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada de La Concordia corresponden a unidades desérticas que van desde la línea de la costa hasta la zona media de la cuenca, donde la presencia de vegetación es escasa. Sin embargo, en la

zona media-alta de la cuenca se enmarcan las categorías de tres pisos vegetacionales que corresponden a:

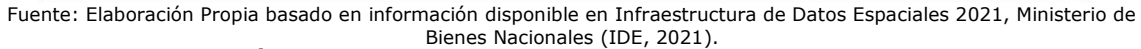
- Bosque espinoso tropical andino: Se encuentra compuesto principalmente por el Cactus Candelabro (*Browningia candelaris*) y Guacalla (*Corryocactus brevistylus*), especies endémicas de Chile y Perú.
- Matorral bajo desértico tropical andino: Se encuentran en mayor medida especies tropicales como Ojala (*Atriplex imbricata*) y Rica-Rica (*Acantholippia deserticola*), especies consideradas como endémicas en Chile y características de la región de Arica y Parinacota.
- Matorral bajo tropical andino: Se encuentra compuesto principalmente por la especie Tola (*Parastrephia lepidophylla*), característica de toda la región de América del Sur.

En la cuenca Quebrada de La Concordia no se reconocen ecosistemas acuáticos, por lo cual no se hace referencia a estos dentro de la presente sección.

Sitios o Áreas Protegidas (AP)

Un instrumento de conservación del patrimonio natural del país, es la categorización de sitios o Áreas protegidas, siendo estos los sitios de alto valor natural y ecosistémico. Se distinguen aquellos que se encuentran en las Área bajo protección oficial (AP: Áreas Protegidas) y las áreas de protección privadas que no tienen un cuerpo normativo que los oficialice (APP: Áreas Protegidas Privadas).

En la cuenca Quebrada de La Concordia no se encuentran definidas AP ni APP, sin embargo, el AP más cercana a la cuenca corresponde al humedal de la desembocadura del río Lluta con una superficie registrada de 0,3064 km², perteneciente a la cuenca del río Lluta (Figura 2-34).



2.4 Infraestructura Hídrica

En la presente sección se describen las obras e infraestructuras de monitoreo de recursos hídricos presentes en la cuenca de estudio, que permiten caracterizar el recurso hídrico en términos de calidad y cantidad. El conocimiento de la infraestructura actual de la cuenca permitirá establecer un diagnóstico respecto del estado actual de la misma y la necesidad de contar con nueva infraestructura futura.

2.4.1 Obras

En la cuenca, dado su tamaño, ubicación y régimen hidrológico, no se cuenta con la presencia de obras hidráulicas, tales como las que se observan comúnmente en cuencas del centro-sur de Chile, como canales, bocatomas, plantas de agua potable y tratamiento de agua potable, sistemas de agua potable rural, evacuación de aguas lluvias, obras de control aluvional y crecidas o defensas fluviales. Sin embargo, cada sistema particular de abastecimiento de agua, cuenta con un pozo de bombeo, una cañería de impulsión y un estanque de almacenamiento de agua, que es la que se da en: Aeropuerto Chacalluta, Comisaría de Carabineros, Complejo Fronterizo y las cuatro concesiones agrícolas de Pampa Concordia. Es por ello que en este capítulo se describirán principalmente infraestructura de monitoreo de la cuenca, como lo son las estaciones meteorológicas y la red de calidad de aguas.

2.4.2 Red Hidrométrica Superficial, Subterránea

La red hidrométrica nacional de la DGA consta de 8 tipos de estaciones: meteorológicas, fluviométricas, niveles en pozos, sedimentométricas, calidad de agua, de nivel de lagos y embalses, glaciares y rutas de nieve. A su vez existen redes de monitoreo de otras instituciones que permiten complementar la información entregada por la DGA. En los siguientes puntos se realiza una caracterización y diagnóstico de la red existente.

Estaciones meteorológicas

Como se mencionó en la sección 2.2.1, en la cuenca Quebrada de La Concordia existen solo 3 estaciones meteorológicas con registros, y cuya distribución espacial se presenta en la Figura 2-35.

La estación Chacalluta Arica Ap, pertenece a la Dirección Meteorológica de Chile y se encuentra emplazada en el Aeropuerto Internacional Chacalluta, cuenta con 50 años de registros tanto de precipitación, temperatura y otras variables como humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar. La estación Pampa Concordia, es relativamente reciente (2019), y pertenece al INIA. Y finalmente la estación nueva de Estación Central, que fue instalada por DIFROL-DGA el año 2021.

Estaciones fluviométricas

En la cuenca Quebrada de La Concordia no existen estaciones de control fluviométrico, por lo tanto, no se cuenta con registros de series de caudales históricos.

Según la DGA (2011a) se han presentado algunos eventos extremos en el sector alto que producen escurrimientos que fluyen por la quebrada de La Concordia hasta el sector bajo. Sin embargo, la Quebrada de Escritos pareciera registrar eventos de bajadas de aguas más seguidos.

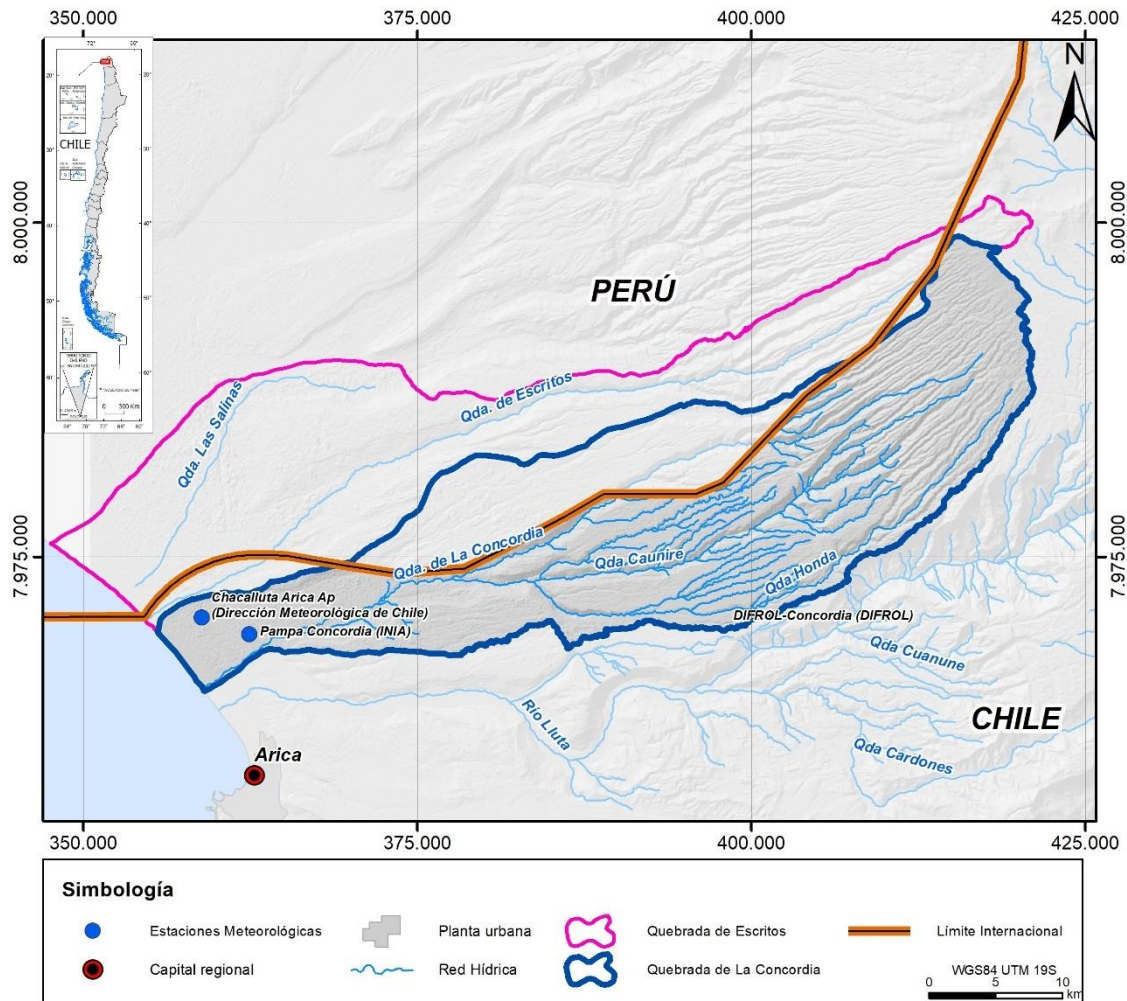
Estaciones de niveles de pozos

La DGA mantiene una red de pozos de medición en la cuenca, tanto piezómetros como en pozos de bombeo, cuyos primeros registros corresponden a la década del 60, y su frecuencia de medición ha sido continua en el tiempo. La distribución espacial de estas estaciones se puede observar en la Figura 2-36, mientras que la información de estas se presenta en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11 Información de estaciones de niveles de pozos de la red de monitoreo DGA en la cuenca.

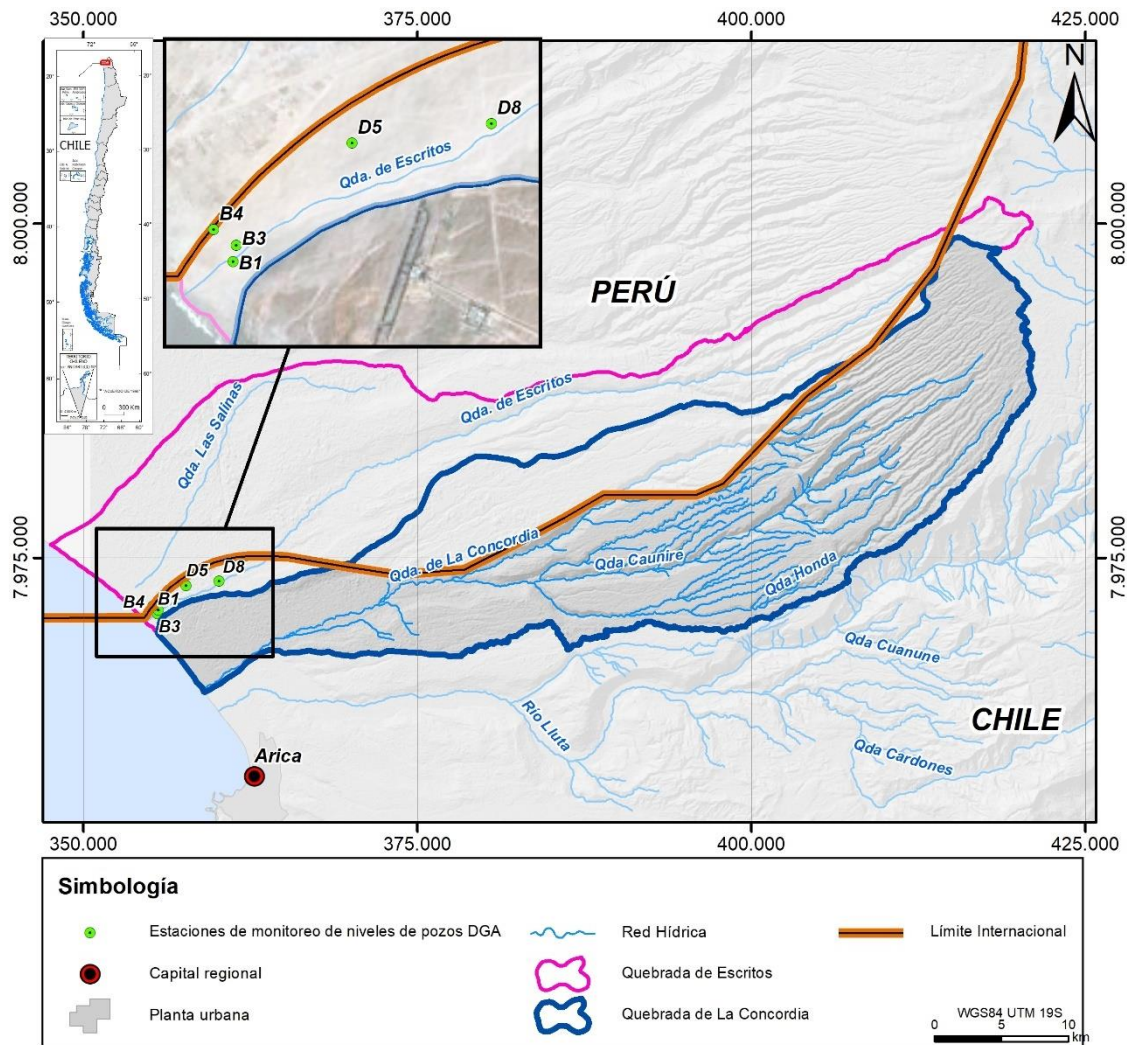
Nombre Pozo		Ubicación geográfica (WGS 84)			Propietario
DGA	Nombre	UTM Este	UTM Norte	Elevación	
		[m]	[m]	[m s.n.m.]	
1810-7020-D5	D5	357.68	7.972.899	44,1	INIA
1810-7020-D8	D8	360.155	7.973.241	68,9	ZOFRI S.A.
1820-7020-B1	B1	355.564	7.970.793	16,0	INIA
1820-7020-B3	B3	355.624	7.971.077	17,6	INIA
1820-7020-B4	B4	355.222	7.971.364	16,9	DGA

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-35 Estaciones Meteorológicas existentes en la cuenca Quebrada de La Concordia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-36 Estaciones de niveles de pozos presentes en la cuenca Quebrada de La Concordia.

2.4.3 Red de Calidad

La DGA no cuenta con estaciones de la red de calidad de aguas de fuentes subterráneas, ni superficiales en la cuenca. Sin embargo, a nivel subterráneo, se han realizado una serie de estudios hidroquímicos, los cuales se inician en la década 1960, ejecutados por Castillo (1964), Salas *et al*, (1966) y CORFO (1966). En la década de 1970 sólo se registra un estudio realizado por Henríquez (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS, 1976), mientras que en la década de 1990 se registran dos estudios realizados por Ingeniería y Geotecnia (1991) y Ayala, Cabrera y Asociados (1998). Posteriormente en 2016 se realizó una campaña de muestreo para el estudio DGA (2016) y en el 2021 para estudio DIFROL-ICASS (2021). Durante los

últimos años (2015-2021), adicionalmente se ha implementado el Plan de Alerta Temprana (PAT) de pozos INIA, para medir la calidad de agua en los pozos pertenecientes al INIA, ya que el aumento de las extracciones podría generar una disminución de los niveles e intrusión salina, y cuya descripción se presenta en el Anexo J y complementaria en el Anexo H.

2.5 Nuevas Fuentes Existentes

A continuación, se presenta la información respecto a nuevas fuentes de agua existente, iniciativas o proyectos que buscan aumentar la oferta hídrica, entre las que se cuenta recarga artificial de acuíferos, desalinización de agua, el uso de aguas servidas tratadas y la captación de aguas atmosféricas.

2.5.1 Recarga Artificial de Acuíferos

En la cuenca Quebrada de La Concordia, no existen obras o iniciativas de recarga artificial de acuíferos, sin embargo, se han realizado dos estudios en la cuenca vecina del Río Lluta (Cabrera, 2014; DGA, 2014), donde estos establecen:

- Cabrera (2014): La recarga se debe analizar caso a caso y evaluando las condiciones hidrogeológicas y disponibilidad de aguas para recarga, aspectos legales, factibilidad técnica y económica.
- DGA (2014): Establece una evaluación nacional y a nivel de cuenca, jerarquizando cada una de éstas en función de un índice normalizado según una evaluación multicriterio, para el caso de la cuenca vecina del Río Lluta obtuvo un índice de 0,56, siendo 1 lo más favorable y 0 desfavorable.

El presente acuífero presentaría condiciones favorables para realizar recarga artificial o gestionada de acuíferos, dada principalmente por una buena permeabilidad superficial de los materiales someros y por un nivel freático mayor a 20 m de profundidad. La complejidad está dada por la falta de recursos hídricos para infiltrar.

2.5.2 Desalinización de agua de mar

No existen plantas desalinizadoras en la cuenca, sin embargo, esta podría ser la gran alternativa para disminuir la brecha hídrica de la cuenca.

Una planta desalinizadora tiene una inversión inicial y costos de operación elevados, sin embargo, los precios energéticos han ido disminuyendo con el tiempo, así como los insumos.

2.5.3 Uso de aguas servidas tratadas

No se tiene registro de ningún sistema de tratamiento, principalmente en la parte baja de la cuenca que es donde se tiene mayor actividad agrícola e industrial. Sin embargo, el reúso de las aguas servidas podría ser una de las mejores nuevas fuentes, ya que el caudal que se podría obtener en la ciudad de Arica es de más de 500 l/s.

El tratamiento de las aguas servidas dependerá del uso que se le quiera dar, es decir, si se quiere usar para riego sólo será necesario un tratamiento secundario. Y si se quiere para bebida u otro, será necesario un tratamiento terciario. Tanto los costos de inversión inicial como los de operación son elevados, sin embargo, los costos energéticos han ido disminuyendo en el tiempo, y podrían ser más favorables a futuro.

2.5.4 Atrapanieblas

Los atrapanieblas son un sistema de captación de las gotas microscópicas de agua presentes en la niebla, producto de la evaporación del agua de mar. Los atrapanieblas son aparatos que están compuestos por una malla Rachell que se suspende verticalmente entre dos postes e intercepta las gotas a medida que el viento empuja la neblina a través de ella. El agua se condensa y escurre por la malla hasta una tubería cortada en media caña que permite almacenarla y distribuirla para diferentes usos.

Durante las últimas décadas, varios investigadores chilenos (Carlos Espinoza de la UCN inventó este sistema en los años 50; Osses et al., 1998; Cereceda, 2011) de varias universidades (UC, UCN, UChile) han aplicado varios proyectos pilotos en diversos sectores costeros del norte de Chile. Sin embargo, los atrapanieblas no se constituyen como una gran Nueva Fuente de agua, ya que los volúmenes que se obtienen son del orden de litros al día (14.000 l/día realmente explotado en pueblo de Chungungo, y 35.000 l/día factibles de explotar en Alto Patache), el que sólo permite el abastecimiento de unas cuantas familias. Además, los sistemas (mallas, cañerías) tienen una vida útil corta (5 años) producto que se queman con los rayos UV. Es más, una aplicación reciente en el sector de Pampa Dos Cruces (Azapa) instaló cuatro atrapanieblas de 48 m² en total obteniendo un caudal de 2.000 l/día (0,02 l/s). Por lo

tanto, constituye una tecnología que aún está en desarrollo para obtener grandes volúmenes.

2.5.5 Agua Atmosférica

Esta nueva fuente está asociada a la anterior, pero el agua se obtiene por un sistema forzado, que comprende un módulo móvil eléctrico que genera agua purificada a partir de la humedad del aire, y cuyo sistema funciona de la siguiente manera: Ingresa el aire al módulo, este pasa por unos intercambiadores de calor y frío para generar la condensación del agua, después se tratan las impurezas y por último se almacena el agua en un tanque de agua y se distribuye a la red.

Existen varios tipos de módulos donde los más robustos pueden generar hasta 5000 litros de agua por día. Al igual que los atrapanieblas, este tipo de fuente tampoco no constituye una gran fuente de agua debido a los volúmenes que se obtienen por día, además se necesita llevar energía eléctrica hasta los lugares más distantes para su funcionamiento.

2.6 Gobernanza del agua a nivel de cuenca

El objetivo de este capítulo es dar cuenta del proceso de participación ciudadana realizado en el marco del presente PEGH. El alcance de dicho proceso PAC es informar y consultar a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del plan estratégico de gestión hídrica. Según lo anterior, para llevar a cabo el proceso de participación ciudadana, y según lo exigido en las bases de licitación, se adaptará el enfoque de *Spectrum of Public Participation* desarrollado por la Asociación Internacional para la Participación Pública (IAP2), considerando sus dos primeros ejes:

- Informar: Proveer al público con información objetiva con el fin de que se emprenda el problema, las alternativas oportunidades y/o soluciones
- Consultar: obtener retroalimentación del público, respecto al análisis y las alternativas y/o decisiones

Para cumplir con lo anterior, a través del proceso de PAC se realizó un análisis de la gobernanza del agua en la cuenca Quebrada de La Concordia, identificando actores e instituciones presentes en este territorio, sus roles y sus relaciones en el ámbito

hídrico. El proceso de PAC, también levantó problemáticas y necesidades de iniciativas concretas, proceso que también abarcó un análisis de las brechas de gobernanza e institucionalidad. Las iniciativas de solución levantadas en el proceso son insumos relevantes para el plan de acción a considerar en el presente PEGH.

En resumen, este capítulo aborda los siguientes contenidos:

- Información bibliográfica considerada para la PAC
- Descripción de actores en el territorio
- Mapa de actores en el territorio
- Análisis de influencia e interés
- Sociograma
- Identificación de problemáticas levantadas
- Descripción de brechas detectadas
- Brechas a cubrir para una Gobernanza Hídrica
- Conclusiones

Cabe señalar que, para asegurar la participación de los actores relevantes en la discusión de los objetivos y resultados esperados para el PEGH, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- **Jornada de presentación**, con el objetivo de presentar el PEGH.
- **Taller 1**, con el objetivo de presentar los avances de la etapa descripción y diagnóstico de la cuenca, recoger información adicional, priorizar y complementar el listado de problemáticas levantadas.
- **Taller 2**, con el objetivo de presentar los avances de la modelación de la cuenca, priorizar las iniciativas y soluciones propuestas para las problemáticas identificadas.
- **Taller 3**, con el objetivo de presentar los resultados definitivos del PEGH.

Adicionalmente se realizaron reuniones bilaterales con actores claves de la cuenca en el tema hídrico, se entrega información y material (vía email y WhatsApp) a los participantes del proceso, y se mantienen los canales de comunicación abiertos para consultas y retroalimentación.

Cabe señalar que el detalle de las actividades desarrolladas se incluye en el Anexo I – Actividades de participación ciudadana.

2.6.1 Información bibliográfica considerada para el análisis PAC

Dentro de este Proceso PAC se consideran fuentes de información primarias que sirven para rescatar información directa desde presentaciones, talleres, reuniones y entrevistas. Adicionalmente, para complementar, mejorar los resultados, y cumplir los objetivos de este estudio, se considera una serie de fuentes secundarias (Tabla 2-12) que permiten identificar brechas y problemas, y también potenciales iniciativas a implementar en la cuenca.

Tabla 2-12 Referencias consideradas para el análisis de PAC.

Id	Autor	Nombre estudio
1	DGA (1998)	Estudio hidrogeológico quebrada de Escritos. Elaborado por Ayala, Cabrera y Asociados.
2	DGA (2011b)	Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero de La Concordia. Informe técnico SDT N°314.
3	DGA (2011a)	Análisis de los recursos subterráneos de la Quebrada de La Concordia. SIT N°313.
4	DGA (2016)	Análisis Integral de soluciones a la escasez hídrica, región de Arica y Parinacota. Elaborado por ICASS. SIT N°410.
5	CNR (2016)	Estudio Básico Diagnóstico para Desarrollar Plan de Región de Arica y Parinacota.
6	DGA (2020)	Situación hidrogeológica del acuífero de La Concordia. Minuta DARH N°27.
7	DGA (2021a)	Reevaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero de La Concordia. Informe técnico DARH N°40.
8	DGA (2021b)	Resol. DGA N°22 que declara área de restricción SHAC La Concordia.
9	INIA (2019)	Informe Plan de Alerta Temprana de Pozos Pampa Concordia.
10	DIFROL-ICASS (2021)	Investigaciones sobre el área de estudio realizadas por DIFROL en el año 2021.
11	Ilustre Municipalidad de Arica (2021)	Plan de Desarrollo Comunal 2021-2030.
12	GORE de Arica y Parinacota (2018)	Estrategia de Desarrollo Regional 2017- 2030
13	MOP (2018)	Plan Chile 30/30 Obras Públicas y Agua para el Desarrollo

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

2.6.2 Identificación de actores en el territorio

Para la definición del mapa de actores se realizó una búsqueda y levantamiento inicial, considerando aquéllos con las características indicadas en la Tabla 2-13.

Tabla 2-13 Criterios para la identificación de actores para el análisis de PAC.

Tipos	Características
Atributos	- Tener presencia en decisiones en el uso y manejo del recurso hídrico en el territorio. - Que utilicen el recurso para actividades productivas, empresariales u otras. - Que tengan interés (académico, medioambiental, económico, político) en la temática hídrica en la cuenca. - Que tengan información respecto al recurso hídrico en la cuenca. - Que tengan responsabilidad en el uso y manejo del recurso en la cuenca por parte de todos los actores.
Representación	- Actores institucionales públicos relacionados con el recurso hídrico.

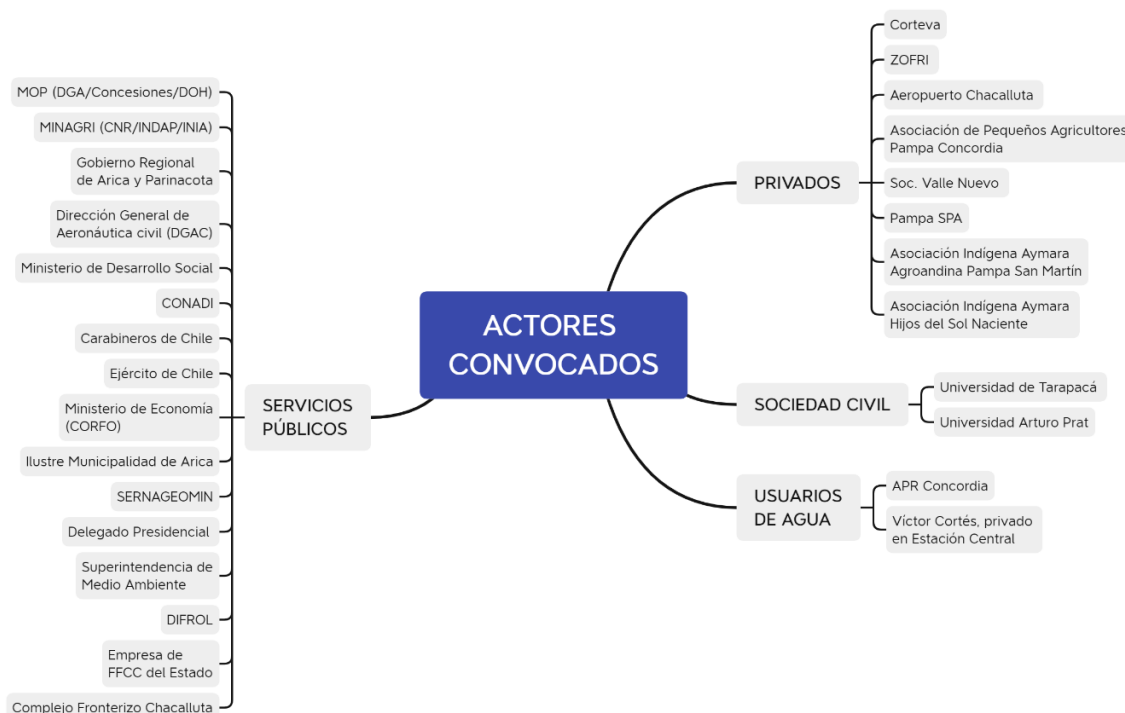
Tipos	Características
	- Organizaciones usuarias de agua. - Mesas técnicas o Asociaciones de SSR. - Fundaciones o movimientos ambientales. - Organismos técnicos vinculados a temas hídricos. - Empresas Sanitarias, Mineras o Hidroeléctricas usuarias de recursos hídricos.
Criterios de inclusión	- Interés y confianza por participar en el proceso. - Liderazgo en los temas hídricos, que lo convierte en referente y pueda generar un proceso multiplicador de las iniciativas del Plan Estratégico. - Que tuvieran información central para el desarrollo de este Plan, pensando en la gobernanza del proceso.

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

El levantamiento de actores permitió clasificarlos según cuatro grupos:

- Servicios públicos
- Privados
- Usuarios de Aguas
- Sociedad Civil

Dicha clasificación se muestra en la Figura 2-37.



Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

Figura 2-37 Mapa de actores cuenca Quebrada de La Concordia.

2.6.3 Descripción de actores en el territorio

Es necesario considerar que cada actor identificado, tiene relación con el recurso hídrico presente en la cuenca Quebrada de La Concordia donde su dependencia, cargo y pertinencia se indica en Tabla 2-14. A continuación, se presenta una descripción de cada grupo de actores y una breve descripción de su presencia en el territorio.

a) Servicios públicos: Se identificaron 20 actores dentro del territorio, los que tienen representación en su mayoría en la Región de Arica y Parinacota. En cuanto a DIFROL, EFE y la Inspección Fiscal DGA del estudio, tienen presencia tanto en la Región Metropolitana como en Arica.

Estos actores tienen una componente transversal que es la gestión hídrica dentro de sus acciones y planificaciones, considerando niveles tanto regionales, zonales y comunales, por ejemplo, la Secretaría Ministerial de Desarrollo Social a nivel regional, Comisión Nacional de Riego Zona Norte (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama) y la Ilustre Municipalidad en la comuna de Arica.

Adicionalmente a las instituciones que se encuentran descentralizadas como es el caso de las secretarías regionales de los distintos ministerios, existen también asociados sus servicios a este proceso de participación; es así como el SEREMI MOP es un actor convocado y también la DGA y DOH, también SEREMI de Agricultura y sus servicios INDAP, CNR e INIA.

En cuanto a la intervención que se observa de los servicios públicos en la cuenca, se puede observar que no existe un despliegue territorial con intervenciones sistemáticas y planificadas; el INIA con su labor de investigación y transferencia tecnológica, semestralmente realiza el monitoreo de pozos. Incluso cuando se consulta a los distintos servicios públicos en cuanto al territorio estudiado, éstos refieren siempre al INIA Regional, específicamente con el encargado de la Oficina Técnica Ururi.

Otro de los servicios públicos que toma relevancia también para este estudio es la Dirección de Fronteras y Límites (DIFROL) del Ministerio de Relaciones Exteriores. Cabe señalar que la totalidad de la región de Arica y Parinacota está definida por DIFROL como zona fronteriza. A esta característica regional se le suma que la cuenca en estudio posee un acuífero transfronterizo Concordia/Escritos-Caplina. Cabe señalar que la DIFROL *“es un organismo asesor del Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, cuya misión principal es preservar y fortalecer la integridad territorial del País, brindando asesoría profesional y técnica, en el ámbito jurídico y en el relativo a las ciencias de la Tierra, al Supremo Gobierno en materias de fronteras y límites. La DIFROL también asesora al Supremo Gobierno en la negociación de acuerdos, así como en la participación en foros internacionales y reuniones sobre materias relacionadas*

con los límites internacionales de Chile y las políticas de integración física, vecinal y regional, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores”⁶.

Dentro de los servicios públicos que también tiene presencia en el territorio es Carabineros de Chile, a través de la 4ta Comisaría de Chacalluta y el Retén Central (F), este último es un destacamento fronterizo, ubicado en la Ex Estación Ferroviaria Central, distante a 36 kilómetro de la Ruta 5 norte, con acceso por Ruta A-135 y por ser un cuartel estratégico para el resguardo de la Soberanía Nacional, requiere de la presencia de personal policial, de manera constante y permanente.

Carabineros desde su instalación en el sector se abastecían de agua potable proveniente del sector denominado Aguas Calientes, cuyo caudal confluye con la Quebrada Llanes, ambos del sector de Tacora, el que, a su vez, baja hacia la localidad de Alcérreca, lugar donde, es encauzado a través de cañerías de propiedad de Ferrocarriles del Estado, otro actor convocado para esta PAC. Dicho suministro, llegaba a este destacamento y se almacenaba en un estanque, de aproximadamente 25.000 litros, de los cuales un 80% estaba destinado para el retén y áreas interiores del recinto ferroviario y plaza existente. El otro porcentaje, era desviado desde la misma copa, hacia el sector de los predios agrícolas, ubicados en el sector Pampa San Martín (ruta a-135, kilómetros 28 al 32 aproximadamente). Sin embargo, desde el año 2021 este retén no cuenta con el suministro y debe abastecerse por medio de traslado diario de agua desde Arica.

Tabla 2-14 Actores de servicios públicos.

Nombre organización	Cargo	Pertinencia
SEREMI MOP	SEREMI MOP	Desarrollo y gestión hídrica
DGA División de Estudios y Planificación	Inspector Fiscal	
DGA Región de Arica y Parinacota	Director Regional DGA	
SERNAGEOMIN	Director Regional	
DOH Región de Arica y Parinacota	Director Regional DOH	
Dirección General de Concesiones MOP	Inspector Fiscal	
Ferrocarriles del Estado	Gerenta Ferrocarriles del Estado, Arica	Desarrollo y gestión productiva
INIA región de Arica y Parinacota	Encargado Oficina Técnica	
INDAP región de Arica y Parinacota	Director Regional INDAP	
CNR región de Arica y Parinacota	Coordinador Zonal Norte Grande	
SEREMI MINAGRI	SEREMI MINAGRI	
CORFO región de Arica y Parinacota	Director Regional	
Carabineros de Chile	Suboficial, Retén Central, Arica	Control y gestión de fronteras
Ejército de Chile	Coronel Comandante de la Brigada	
DIFROL	Director Nacional (S)	
Municipalidad de Arica	SECPLAC	Desarrollo económico, social y gestión del
CONADI	Director Regional (S)	
SEREMI Ministerio de Desarrollo Social	SEREMI MIDESO	

⁶ DIFROL, sitio web institucional. Recuperado 2 de mayo de 2022, de <https://difrol.gob.cl/que-es-difrol/>

	Sectorialista Banco Integrado de Proyectos	territorio
Gobierno regional de Arica y Parinacota	Gobernador	
Delegado presidencial región de Arica y Parinac.	Delegado	
Superintendencia de Medio Ambiente Arica	Jefa Oficina regional Arica	Desarrollo y gestión Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

b) Usuarios de Agua: Sólo existe una agrupación de usuarios de agua que corresponde al "Comité de Agua Potable Rural Concordia", con 80 socios actualmente los que se encuentran constituidos como organización, pero no cuentan con una fuente de agua; en su mayoría pertenecen a la Agrupación de Pequeños Agricultores de Pampa Concordia y su objetivo es disponer de agua para el consumo en sus hogares.

El proyecto para la construcción de la infraestructura del SSR Concordia se encuentra con RS en el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social, pero sin financiamiento a la fecha. En cuanto al punto de captación necesario para el funcionamiento del SSR, aún se encuentra pendiente, pues el primer sondeo realizado por la DOH no tuvo buen resultado, lo que implica la necesidad de aprobación de un segundo sondeo por parte de la DOH nivel central.

Tabla 2-15 Usuarios de Agua identificados.

Nombre organización	Cargo	Pertinencia
SSR Concordia	Dirigente 1	Territorial y con asociatividad en torno a la gestión hídrica.
	Dirigente 2	
	Dirigente 3	

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

c) Sociedad Civil: Se identificaron 3 representantes de la Sociedad Civil que poseen información o han trabajado la temática hídrica de la cuenca dentro de la región. En este caso, son convocados a este proceso participativo, dos académicos de la Universidad de Tarapacá y uno de la Universidad Arturo Prat (Tabla 2-16).

Desde la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UTA se han desarrollado estudios que se relacionan con el borde costero y desarrollo hídrico sustentable de la región, específicamente se convocó al Dr. Cristóbal Castro quien en una entrevista planteó que "recuperar las aguas residuales que se vierten al mar es un camino que debemos explorar seriamente considerando que el recurso hídrico es escaso en la región, además del impacto en la salud de las personas y la contaminación que genera en la zona de sacrificio. Esas aguas podrían destinarse a la agricultura o ser nuevamente

infiltradas en los acuíferos. Esta línea de acción requiere la participación de todos los actores de nuestra sociedad.

En cuanto a las Facultad de Ciencias Agronómica en el caso de la Universidad de Tarapacá, la Doctora Pilar Mazuela, se ha especializado en agricultura en el desierto, con énfasis en la región de Arica.

Por el lado de la Universidad Arturo Prat el Encargado de Vinculación con el Medio, sede Arica, Marcelo Urrutia, también fue convocado para esta ocasión, dada la importancia que tiene el mundo académico en la proyección territorial y visión integral de la región.

Por último, es importante mencionar que no se identificaron ONG ni fundaciones con características locales ni medio ambientales para ser convocados a este proceso participativo.

Tabla 2-16 Representantes de la Sociedad identificados.

Nombre Organización	Cargo	Pertinencia
Universidad de Tarapacá	Académico e investigador del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Tarapacá	Territorial y de investigación.
Universidad de Tarapacá	Decana Facultad de Ciencias Agronómicas	
Universidad Arturo Prat	Director Centro Universidad Arturo Prat Arica	

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

d) Privados: Se identificaron 8 actores dentro del territorio (Tabla 2-17). Tres de éstos, enfocados en servicios, y 5 de ellos, con algún tipo de desarrollo agrícola en el sector Pampa Concordia (producción y comercialización de productos frescos y producción y comercialización de semillas).

En el caso de ZOFRI y Aeropuerto Chacalluta, la geografía presente en el sector ha generado un escenario acorde para sus instalaciones.

El aeropuerto Chacalluta, se encuentra concesionado por 15 años, desde abril de 2019, al Consorcio Sacyr-Agunsa. Según las bases de licitación, el concesionario debe proveer los servicios de agua potable (obtención, almacenamiento y distribución), alcantarillado y tratamiento de aguas servidas a todas las instalaciones que correspondan dentro del Aeropuerto. En particular, el servicio de agua potable considera: sistema de captación, sistema de tratamiento de potabilización, estanques de acumulación, tableros eléctricos de fuerza, control de bombas de pozos, sistema de

control remoto automático y red de impulsión. Actualmente se obtiene el recurso hídrico desde un sondaje de pozo profundo ubicado en la Quebrada de Escritos, cercano a la frontera con Perú, y dentro de la zona de estudio.

En cuanto al rol del MOP en esta concesión, entre otras materias, debe velar porque la Sociedad Concesionaria provea el agua potable necesaria para la operación de Aeropuerto, para lo cual la Concesionaria cuenta con un Plan de Contingencia. La responsabilidad de proveer el agua potable en el Aeropuerto es de la Sociedad Concesionaria y en el diseño se consideró el uso de una dotación de 50 l/hab/día para la población flotante. En el caso de la población fija, se considera un valor de 150 l/hab/día.

En cuanto a la proyección del aeropuerto es importante señalar que aparte de la ampliación de Aeropuerto Chacalluta, no se conocen otros proyectos. Hace algunos años existió una iniciativa para trasladar el puerto de Arica al sector cercano al Aeropuerto, pero dicha iniciativa no ha prosperado. Lo mismo pasa con una iniciativa de trasladar al mismo sector, la zona industrial de Arica.

También está presente la Asociación Indígena Aymara Agroandina Pampa San Martín, con Personalidad Jurídica nro. 27, de fecha 8-11-2020, ubicado a 45 kilómetros de Arica, y a 1200 m s.n.m., dentro de la cuenca Quebrada de La Concordia (Tabla 2-15). El Ministerio de Bienes Nacionales en una primera etapa entregó en arriendo 78 ha y posteriormente se realizó un proceso de venta de los mismos terrenos, considerando aproximadamente una 1,5 ha/socio. Cabe señalar que son 51 socios los cuales en su mayoría no viven en el sector y sólo lo utilizan con fines productivos.

Actualmente los socios se abastecen de un caudal de 1,8 l/s, por lo que les corresponde en riego 3 horas 15 minutos por socio aproximadamente, lo que obtienen el agua desde la antigua aducción del FFCC hasta la Estación Central, distribuido a través de la infraestructura perteneciente a Ferrocarriles del Estado. Según, el presidente de la Asociación Indígena Aymara Agroandina Pampa San Martín, Reynaldo Yucra, dicha infraestructura se encuentra en mal estado presentando una gran pérdida de agua durante su recorrido.

Por último, se debe señalar que se encuentra proyectada la implementación de un sistema SSR en Pampa San Martín, según el Presidente de la Asociación, se espera contar con un estanque elevado de acumulación y la red de distribución de aguas,

donde el llenado de dicho estanque se realizará por medio de camiones aljibes contratados para este fin.

En Pampa Concordia otro actor a destacar es la Asociación Indígena Aymara Hijos del Sol Naciente, quienes tiene arrendadas 130 hectáreas con un horizonte de 8 años, poseen un proyecto privado que contempla llevar el agua a través de un acueducto desde Lluta a Concordia, son 13 kilómetros he intervienen varios actores para su autorización. Poseen 25 acciones de agua en Lluta y son 60 socios, que producen principalmente tomate, limón sutil, choclos y pimentones.

En el sector Estación Central, en la parte alta de la cuenca, también aparece un actor privado relevante para este estudio, el Sr. Víctor Hugo Cortés, quien adquirió la Ex estación de Ferrocarriles y que actualmente está en proceso de restauración. La idea es instalar una ruta turística a propósito de un museo automotriz, la estructura de la estación y la observación astronómica que es posible realizar en el lugar. Su gran limitante es el recurso hídrico que actualmente lo obtiene a través del traslado desde Arica.

En el caso de las cuatro empresas restantes se dedican al desarrollo agrícola. Debe indicarse que CORTEVA, Agrupación de Pequeños Agricultores, Pampa Spa y Valle Nuevo, se encuentran utilizando los terrenos de la cuenca Quebrada de La Concordia a modo de concesión por 25 años, renovable por 10 años más. En este caso, el año 2012 el Ministerio de Bienes Nacionales realizó una licitación para la concesión de uso onerosa de los lotes B, F, H y L del Inmueble Fiscal denominado Pampa Concordia, para el desarrollo de proyectos agrícolas. Dicha licitación requería que cada postulante presentara una oferta técnica y otra económica que indicara cuál sería el proyecto que ejecutaría en el territorio.

Tabla 2-17 Actores Privados (Concordia).

Nombre organización	Nombre y cargo	Cargo
Semillera CORTEVA	Agente Arica	Territorial y productiva. Empresa de producción y comercialización de semillas.
ZOFRI	Administradora	Territorial y comercial. Centro internacional de industrias y negocios.
Aeropuerto de Chacalluta - Concesionaria Arica SACYR-AGUNSA	Gerente de Operaciones	Territorial y de servicios. Empresa Concesionaria que administra el aeropuerto.
Agrupación de pequeños agricultores de Arica y Parinacota	Representante Agro Concordia	Territorial y productiva. Empresa de producción y comercialización de diversos productos agrícolas.
Sociedad Valle Nuevo	Representante	
Pampa SpA	Dirigente	
Estación Central	Dueño	Territorial y de servicios. Particular que proyecta una iniciativa de carácter turístico.
Sociedad Aymara Hijos del Sol Naciente	Representante	Territorial y productiva. Empresa de producción y comercialización de diversos productos agrícolas.
Asociación Indígena Aymara Agroandina Pampa San Martín	Presidente	Territorial y productiva. Empresa de producción y comercialización de diversos productos agrícolas.

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

Previo a la licitación de los lotes, durante el año 2011, INIA tramitó y obtuvo la aprobación de expediente de derechos de agua código ND-1501-1556, cuyas aguas posteriormente fueron asociadas como captación a los lotes antes mencionados, donde el titular de estos derechos de agua sigue siendo el INIA.

Al tratarse de un acuífero costero, al momento del otorgamiento de derechos de agua, la DGA determinó que había un riesgo de intrusión salina en el sector, ante lo cual, condicionó la explotación al cumplimiento de un Plan de Alerta Temprana. El Plan de Alerta Temprana (PAT), es un instrumento de carácter operativo, cuyo objetivo es realizar un pronóstico, evaluando los diferentes efectos que potencialmente se pudiesen producir con el pleno ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Además, el PAT, es una herramienta que tiene como fin entregar una predicción oportuna de los efectos asociados a la extracción de agua, en este caso, desde el acuífero.

Los terrenos antes mencionados (lotes), la información de derechos de agua, la ubicación de los pozos y caudales para cada uno de los lotes concesionados se indican en Tabla 2-18 y Figura 2-38.

Tabla 2-18 Información de expedientes de DAA, caudales, pozos y lotes concesionados en zona de estudio.

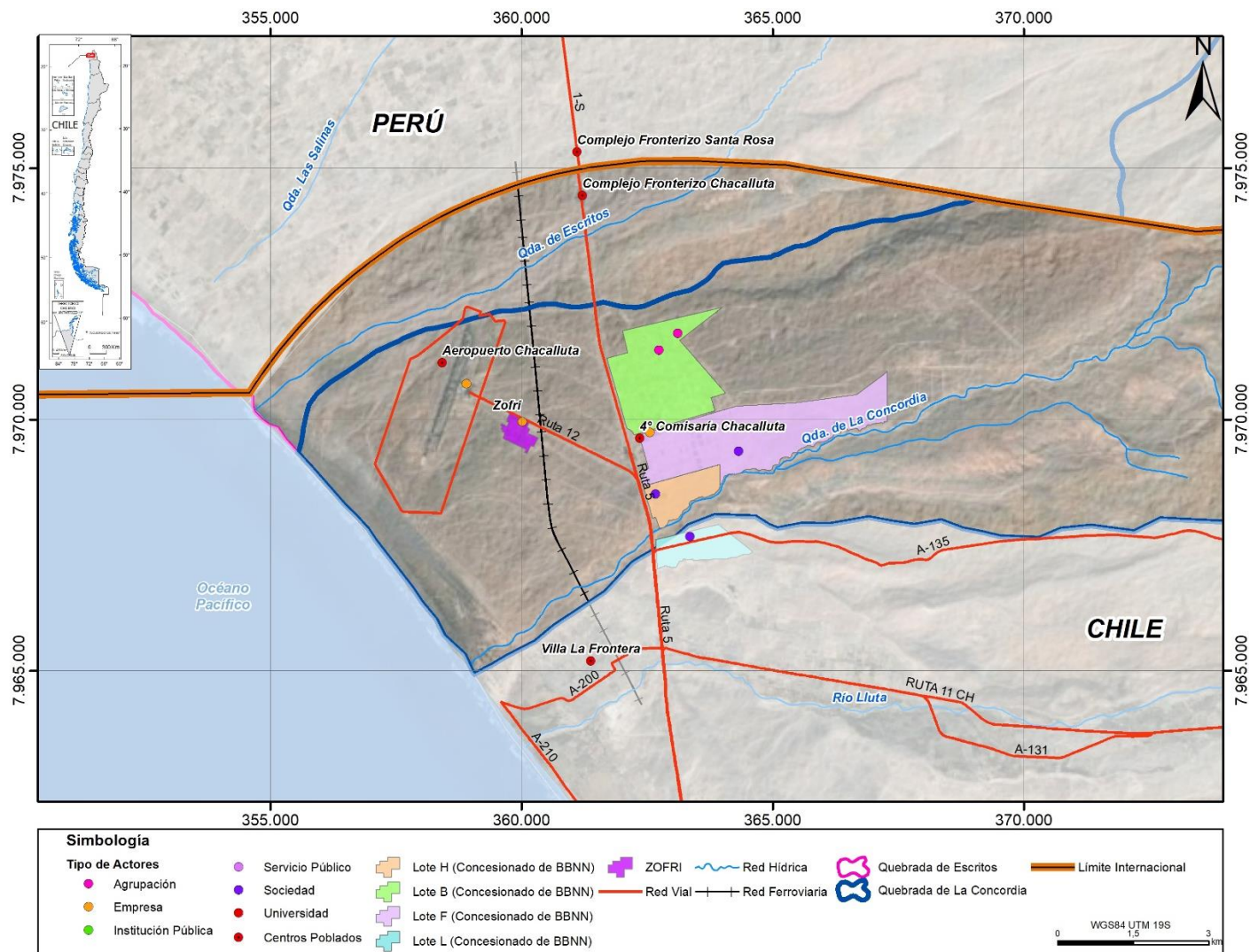
Expediente DGA	Dueño D.A.A.	Caudal	Pozo (Id)	Lote	Concesionario lote	Observación
ND-1501-1556	INIA	18	B-1	F	-	Sin uso
		9	B-2	L	Soc. Agrícola Comercial Valle Nuevo Ltda.	En uso - Bombeo
		3	B-3	H	-	Sin uso
		6	D-3	H	-	En uso - Bombeo
		18	D-4	F	Empresa semillera CORTEVA	En uso - Bombeo
		2	D-5	D/D2	Agrícola SpA	Sin uso
		21	D-6	B	Agrupación de pequeños agricultores de Arica y Parinacota	En uso - Bombeo
	DGA		B-4		-	En uso - Observación
	Carabineros		B-8		-	En uso - Bombeo
	DGAC		D-1		-	Sin uso
NR-0101-141	DGAC	8	D-2		-	En uso - Bombeo
	Complejo Fronterizo		D-7		-	En uso - Bombeo
	ZOFRI S.A.		D-8		-	Sin uso
ND-0101-144	ZOFRI S.A.		B-10	15	-	En uso - Bombeo
VPC-1501-362	INIA		B1B		Empresa semillera CORTEVA	En uso - Bombeo

Fuente: Elaboración propia a partir de información CPA de DGA, y Ministerio de Bienes Nacionales (2012)⁷.

2.6.4 Mapa de actores en el territorio

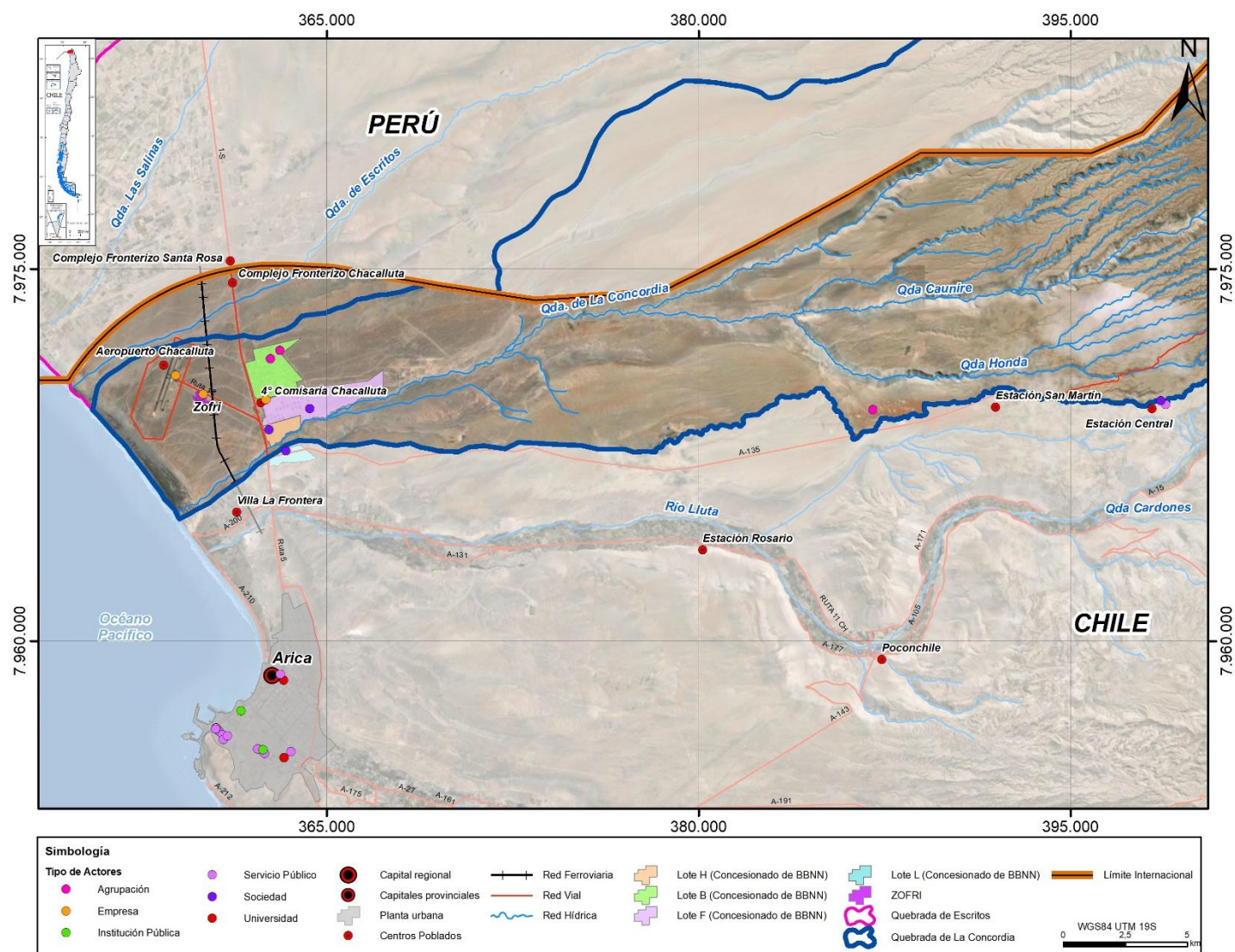
Posterior a la etapa de levantamiento de información e identificación de los actores de la cuenca Quebrada de La Concordia, a continuación, se presenta una cartografía que da cuenta la distribución espacial, dentro de la cuenca, de cada uno de ellos (Figura 2-39).

⁷ Bases de licitación para la concesión de uso oneroso de los lotes B, F, H y L del Inmueble Fiscal denominado Pampa Concordia, en la región de Arica y Parinacota, para el desarrollo de proyectos agrícolas.



Fuente: Elaboración propia a partir de información CPA de DGA, y Ministerio de Bienes Nacionales (2012).

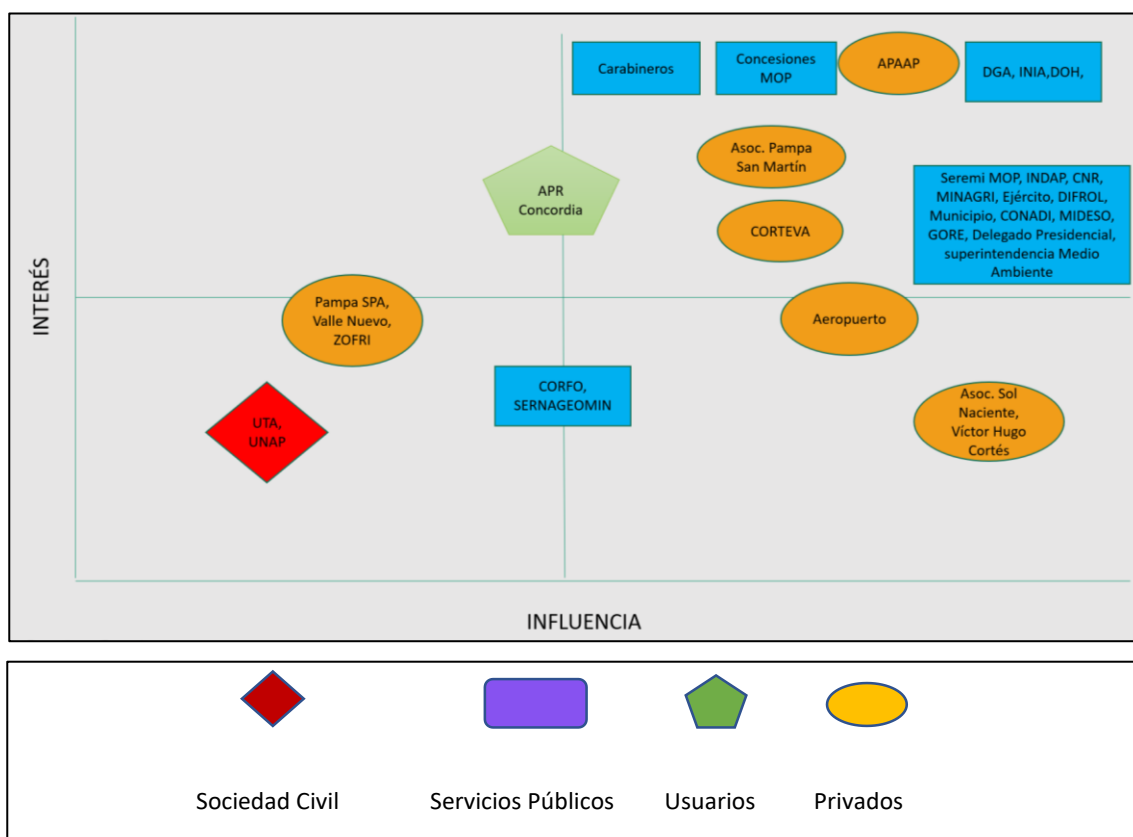
Figura 2-38 Pozos existentes y lotes concesionados en zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.
Figura 2-39 Mapa distribución de actores en el territorio.

2.6.5 Análisis de Influencia e Interés

Posterior al levantamiento del mapa de actores y realizados los 2 talleres, descripción y planteamientos dentro de la PAC, se llevó a cabo un análisis del nivel de influencia en temas hídricos (decisiones, gestiones, campo de acción mandatado por Ley) (Figura 2-40). El nivel de interés tiene que ver con el nivel de interés respecto a la temática, en términos de la necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc.



Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

Figura 2-40 Análisis de Influencia y niveles de interés.

- a) Servicios públicos:** se posicionan como el grupo que posee más información del territorio, conocen el proceso de instalación de actores y desarrollo socio productivo de la cuenca. Tienen alto nivel de interés en participar y en general entregan información adecuada y acorde con el estudio. Dentro de este grupo se destaca la DGA y DOH, quienes son los expertos en temática hídrica. Por su parte también el INIA, quien aporta todo su conocimiento del proceso de concesión a los 4 privados presentes en la parte media-baja de la cuenca, así

como también, la situación hídrica de los pozos sujetos al Plan de Alerta Temprana (PAT) y su monitoreo semestral. Cabe destacar que INIA tiene la responsabilidad de informar periódicamente el monitoreo y cumplimiento del PAT por los pozos bajo su inscripción.

También el Aeropuerto Chacalluta está presente en el área de estudio, y relacionado con éste, destaca el grado de interés y aporte de información de la Dirección General de Concesiones del MOP, responsables del proceso de concesión del Aeropuerto.

Por otro lado, en la parte alta de la cuenca se destaca el grado de interés por participar y aportar información del Reten Central de Carabineros, quienes entregaron información de cómo el recurso hídrico proveniente de EFE desde el sector cordillerano se distribuye hacia su sector y también al sector de Pampa San Martín.

Se debe señalar, que también es el grupo que ejerce mayor grado de influencia en la cuenca Quebrada de La Concordia es el de servicios públicos y por esto en Figura 2-40 se posiciona más arriba, siendo los mandatados a instalar las diversas políticas públicas en los territorios, reconociéndose como el grupo que posee financiamiento y autoridad en las distintas materias; por lo tanto, cualquier desarrollo o gestión que se pueda establecer, depende de los servicios públicos, y su coordinación con los distintos actores.

b) Privados: En cuanto al grado de interés por participar y aportar a la gestión hídrica de este territorio, es de un nivel medio, donde sólo 4 participan entregando información. La Agrupación de Pequeños Agricultores Pampa Concordia se destaca por su grado de interés e influencia en la cuenca a la par con los servicios públicos presentes. La Asociación Indígena Pampa San Martín también es un actor relevante que tiene un nivel de influencia e interés en la gestión hídrica de la cuenca, dado principalmente por el desarrollo agrícola y su presencia en el sector alto de la cuenca. La empresa CORTEVA también participa en la entrega de información y ejerce una influencia media alta con

respecto a los otros actores, principalmente por los recursos que gestiona en la cuenca.

Por su parte la Asociación Hijos del Sol Naciente, también entregan bastante información, principalmente sobre su iniciativa y la proyección que tienen con respecto a la gestión hídrica, tiene un gran interés, pero baja influencia en el territorio.

En cuanto a Pampa Spa, Aeropuerto y ZOFRI, si bien participaron de la presentación de este PEGH, no hubo interés por aportar más información y participar activamente de los talleres. Por último, la agrícola Valle Nuevo se restó de cualquier tipo de instancias de participación.

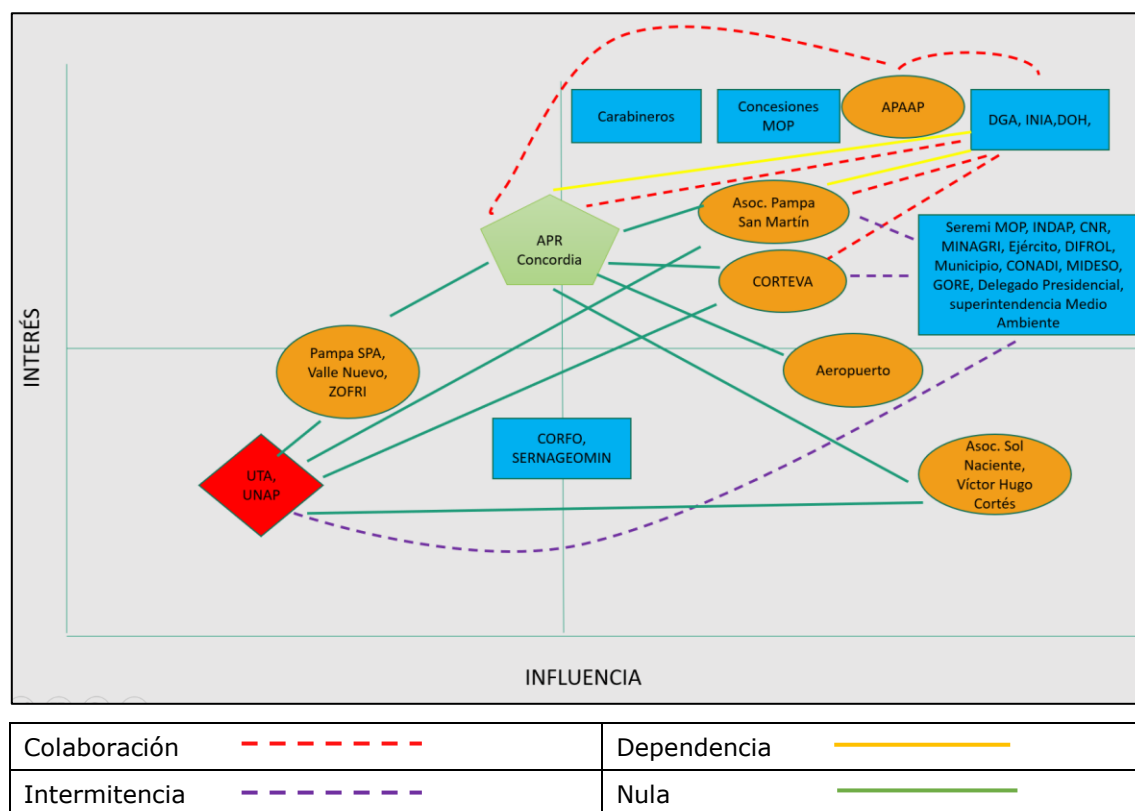
En cuanto al grado de influencia, el grupo de privados, en su mayoría se posiciona en un nivel medio- alto porque, si bien son reconocidos como los gestores y actores centrales de la cuenca, no poseen influencia como para plantear y desarrollar una propuesta hídrica integral de este territorio.

c) Usuarios de aguas: Sólo existe un Comité de Agua Potable Rural que posee un nivel de interés e influencia medio alto. Han participado entregando información y a su dirigencia le interesa la gestión hídrica de la cuenca, principalmente porque se encuentran en el proceso de implementar un sondeo para la captación de agua. Ellos establecen solo un grado medio de influencia en la toma de decisiones para los otros actores del territorio, principalmente porque al ser los mismos socios de la Agrupación de Pequeños Agrícolas, terminan siendo invisibilizados por este actor privado mayormente reconocido.

d) Sociedad civil: en este grupo se incluye al mundo académico (UTA y UNAP) el cual se evalúa en un nivel bajo tanto de interés como de influencia. Si bien participó de la instancia de presentación de esta PEGH, no hubo mayor seguimiento, no se involucró en el proceso y tampoco generó información relevante para este estudio. En cuanto a la influencia, si bien es un actor reconocido regionalmente por su labor de investigación, no es así con respecto a la temática hídrica, pues no se encuentra involucrado ni visibilizado como una institución que aporte en la temática.

2.6.6 Sociograma

Para obtener de manera gráfica las distintas relaciones entre los grupos de actores presentes en la cuenca Quebrada de La Concordia, se utilizó la herramienta Sociograma evidenciando qué grupo de actores son los que colaboran, quiénes tienen dependencia, intermitencia y nula relación. (Figura 2-41).



Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

Figura 2-41 Sociograma PEGH cuenca Quebrada de La Concordia.

Los servicios públicos tienen una colaboración permanente con los privados especialmente en materias de gestión hídrica. Reflejo de esto, es la relación entre el INIA y los cuatro privados concesionados en el sector, a propósito del Plan de Alerta Temprana (PAT), donde los pozos son monitoreados constantemente. También, otros servicios públicos como INDAP, Bienes Nacionales, DGA y Municipio de Arica, han tenido colaboración intermitente a propósito de su vocación productiva.

En cuanto a la relación entre servicios públicos y la sociedad civil, existe una intermitencia principalmente porque se gestionan proyectos e iniciativas de estudios desde las Universidades con financiamiento gubernamental.

Existe una relación de dependencia entre Usuarios de Agua y Privados, con servicios públicos debido a que en este caso tanto SSR Concordia y la Asociación de Pampa San Martín esperan desde la DOH, pues el primero espera la obtención del punto de captación y el segundo un estudio pertinente que permita proyectar la instalación de un SSR en su sector. Su relación es muy específica y en momentos puntuales de este proceso y no existe mayor relación.

Entre actores Privados se pudo observar que existe nula relación, así como también con Sociedad Civil y Usuarios de Agua. Sin embargo, existe una excepción que es el caso de la relación colaborativa que existe entre a SSR Concordia con la Agrupación de Pequeños Agricultores, debido a que son los mismos 80 socios con distinta directiva.

En cuanto a la relación de la Sociedad civil con Usuarios de agua, y Sociedad civil con privados, la relación es nula y sólo se reconocen en espacios de participación que han sido citados a través de terceros, como es el caso de este proceso de participación.

2.6.7 Identificación de problemáticas levantadas en la PAC

El "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca Quebrada de La Concordia" se han desarrollado, hasta este momento tres jornadas: la primera de ellas con una presentación de la iniciativa a los actores detectados en la cuenca y 2 talleres participativos. En ambos casos, se utilizó la metodología de "Espectro de Participación Ciudadana" (o *Spectrum of Public Participation*) desarrollada por la Asociación Internacional para la Participación Pública (IAP2), la que se vinculó con una perspectiva territorial y socio hídrica, poniendo énfasis en las características de Informar y consultar en cada una de las actividades planificadas.

En esta sección se presentarán los resultados del levantamiento de problemáticas desde el proceso PAC, las cuales fueron categorizadas según 4 ejes de trabajo:

- Eje 1: Uso estratégico del recurso: brechas entre oferta y demanda (Tabla 2-19).
- Eje 2: Información y monitoreo del recurso hídrico (Tabla 2-20).
- Eje 3: Gestión y gobernanza del agua (Tabla 2-21).
- Eje 4: Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico (

- Tabla 2-22).

Tabla 2-19 Eje 1: Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos.

Problemática	Grupo Emisor/Fuente
Limitada disponibilidad por sobreexplotación del acuífero.	Servicio público/Bibliografía.
Dificultad para concretar iniciativas de riego en el territorio.	Servicio público/Bibliografía.
Efectos negativos sobre aguas subterráneas en Chile por extracciones desde Perú.	Servicio público/Bibliografía.
Incertidumbre en la disponibilidad hídrica para la implementación de SSR.	Servicio público/Reunión bilateral.
Impacto en la oferta hídrica por variabilidad climática.	Servicio público/Bibliografía.
Creciente déficit de agua para el consumo humano.	Usuarios de Aguas/Reunión bilateral.
Precariedad en la infraestructura de acumulación de agua para SSR.	Usuarios de Aguas/Reunión bilateral.

Tabla 2-20 Eje 2: Información y monitoreo del recurso hídrico.

Problemática	Emisor
Desconocimiento en la gestión de entrega de derechos de agua.	Servicio público/Bibliografía.
Insuficiente red de monitoreo hídrico, especialmente calidad de agua, niveles y extracciones de aguas subterráneas.	Servicio público/Bibliografía y Reunión bilateral.
Falta de información y desconocimiento del funcionamiento del sistema hidrogeológico de la cuenca, tanto del lado chileno como peruano.	Servicio público/Bibliografía y Reunión bilateral.

Tabla 2-21 Eje 3: Gestión y gobernanza del agua.

Problemática	Emisor/Fuente
Extracciones ilegales de aguas.	Servicio público/Bibliografía.
Compleja coordinación y planificación de la gestión del acuífero, al ser compartido entre dos países.	Servicio público/Bibliografía.
Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (lado chileno).	Servicio público/Bibliografía.
Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (binacional).	Servicio público/Bibliografía.
Limitadas oportunidades de desarrollo productivo.	Servicio público/Reunión bilateral.
Deficiente gestión administrativa que permita la entrega de agua potable a las familias del sector.	Servicio público/Reunión bilateral.
Disconformidad de actores sobre el Plan de Alerta Temprana (PAT) vigente en la cuenca.	Privados/Reunión bilateral.
Escasa coordinación e interés en asociatividad (trabajo en conjunto o conformación de algún tipo de OUA).	Usuarios de Agua/Reunión bilateral.
Existe la percepción de los usuarios que su opinión no es considerada en los estudios.	Usuarios de Aguas/Reunión bilateral.

Tabla 2-22 Eje 4: Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.

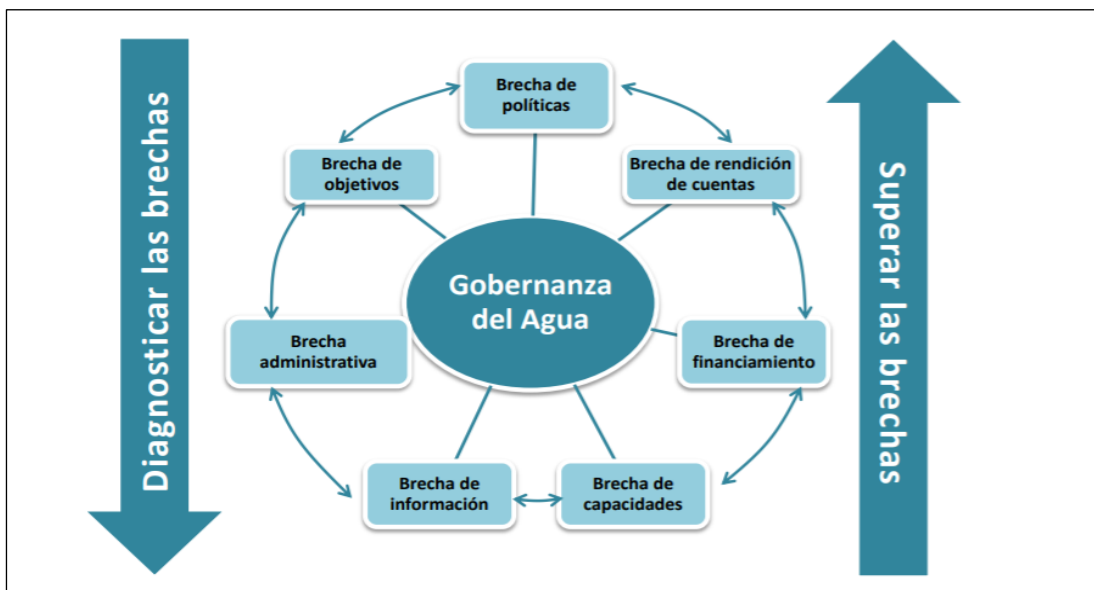
Problemática	Emisor
Acuífero con altos niveles de salinidad.	Privados y servicios públicos/reunión Bilateral.
Contaminación industrial.	Servicio público/Bibliografía.
Contaminación por uso de fertilizantes.	Servicio público/Bibliografía.

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

2.6.8 Descripción de brechas detectadas en la PAC

Se utilizará como base el documento “Principios de una Gobernanza del Agua” OCDE (2015) donde se define una serie de brechas a superar por los actores presentes en la cuenca (Figura 2-42), poniendo en énfasis aquellas de Participación e Información, con el fin de avanzar hacia una Gobernanza adecuada para la cuenca.

El trabajo de la OCDE demuestra que no existe una solución única para los desafíos del agua a nivel mundial, sino más bien una gran diversidad de situaciones entre países y dentro de éstos. Por ende, las respuestas de gobernanza deben adaptarse a las especificidades territoriales y reconocer que la gobernanza es altamente dependiente del contexto e importante para adaptar las políticas del agua a cada lugar geográfico.



Fuente: Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE Adoptados por el Comité de Políticas de Desarrollo Regional de la OCDE el 11 de mayo de 2015

Figura 2-42 Brechas según Principios de Gobernanza de la OCDE.

Por último, estas brechas serán analizadas para la cuenca en función de lo analizado y la información levantada en el proceso de PAC, poniendo el énfasis en las brechas de información y participación.

a) Brechas de información

"Al iniciar el proceso de búsqueda de información y sobre todo en las reuniones bilaterales, se pudo observar que los actores perciben una falta de información actualizada sobre aspectos técnicos de la cuenca. Esto tiene sentido si se considera que el último estudio hídrico del que se tiene conocimiento público es el mandado por la DGA en el año 2016, denominado "Análisis Integral de Soluciones a la escasez hídrica, región de Arica y Parinacota". En el caso de los estudios DIFROL-ICASS (2019 y 2021), a la fecha del presente estudio, no han sido publicados. Junto a lo anterior, los actores también hicieron presente que los estudios que se realizan sobre la zona, tienen un alcance regional y no se enfocan en la cuenca de Concordia de forma particular.

En cuanto a las reuniones bilaterales realizadas, sin duda los que tienen más conocimiento del sector son las empresas y SSR que están ubicadas en la cuenca. Los otros grupos de actores como privados o sociedad civil, desconocen el estado actual de la cuenca y tampoco están al tanto de algún proyecto o iniciativa. En general el conocimiento que se tiene de este territorio es lo realizado por Bienes Nacionales en cuanto a las concesiones de los terrenos.

Otro elemento a considerar es el desconocimiento de información entre actores, es decir, entre servicios públicos se desconoce la labor del otro en el territorio, la mayoría de las veces aparece el INIA como institución experta y referente del territorio; esto a propósito de ser el encargado del seguimiento a los pozos del sector a través del monitoreo PAT.

Por último, se debe indicar que así como los servicios públicos no se encuentran informados e interrelacionados, también en el mismo territorio se desconocen acciones de los habitantes de la cuenca; es el caso de la población ubicada en Pampa San Martín, que si bien está inserta en el área de estudio, al ser consultado en distintas fuentes de información (INIA, CONADI, SSR, SEREMI de Desarrollo Social, entre otros) fue complejo contactar al presidente de la Asociación para invitarlo a participar de

este proceso. También se suma a esto, lo ocurrido con la Asociación Indígena Hijos del Sol Naciente que no era conocido como un actor dentro de la cuenca, por sus pares.

b) Brechas de financiamiento

Según el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social, actualmente no existe ninguna iniciativa con financiamiento para la cuenca Quebrada de La Concordia. Entre los años 2019 y 2021 se presentaron 2 proyectos para financiamiento sectorial, el primero de ellos "Diagnóstico Hidrogeológico de Pampa Concordia Arica" con RS (Recomendación Favorable), pero sin financiamiento hasta la fecha; y la segunda iniciativa "Construcción de sistema SSR sector Pampa Concordia Arica", la cual se encuentra con FI (falta de información).

En cuanto al territorio específico, la Agrupación de Pequeños Agricultores está dispuesta a financiar las pruebas de bombeo, incluso se lo han planteado a las autoridades, de modo de poder avanzar más rápido en la gestión y no esperar al Estado que inyecte los recursos, principalmente porque de este modo es muy lento y deben competir con diversos proyectos regionales que también esperan financiamiento.

En cuanto a otras fuentes de financiamiento, posibles de considerar para esta zona como fondos municipales, Subsecretaría de Desarrollo Regional, FNDR, entre otros, tampoco existe información de posibles iniciativas y financiamiento.

c) Brechas administrativas

Con respecto a las brechas administrativas podemos mencionar que Arica depende de distintas aprobaciones y gestiones a nivel de administración central, generando aplazamientos durante la ejecución de iniciativas proyectadas en la región. Un caso evidente de esta situación han sido los sondeos para definir el pozo del SSR Concordia, pues al iniciar este procedimiento falló el primer sondeo, y posteriormente debió tramitarse la aprobación de un segundo sondeo en la DOH Nacional. Actualmente aún se encuentra en espera la DOH Arica para continuar con el proceso.

Si bien lo anteriormente mencionado es un problema de todas las regiones del país, es importante también rescatar lo declarado por el GORE de Arica y Parinacota en una reunión bilateral, donde se presenta como una región también centralizada, donde se prioriza la gestión y administración del territorio, basado en tres cuencas: Lluta, Azapa

y Camarones, en desmedro del resto de cuencas existentes, como es el caso de la cuenca Quebrada de La Concordia.

d) Brechas de objetivos

Al analizar la información levantada en este proceso PAC, se puede concluir que la cuenca Quebrada de La Concordia carece de objetivos claros y definidos para su desarrollo y por ende cómo se solucionará o disminuirá el problema de la escasez hídrica del sector.

Por un lado, la producción agrícola se encuentra presente a través de 4 empresas que ocupan 1.050 hectáreas, sin embargo, en el Plan Regulador vigente desde el 2019, a este mismo sector se le define como un área de actividades logísticas, es decir, para una misma área existen distintos objetivos de desarrollo. En cuanto a la opción de ser un área de actividades logísticas, cobra mayor sentido lo indicado desde el Departamento de Planificación del Gobierno Regional de Arica y Parinacota, pues la cercanía del Aeropuerto Chacalluta y la posibilidad de instalar un puerto seco en la zona, descomprimiría el puerto de Arica en el borde costero y se convertiría en una zona esencialmente de servicios logísticos.

Por último, se debe mencionar, que, si bien los objetivos agrícolas y de servicios ya están incorporados en este territorio, hay que mencionar la presión inmobiliaria que se ejerce en la cuenca, que, si bien no está considerada como un objetivo dentro de la planificación territorial, no puede obviarse, dado que, durante los últimos 5 años, han aumentado las tomas y parcelamiento de terrenos, un fenómeno creciente desde el sector Villa la Frontera hacia el territorio estudiado.

Por último, es importante mencionar en esta brecha de objetivos, lo planteado principalmente desde la discusión con los servicios públicos, en cuanto a “para qué queremos mejorar el recurso hídrico en este sector”, pues en términos de planificación no se tiene claridad de la misión de este territorio, si es agrícola, inmobiliario, publico/privado, etc. Por lo tanto, se plantea que teniendo esa claridad es mucho más

eficiente la incorporación de instrumentos de fomento a desarrollar en el sector cuenca de Quebrada de La Concordia.

e) Rendición de cuentas

No se tiene información con respecto a la cuenca Quebrada de La Concordia.

f) Brechas de políticas

La seguridad hídrica depende, entre otros factores, de una adecuada gestión por parte del Estado, y para ello se requiere mejorar la institucionalidad existente. Este tema ha sido abordado por las tres últimas políticas o estrategias hídricas elaboradas en Chile, como también en el estudio del Banco Mundial (2013) y presentado en las sesiones de la mesa nacional del agua. De esos documentos se desprende que hay amplio consenso en la necesidad de mejorar la institucionalidad del agua, pero no hay acuerdo de cómo hacerlo.

Frente a lo anteriormente expuesto, se observas que en la región de Arica y Parinacota se despliegan a través de los distintos servicios, diversas políticas públicas. Sin embargo, en la cuenca Quebrada de La Concordia, no existe una bajada territorial pertinente para las crecientes demandas territoriales. Sólo en el caso de los recursos hídricos se observa algún tipo de implementación de políticas públicas: la DOH a través de la subdirección de Servicios Sanitarios contempla iniciativas para la implementación e instalación del SSR Concordia y se proyecta para Pampa San Martín, por su parte, la DGA aporta con el actual plan estratégico en desarrollo, y el INIA con el monitoreo semestral del PAT.

Según este proceso de levantamiento de información falta mucho por hacer, pues surgen distintas problemáticas como tomas y parcelaciones irregulares, lo que implica tomar medidas a través de BBNN y otros organismos públicos; las distintas problemáticas sociales donde el municipio no accede con su oferta, por ejemplo, con agua en camiones aljibes, por elementos condicionantes como es el Registro Social de Hogares, entre otros.

La CONADI es otro actor que declara tener una brecha con la política pública implementada por BBNN, pues a las comunidades indígenas se les hace entrega de terrenos, pero sin los derechos de agua, lo que implica no tener posibilidades de producción. En este caso ellos como Dirección Regional derivan por separado a BBNN

y DGA para el trámite correspondiente, lo que implica una demora y en muchas ocasiones la no disponibilidad del recurso hídrico.

En resumen, se tiene muchos actores con distintas políticas territoriales, que pueden ser considerados y aplicables a la cuenca Quebrada de La Concordia, pero no se visualiza un trabajo integral en este espacio socio territorial.

g) Brechas de participación

Una de las brechas más importantes identificación en el territorio es la de participación y organización, se evidencia a través del desinterés que existe para la conformación de alguna organización de usuarios de aguas, que permita gestionar el acuífero de forma integral. A pesar de ser pocos los actores presentes en la cuenca, lo que implicaría una participación y gestión más fácil de coordinar, esto no ocurre, sino que cada organización busca la manera de mejorar su producción, cantidad y calidad de recurso hídrico de forma individual.

Además del bajo nivel de interés por parte los actores, son pocos los espacios disponibles de participación que consideren las necesidades hídricas de la cuenca Quebrada de La Concordia. Solo se puede observar instancias de trabajo a nivel regional “Plan Regional de infraestructura y gestión del Recurso hídrico al 2021 de la región de Arica y Parinacota”, ejecutando por el MOP y la “Mesa Nacional del agua”, 2020 ejecutado por el mismo organismo.

Ambos casos carecen de espacios de diálogos vinculantes que permitan que los actores del territorio puedan involucrarse en el proceso y sobre todo exponer sus necesidades. En el primero de ellos, sólo es desarrollado por la Dirección de Planeamiento del MOP tanto de nivel central como regional, sin participación de actores locales; en el caso de la “Mesa Nacional del agua”, se realizó una encuesta digital y un taller participativo involucrando a la macrozona de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, por lo tanto, no se analizan las particularidades del territorio y alcanzándose resultados más bien generales de la situación hídrica a nivel país.

h) Brechas de capacidades

Desde los encuentros y de la información rescatada en el proceso, se pudo observar que los actores con menor capacidad técnica corresponden a los agricultores, no así

sus dirigentes que han sabido capaces de gestionar y comercializar los productos agrícolas que producen en las hectáreas concesionadas.

En cuanto a capacidad técnica, los SSR y sus miembros, que son los mismos pertenecientes a la Agrupación de Pequeños Agrícolas, si bien tienen un nivel de educación menor han logrado posicionar sus necesidades en las instituciones correspondientes como la DOH.

Otro elemento a considerar dentro de esta brecha, es que si bien el resto de los actores de la cuenca, como por ejemplo los servicios públicos, tienen un nivel educativo mayor, también existe falta de conocimiento y de capacidades frente a las necesidades específicas de este territorio. Por ejemplo, no existe una instancia de participación que gestione el recurso hídrico a nivel regional o por cuenca. Así mismo, el Gobierno Regional de Arica y Parinacota no cuenta con un profesional encargado del tema agua en una de las regiones con menor disponibilidad hídrica a nivel país.

Por último, se debe mencionar, que en este proceso de PAC si bien se esperaba que algunos organismos tuvieran una clara visión y planificación territorial de la cuenca, no fue así, y es el caso del Municipio de Arica y el Gobierno Regional de Arica y Parinacota. Por su parte, el municipio en su PLADECO no considera este territorio y en el Plan Regulador Comunal se identifica a la cuenca como Zona de Servicios. Por su parte, el GORE como organismo regional tampoco lo tiene dentro de sus planificaciones a corto, mediano ni largo plazo.

i) Brechas de coordinación:

En el territorio estudiado se evidencia una falta de coordinación entre los actores de este territorio, principalmente se caracteriza por dos aspectos: 1.- No se coordinan entre sus pares de grupo de actores y 2.- tampoco entre grupos (servicios públicos, Usuarios, Privados y Soc. Civil)

En el primer caso, se pudo observar que entre los privados presentes en el territorio no existe una coordinación ni interés de un trabajo conjunto, incluso desconocen con quienes tienen cercanía territorial, como es el ejemplo los asociados a agrupaciones de Pampa San Martín y Pampa Concordia. Entre servicios públicos no existe tampoco coordinación en cuanto a materia hídrica, sino que sus encuentros son más bien en espacios que un tercero convoca, como es el caso de esta PEGH, pero no existe una mesa, comité o instancia que permita una coordinación intersectorial de manera

permanente. Otro aspecto a considerar es que los actores de la sociedad civil, como lo son actores del mundo académico no trabajan de forma conjunta en la temática hídrica y no hay coordinación. Lo anterior evidencia un escaso y casi nulo trabajo en la temática hídrica de forma sistematizada y colaborativa entre actores que poseen las mismas características y objetivos.

En el segundo caso en cuanto a la coordinación entre grupos de actores, se da a partir de proyectos o iniciativas puntuales, pero no a través de una planificación y proyección de gestión hídrica de la cuenca. Por ejemplo, y lo más destacado, es lo que se desarrolló en Pampa Concordia, donde hubo una coordinación entre BBNN e INIA, para la gestión de la concesión de terrenos, y entrega y monitoreo de pozos en el mismo sector. Otro ejemplo, pero también puntual, es la gestión actual entre DOH y SSR Pampa Concordia para la instalación y sondaje de puntos de captación de agua, para el funcionamiento de esta última.

Ambos casos mencionados, tanto la coordinación entre actores de un mismo grupo y coordinación entre grupos, es casi nula, no se conoce ni proyecta en este territorio ninguna instancia que posibilite una exitosa Gobernanza del agua en la cuenca Quebrada de La Concordia.

También es importante mencionar que Carabineros si bien, es un actor que participa y tiene presencia en el territorio a través de Reten Estación Central y Comisaría Chacalluta, tiene una relación de colaboración con el territorio, a propósito de sus funciones, no así en el tema específico del recurso hídrico.

Por último, indicar a aquellos actores que tiene nula relación que es el caso de la Sociedad Civil con privados, no existen instancias de coordinación y tampoco de cooperación, pasando a ser actores de los territorios que nos tienen puntos de encuentros en cuanto a la temática hídrica.

2.6.9 Brechas a cubrir para una Gobernanza Hídrica de la cuenca

Dado el análisis anterior, a continuación, se presenta cada brecha asociada a un indicador del estado de percepción; el cual va asociado a colores rojo y amarillo; donde rojo es mayor necesidad de mejorar la gestión y amarillo indica que se percibe la necesidad de mejorar, pero en menor grado.

Adicionalmente, en dicha tabla se indica el grupo de actores que debiera abordar cada brecha para avanzar hacia una exitosa gobernanza hídrica de la cuenca.

Tabla 2-23 Brechas a abordar para una Gobernanza Hídrica

Nº	Brecha	Percepción del estado	Detalle	Actor Trabaja
1	Información		- Falta información actualizada - Desconocimiento del territorio por parte de los actores - Desconocimiento de acciones y actores dentro de la cuenca	Servicios públicos, privados, Sociedad Civil, Usuarios
2	Financiamiento		- Escaso financiamiento público para iniciativas de gestión hídrica - Escaso financiamiento privado para iniciativas de gestión hídrica	Servicios públicos, privados, Usuarios
3	Administrativa		- Gestión centralizada a nivel nacional - Gestión centralizada en la región a propósito de territorios más productivos	Servicios públicos
4	Objetivo		Escasa claridad con los objetivos de desarrollo de la cuenca (agrícola, servicios, habitacional, etc.)	Servicios públicos
5	Rendición de cuentas		No aplica	
6	Políticas		Diversidad de políticas públicas no aplicadas en el territorio	Servicios públicos
7	Participación		- Falta de interés de conformar y participar de una OUA - Falta de interés y participación de los Servicios públicos en temáticas hídricas	Servicios públicos, privados, Sociedad Civil, Usuarios
8	Capacidades		- Usuarios de agua con insuficiente capacidad técnica - Insuficiente capacidad de los servicios públicos para abordar la temática hídrica. - Escasa capacidad técnica que permita planificar y proyectar este territorio	Servicios públicos, privados, Sociedad Civil, Usuarios
9	Coordinación		- Falta de coordinación entre distintos grupos de actores de la cuenca - Falta de coordinación ente actores perteneciente a un mismo grupo (Servicios públicos, privados, Sociedad Civil, Usuarios)	Servicios públicos, privados, Sociedad Civil, Usuarios

Fuente: Elaboración propia, PAC cuenca Quebrada de La Concordia, 2022.

2.6.10 Conclusiones

Finalizadas estas etapas de la PAC del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca Quebrada de La Concordia, se llevó a cabo una sistematización de información que da como resultado las siguientes conclusiones de dicho proceso participativo.

- En este territorio se puede observar una escasa planificación y gestión, tanto desde el punto de vista social como hídrico, principalmente porque no existe un organismo u

organismos que articulen algún tipo o espacio de participación que logre generar alguna visión conjunta.

- Si bien son múltiples los actores presentes en el territorio donde se observa en su mayoría usuarios agrícola tanto grandes como pequeños, la presión inmobiliaria, y el interés por obtener recurso hídrico, incluso trayendo del sector de Lluta, da pie a un sinnúmero de demandas que tienen un escaso lineamiento de planificación, y por lo mismo una escasa coordinación de los servicios públicos por cubrir estas necesidades. Sin duda establecer la misión y visión de cuenca Quebrada de La Concordia permitirá que se pueda acceder a distintas fuentes de financiamientos, de forma eficiente y sobre todo oportuna para este sector.

- Desde los distintos niveles administrativos no existe una visibilización de este territorio; es así como desde el Gobierno Regional y específicamente desde su área de planificación, no se plantea ninguna iniciativa a corto, mediano y largo plazo, no se aborda la escasez hídrica, no posee un equipo técnico experto en la materia y sólo ha participado de instancias a nivel nacional, donde son convocados (por ejemplo, para la Mesa Nacional del Agua). También declaran que la región de Arica y Parinacota posee una gestión hídrica muy productiva y centralizada en aquellas cuencas con más recursos y con mayor desarrollo agrícola, como son las cuencas de Azapa, Lluta y Camarones.

- A nivel comunal, no existe una proyección hídrica ni territorial de la cuenca, incluso no se menciona en sus instrumentos de planificación PLADECO y Plan Regulador Comunal como un espacio a intervenir.

- En cuanto a otros Servicios Públicos que podrían estar involucrados en una posible gestión hídrica de la cuenca, tampoco existe algún avance; por ejemplo, desde la Superintendencia de Medio Ambiente de la región de Arica y Parinacota, no se indican posibles iniciativas que hayan pasado por el Sistema de Información y Fiscalización, destacándose sólo algunas ideas, pero nada concreto en términos de iniciativas a ejecutar. Tampoco hay iniciativas a financiar desde la Comisión Nacional de Riego, INDAP, ni desde el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social desde el 2021 a la fecha, a excepción de las 2 iniciativas de SSR lideradas por la DOH.

- En cuanto al acceso a la información, durante todo este proceso y desde distintos grupos de actores que tiene relación con la cuenca, al consultar por antecedentes, en

general, sólo se refieren a INIA en virtud de sus derechos de agua que actualmente se relacionan con los terrenos concesionados durante el 2012 y la Agrupación de Pequeños Agricultores de Pampa Concordia, por su actividad productiva y de reconocimiento nacional.

- Hay un alto nivel de desconocimiento tanto de la cuenca como de los actores que coexisten en este espacio socio territorial, donde incluso en algunos casos existe cierta confusión con los límites geográficos de la misma.

- Adicionalmente, y en específico a la temática hídrica, al consultar sobre esta cuenca, los actores en general mencionan la DGA como el referente a quien consultar; desde los organismos públicos existen derivaciones a dicho Servicio para la solución de inquietudes o problemáticas. Es el caso de la Dirección Regional de CONADI, quien recibe y oficia los casos de sus usuarios a la DGA para solucionar problemáticas asociadas a derechos de aguas.

- Otro elemento para considerar, es la gestión individual de cada actor identificado en la cuenca, es decir, cada uno cumple su rol o su labor de forma independiente. Por ejemplo, entre los privados no existe colaboración ni trabajo conjunto en función de una gestión hídrica exitosa. Esta misma práctica, se repite en los grupos de usuarios de agua, pues no existe el interés por conformar una Organización, que solucione la coordinación y gestión de la cuenca; un ejemplo claro de ello son los SSR Concordia y la proyección del SSR San Martín, que hasta el momento no tienen una coordinación o comunicación fluida que les podría generar beneficios mutuos.

- Un punto importante también a destacar en estas conclusiones, es la responsabilidad que se le da al uso del agua y el desarrollo agrícola de Perú, pues se detecta una percepción que existiría una mala gestión hídrica que está secando el acuífero, debido a que la entrega de los terrenos en el vecino país es asociada a los derechos de agua, con una sobre explotación no controlada, lo que implicaría la baja en los niveles de las napas y eventualmente una intrusión salina hacia el acuífero.

- Dentro de este proceso también se pudo observar, que algunos actores tienen la percepción de “abandono en sus demandas”, pues al exponerlas a los organismos correspondientes no reciben respuestas adecuadas u oportunas; por ejemplo, es el caso del Retén Central de Carabineros quienes se encuentran sin agua para consumo desde el 2021, debido a una desviación por terceros de las tuberías de conducción,

que traían originalmente el recurso hacia el retén. Esta problemática fue expuesta a distintas instituciones públicas, sin tener alguna solución hasta hoy.

- En el caso de la población que se encuentra habitando el área, la Agrupación de Pequeños Agricultores de Pampa Concordia y la Asociación Indígena Aymara Agroandina Pampa San Martín, manifiestan la preocupación de no ser considerados en sus peticiones, debido a que actualmente no disponen de agua potable y deben trasladar el agua de forma individual desde Arica. Esta problemática surge, debido a que el municipio por Ley debe utilizar como instrumento de priorización el Registro Social de Hogares del Ministerio de Desarrollo Social, lo que implica que los habitantes de estos sectores no califican como vulnerables y por lo tanto no acceden al beneficio de entrega de agua en sus domicilios ubicado en ambos sectores.

- En el caso de la Asociación Indígena Hijos del Sol Naciente, también presentan una preocupación al no ser considerados en su proyecto del acueducto Lluta-Concordia, pues si bien han gestionado hace más de 4 años la iniciativa, donde indica que sólo requieren autorizaciones por parte de organizaciones gubernamentales, pues su financiamiento es privado, consideran que no han sido escuchadas sus demandas.

- Con respecto a la situación fronteriza, también es importante destacar el rol de la DIFROL en las gestiones y análisis de las posibles iniciativas a realizarse en los sectores fronterizos, y especialmente lo realizado en Concordia, donde da cuenta de un trabajo de investigación del acuífero transfronterizo de Caplina-Concordia-Escritos.

En resumen, se puede concluir que la cuenca Quebrada de La Concordia es un espacio territorial desarticulado, poco reconocido a nivel comunal y regional, con escasa gestión hídrica, y con una serie de brechas a mejorar, las cuales si fueran abordadas de manera oportuna permitirían alcanzar un desarrollo integral y una gobernanza hídrica exitosa.

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL

En este capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y usos del recurso hídrico tanto actual como su proyección futura. El levantamiento de la demanda física o real (efectiva) así como la demanda legal (derechos de aprovechamiento), se presenta para cada uno de los usos productivos.

Las demandas actuales de la cuenca han sido descritas en el estudio “Análisis Integral de Soluciones a la Escasez Hídrica, región de Arica y Parinacota, parte 1, SIT N° 410” realizado por ICASS (DGA, 2016). Estas demandas se encuentran dadas principalmente por las actividades agrícolas, suministro de agua potable e industria.

Por otro lado, el estudio de la DGA “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” elaborado por Hídrica-Aquaterra (DGA, 2017b), estimó en todo el territorio nacional, y en particular para la cuenca Quebrada de La Concordia, la demanda hídrica para distintos usos con base el año 2015. En dicho estudio, se identifican demandas de los sectores agrícola, pecuario y forestal. Sin embargo, las demandas presentadas en este estudio distan totalmente de la realidad en la cuenca.

Finalmente, la demanda hídrica fue estimada por DIFROL-ICASS (2021), la que entrega valores más reales, dado el tamaño relativamente pequeño de la cuenca, y que los puntos de extracción del recurso hídrico fueron identificados casi en su totalidad, por lo que la estimación realizada es cercana a la realidad.

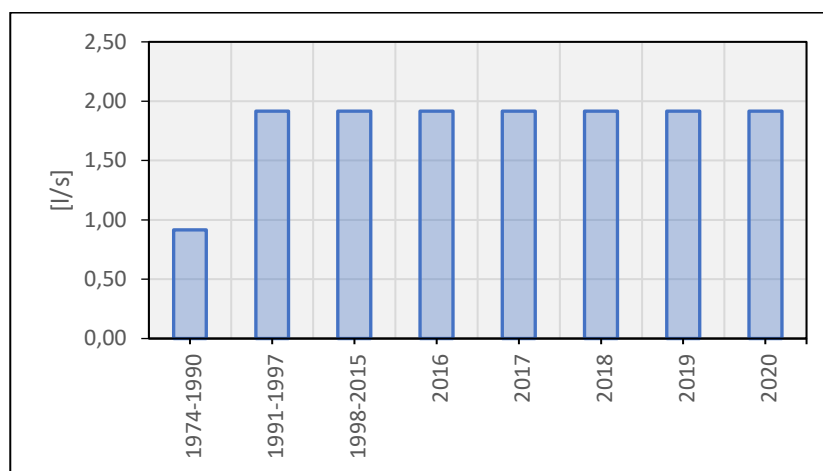
3.1 Uso Humano

De acuerdo con los expedientes de la DGA el uso de agua en la cuenca se habría iniciado en los años 1970, en donde el agua para consumo se inició con los pozos de extracción para los usuarios del aeropuerto y el complejo fronterizo de Chacalluta (actualmente 4ª Comisaría de Carabineros). En esta zona, no existen sistemas de agua potable rural y tampoco empresas sanitarias de agua potable, por lo que el consumo humano de agua potable se encuentra dado por los puntos ya mencionados. La demanda física y legal de este uso para el año 2021 se presenta en la Tabla 3-1, y la evolución histórica de esta demanda se puede ver en la Figura 3-1.

Tabla 3-1 Demanda física y legal del uso humano.

Caudales [l/s]	
Demanda Física	Demanda Legal (DAA)
1,92	8,0

Fuente: Elaboración Propia en base a DIFROL-ICASS (2021).



Fuente: Elaboración propia basado en DIFROL-ICASS (2021).

Figura 3-1 Evolución histórica demanda física de uso humano

3.2 Necesidades Ambientales

El recurso hídrico es necesario para la protección ambiental, tanto en términos de flora y fauna, como de protección del patrimonio ambiental. Existen criterios ambientales basados en el impacto que tiene la otorgación de derechos de agua, por lo prioritario de la biodiversidad y las zonas de interés ambiental. Para cumplir con este objetivo se establecen caudales ecológicos, los cuales se definen como el caudal mínimo que deberían tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica (DGA, 2008). En la cuenca de estudio, dado que no existe un caudal superficial, tampoco existen caudales ecológicos establecidos. Sin embargo, si bien no se cuantifica una magnitud específica, en DGA (2011a) se menciona que para la explotación del acuífero se debe asegurar al menos cierto flujo de agua (subterráneo) hacia el mar, con el fin de mantener limitada la intrusión salina.

3.3 Demanda Agrícola

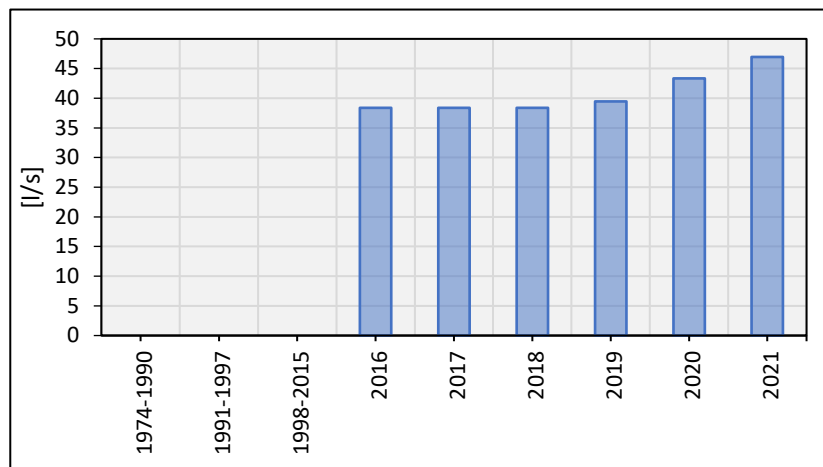
La demanda agrícola en la zona de estudio se inició en el año 2014 con la licitación de concesiones agrícolas que llevó a cabo Bienes Nacionales y que se proveen de los pozos del INIA que se ubican en la Pampa Concordia. La demanda física y legal de este uso

para el año 2021 se presenta en la Tabla 3-2, y la evolución histórica de esta demanda se puede ver en la Figura 3-2.

Tabla 3-2 Demanda física y legal del uso agrícola.

Caudales [l/s]	
Demanda Física	Demanda Legal (DAA)
46,9	72,0

Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

Figura 3-2 Evolución histórica demanda física de uso agrícola.

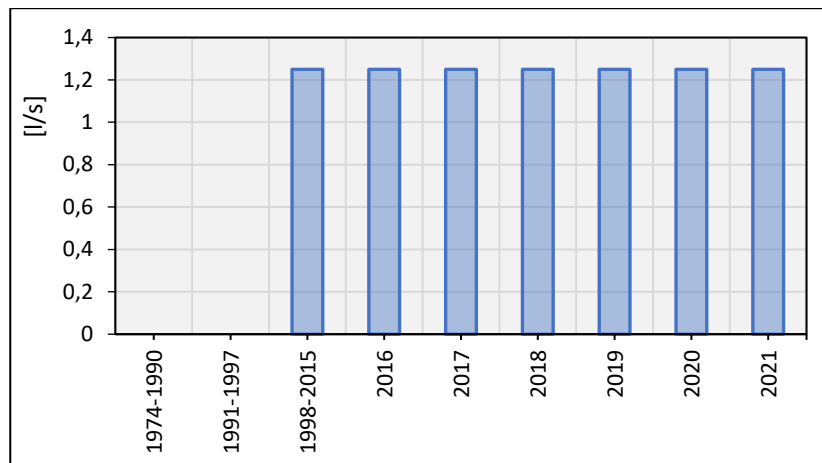
3.4 Demanda Industrial

El inicio de extracciones subterráneas de uso industrial comienza en el año 1998 para abastecer a las empresas que operan al interior del Parque Industrial Chacalluta de la ZOFRI, ubicado en Chacalluta. La demanda física y legal de este uso para el año 2021 se presenta en la Tabla 3-3, y la evolución histórica de esta demanda se puede ver en la Figura 3-3. Estos valores provienen del estudio DIFROL-ICASS (2021).

Tabla 3-3 Demanda física y legal del uso industrial.

Caudales [l/s]	
Demanda Física	Demanda Legal (DAA)
1,25	15,0

Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

Figura 3-3 Evolución histórica demanda física de uso industrial.

3.5 Resumen Demandas

A continuación, se presenta el resumen de las demandas físicas (efectivas) por uso y sector productivo para la cuenca Quebrada de La Concordia, los valores totales muestran en la Tabla 3-4, mientras que en la Figura 3-4 de manera gráfica se presenta la distribución de la demanda en la cuenca, en donde se observa que la demanda agrícola corresponde a la principal demanda en la cuenca de estudio abarcando el 93,7% de la demanda total.

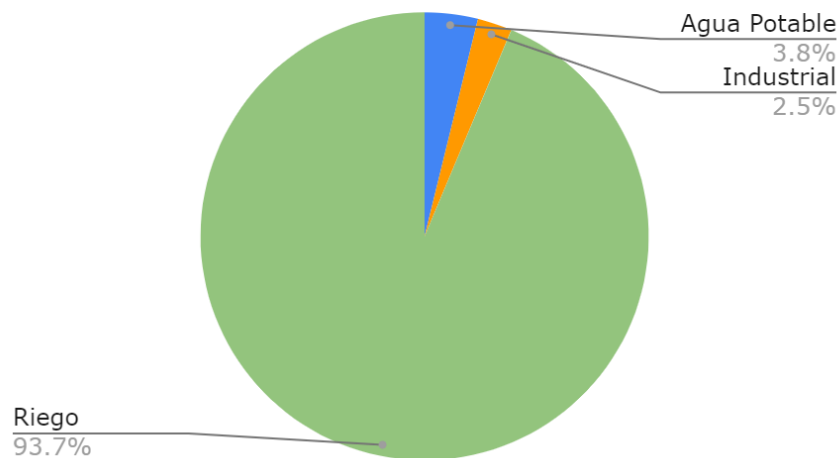
Adicionalmente en Figura 3-4 muestra una proyección de la demanda al año 2050 por uso. Tanto para la demanda de uso Industrial y Agua Potable se consideró una demanda constante hacia el futuro, dado a que no existen antecedentes que indiquen una variación de la demanda de estos usos. Mientras que para el uso de Riego la proyección estaría asociada al total de la concesión realizada por el Ministerio de Bienes Nacionales, cuyo máximo caudal de 75 l/s corresponde a la suma de los derechos de aprovechamiento de sus 6 pozos.

Tabla 3-4 Resumen de demanda física por uso.

Uso	1974-1990		1991-1997		1998-2013		2014		2015		2016	
	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año
Agua Potable	0,9	28.908	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444
Industrial	0,0	0	0,0	0	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420
Riego	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,2	6.537	16,5	519.770	38,4	1.209.719
Total	0,9	28.908	1,9	60.444	3,2	99.864	3,4	106.401	19,7	619.634	41,5	1.309.583
Uso	2017		2018		2019		2020		2021		2022-2050	
	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año	l/s	m³/año
Agua Potable	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444	1,9	60.444
Industrial	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420	1,3	39.420
Riego	34,2	1.077.533	38,4	1.209.719	39,4	1.243.461	47,6	1.499.581	49,5	1.561.796	75,0	2.365.200
Total	37,3	1.177.397	41,5	1.309.583	42,6	1.343.325	50,7	1.599.445	52,7	1.661.660	78,2	2.465.064

Fuente: Elaboración Propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

Distribución de la demanda



Fuente: Elaboración Propia a partir de DIFROL-ICASS (2021).

Figura 3-4 Distribución de la demanda de agua en la cuenca.

4 OFERTA HÍDRICA

4.1 Oferta Hídrica Superficial

4.1.1 Fuentes

Como se mostró en las Figura 2-8 y Figura 2-9 de la sección 2.1.4 Hidrología, los cauces principales de la cuenca Quebrada de La Concordia, las quebradas Honda y de La Concordia (ambas orientadas en la dirección NE-SW), desembocarían en el Océano Pacífico y exhibirían un régimen pluvial. No obstante, dichos cauces se han encontrado, históricamente, secos e inactivos durante el año, excepto por algunos eventos extremos en el sector alto de la cuenca Quebrada de La Concordia que, según DGA (2011a), activarían las quebradas y producirían escurrimientos superficiales hacia el sector bajo de la cuenca. Así mismo, se presenta el cauce de la Quebrada de Escritos, sin embargo, éste se activa más frecuentemente que La Concordia.

4.1.2 Oferta en la fuente

Dada la inactividad histórica de los cauces principales de la cuenca Quebrada de La Concordia y, por tanto, la ausencia de escurrimientos superficiales permanentes en estos, es posible afirmar que la oferta actual de agua promedio anual en la cuenca es nula.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

Si bien la oferta actual en las fuentes de la cuenca Quebrada de La Concordia es nula, las proyecciones para la precipitación en el corto plazo (2016-2035) predecirían, como se mostró en la Figura 2-31 de la sección 2.2.5 Escenarios de cambio climático, un incremento sobre los 5 mm en la precipitación originada durante eventos de invierno altiplánico respecto al período histórico (1979-2015). Dicho aumento se traduciría, consecuentemente, en una activación más recurrente de las quebradas Honda y de La Concordia, produciéndose escurrimientos superficiales hacia el sector bajo de la cuenca que podrían, en última instancia, originar una oferta de agua no nula. Sin embargo, en contraposición al corto plazo, las proyecciones en el largo plazo (2036-2060) predecirían una disminución de las precipitaciones en la temporada del invierno altiplánico respecto al período histórico, por lo cual, a modo de síntesis, es esperable que la oferta proyectada de agua promedio anual en la cuenca Quebrada de La Concordia se mantenga nula.

4.1.4 Calidad actual

La cuenca Quebrada de La Concordia no tiene, como se indicó en el ítem 4.1.2, cursos de agua superficiales permanentes, por lo cual, no se dispone de estaciones de calidad de agua de fuentes superficiales en la cuenca que den cuenta, al menos, de la calidad de los escurrimientos superficiales generados durante eventos extremos.

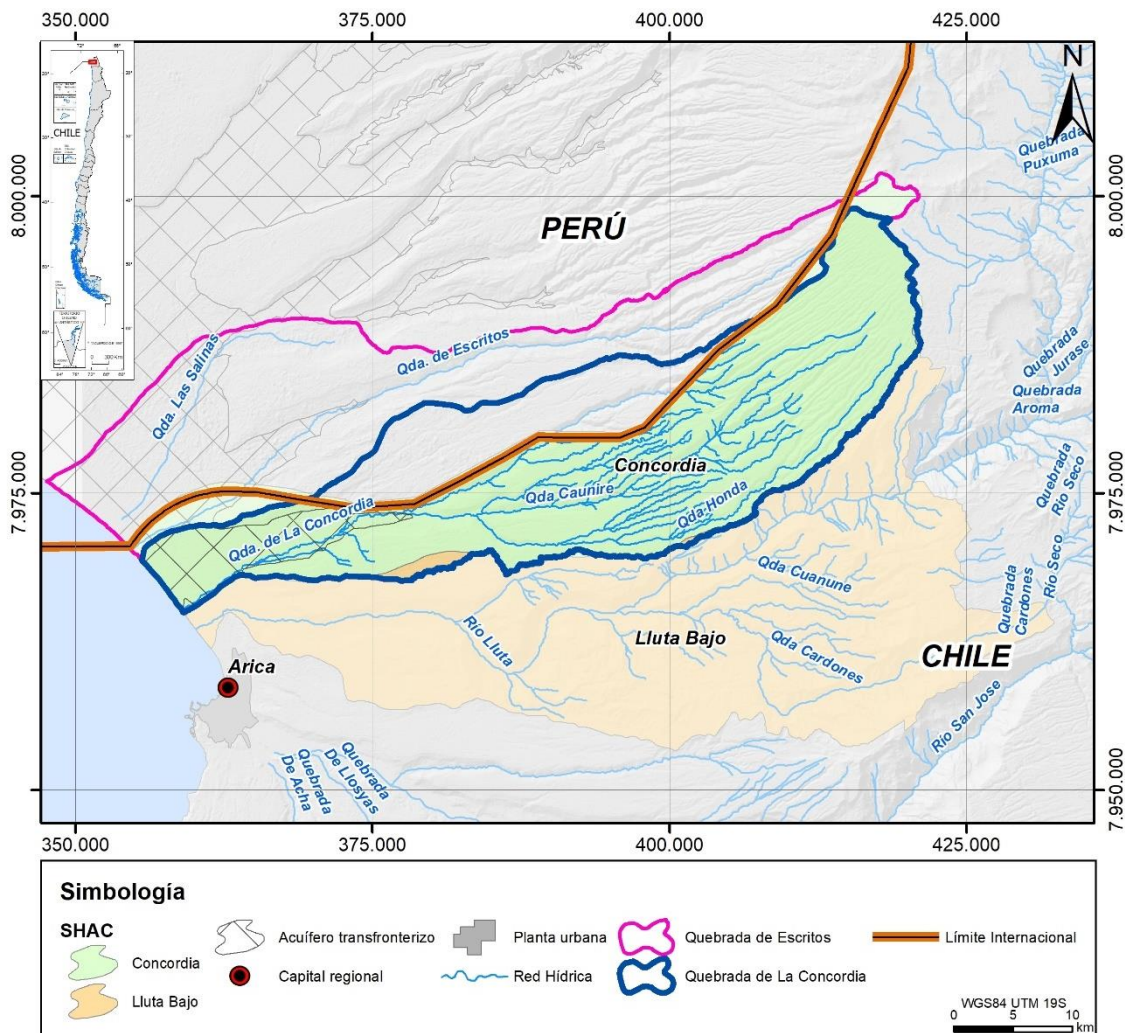
4.1.5 Derechos concedidos

La cuenca Quebrada de La Concordia no tiene, como se indicó en el ítem 4.1.2, cursos de agua superficiales permanentes, por lo cual, no existen derechos de aprovechamiento de aguas superficiales constituidos en la cuenca.

4.2 Aguas subterráneas

4.2.1 Identificación y descripción del SHAC

La DGA identifica un sector hidrogeológico de aprovechamiento común (SHAC) en la cuenca, denominado cuenca Quebrada de La Concordia, y que ocupa casi la misma área que la cuenca (ver Figura 4-1). Este acuífero forma parte de un gran acuífero sedimentario que abarca la parte baja de las planicies del río Caplina por el Norte en territorio peruano, y las partes bajas de las quebradas de Escritos y Concordia, además del río Lluta por el Sur, en territorio chileno. Este gran sistema tiene una superficie de 2,838 km², de los cuales 697 km² corresponden al acuífero La Concordia en territorio chileno (DGA, 2021a).



Fuente: Elaboración propia basado en Mapoteca DGA.

Figura 4-1 SHAC existentes en la cuenca Quebrada de La Concordia.

Este SHAC fue declarado como área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas según resolución N°22 de la DGA del 23 de junio de 2021 (DGA, 2021b).

4.2.2 Stock, recarga y niveles

Stock

La oferta de agua subterránea en la cuenca Quebrada de La Concordia baja, de acuerdo al balance en régimen de equilibrio estimado para el año 1966 (previo a extracciones) en el Anexo H, aunque se debe tener en cuenta algunas consideraciones de subestimación como la geometría del acuífero, entradas subterráneas y la sobre

explotación por el lado peruano, cuyo detalle de la oferta y demanda se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Balance Hídrico 2021 (cuenca Quebrada de La Concordia).

Componente	Caudal [l/s]	Volumen [hm³/año]
Entradas (IN)	100	3,2
Recarga lateral Lluta	60	1,9
Recarga lateral Concordia	10	0,3
Flujo Subterráneo Escritos	20	0,6
Flujo Subterráneo río Caplina	10	0,3
Salidas (OUT)	100	3,2
Descarga al mar	100	3,2
Balance (IN-OUT)	0	0

Fuente: DIFROL-ICASS (2021).

Recarga

La recarga en un sistema acuífero es el caudal que natural o artificialmente lo alimenta, ya sea por precipitación, lagunas de infiltración, aportes laterales entre otros.

Según los trabajos realizados por DGA (2016) y DIFROL-ICASS (2021), las fuentes de recarga del acuífero no sólo sería la precipitación difusa de la zona alta, sino que cobraría importancia los aportes de flujos subterráneos provenientes de las cuencas adyacentes en la zona baja, donde proviene, principalmente, por flujos laterales subterráneos afluentes desde la cuenca del río Lluta, quebrada Escritos y la cuenca del río Caplina, y en menor proporción por la recarga de las precipitaciones desde las zonas altas de las cuencas y por la infiltración del riego en concesiones agrícolas (Tabla 4-2).

Tabla 4-2 Recarga acuífero Concordia.

Componente	Caudal [l/s]	Volumen [hm³/año]
Recarga por precipitación	10	0,3
Infiltración del riego	12	0,4
Flujo Subterráneo río Lluta	60	1,9
Flujo Subterráneo Escritos	20	0,6
Flujo Subterráneo río Caplina	10	0,3

Niveles

Se han identificado 15 pozos en el sector de Concordia, 9 de ellos fueron perforados por CORFO en la década de 1960 con fines de exploración o estudio, y los 6 restantes corresponden a pozos de extracción perforados posteriormente.

Desde el inicio de los pozos CORFO se cuenta con un registro histórico de niveles continuos, hasta el año 1977, desde esta fecha se produce un lapsus de registro hasta el año 1982, posteriormente se ha continuado con el registro hasta la actualidad. De los 15 pozos identificados, en su mayoría cuentan con mediciones puntuales y en algunos pozos (B1, B2, B3, B4, D2, D3 y D4) se ha mantenido una medición continúa por parte de la DGA.

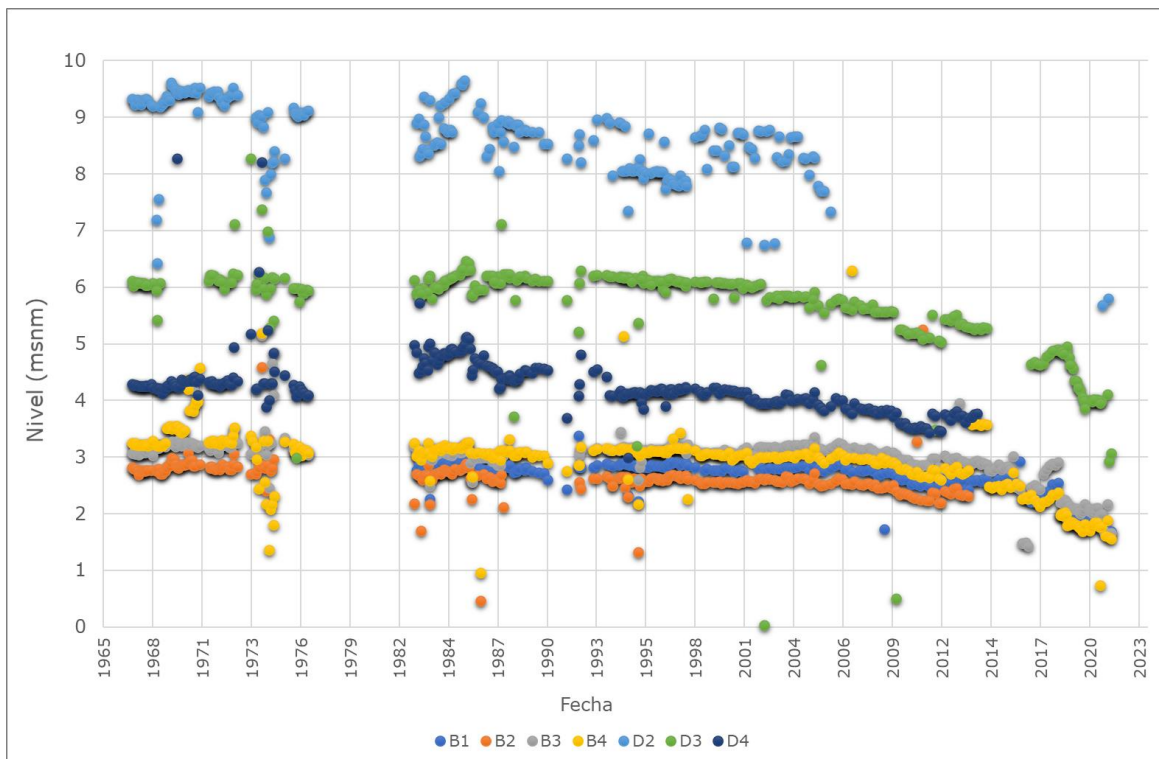
En la Tabla 4-3 se muestran las mediciones puntuales en los 15 pozos de Concordia. En ella se observa el descenso continuo que han tenido los pozos desde su habilitación en los años 60 hasta la actualidad, con una disminución promedio de 2 m, en algunos casos mayores como el pozo D5 con 2,53 m. En la Figura 4-2 se presenta la evolución de los niveles de los pozos con datos continuos donde se evidencia la disminución en el paso del tiempo, con un aumento desde el 2016, donde se inician los bombeos en Concordia para el riego agrícola.

Tabla 4-3 Niveles históricos Pozos Pampa Concordia.

Niveles históricos de los Pozos Pampa Concordia										
Pozo	ene-63	dic-65	jun-84	sept-98	ene-16	nov-19	mar-21	jul-21	ago-21	ago-22
D1	46,5						49,15	48,73		48,98
D2			46,53	46,36			48,75	48,64		49,17 ²
D3			32,15	32,07			69,86*	34,79	34,64	93,37 ²
D4		23,6	23,56	24,15						
D5			37,38	37,53			39,87	39,9	39,91	40,13
D6			28,85	29,05						36,88 ²
D7				83,07				85,09	85,07	85,46
D8				60,77				61,54	61,59	61,88
B1	12,8		13,48	13,53			14,34	14,31	14,33	14,34
B2	14,9		14,93	14,92			16,4*	16,5*	16,7*	16,54 ²
B3			14,94	15			15,89	40,79*	15,92	16,36
B4				14,2				15,27	15,29	15,37
B5				42,06						
B8								81,13*	79,59	79,73
B1B					73,02	75,86*	74,2	74,25	74,2	

1. El descenso ha sido calculado como la diferencia entre el valor más actualizado y el más antiguo.

2. Niveles dinámicos: En los pozos D3, B2, B3, B8 y B1B, se ha estado bombeando, por ende, dichos niveles son dinámicos.



Fuente: DIFROL-ICASS (2021).

Figura 4-2 Niveles piezométricos históricos.

En las mediciones continuas que se han tenido en diferentes pozos se ha logrado establecer cuatro ciclos de descensos a partir del año 1967, que es cuando comienzan las mediciones de niveles estáticos en la zona. Desde 1997 se inicia el proceso de descensos posiblemente por las extracciones del lado peruano, el descenso se incrementa a partir del 2006 y aumentó de nuevo en el 2016 cuando se da inicio al proceso de extracción de agua por parte de los pozos INIA. En el 2017 se tiene una recuperación de los niveles y vuelve a tener un descenso abrupto a finales del 2018. La Figura 4-3 y Figura 4-4 muestran los pozos B1 y D3 cercanos a la frontera, donde se muestran los descensos anteriormente mencionados.

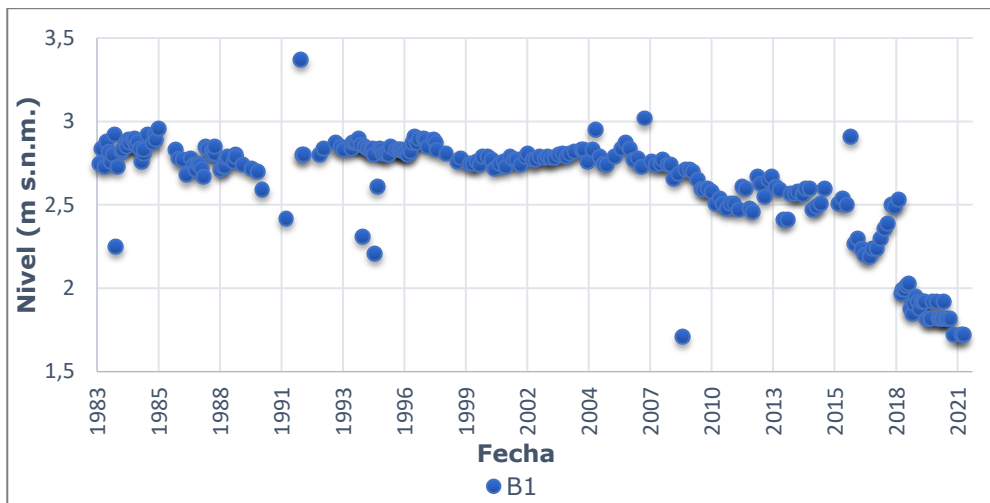


Figura 4-3 Niveles pozo B1.

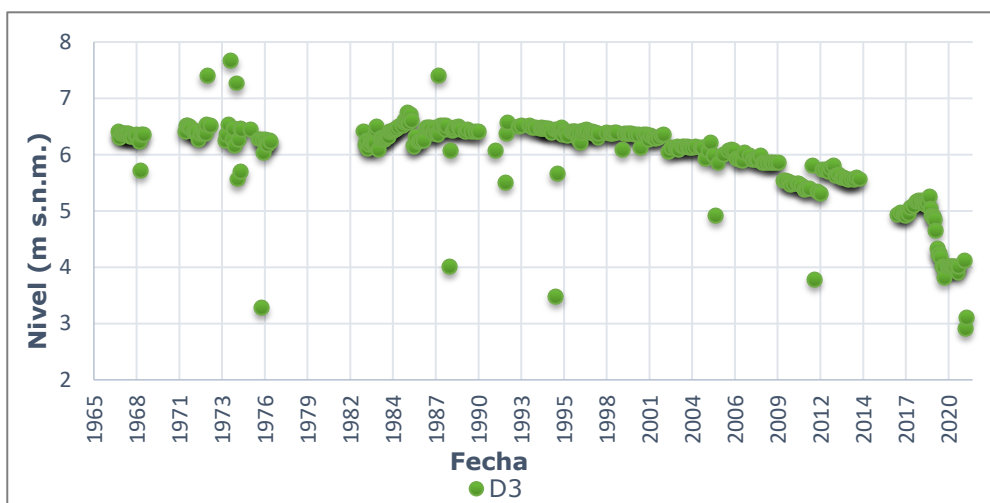
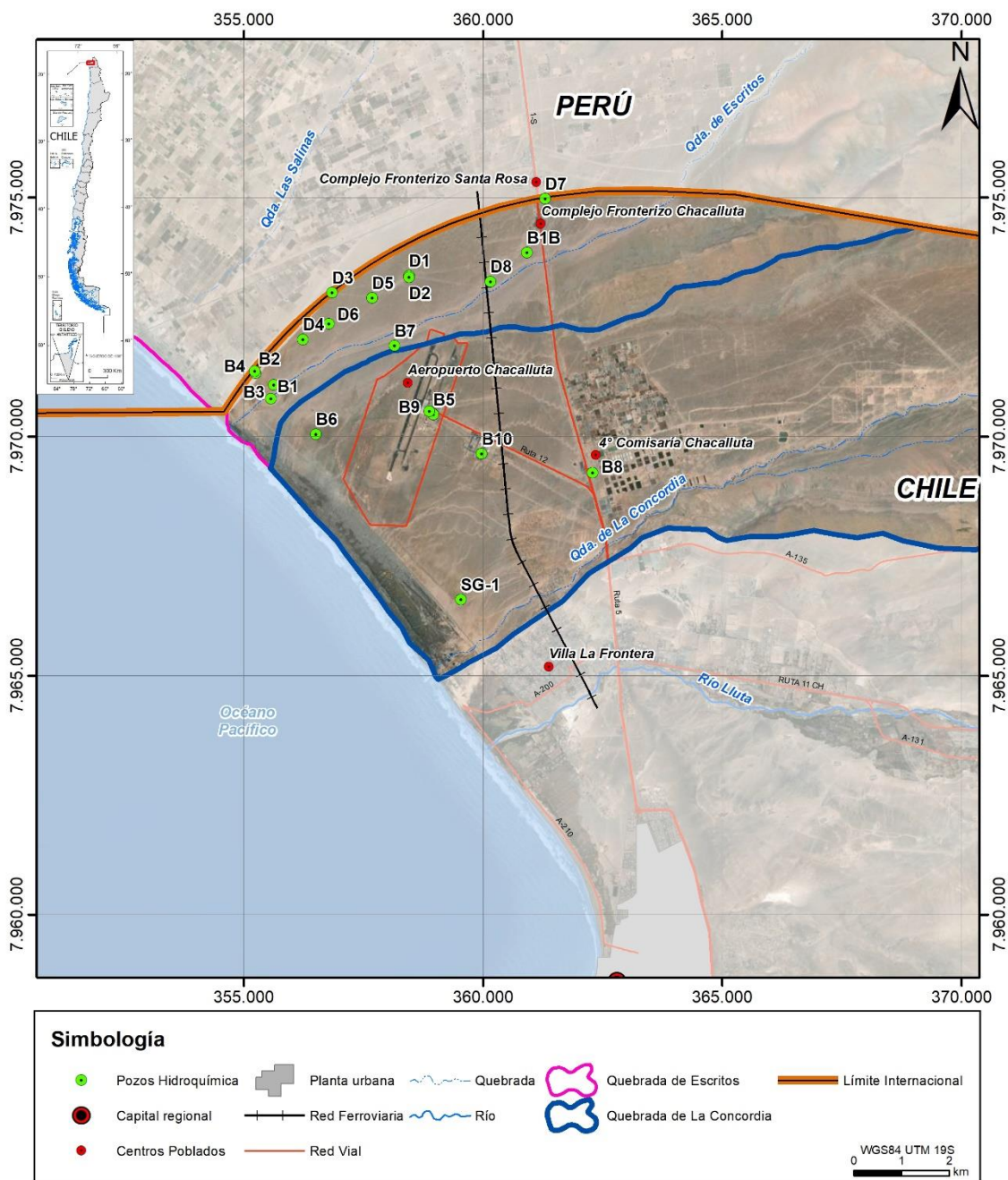


Figura 4-4 Niveles pozo D3.

4.2.3 Estadísticas de parámetros de calidad, índices de calidad, análisis crítico.

Con el objetivo de evaluar las características hidroquímicas en la cuenca Quebrada de La Concordia, se ha realizado una revisión de antecedentes incluyéndose en este análisis los pozos que contienen al menos un registro hidroquímico. Es importante resaltar que algunos de los pozos presentados en esta sección no se encuentran operativos, sin embargo, son relevantes en la caracterización hidroquímica de la cuenca, ya que cuentan con información de antecedentes que ayudan a la caracterización de la cuenca. La ubicación de los pozos descritos se presenta en la Figura 4-5.

El análisis hidroquímico ha considerado todos los datos levantados desde las distintas fuentes de información, siendo las principales los estudios de CORFO (1966), INIA (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021) y DIFROL-ICASS (2021).

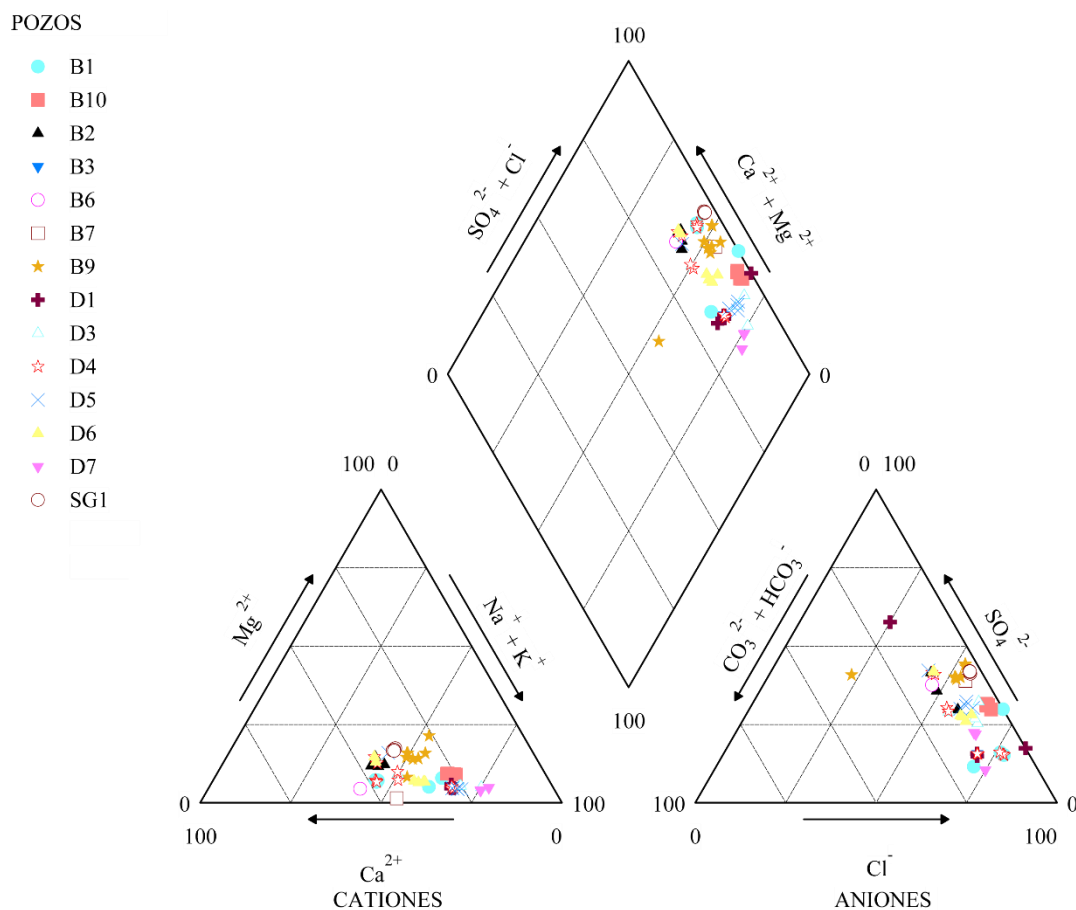


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-5 Ubicación de los pozos con información hidroquímica en la cuenca Quebrada de La Concordia.

Descripción Hidroquímica

Las aguas subterráneas del acuífero de la cuenca Quebrada de La Concordia, de acuerdo a los cationes mayoritarios presentes, son principalmente sódicas y cálcicas, mientras que, según los aniones, son principalmente cloruradas y en menor medida sulfatadas (Figura 4-6). De acuerdo a la distribución espacial de las aguas subterráneas, se evidencian dos grupos principales de aguas: las de menor grado de mineralización ubicadas en el límite norte de la cuenca cercanas de la frontera con Perú, con la excepción las aguas del pozo B1; y las aguas con mayor grado de mineralización que se encuentran asociadas a la línea de flujo de la recarga lateral del Lluta, la cuales se observan en la zona media del acuífero (DIFROL-ICASS, 2021).



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-6 Diagrama de Piper con muestras recopiladas de antecedentes en la cuenca Quebrada de La Concordia.

Calidad de aguas subterráneas

La calidad de las aguas subterráneas ha sido analizada con la información levantada en DIFROL-ICASS (2021), ya que corresponden a los registros hidroquímicos más actualizados para la cuenca. Para la calidad química se consideran como referencia comparativa los parámetros y criterios de calidad establecidos en las normas chilenas para agua potable (NCh 409/1) y para riego (NCh 1333).

De acuerdo a los valores para agua potable establecidos en la norma NCh 409 para el cloruro las concentraciones no deben superar los 400 mg/L, sin embargo, los registros obtenidos en los pozos B1, B8 y B10 superan el umbral permisible en un porcentaje del 77 %, 28 % y 90 % respectivamente, mientras que los pozos B3, B4, D2, D3, D6, D7 y D8 se encuentran por debajo del umbral permitido. Por otro lado, de acuerdo a la normativa aplicable para riego (NCh 1333) respecto al cloruro este debe ser menor a 200 mg/L, las muestras que se encuentran por encima del umbral corresponden a los pozos B1, B4, B8, B10 y D7, con porcentajes de 252%, 36%, 155%, 279% y 10% respectivamente.

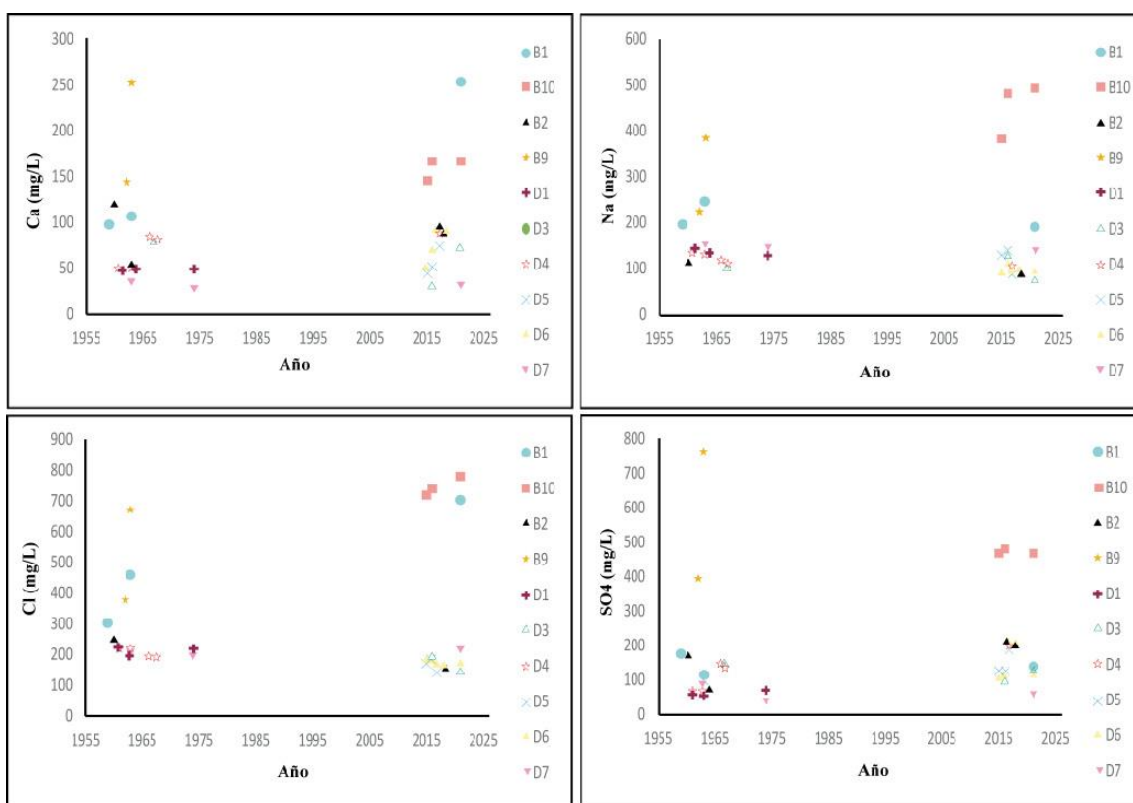
Respecto al sulfato, los pozos B8 y B10 superan la norma tanto de agua potable (500 mg/L) como para riego (250 mg/L) con valores de 520 y 506 mg/L, es decir, superan el umbral permisible en un porcentaje de 4% y 1.2% para la norma de agua potable, mientras que para la norma de riego superan los umbrales en 108% y 102% en los pozos B8 y B10 respectivamente.

En cuanto al pH, todas las muestras con la excepción de la registrada en el pozo B4 con un pH de 9,5 se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normas de agua potable y riego (6,5-8,6 NCh 409 y 5,5-9 NCh 1333). Es importante resaltar que de acuerdo a DIFROL-ICASS (2021), al momento del muestreo en el pozo B4 no se realizó purgado por recomendación de la empresa contratista, ya que la tubería del pozo se encontraba inestable, afectando así los resultados obtenidos.

Evolución temporal de parámetros

Para el análisis de la evolución temporal de los cationes y aniones más abundantes de las aguas subterráneas en la cuenca Quebrada de La Concordia, se realizó utilizando los pozos que presentan más de dos registros en diferentes campañas de muestreo con registros que van desde 1959 hasta 2021.

En la Figura 4-7 se puede observar la variación temporal de los cationes y aniones más abundantes en las aguas subterráneas de la cuenca baja Quebrada de La Concordia, en el que se evidencia una ausencia de información entre 1975 y 2014 aproximadamente. Sin embargo, se logra identificar que el Cl aumenta en el tiempo para los pozos B1 y B10. Respecto a la variación del SO_4 , se observa que los valores más altos en la década de los 60 corresponden al pozo B9, mientras que en la última década los registros más altos han sido obtenidos en el pozo B10. El pozo B10 presenta los registros más altos en la última década respecto a las concentraciones de Na y Ca, sumados al pozo B1 que presenta la concentración de Ca más elevada en la zona de estudio (DIFROL-ICASS, 2021).

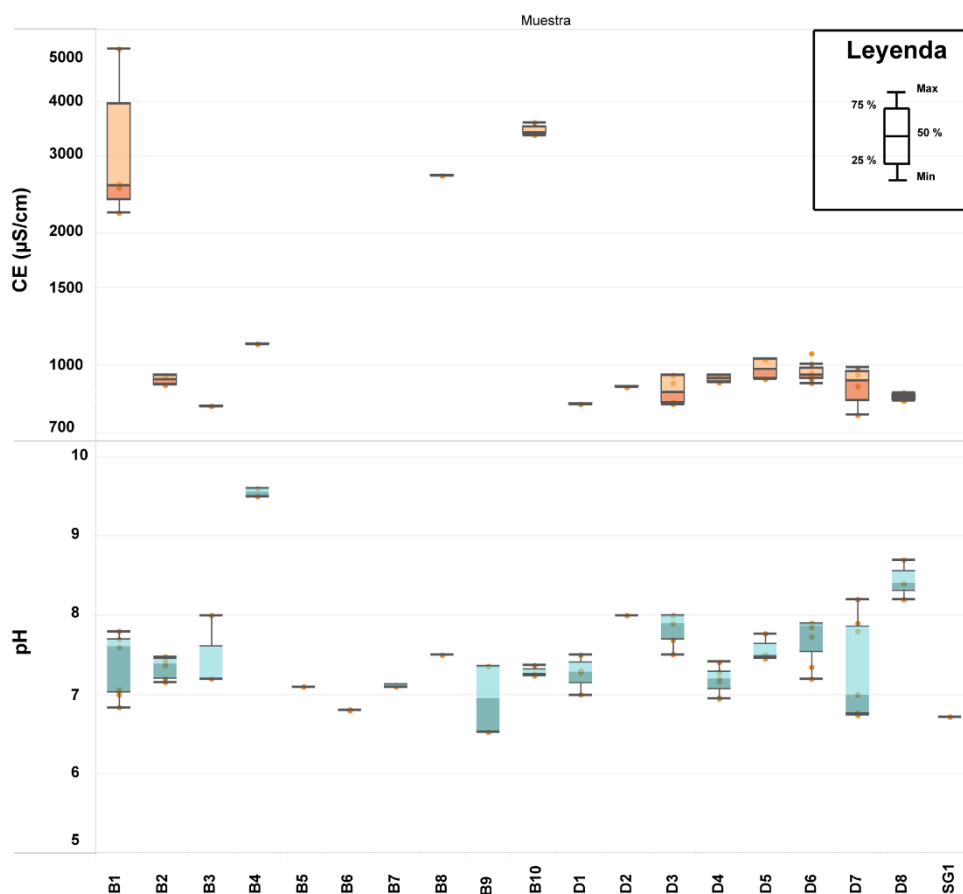


Fuente: DIFROL-ICASS (2021).

Figura 4-7 Variación temporal del Cl, SO_4 , Na y Ca.

A modo de resumen, en la Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10 se presentan gráficamente los análisis estadísticos, mediante diagramas de cajas o de boxplot, con el fin de visualizar los datos químicos respecto a su variación temporal desde 1959 hasta 2021, y realizar comparaciones entre los diferentes pozos. Los parámetros que se seleccionaron para este análisis fueron los cationes y aniones mayoritarios, además de la conductividad eléctrica y el pH.

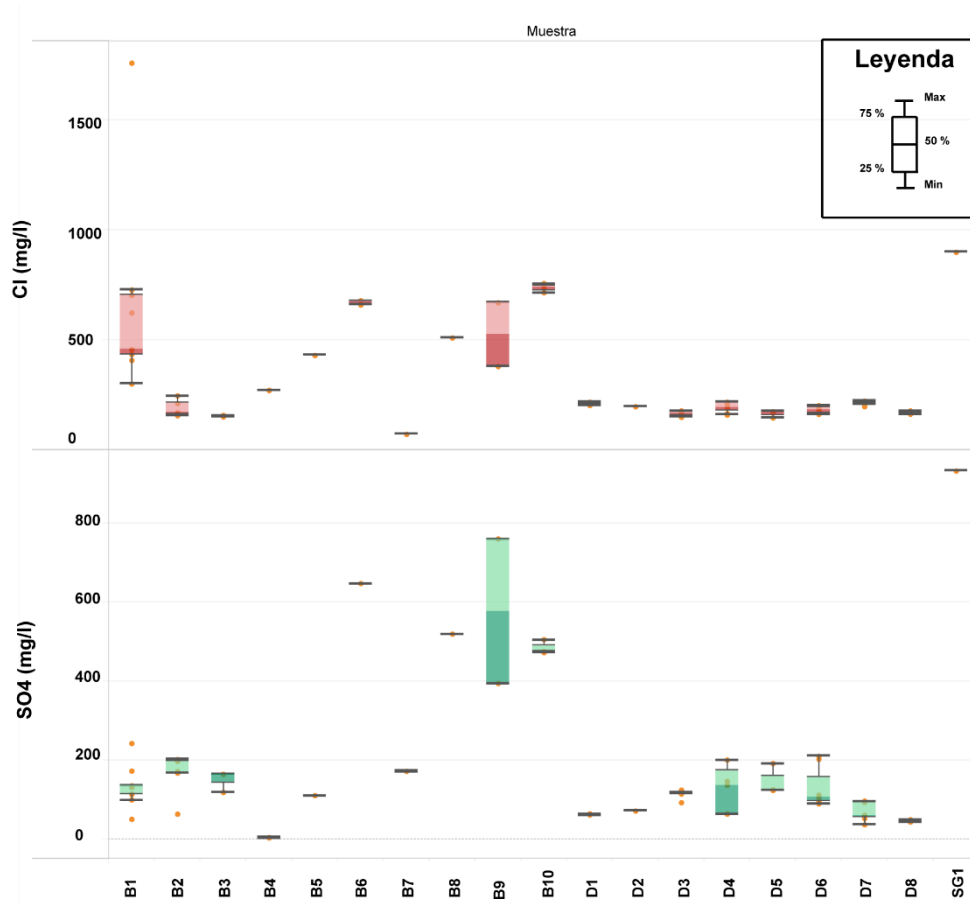
En la Figura 4-8 se observa que los pozos B5, B6, B7 y B9 no presentan registros de conductividad eléctrica (CE), mientras que el pozo B1 presenta la mayor dispersión en los datos, donde el 75% de los datos se encuentran cercanos a los 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Respecto al pH se observa que para la mayoría de los pozos se encuentra en un rango entre 6 y 8, con la excepción del pozo B4.



Fuente: Elaboración Propia.

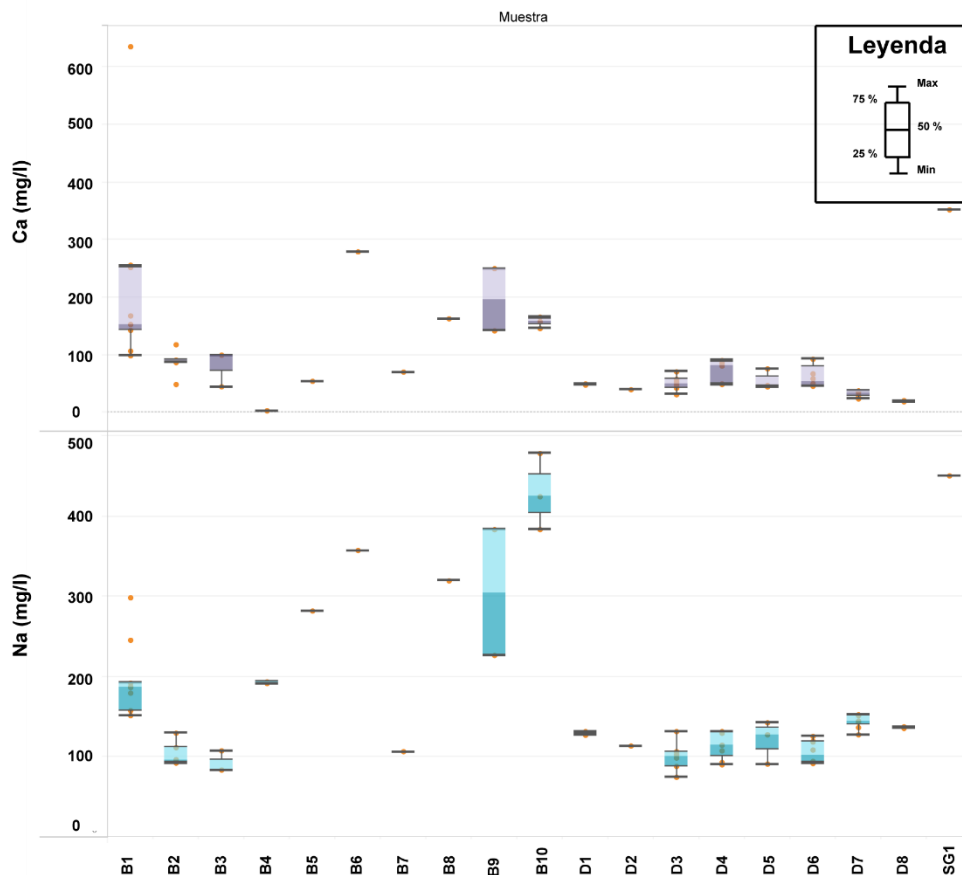
Figura 4-8 Variación temporal de la CE y pH.

En general no se observan mayores diferencias de comportamiento para el Cl , SO_4 , Na y Ca , a excepción de los pozos B1, B9 y D4 los cuales presentan mayores dispersiones (Figura 4-9 y Figura 4-10). Las muestras restantes presentan menores dispersiones donde los registros obtenidos se encuentran en la media de los datos, y algunos otros sólo poseen un registro.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-9 Variación temporal del Cl y SO₄.



Fuente: Elaboración Propia.

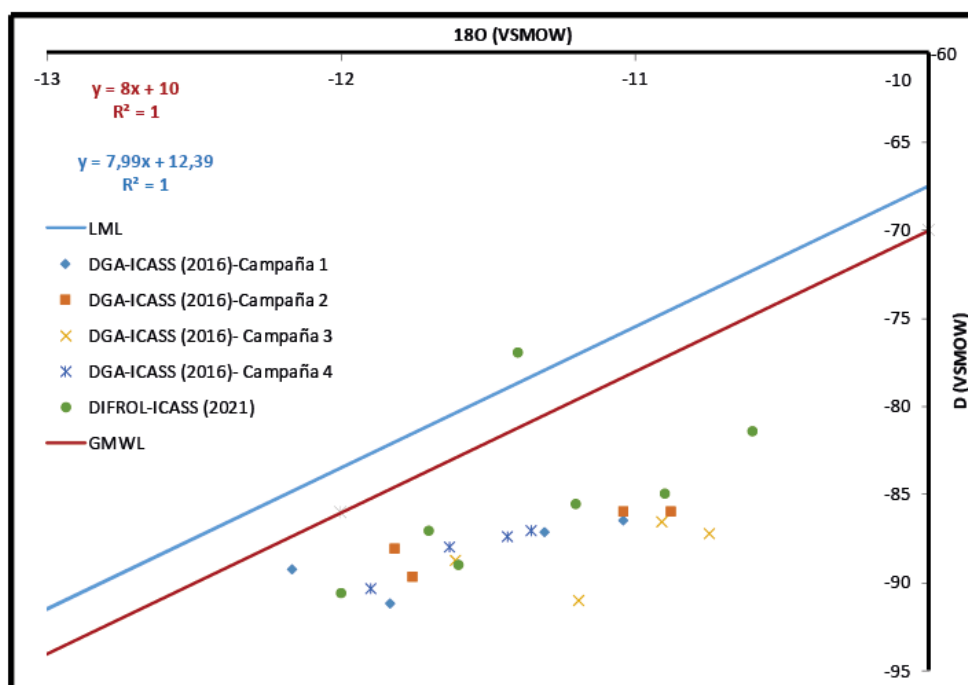
Figura 4-10 Variación temporal del Ca y Na.

Isotopía

Los análisis isotópicos se realizaron a partir de la información obtenida de antecedentes levantados en DGA (2016) y DIFROL-ICASS (2021), las cuales tuvieron por objetivo caracterizar las aguas subterráneas de la parte baja de la cuenca Quebrada de La Concordia. En éstos se analizan isótopos estables de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) y deuterio (δD) en DGA (2016) y DIFROL-ICASS (2021) y datación radioactiva del ^{14}C en DIFROL-ICASS (2021).

En DGA (2016) se realizaron 4 campañas de muestreo distribuidas entre noviembre del 2015 y agosto del 2016 en los pozos D3, D5, D6 y B10 mediante bombeo. Mientras que en DIFROL-ICASS (2021) se realizaron 5 campañas de muestreo comprendidas entre mayo y septiembre del 2021, cuyas muestras fueron recolectadas a través de bombeo para los pozos B1, B8, D2, D3, D6, D7 y D8.

En la Figura 4-11 se muestran los resultados obtenidos de ambos antecedentes comparados con la *línea meteórica mundial (GMWL)* y la *línea meteórica local (LML, Lorca 2011)*. Como se puede observar, la mayoría de las muestras, a excepción de una muestra de DIFROL-ICASS (2021), se encuentran por debajo de la GMWL y la LML, lo que indica un enriquecimiento de isótopos pesados, en otras palabras, el fraccionamiento isotópico refleja que éstas han sufrido procesos de evaporación previa a ser infiltradas. Las aguas del sistema muestran un rango de $\delta^{18}\text{O}$ que varía entre -12.5 y -10.5, mientras que el rango de $\delta^2\text{H}$ oscila entre -92 y -77.



Fuente: Elaboración Propia basado en DGA (2016) y DIFROL-ICASS (2021).

Figura 4-11 Relación $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ de muestras tomadas por bombeo en la cuenca Quebrada de La Concordia.

Por último, con el objetivo de identificar los tiempos de residencia de las aguas subterráneas se ha utilizado la datación radioactiva del ^{14}C en DIFROL-ICASS (2021). En las muestras discretas se presentan tiempos de residencia para las muestras tomadas en un mismo pozo, como ejemplo el pozo D6 y D7, con excepción del pozo B1 que a medida que aumenta la profundidad el tiempo de residencia de la muestra es mayor. En general, las muestras con menor profundidad presentan tiempos de residencia menores con respecto a las muestras con mayor profundidad.

En la Tabla 4-4 se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos para las muestras obtenidas mediante bombeo y mediante método discreto. En ésta se

identifican los rangos de los tiempos de residencia de las aguas tomadas por bombeo, donde la muestra con menor tiempo de residencia corresponde a la muestra B8.1, mientras que la muestra con mayor tiempo de residencia corresponde a la muestra B1.2. Las muestras restantes (D2.1, D3.1, D6.1 y D7.1) presentan un rango medio entre 4.000 y 6.500 años.

Las muestras discretas presentan tiempos de residencia similares para las muestras de un mismo pozo (D6, D7), con excepción del pozo B1 que a medida que aumenta la profundidad el tiempo de residencia de la muestra es mayor. En general, las muestras con menor profundidad presentan tiempos de residencia menores con respecto a las muestras con mayor profundidad.

Tabla 4-4 Resumen resultados de edad aparente de las muestras entregadas por el laboratorio.

Nombre Pozo	Nombre muestra	Profundidad de muestra	Edad aparente
		(m)	años
B1	B1.2 ¹	-	10640
	B1.3 ²	105	9710
	B1.4 ²	82	5630
B3	B3.1 ²	70	8350
B4	B4.2 ²	40	1530
B8	B8.1 ¹	-	1980
D2	D2.1 ¹	-	4730
D3	D3.1 ¹	-	4540
	D3.2 ²	38	5160
D6	D6.1 ¹	-	5290
	D6.2 ²	85	6510
	D6.3 ²	120	6290
D7	D7.1 ¹	-	6500
	D7.2 ²	100	3970
	D7.3 ²	90	4010
D8	D8.3 ²	84	5370

¹ Muestreo por bombeo.

² Muestreo por método discreto. Se presentan las profundidades de toma de muestra.
Fuente: Elaboración propia basado en DIFROL-ICASS (2021).

4.2.4 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación, son un problema constante tanto para las aguas superficiales como subterráneas, donde en la mayoría de los casos las aguas superficiales recargan a las subterráneas, siendo éstas expuestas a contaminaciones cruzadas, por lo cual se debe evaluar las posibles fuentes ya sean puntuales o difusas por medio de mapas de vulnerabilidad.

La cuenca Quebrada de La Concordia no presenta industrialización, ni minería a pequeña o gran escala. La única fuente que podría ser de contaminación, a muy pequeña escala, la cual se debe de confirmar con los estudios pertinentes (de acuerdo al SMA), es el sector agrícola presente en la Pampa Concordia y que presenta cultivos de semilleros, tomate, pepino entre otros.

La otra fuente de contaminación importante que se podría generar, es la salinización de las aguas subterráneas por la intrusión marina. Sin embargo, según el modelo conceptual y los datos existentes, no hay evidencia de una intrusión salina en territorio chileno, aparte de la cuña salina que se puede asociar más con una condición natural que una condición inducida. Distinto es el caso del sector peruano en el que la intrusión marina ya presenta una contaminación importante de las aguas subterráneas del acuífero del Caplina.

4.2.5 Derechos concedidos

El aprovechamiento de las aguas subterráneas en la zona de estudio, se realiza desde los años 70 con las perforaciones realizadas por la CORFO. Al momento se han perforado más de 20 pozos según antecedentes, los cuales algunos han quedado abandonados, tapados, entre otros.

La DGA ha concedido el derecho de extracción de aguas a 9 puntos de extracción, los cuales son manejados principalmente por el INIA (7 pozos, los cuales son arrendados a agricultores), la ZOFRI tiene 1 pozo al igual que la DGAC (Tabla 4-5).

La sumatoria de las extracciones de estos pozos corresponde a un caudal medio de 51 l/s en el año 2021, en algunas ocasiones sube o desciende dependiendo si los agricultores lo requieren para sus plantaciones.

Tabla 4-5 Resumen de las extracciones reales y legales (derechos concedidos) en cuenca Quebrada de La Concordia.

Pozo	Extracciones		Propietario	Caudales Máximos (DAA)		Volúmenes Históricos [m3/año]										
	Inicio	Fin		Instantáneo [l/s]	Volumen Anual (m³)	1974-1990	1991-1997	1998-2015	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
B1	-	-	INIA	0,05	1.577											
B2	2015	-	INIA - Valle Nuevo	9	283.824					89.326	278.495	283.192	278.495	255.488	281.872	277.152
B3	-	-	INIA	3	94.608											
B4	-	-	DGA													
B8	1974	-	Carabineros			7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884	7.884
B10	1998	-	Zofri	15	473.040			39.420	39.420	39.420	39.420	39.420	39.420	39.420	39.420	39.420
D1	-	-	DGAC													
D2	1974	-	DGAC	8	252.288	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024	21.024
D3	2020	-	INIA	6	189.216										63.072	63.072
D4	2014	-	INIA - Corteva	18	567.648				6.537	282.223	340.313	298.903	340.313	332.399	85.419	270.019
D5	2016	2019	INIA - La Pampa	2	63.072						63.072	63.072	63.072	63.072		
D6	2015	-	INIA - Agr,Peq,Agr,AyP	21	662.256					148.221	590.911	495.438	590.911	586.906	628.061	611.759
D7	1991	-	Complejo Fronterizo				31.536	31.536	31.536	31.536	31.536	31.536	31.536	31.536	31.536	31.536
D8	-	-	Zofri													
B1b	2021	-	INIA - Corteva	17,95	566.071									68.668	441.157	339.794
Total				100	3.153.600	28.908	60.444	99.864	106.401	619.634	1.372.655	1.240.469	1.372.655	1.406.397	1.599.445	1.661.660

	Informado en el PAT del INIA (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021)
	Estimado en base a población y valores medios
	Cambio Punto de Captación de pozo B1

Fuente: Modificado de DIFROL-ICASS (2021).

El detalle de los DAA subterráneos otorgados en la cuenca se presenta en la Tabla 4-6, cuyo principal usuario es el INIA.

Tabla 4-6 Detalle de los Derechos de Aprovechamiento de Agua Subterránea otorgados en la cuenca de Quebrada de La Concordia.

Código Expediente DGA	Titular		Otorgado		Fecha Ingreso Expediente	Resolución DGA	
	Pozo	Institución	Caudal (l/s)	Volumen (m³/año)		Nº	Fecha
NR-0101-141	D2	Dirección de Aeronáutica Civil	8	252.288	24-06-1993	201	13-12-1994
ND-0101-144	B10	Zona Franca Iquique	15	473.040	25-08-1993	864	05-12-1997
ND-1501-1556	B1	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	0,05	1.577	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-1501-1556	B2	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	9	283.824	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-1501-1556	B3	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	3	94.608	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-1501-1556	D3	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	6	189.216	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-1501-1556	D4	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	18	567.648	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-1501-1556	D6	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	21	662.256	14-02-2002	2	02-11-2011
ND-101-644	D5	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	2	63.072	02-12-2007	3	03-11-2011
VPC-1501-1556	B1b	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	17,95	566.071	29-03-2019	682	06-12-2019
		Total	100	3.153.600			

4.2.6 Resumen Modelo Conceptual

En el presente ítem se presenta un resumen del modelo conceptual, el que se detalla en el Anexo H.

La cuenca Quebrada de La Concordia comprende una superficie de aproximadamente 697 km². El régimen de precipitación de la cuenca varía por los fenómenos del invierno altiplánico e invierno austral, los cuales generan precipitaciones entre los meses de noviembre-marzo y mayo-septiembre, además en la variación de altura geográfica, donde las precipitaciones son del orden de 100 a 450 mm a alturas sobre los 3.000 m s.n.m y precipitaciones de menos de 10 mm en alturas por debajo de los 2.000 m s.n.m, entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m. se tiene un vacío debido que no existen estaciones pluviométricas en el sector.

Los cursos de agua principales de la cuenca hidrográfica corresponden a la Quebrada de Escritos y la Quebrada de La Concordia. Ambas son arreicas ya que sus cauces están casi todo el año seco.

Las unidades geológicas presentes en la cuenca Quebrada de La Concordia, descendiendo estratigráficamente, se presenta como depósitos no consolidados aluviales, fluviales, eólicos, litorales que van del Holoceno al Mioceno; seguido de depósitos semiconsolidados miocénicos de la Formación El Diablo; continúa con unas secuencias sedimentarias y volcánicas del Mioceno al Oligoceno perteneciendo a la Formación Oxaya y Azapa respectivamente, la parte basal se encontrarían rocas mesozoicas las cuales no se han podido identificar.

En la zona baja de la cuenca Quebrada de La Concordia se presentan cuatro unidades Hidrogeológicas:

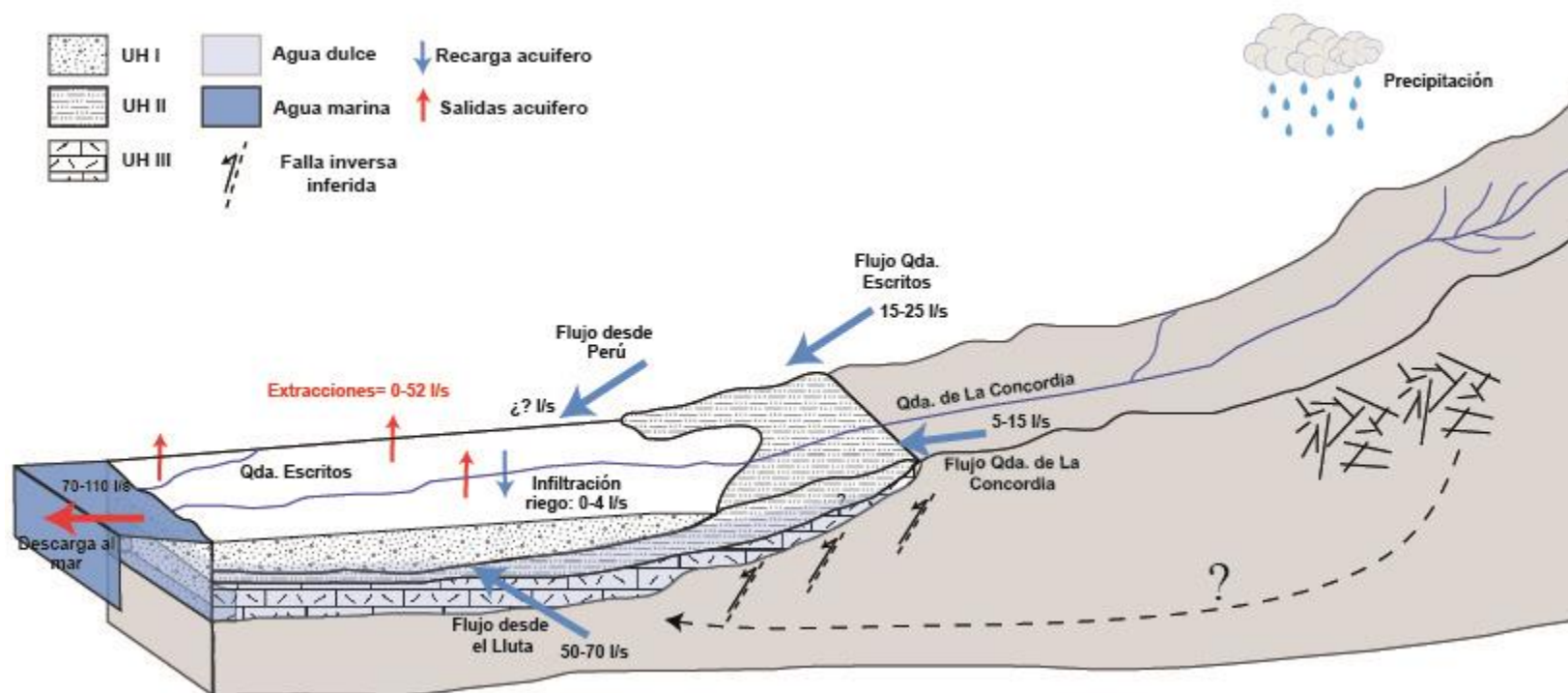
UH I: Importancia hidrogeológica alta-media. Permeabilidades entre 0,2-200 m/d.

UH II: Importancia hidrogeológica media-baja. Permeabilidad 0,01-10 m/d.

UH III: Importancia hidrogeológica media – baja. Permeabilidad 0,001-1 m/d.

UH IV: Basamento impermeable indiferenciado. Permeabilidad <0,01 m/d.

Según se puede observar en la Figura 4-12, el flujo de agua subterránea muestra cuatro zonas preferentes de circulación de agua: al sur de la zona de estudio en el río Lluta se presenta el flujo con dos direcciones, la primera de SE a NW pasando la ruta 5 norte hacia el aeropuerto con acuíferos que le favorecen el flujo subterráneo hacia dicho sector, y la segunda tiene el flujo de NE a SW en dirección a la desembocadura del río Lluta; en la zona media del área de interés se tiene la circulación de agua de E a W, uniéndose con el agua proveniente del Lluta hacia el aeropuerto; y en la zona alta en límite con Perú se tiene una gran incertidumbre, debido a que se tiene muy poca información de los pozos y sus respectivos niveles y extracciones por el lado peruano, aunque relacionando la calidad del agua de los pozos en cercanía a ese sector, se podría relacionar una entrada de flujo subterráneo importante por medio de la Quebrada de Escritos; y finalmente en la zona media en límite con Perú existiría un flujo reconocido desde Caplina, sin embargo, aún es incierta la dirección y volumen de éste.



Fuente: Modificado de DIFROL-ICASS, 2021.

Figura 4-12 Esquema Modelo Conceptual, cuenca Quebrada de La Concordia

5 BALANCE HÍDRICO

5.1 Modelo de simulación

En esta sección se describirán el modelo de simulación desarrollado en la zona de estudio de la cuenca Quebrada de La Concordia. Este modelo corresponde a un modelo de flujo de agua subterránea, ya que no existe escorrentía superficial continua en la cuenca.

El primer modelo hidrogeológico desarrollado corresponde al realizado por la DGA el año 2011 en el estudio "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero de La Concordia" (DGA, 2011b). Este estudio analizó el acuífero La Concordia situado en la plataforma costera que se desarrolla entre la desembocadura del río Lluta por el Sur y el límite con el Perú al Norte, cubriendo una superficie total de 45 km² con un espesor aproximado de 400 m.

Este estudio tuvo como objetivo el análisis del acuífero para generar una representación del comportamiento del sector acuífero de interés en términos de los flujos y también analizar la situación relacionada con el equilibrio agua dulce y agua salada en el borde costero, para ello se estimó la potencialidad de largo plazo del sector acuífero y se identificaron los factores de riesgo que pueden limitar su aprovechamiento.

Dentro de los aspectos relevantes del estudio de la DGA (2011b), cabe destacar que el modelo hidrogeológico corresponde a un modelo estacionario, ya que se consideró que las condiciones representadas al momento de realizar el estudio correspondían a una condición casi sin explotación.

La conceptualización del acuífero consideró una transmisividad promedio de 400 m²/día, un gradiente hidráulico de 2,4 ‰ y un ancho de sección de 9.000 m, obteniendo un flujo subterráneo de 100 l/s.

Las principales conclusiones de DGA (2011b) establecieron que, a la fecha de realización del estudio, en base a los derechos solicitados, se producirán descensos significativos, y aunque de no gran magnitud, estos podrían tener incidencia en la situación de equilibrio entre el agua dulce y salada, por lo que dada las condiciones morfológicas del acuífero la respuesta del sistema para sustentar en el largo plazo su aprovechamiento dependerá de la localización de los pozos. Se recomendó por tanto ubicar los pozos alineados en

forma relativamente equidistante y paralelos a la línea de la costa, de esta forma el modelo generado podría alcanzar 105 l/s de exploración.

En el año 2021 se realizó un segundo estudio llamado "*Understanding the Caplina/Concordia aquifer system through, hydrogeological model (Atacama Desert: Perú/Chile)*" (Narváez, 2021), cuyo objetivo fue comprender el comportamiento del acuífero Caplina/Concordia y los efectos de la sobreexplotación. Para ello se generó un esquema hidrogeológico 3D y se realizó un modelo de flujo de agua subterránea utilizando el software FEFLOW.

El estudio realizado por Narváez (2021), abarcó un área mayor a la que comprende este PEGH, ya que cubrió tanto el acuífero Caplina ubicado en el sector peruano, cuya área es de 4.400 km² y el sector chileno correspondiente a la quebrada de La Concordia cuya área es 697 km². El modelo de elementos finitos desarrollado en FEFLOW, consideró un período estacionario en 2001 y un período transiente entre 2002 y 2019, con periodos de tiempo a escala trimestral.

Los resultados del trabajo de Narváez (2021), mostraron que entre 2002 y 2020, el aumento de la cuña marina y la disminución del nivel promedio de las aguas subterráneas fueron de 216,29 hm³/año y 6,62 m respectivamente. Además, se simuló 8 escenarios de gestión en base a diferentes propuestas de las autoridades, utilizando en conjunto proyecciones climáticas potenciales (CMIP6) para el período 2020-2040. Estos resultados mostraron que la disminución de niveles se mantendrá entre 4,51 y 7,53 m mientras que la cuña marina sería entre 1120,20 hm³/año y 1175,47 hm³/año. En éste se concluyó que independiente del escenario escogido, el sistema acuífero seguirá siendo insostenible durante los próximos 20 años.

5.2 Modelación Numérica

5.2.1 Introducción

En el presente estudio se ha realizado un modelo de flujo de agua subterránea que comprende la parte baja de cuenca Quebrada de La Concordia y que se ha desarrollado con el código MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988), el cual es un código de dominio público de reconocimiento internacional por su utilidad en resolver la ecuación de flujo de agua subterránea en tres dimensiones por el método de diferencias finitas. En específico se utilizó MODFLOW-USG Transport (Panday, S. et al, 2013), el cual puede

simular el flujo con densidad variable comparable con el código SEAWAT. Para ello se usó el software Groundwater Vistas versión 8 para ayudar con el pre- y post-procesamiento de los archivos de MODFLOW.

En la Figura 5-1 se muestra el dominio de modelación, que se desarrolla en la parte baja de la cuenca y que comprende aproximadamente 73 km², limitando al sur con la cuenca del río Lluta, al norte con la frontera del Perú, al oeste con el Océano Pacífico y al este donde se empieza a cerrar el valle de la cuenca Quebrada de La Concordia, a unos 2 km del pozo B8.

Si bien la cuenca es más amplia que el área de modelación, se consideró apropiado desarrollar un modelo subterráneo sólo en esta zona, debido a que el modelo que se implementó no considera un modelo de flujo superficial, y porque se buscó modelar la zona que representa la principal capacidad acuífera dentro de la cuenca. Además, en este lugar se presenta la totalidad de las extracciones, un aspecto de interés para analizar en la modelación. Por último, para poder elaborar un modelo que sea representativo del comportamiento acuífero es necesario contar con niveles piezométricos que permitan calibrar el modelo MODFLOW, y como se puede observar en la Figura 4-5, los pozos que cuentan con registros de medición sólo se ubican en la parte baja de la cuenca, donde existe información hidrogeológica adecuada para que en esta zona se pueda desarrollar un modelo confiable para la gestión hídrica.

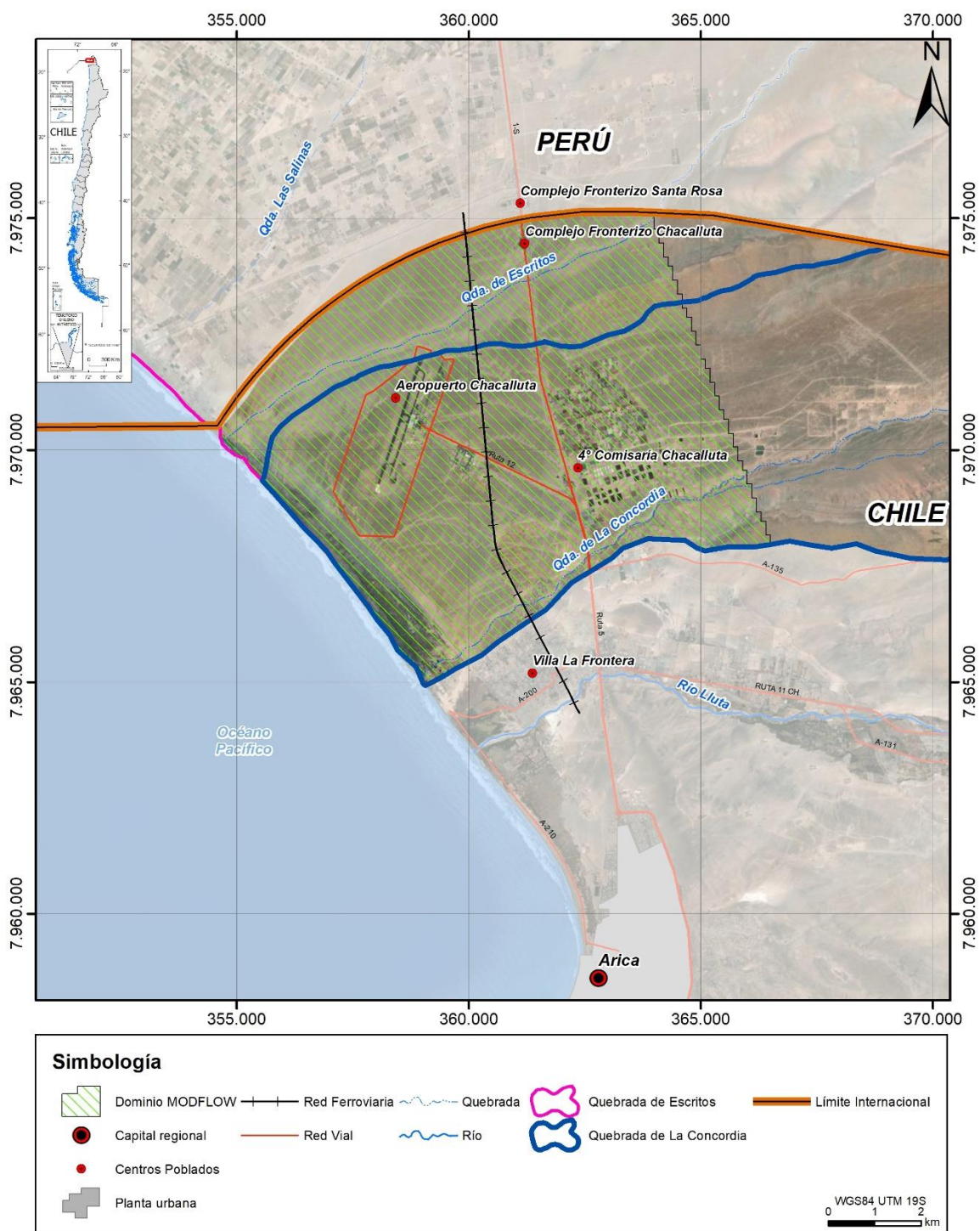
5.2.2 Objetivo modelación numérica

El principal objetivo del modelo numérico MODFLOW fue desarrollar una herramienta de modelación del sistema de agua subterránea en la parte baja de la cuenca Quebrada de La Concordia. Esta herramienta debe permitir representar las condiciones históricas del acuífero reproduciendo fenómenos como la variación de la recarga, bombeos, variación de niveles, e intrusión salina.

5.2.3 Discretización espacial

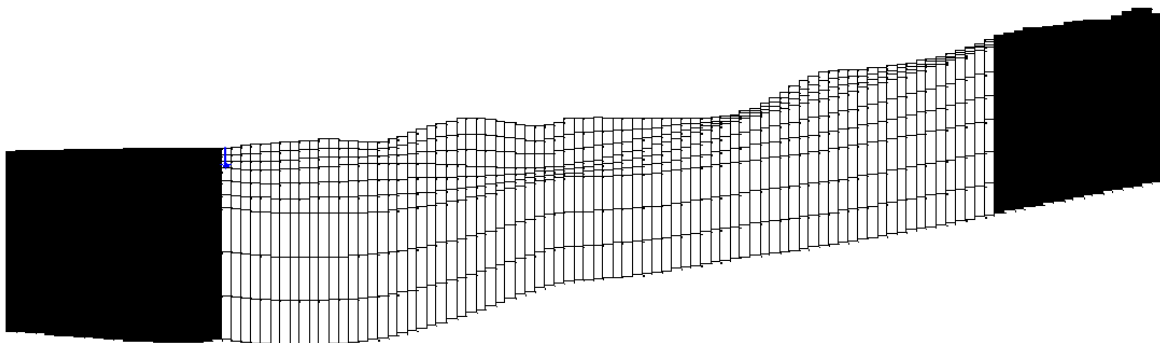
El área abarca un total de 73 km², limitando al sur con la desembocadura del río Lluta, al norte con la frontera del Perú, al oeste con el Océano Pacífico y al este donde se empieza a cerrar el valle de La Concordia. A nivel numérico el dominio ha quedado representado por 102 filas y 119 columnas, con un total de 7.267 celdas activas por capa. Se consideraron 9 capas, siendo en total 65.403 celdas activas. El tamaño de las

celdas es uniforme, con dimensiones de 100 x 100 m, cuya distribución se puede observar en la Figura 5-1, donde se presentan las celdas activas consideradas en el modelo. En la Figura 5-2 se presenta una sección transversal del modelo correspondiente a la fila 24, y en esta figura se pueden observar las 9 capas consideradas en el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-1 Dominio de Modelación MODFLOW en la cuenca Quebrada de La Concordia.



Fuente: Elaboración propia en Groundwater Vistas.

Figura 5-2 Sección transversal del modelo MODFLOW en fila 24

5.2.4 Discretización temporal

El modelo contempla dos periodos o regímenes - permanente y transiente. En cuanto al modelo del régimen permanente, en este caso llamaremos “pseudo-permanente”, ya que MODFLOW USG con el paquete de flujo de densidad variable (DDF por siglas en inglés Density Driven Flow) no permite la implementación de un estado estacionario, por lo que se optó por generar un modelo transiente con un solo periodo de estrés de una longitud de un millón de días, con el objetivo de generar un comportamiento similar al de un modelo en estado permanente. Este estado considera las condiciones piezométricas del año 1966 o anterior, en cual aún no se registraban extracciones importantes.

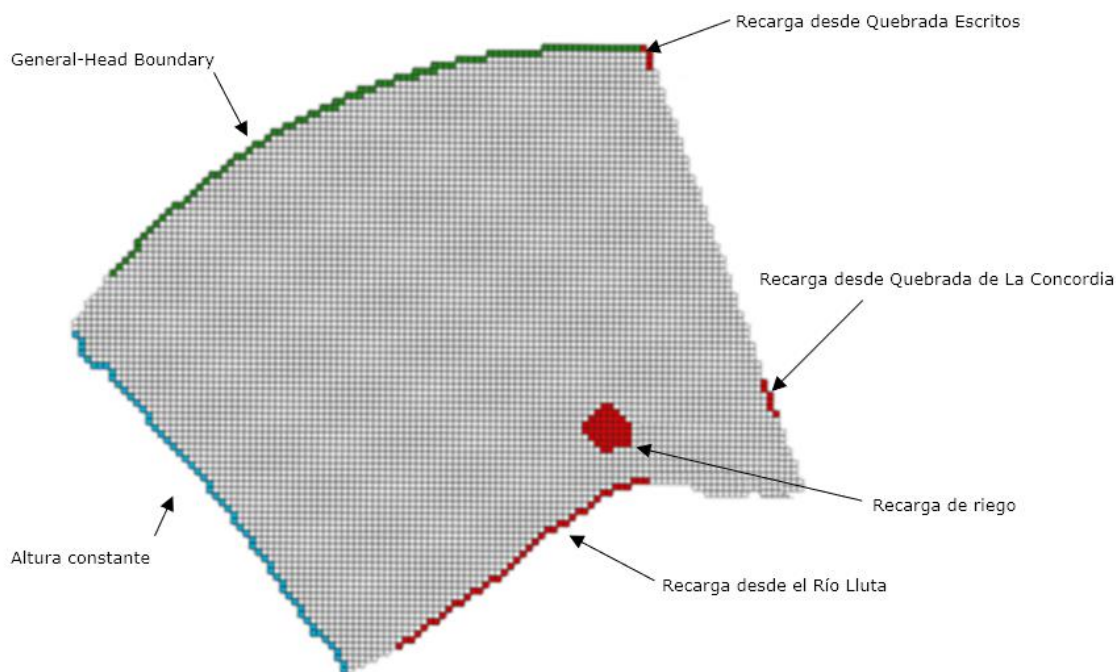
El modelo transiente considera un periodo de simulación desde el año 1967 a 2021 para el régimen de modelación transiente, con una escala temporal mensual.

5.2.5 Condición inicial

El modelo estacionario consideró las condiciones del acuífero en el año 1966. En este año aún no existían extracciones en el acuífero, así como se estimó que tampoco existían extracciones importantes en el sector peruano, las que podrían tener incidencia en los niveles del sector chileno.

5.2.6 Condiciones de borde

Las condiciones de borde consideradas se resumen en la Figura 5-3 que contempla recargas laterales de la Quebrada Los escritos, Quebrada de La Concordia, desde el río Lluta, recarga de riego, altura constante (constand head) en el borde costera y la condición General Head Boundary el borde fronterizo con Perú. En la zona limítrofe con Perú se utilizó una condición de borde General Head Boundary (GHB), debido a la incerteza asociada a la de la dirección y volúmenes del flujo de agua subterránea entre el sector del acuífero chileno y peruano.



Fuente: Elaboración propia en Groundwater Vistas.

Figura 5-3 Condiciones de borde.

a) Recargas Laterales

Las recargas laterales contempladas consideran las recargas desde la Quebrada de Escritos y el sector de la cuenca Caplina Alta en Perú, Quebrada de la Concordia y desde el río Lluta. Estas recargas fueron implementadas como condiciones de borde de tipo Well y de forma distribuida en más de una celda, tal como se observa en la Figura 5-3. Las salinidades asignadas a las aguas de recarga fueron asignados en base a datos de salinidad de pozos en cada sector o estimados en ausencia de datos duros.

Tabla 5-1 Caudales y concentraciones de recargas laterales.

Recarga lateral	Caudal	Concentración
	[l/s]	[Kg/m ³]
Quebrada de Escritos/Caplina Alta	20	0,5
Quebrada de la Concordia	8	0,5
Río Lluta	69,7	3,5

Fuente: Elaboración propia

b) Recarga Retorno de Riego

Las recargas laterales contempladas en el modelo de régimen transiente también tuvieron en consideración una recarga por retorno de riego, ya que desde el año 2016 el proyecto agrícola Pampa Concordia de la Cooperativa de Servicios Agrícolas de Pampa Concordia y la Asociación de Pequeños Agricultores de Arica y Parinacota han permitido la producción y comercialización de hortalizas en la desembocadura de la quebrada de La Concordia, totalizando una superficie de 350 ha. Se consideró como retorno de agua de riego la fracción restante de la eficiencia del sistema de riego utilizado, que para el caso del proyecto agrícola Pampa Concordia, ha sido principalmente por goteo, cuya eficiencia alcanza un 90%.

La presente recarga fue distribuida espacialmente en el sector señalado en la Figura 5-3, cuyo total corresponde a 4 l/s.

c) Extracciones subterráneas

En la Tabla 5-2 se presentan los caudales ingresados en el modelo como extracciones mediante elementos de tipo Well (pozo).

Tabla 5-2. Caudales de extracción históricos estimados en el acuífero de la Concordia.

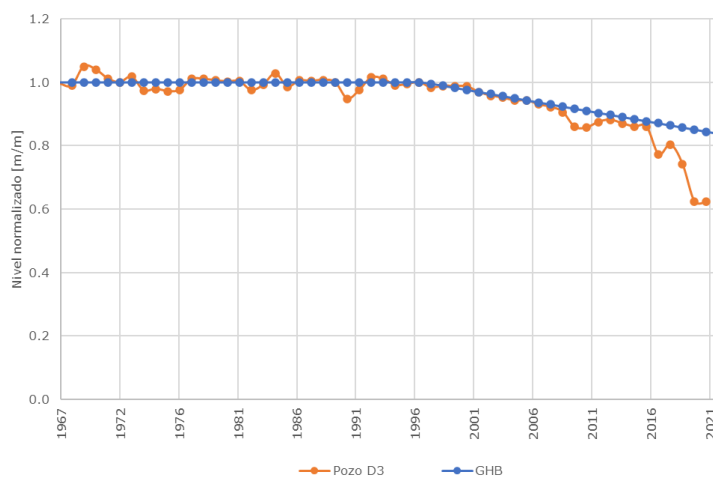
Pozo	UTM 19S		Propietario	Derecho de aprovechamiento [l/s]	Caudal extraído [l/s]										
	X	Y			1974-1990	1991-1997	1998-2015	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
B1	355564	7970793	INIA	0,05											
B2	355240	7971327	INIA - Valle Nuevo	9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	8,8	9,0	8,8	8,1	8,9	8,8
B3	355624	7971077	INIA	3				0,0	0,0						
B4	355222	7971364	DGA					0,0	0,0						
B8	362283	7969244	Carabineros		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
B10	359964	7969638	Zofri	15	0,0	0,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
D1	358455	7973364	DGAC					0,0	0,0						
D2	358454	7973334	DGAC	8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
D3	356840	7973009	INIA	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0
D4	356231	7972032	INIA - Corteva	18	0,0	0,0	0,0	0,2	8,9	10,8	9,5	10,8	10,5	2,7	8,6
D5	357680	7972899	INIA - La Pampa	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0	0,0
D6	356774	7972362	INIA - Agr,Peq,Agr,AyP	21	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	18,7	15,7	18,7	18,6	19,9	19,4
D7	361294	7974972	Complejo Fronterizo		0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
D8	360155	7973241	Zofri					0,0	0,0						
B1b	360912	7973849	INIA - Corteva	17,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	14,0	10,8
Total				100	0,9	1,9	3,2	3,4	19,6	43,5	39,3	43,5	44,6	50,7	52,7

d) General Head Boundary

En la zona limítrofe con Perú se utilizó una condición de borde General Head Boundary (GHB), debido a la incerteza de la dirección del flujo de agua subterránea entre el sector del acuífero chileno y peruano. Esta incerteza no se ha podido dilucidar, porque la cota de anillo de los pozos del sector peruano no cuentan con mediciones precisas que permitan determinar el nivel estático de pozos cercanos a la frontera, como por ejemplo para el pozo ID-210 definido por Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA), se presentan cotas de anillo con diferencias de 20 m, según el informe que se revise, lo que no permite definir con certeza la dirección de flujo.

Esta condición de borde considera una cabecera límite, que es la cabecera de la masa de agua externa (u otra característica), y que está conectada a la celda de GHB. El agua entra y sale de la celda que contiene la celda de GHB a una velocidad de flujo proporcional a la diferencia entre la altura límite y la altura de la celda. La Conductancia es el factor que relaciona la diferencia de altura con la tasa de flujo.

Para definir el nivel (head), se tomó como referencia los niveles observados en el pozo D3 que se ubicaba en una celda límite. Estos niveles fueron normalizados por el nivel inicial medido en el pozo, y en el que posteriormente se aplicó esta razón de variación de niveles a cada celda del borde considerando como nivel de inicio el resultado de los niveles del modelo pseudo-permanente. Además, desde 2016 se mantuvo la razón de variación de niveles, con el objetivo de separar la variación niveles producto de las extracciones en el sector chileno. La tendencia aplicada como GHB se puede observar en la Figura 5-4.



Fuente: Elaboración propia
Figura 5-4. Variación temporal del GHB.

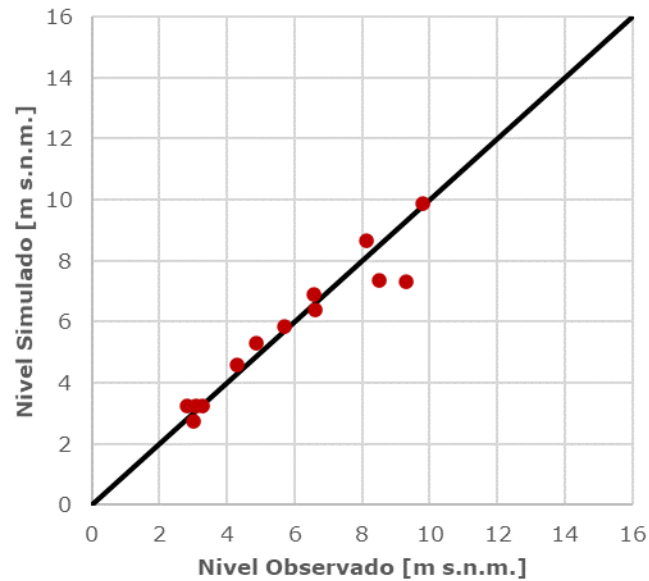
e) Borde Costero

Para el borde del mar se implementó una condición borde de Nivel Constante (Constant head), cuya condición se utiliza para fijar el valor de carga en las celdas de cuadrícula seleccionadas, independientemente de las condiciones del sistema en las celdas de cuadrícula circundantes, actuando así como una fuente infinita de agua que ingresa al sistema o como un sumidero infinito para el agua que sale del sistema. El valor de nivel o carga asignado fue de 0 m s.n.m., considerando el nivel del mar. Además, se le asignó una concentración de 35 Kg/m³, considerada como valor estándar de sólidos totales disueltos en el agua de mar.

5.3 Calibración y Resultados Periodo Histórico

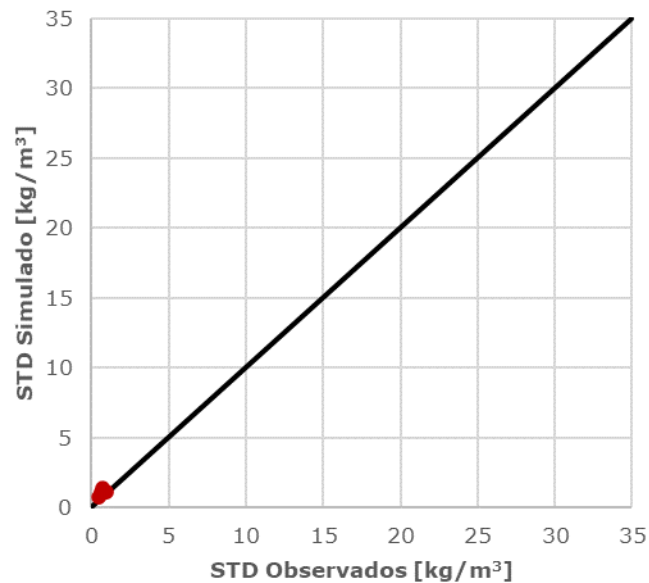
5.3.1 Régimen permanente

En la Figura 5-5 se puede observar el ajuste obtenido en la modelación, mientras que en la Tabla 5-3 presentan los estadísticos obtenidos en el proceso de calibración, en donde si bien el error RMS normalizado supera levemente el 10%, en términos generales los valores de los niveles simulados son aceptables respecto a los observados, lo cual permite también que los valores de las concentraciones sean en ordenes de magnitud similares a los valores observados, tal como se puede ver en la Figura 5-6 que presenta el ajuste obtenido para los valores de concentración.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-5 Ajuste de niveles obtenido en la calibración de régimen pseudo-permanente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6 Ajuste de los valores de concentración en régimen pseudo-permanente.

Tabla 5-3 Estadística de calibración de niveles para la condición pseudo-permanente.

Estadística	Valor
Media de residuos	0,10
Media residual absoluta [m]	0,47
Residual de desviación estándar [m]	0,69
Suma de residuos cuadrados [m ²]	6,26
RMS Error [m]	0,69
Residuo mínimo [m]	-0,54
Residuo máximo [m]	1,97
Número de observaciones	13
Rango de observaciones [m]	6,98
Residual de desviación estándar normalizado [-]	9,8%
Media residual absoluta normalizado [-]	7%
RMS Error normalizado [-]	9,9%
Media de residuo normalizado [-]	1%

Fuente: Elaboración propia.

El balance hídrico del modelo pseudo permanente se presenta en la Tabla 5-4, donde es posible observar que la descarga al mar podría llegar a los 106,9 l/s.

Tabla 5-4. Balance hídrico en pseudo-permanente.

Entradas [l/s]	
Recarga Quebrada de Escritos/Caplina	20,0
Recarga Quebrada de la Concordia	8,0
Recarga desde río Lluta	69,7
General Head Boundary	9,2
Salidas [l/s]	
Salida al Mar	-106,9

Los niveles piezométricos simulados se pueden observar en la Figura 5-7. Así mismo, la distribución de salinidad se muestra en planta en la Figura 5-8 y en perfil en la Figura 5-9. En esta última se puede observar la distribución de salinidad, así como la cuña salina que se forma adyacente al borde costero.

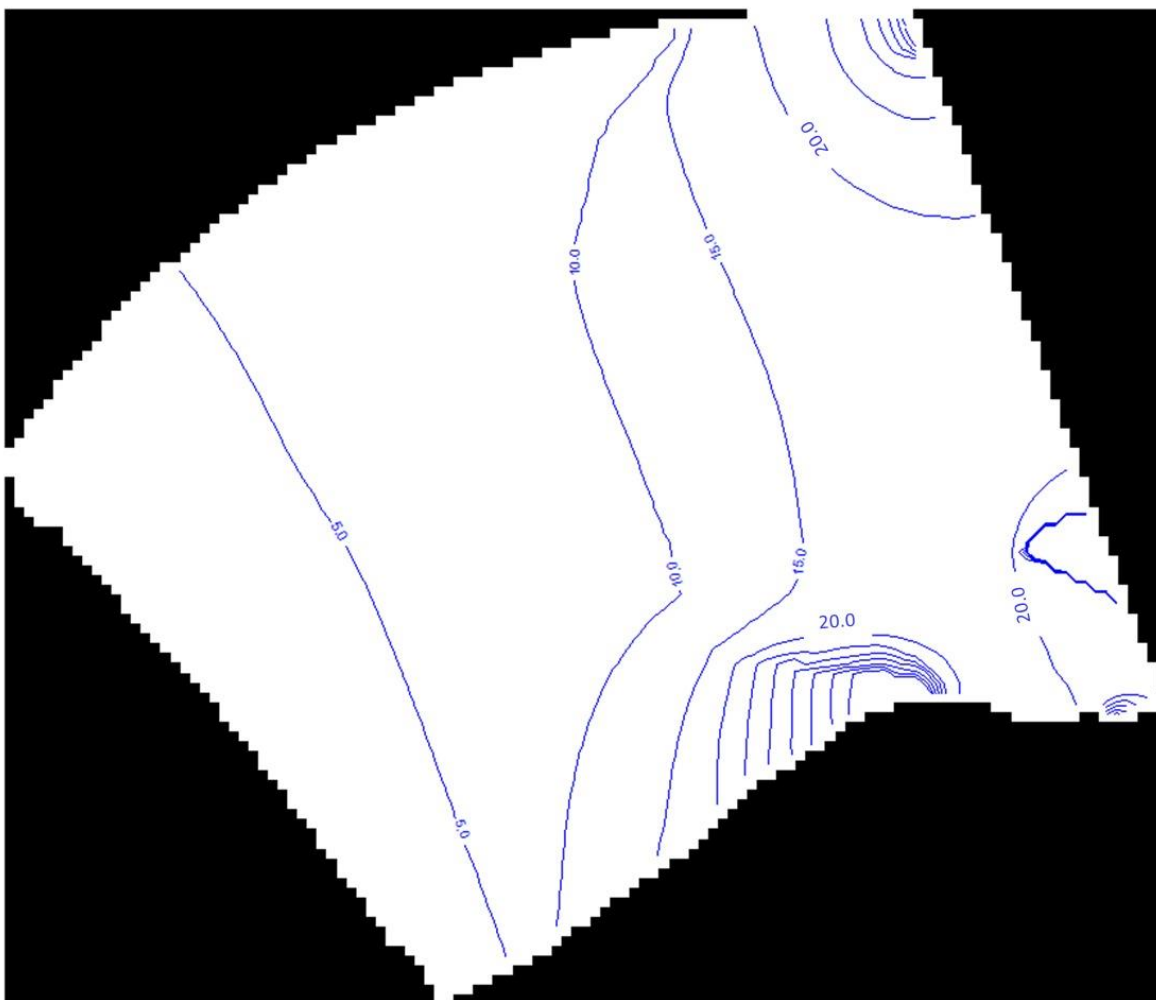


Figura 5-7. Niveles piezométricos [m s.n.m] en modelo pseudo-permanente.

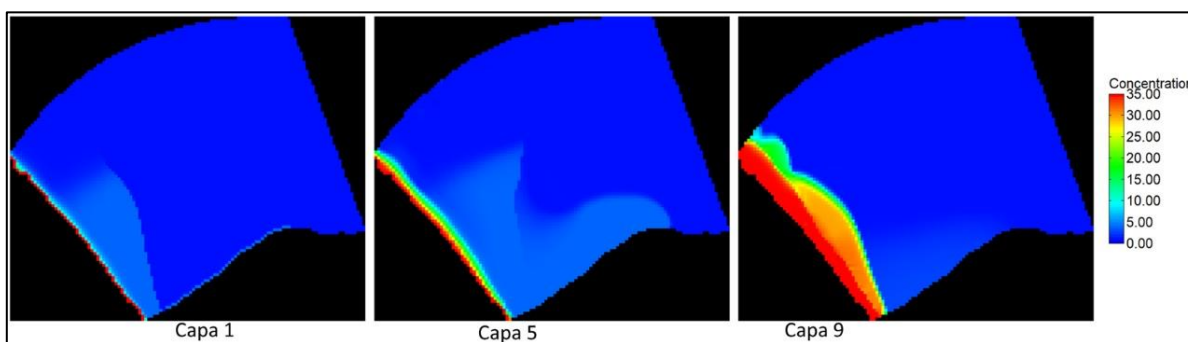


Figura 5-8. Distribución de salinidad (kg/m^3) en el modelo pseudo-permanente.

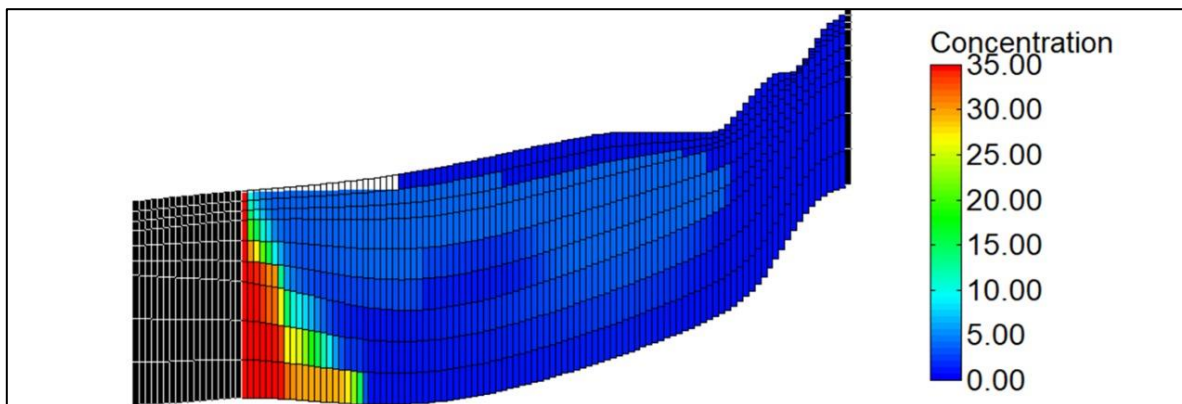
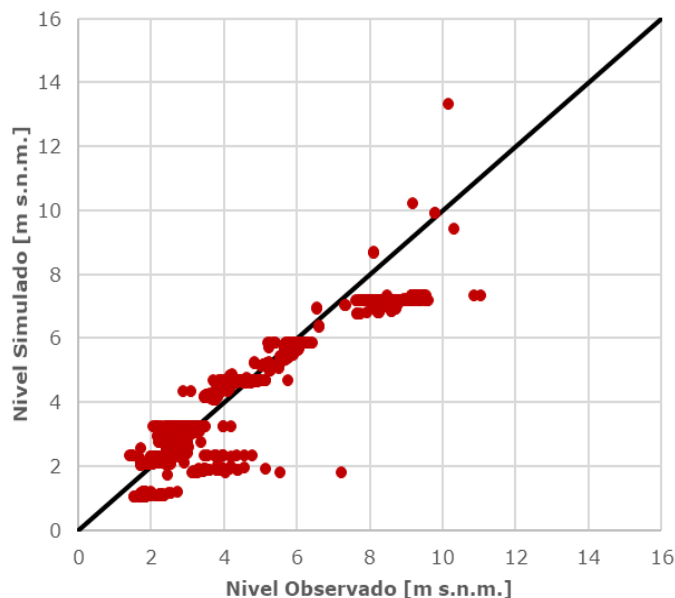


Figura 5-9. Distribución de salinidad (kg/m^3) en vista de perfil, fila 68 del modelo pseudo-permanente.

5.3.2 Régimen transiente

Los resultados de la calibración en régimen transiente se pueden ver en la Figura 5-10, la cual muestra el ajuste obtenido en la modelación, mientras que en la Tabla 5-5 se encuentran los valores estadísticos obtenidos en el proceso de calibración. Cabe destacar el error RMS normalizado de 7%, menor al 10% usualmente considerado como un valor límite aceptable de calibración. En cuanto los errores observados en la Figura 5-10, se estima que la mayoría de error es debido a que los datos de niveles muestran una cierta variabilidad temporal, lo más probable debido a variaciones temporales en las tasas y tiempos de bombeo. No existen registros históricos de bombeos y los bombeos históricos impuestos en el modelo son simplemente estimaciones del promedio anual. Por el otro lado las observaciones de niveles son puntuales y por lo tanto son sujeto a variaciones en escalas de tiempo más corto que los periodos de estrés contemplado en el modelo numérico. Sin embargo, la calibración logró reproducir los niveles observados y las tendencias de largo plazo en la gran mayoría de pozos. En las figuras Figura 5-13 Hidrogramas para los pozos B1, B1-B, B2, B3, B4 y B8.



Fuente: Elaboración propia en Groundwater Vistas

Figura 5–10 Ajuste de niveles obtenidos en la calibración de régimen transiente.

Tabla 5-5 Estadísticas de calibración para el régimen transiente

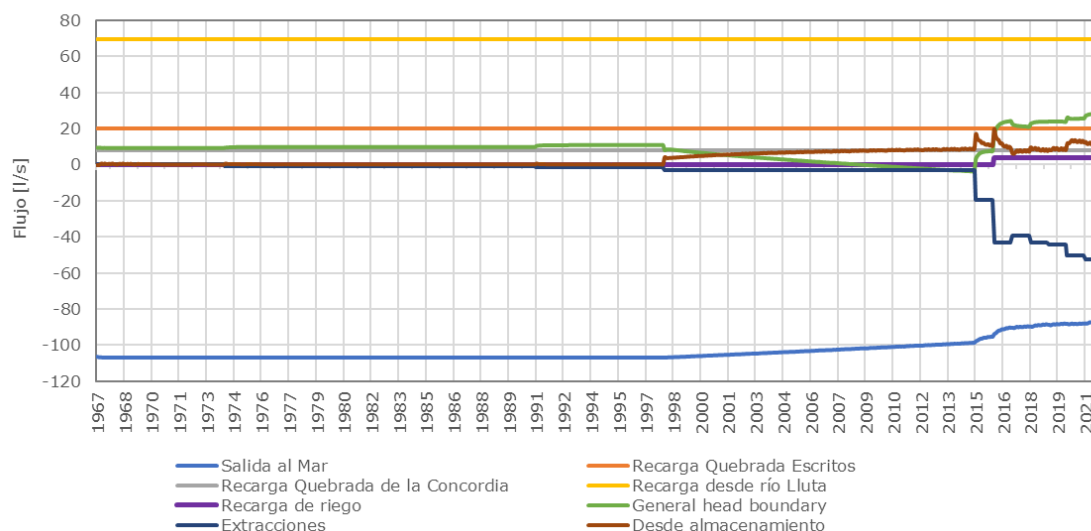
Estadística	Valor
Media de residuos [m]	0.1
Media residual absoluta [m]	0.5
Residual de desviación estándar [m]	0.7
Suma de residuos cuadrados [m ²]	1021.1
RMS Error [m]	0.7
Residuo mínimo [m]	-3.1
Residuo máximo [m]	5.4
Número de observaciones	1969
Rango de observaciones [m]	9.63
Residual de desviación estándar normalizado [-]	7%
Media residual absoluta normalizado [-]	5%
RMS Error normalizado [-]	7%
Media de residuo normalizado [-]	1%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el balance hídrico para el dominio descrito en la sección 5.2.3 que considera un área de 73 km², una elevación máxima de 313 m s.n.m. y profundidad máxima de -361 m s.n.m. Los resultados del balance hídrico muestran como los principales elementos de variación en periodo histórico son las extracciones subterráneas en Chile (se aumentan), la salida del agua al mar GHB (se disminuye), el almacenamiento del acuífero (se disminuye) y las entradas y salidas al GHB (variable, las entradas se aumentan), cuya evolución histórica se puede ver en la Figura 5-11,

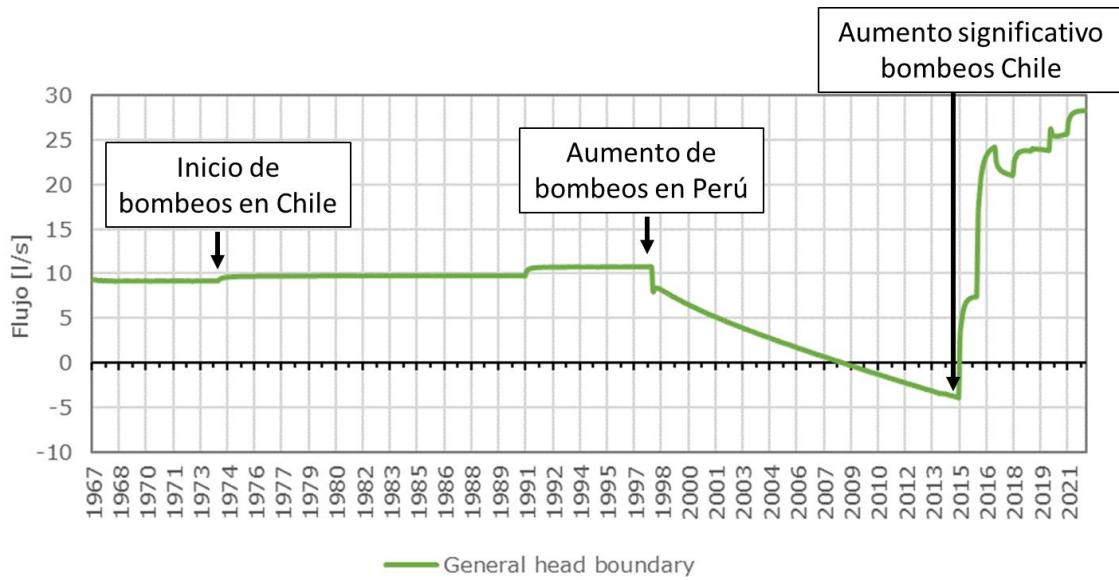
mientras que el resumen de valores se puede ver en la Tabla 5-6, donde se presentan los valores promedios en el periodo histórico (1967-2021), así como el valor final de simulación (2021) de cada componente del balance hídrico.

Se puede apreciar el comportamiento del GHB en la Figura 5-12 donde se demuestra su evolución temporal anotando la relación a cambios en bombeos en Chile y Perú. Inicialmente el GHB produce un flujo de entrada a Chile, luego con aumentos en los bombeos en Perú se cambia el sentido de flujo y produce una salida hacia Perú, y finalmente con el aumento de bombeos en Chile se devuelve el sentido de flujo con una entrada hacia Chile.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11 Evolución del balance hídrico en el régimen transiente.



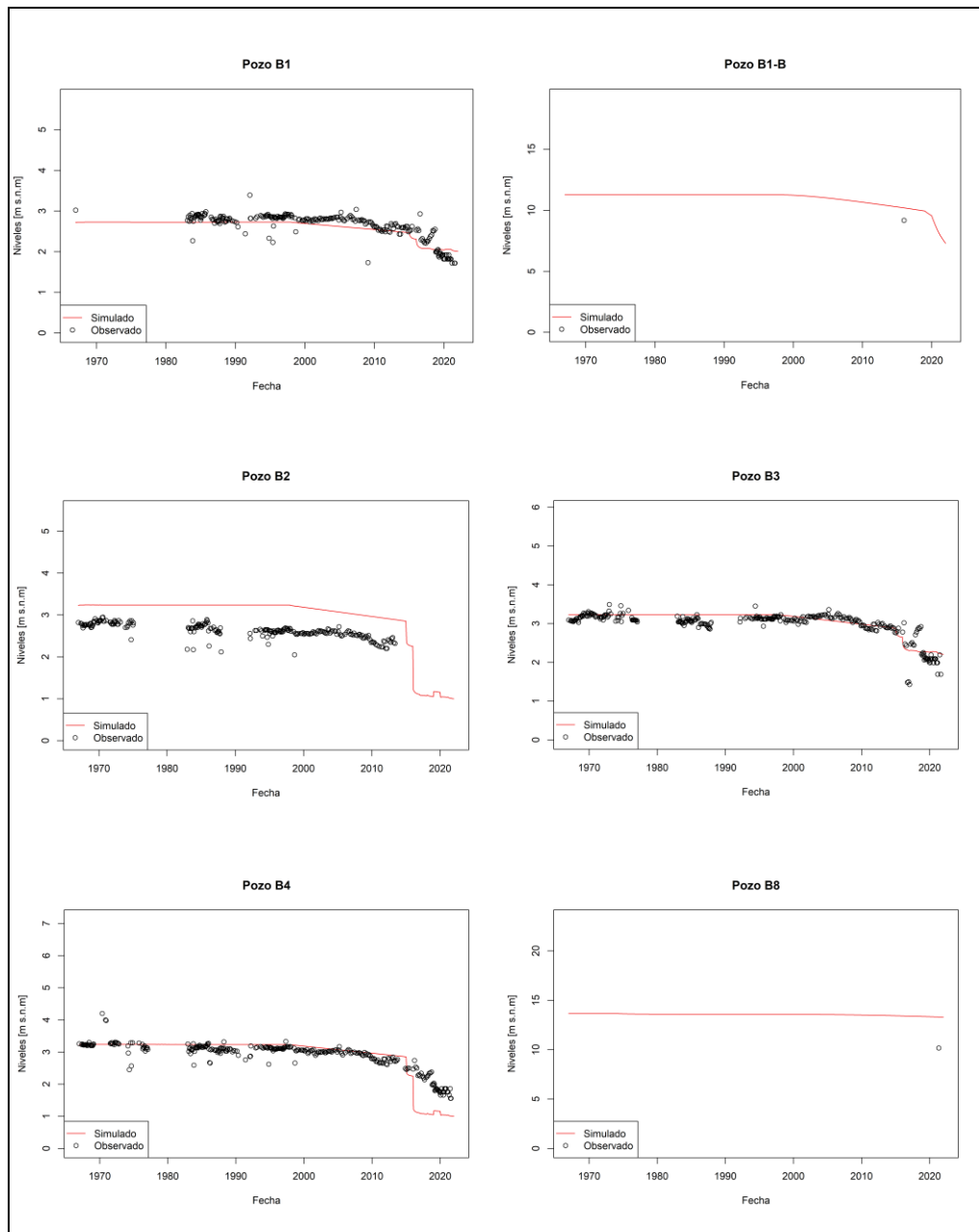
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12 Evolución General Head**Tabla 5-6 Resumen balance régimen transiente, promedio 1967-2021 y periodo final 2021.**

Variables	Histórico	
	1967-2021	2021
Entradas [l/s]		
Recarga de Quebrada de Escritos/Caplina	20,0	20,0
Recarga de Quebrada de la Concordia	8,0	8,0
Recarga desde río Lluta	69,7	69,7
Recarga Riego	0,4	4
General Head Boundary	8,8	28,3
Desde almacenamiento	3,5	10,3
Salidas [l/s]		
Extracciones	-6,6	-52,4
Salida al Mar	-103,5	-86,8
Balance (Entradas – Salidas) [l/s]	0,3	1,1

Fuente: Elaboración propia.

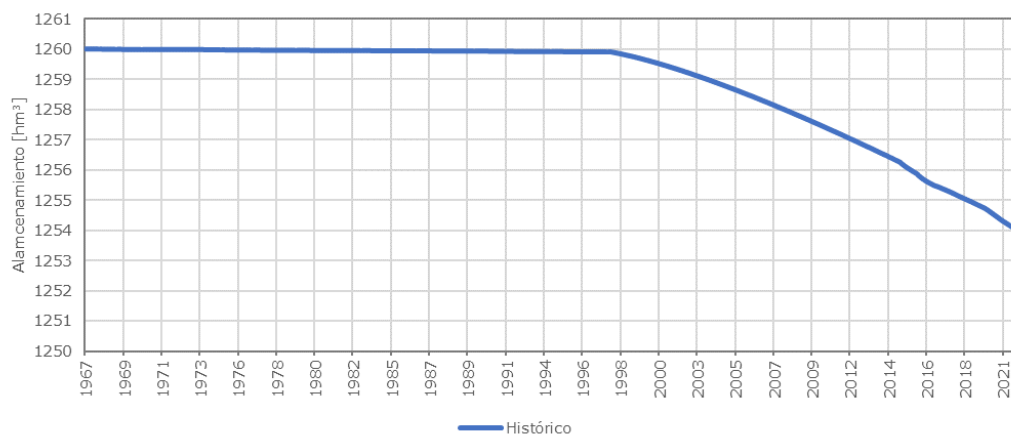
En la Figura 5-13 se pueden ver los hidrogramas de niveles en algunos de los pozos que fueron calibrados en el modelo, en donde es posible ver un descenso leve al principio del 2000 y un descenso más fuerte posterior al 2016, cuando comienzan a extraer más fuertemente los pozos. Todos los hidrogramas, incluso hidrogramas de concentración de salinidad observada vs modelada, se presentan en el Anexo H.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13 Hidrogramas para los pozos B1, B1-B, B2, B3, B4 y B8.

En la Figura 5-14 se presenta de manera gráfica la evolución del almacenamiento en el periodo histórico de simulación. En este gráfico se observa como en el periodo final de simulación el modelo pierde volumen almacenado producto principalmente por el aumento de los bombeos en la zona de estudio. En un inicio (1967) el almacenamiento estimado fue de 1260 hm³ y al final del periodo de simulación fue de 1254 hm³, lo cual representa una disminución del 0,48% del volumen almacenado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14 Almacenamiento acuífero en régimen transiente (1967-2021).

5.4 Análisis de Sensibilidad

5.4.1 Escenarios futuros

A continuación, se describe cada uno de los escenarios futuros implementados en el modelo, los cuales consideran un escenario base y dos escenarios de gestión, los cuales se resumen la Tabla 5-7.

Tabla 5-7 Resumen escenarios futuros de simulación

Escenarios futuros	Resumen
Escenario BAU	Considera los efectos del cambio climático y demanda constante.
Escenario N°1	Considera los efectos del cambio climático y considera la demanda adicional del Pozo APR Pampa Concordia.
Escenario N°2	Considera los efectos del cambio climático y se aumentó la demanda hasta el total de derechos de aprovechamiento otorgados.

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Escenario BAU

Este escenario busca evaluar los impactos del cambio climático en una condición "business as usual" (BAU), i.e., en un escenario futuro donde todas las condiciones relacionadas a la actividad humana continúan en condiciones similares a aquellas de finales del período histórico, mientras si se considera la existencia de cambio climático a través del uso de modelos climáticos. Los modelos de cambio climático considerados se pueden revisar en la Sección 2.2.5 o en el Anexo H sección 5.4.

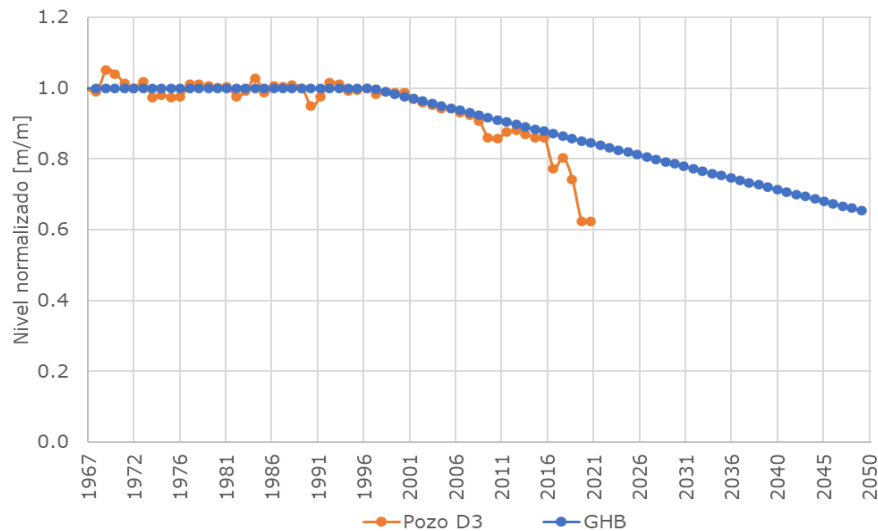
Esta variación de precipitaciones se traspasó de manera directa a las recargas laterales de las Quebrada de Escritos/Caplina, Quebrada de la Concordia, y desde el río Lluta de esta forma en el escenario BAU se considera una disminución de estas recargas como se muestra en la Tabla 5-8.

Tabla 5-8 Recargas laterales futuras.

Recargas laterales [l/s]	Histórico	Futuro
	1967-2021	2022-2050
Recarga de Quebrada de Escritos/Caplina	20,0	18,5
Recarga de Quebrada de la Concordia	8,0	6,4
Recarga desde río Lluta	69,7	64,5

Fuente: Elaboración propia.

La proyección de la condición General-Head Boundary hacia el futuro se hizo considerando la pendiente del periodo final de simulación del periodo histórico, cuya pendiente se mantuvo de manera lineal hacia el futuro, tal como se observa en la Figura 5-15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-15 Proyección General Head Boundary

5.4.1 Escenario de Gestión N°1

El escenario de gestión N°1 (ESC 1) consideró la incorporación de 1 pozo de agua potable rural en el sector de Pampa Concordia, cuyas coordenadas se encuentran en la Tabla 5-9. El caudal de bombeo se obtuvo considerando la población proyectada y la dotación de consumo, en donde el detalle de factores considerados se presenta en la Tabla 5-10, y que considera finalmente un caudal de bombeo de 3,3 l/s.

Tabla 5-9 Ubicación Pozo SSR Pampa Concordia.

Pozo SSR Pampa Concordia	Coordenadas	
	X	Y
	363.505	7.971.989

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-10 Estimación caudal de bombeo pozo SSR en la Pampa de la Concordia

Factor del día de máximo consumo (fdmc)	1,5
Dotación de consumo (l/hab/día)	150
Pérdidas (%)	20%
Dotación de Producción (l/hab/día)	188
Población (hab)	760
Caudales (l/s)	
Caudal Medio Diario (qmd)	1,65
Caudal Máximo Diario (fdmc x qmd)	2,47
Caudal de Bombeo (Qmaxd x 24/18)	3,30

Fuente: Elaboración propia.

5.4.1 Escenario de Gestión N°2

El escenario de gestión N°2 (ESC 2) considera el aumento de las extracciones en los pozos hasta el total de derechos de aprovechamiento otorgados, correspondiente a un caudal de 100 l/s. En la Tabla 5-11 se presentan los caudales a simular por cada pozo.

Tabla 5-11 Caudales simulados en el escenario N 2 para el periodo 2022-2050

Pozo	UTM 19S		Propietario	Caudal extraído [l/s]
	X	Y		2022-2050
B2	355240	7971327	INIA - Valle Nuevo	9,0
B3	355624	7971077	INIA	3,0
B8	362283	7969244	Carabineros	0,25
B10	359964	7969638	Zofri	15,0
D2	358454	7973334	DGAC	8,0
D3	356840	7973009	INIA	6,0
D4	356231	7972032	INIA - Corteva	18,0
D5	357680	7972899	INIA - La Pampa	2,0
D6	356774	7972362	INIA - Agr.Peq.Agr.AyP	21,0
D7	361294	7974972	Complejo Fronterizo	1,0
B1b	360912	7973849	INIA - Corteva	18,0
Total				101,25

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Resultados Escenarios Futuros

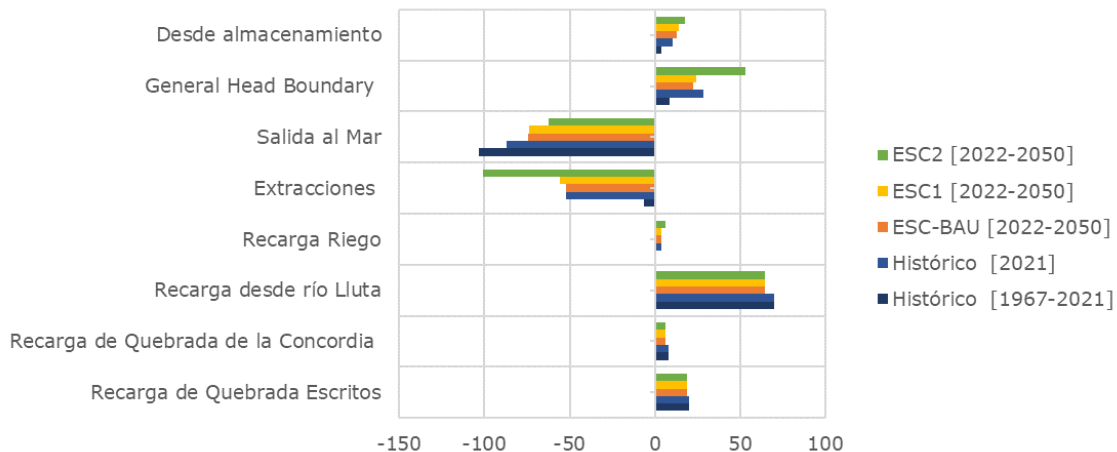
En esta sección se presentan los balances hídricos para los tres escenarios hídricos futuros implementados. En la Tabla 5-12, se muestran los valores del balance para cada escenario futuro de simulación, tanto para el valor promedio como para el periodo final de simulación y en la Figura 5-16 es posible observar la gráfica con los valores resultantes.

Los resultados muestran que las principales variables que cambian entre cada escenario son en primer lugar el borde General Head Boundary, el cual aumenta en un 134% entre el Escenario BAU y Escenario N°2 de mayores extracciones. En segundo lugar, la salida al mar que disminuye un 47% al comparar los mismos dos escenarios previamente. Y en tercer lugar el aporte desde el acuífero que pasa de perder 12,8 l/s en promedio en el Escenario BAU a 17,5 l/s en el Escenario N°2, lo que equivale a un aumento de 136%.

Tabla 5-12 Balance hídrico de los escenarios futuros BAU y escenarios de gestión 1 y 2. Valores promedio de los periodos de simulación y valores finales de los periodos de simulación.

Variables	Histórico		ESC-BAU		ESC-1		ESC-2	
	1967-2021	2021	2022-2050	2050	2022-2050	2050	2022-2050	2050
Entradas [l/s]								
Recarga de Quebrada de Escritos/Caplina	20,0	20,0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Recarga de Quebrada de La Concordia	8,0	8,0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Recarga desde río Lluta	69,7	69,7	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5
Recarga Riego	0,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0	6,0
General Head Boundary	8,8	28,3	22,7	14,9	24,2	16,9	53,2	46,8
Desde almacenamiento	3,5	10,3	12,8	10,8	14,1	8,0	17,5	11,5
Salidas [l/s]								
Extracciones	-6,6	-52,4	-52,4	-52,4	-55,7	-52,4	-101,0	-101,0
Salida al Mar	-103,5	-86,8	-74,6	-65,0	-74,1	-64,1	-62,4	-50,4
Balance (Entradas – Salidas) [l/s]	0,3	1,1	1,8	1,6	1,8	1,7	2,6	2,2

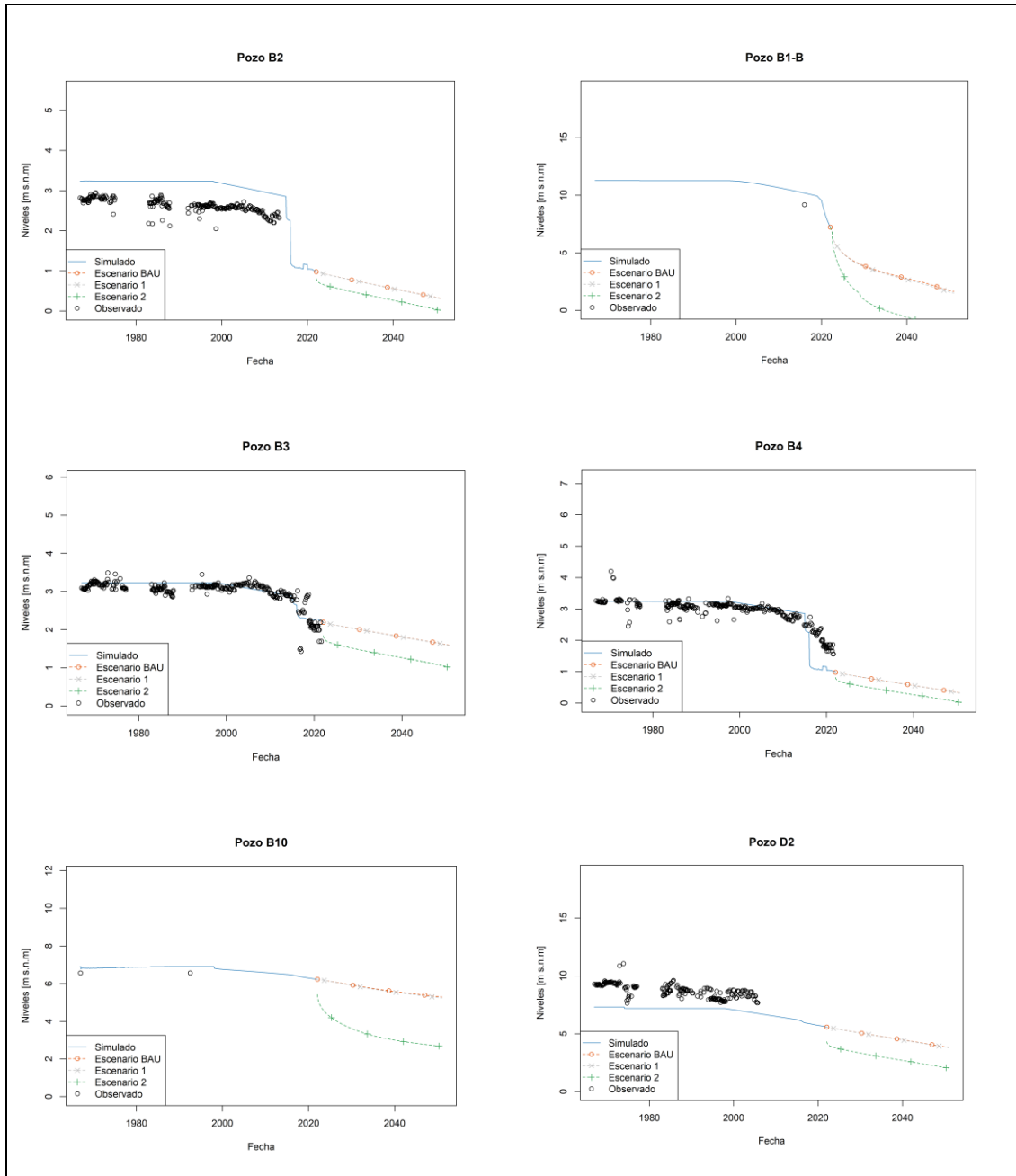
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

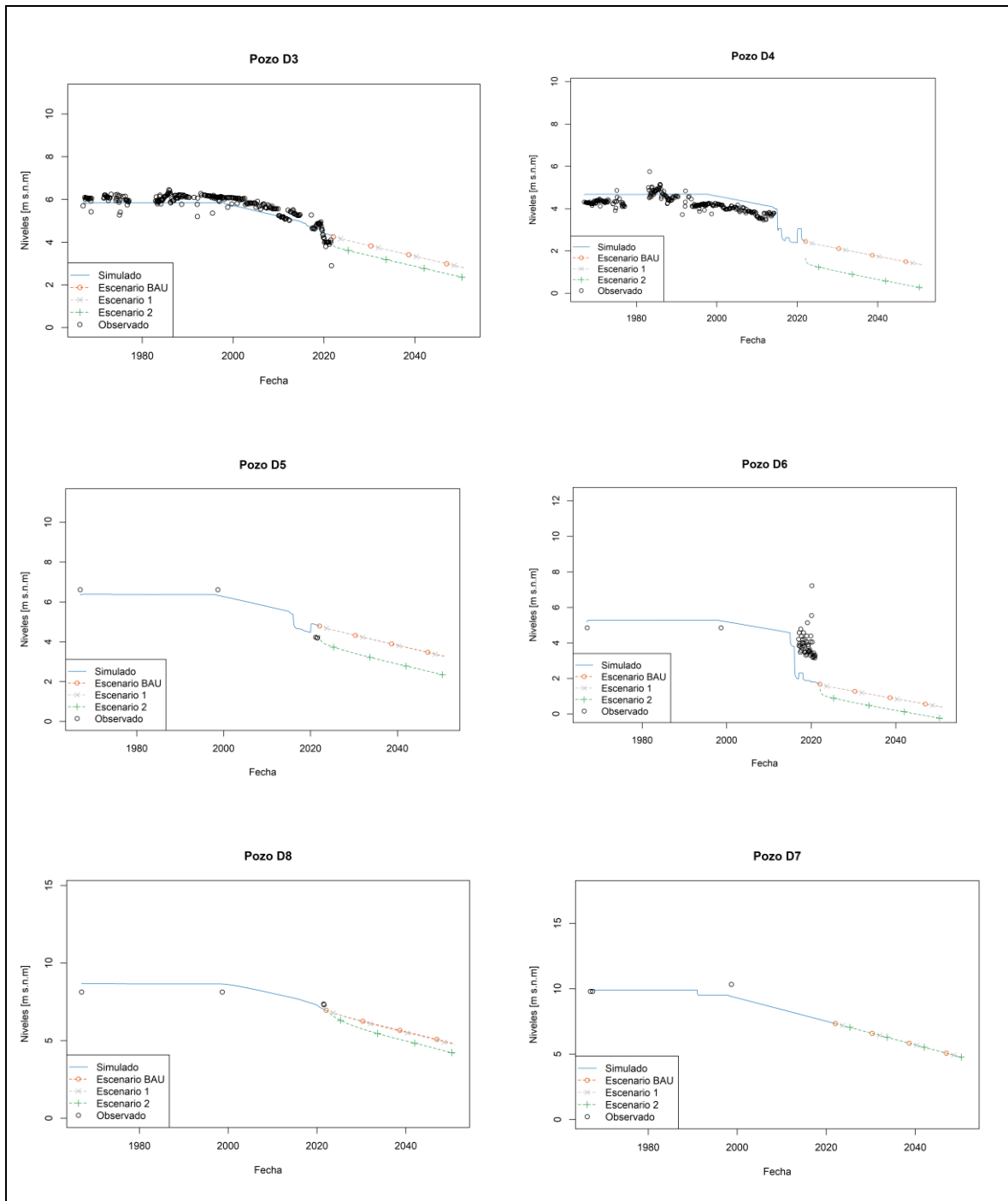
Figura 5-16 Gráfico resumen del Balance hídrico para cada escenario de simulación

En la Figura 5-17 y la Figura 5-18 se muestra una comparación de los niveles para cada escenario de simulación. Se observa como el escenario N°2 produce los principales descensos de niveles, como por ejemplo se puede observar el nivel en el pozo B1-B baja más 7 metros.



Fuente: Elaboración propia.

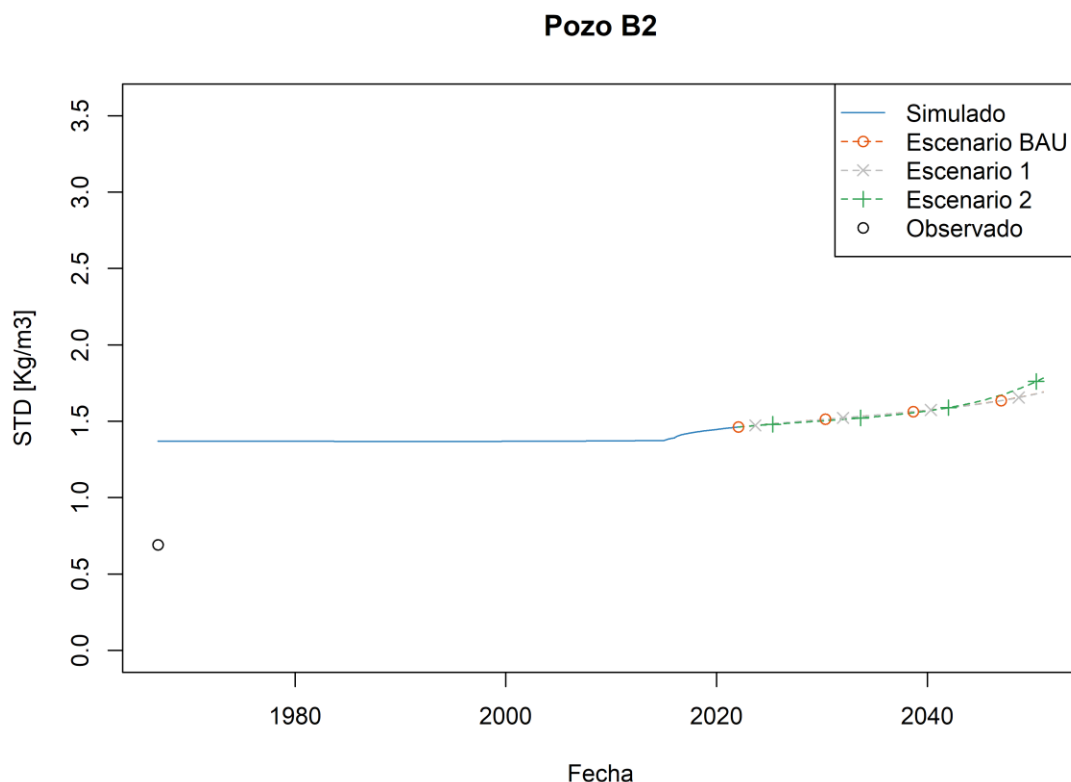
Figura 5-17 Hidrograma pozos B2, B1-B, B3, B4, B10, D2.



Fuente: Elaboración propia.

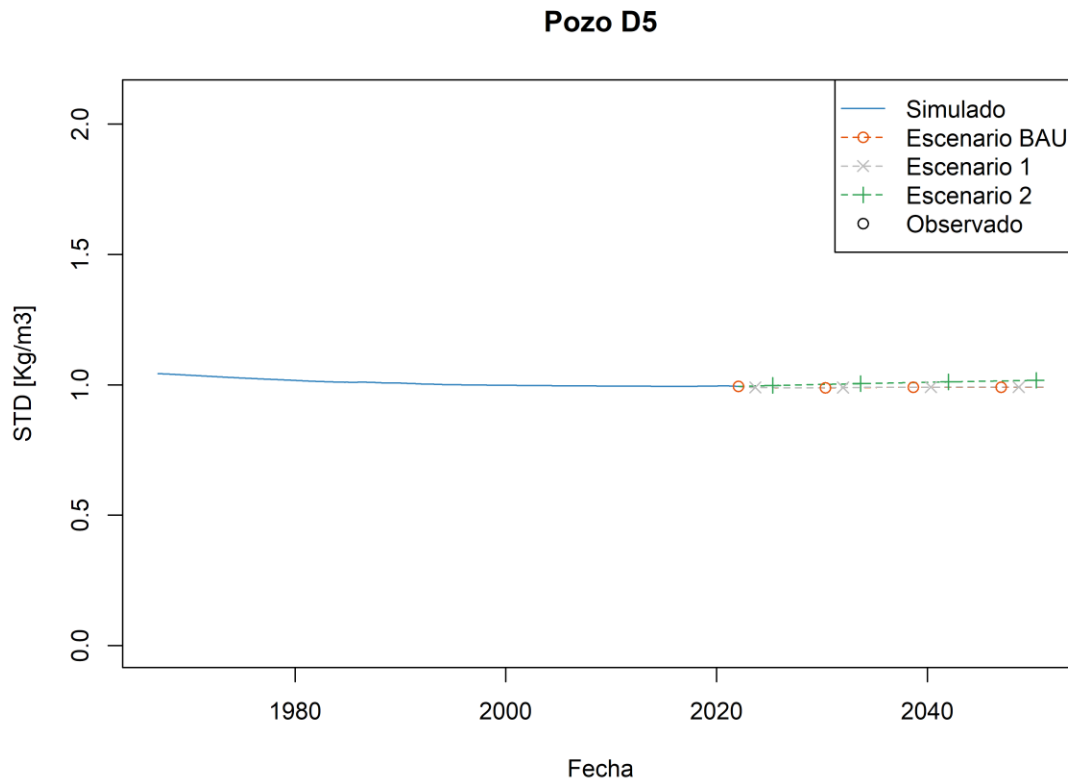
Figura 5-18 Hidrograma Pozos D3, D4, D5, D6, D8, D7.

La evolución de concentraciones en los escenarios futuros se observa en algunos casos un aumento de las concentraciones principalmente en el escenario N°2 como es el caso del Pozo B2 que se encuentra cercano a la costa, y con una profundidad del intervalo final de -122 m s.n.m, este pasa de valores de 1,46 kg/m³ de solidos disueltos en el periodo histórico a 1,78 kg/m³ en el final del periodo de simulación del escenario N°2 es decir un aumento del 22%. Mientras que por otro lado pozos como el Pozo D5 que se ubican más lejanos a la costa y de menor profundidad presentan menores cambios en las concentraciones como se observa en la Figura 5-20. Además, en la sección 5.6 se presenta un análisis de la evolución de concentraciones en cada pozo en donde se observa que solo el pozo B2 presenta un aumento de las concentraciones mayor al 5% en el futuro.



Fuente: Elaboración propia.

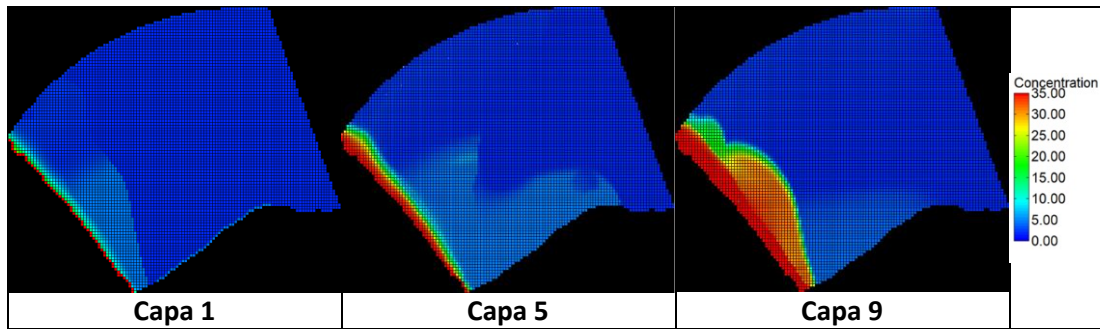
Figura 5-19 Evolución de concentración en pozo B2.



Fuente: Elaboración propia.

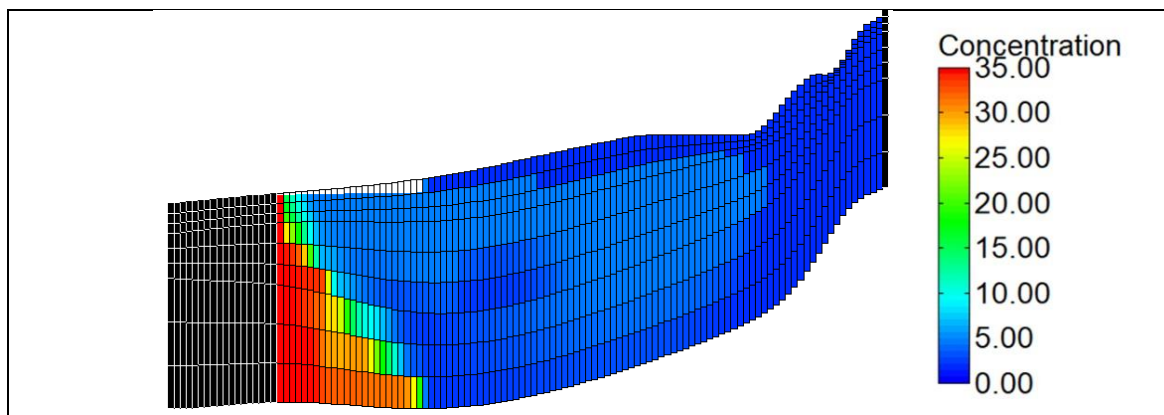
Figura 5-20 Evolución de concentración en pozo D5.

También se presenta la variación y distribución espacial de concentraciones para el escenario BAU en la Figura 5-21 y el perfil de concentraciones en Figura 5-22. Para el escenario N°1 en las Figura 5-23 y Figura 5-24, y para el escenario N°2 en las Figura 5-25 y Figura 5-26. En estas figuras se observa que ha mayor profundidad las concentraciones ingresan en mayor medida hacia al interior del modelo. Además, se observa que entre el escenario BAU y Escenario 2 y también respecto al respecto al escenario histórico se observa un aumento de las concentraciones en el escenario con mayores extracciones en la zona noroeste del modelo.



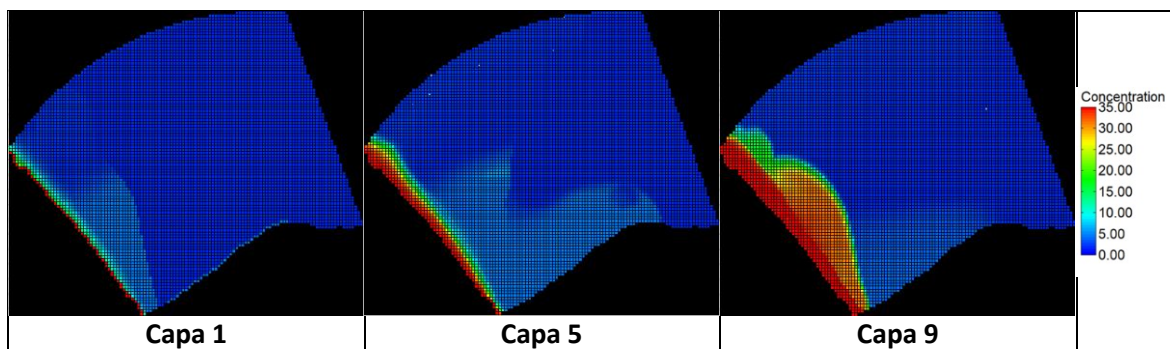
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5–21 Distribución de salinidad (kg/m^3) en el modelo escenario BAU (2050)



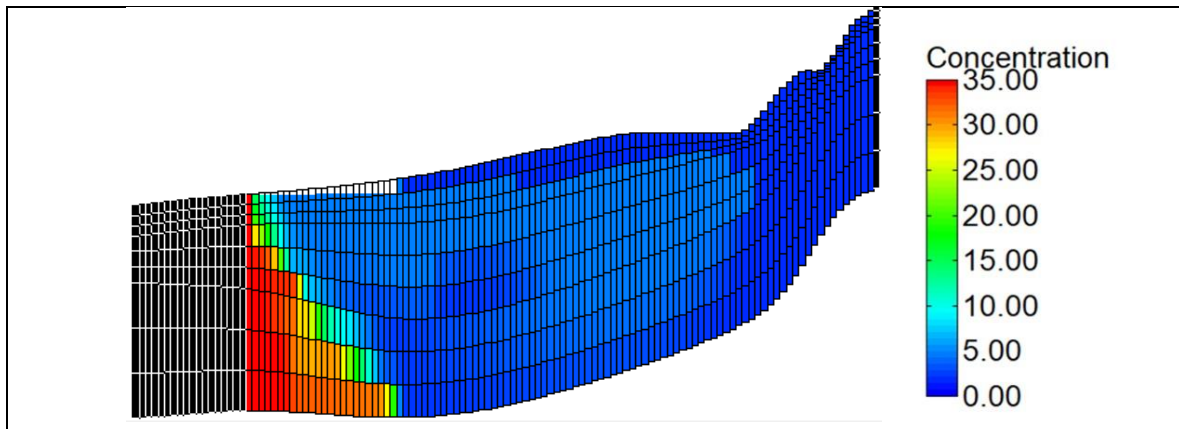
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5–22 Distribución de salinidad (kg/m^3) en vista de perfil, fila 68 del modelo escenario BAU (2050).



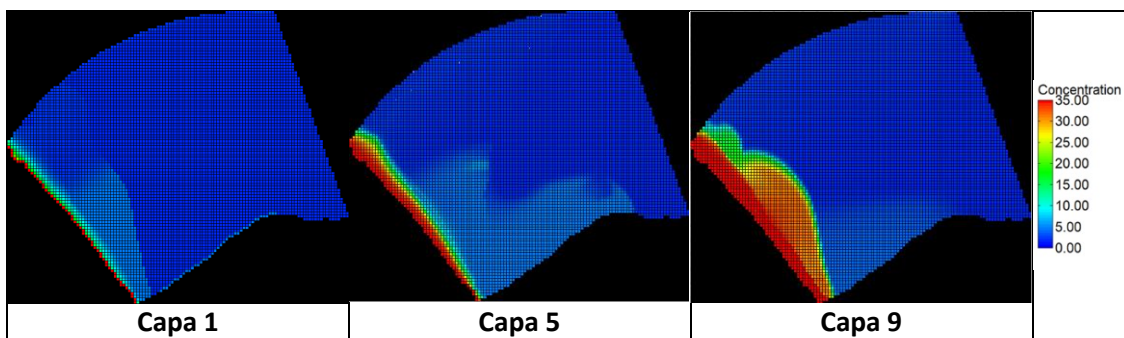
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5–23 Distribución de salinidad (kg/m^3) en el modelo escenario N°1 (2050)



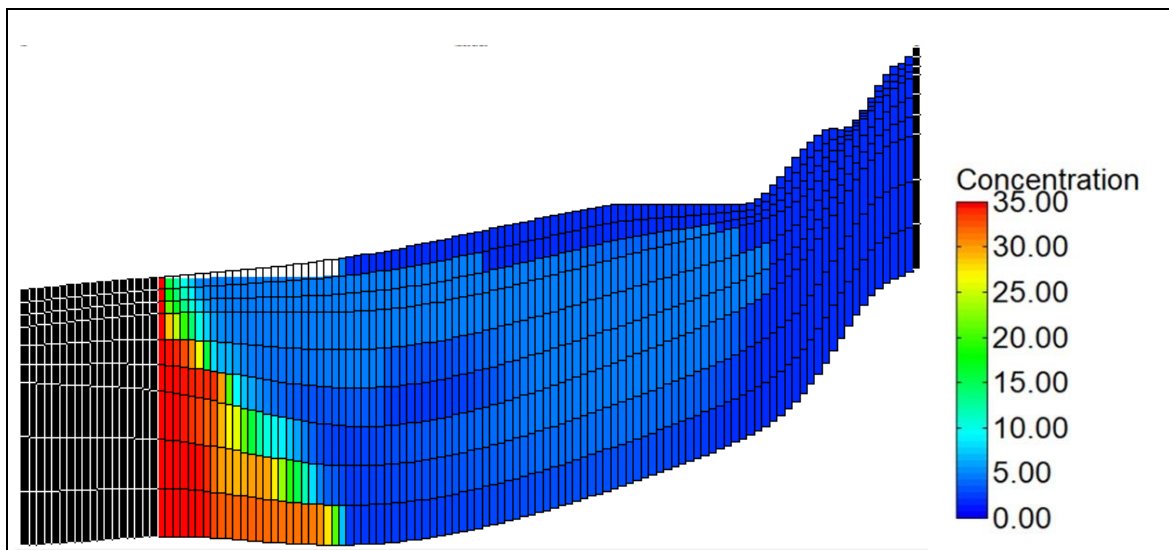
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-24 Distribución de salinidad (kg/m^3) en vista de perfil, fila 68 del modelo escenario N°1 (2050).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-25 Distribución de salinidad (kg/m^3) en el modelo escenario N°2 (2050)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-26 Distribución de salinidad (kg/m^3) en vista de perfil, fila 68 del modelo escenario N°2 (2050).

5.5 Brechas

5.5.1 Brechas Hídricas

La brecha hídrica de la cuenca fue considerada como el aumento del flujo desde el General Head Boundary respecto al modelo en el periodo permanente (9,2 l/s), previo a la influencia de las extracciones. Se tomó en cuenta el aumento de esta variable considerando que este flujo que proviene desde el límite fronterizo del sector peruano y se ve influenciado por el aumento de las extracciones en el sector chileno. En la Tabla 5-13 se presenta la brecha hídrica del acuífero y porcentaje de la brecha respecto a la demanda. En los resultados se observa que en durante el periodo histórico en promedio la brecha hídrica es nula, sin embargo en el 2021 esta brecha es de 36,3% equivalente a 19,15 l/s. En los escenarios BAU y N°1 con una demanda similar la brecha hídrica es de 25,6 y 26,7% (13,49 y 14,98 l/s respectivamente), menor al periodo final de simulación lo que se explica debido a que la proyección de niveles del general considera una disminución de niveles en el futuro en esta condición de borde. Mientras para el caso del escenario N°2 de mayor demanda, la brecha hídrica es de 43,95 l/s equivalente al 43,4 % de la demanda proyectada.

Tabla 5-13 Brechas hídricas en el acuífero.

Escenario	Periodo	Demanda	Brecha Hídrica - Aumento flujo fronterizo (GHB)	Brecha Hídrica
		[l/s]	[l/s]	[%]
Histórico	2021	52,7	19,15	36,3%
	1967-2021	6,66	-0,40	-6,0%
BAU	2021-2050	52,7	13,49	25,6%
ESC 1	2021-2050	56	14,98	26,7%
ESC 2	2021-2050	101,25	43,95	43,4%

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Brechas de Modelación

Como cualquier modelo numérico de mayor escala (regional), existen brechas de información. En este caso, las brechas de información no son menores, y en su totalidad generan una incertidumbre importante respecto a la precisión del modelo numérico. A continuación, se identifican las brechas más importantes:

1. Existen pocas mediciones tanto de niveles como de concentraciones en la parte sur del dominio de modelación.
2. Hay una falta de caracterización de la hidrogeología en profundidad tanto de la geometría de las UH como de las propiedades hidráulicas de los materiales, las presiones (niveles), e hidroquímica.
3. El balance hídrico este hecho en gran parte en base a estimaciones de recargas laterales subterráneas que tienen incertidumbres no menores.
4. Faltan observaciones de nivel en el sector fronterizo con Perú para determinar la dirección de flujo actual e históricamente.
5. Los datos de niveles revisados en Perú son inconsistentes entre las distintas fuentes y no hay un levantamiento de cota/topografía de precisión, como en el caso de los pozos en Chile.

Las incertidumbres inherentes son suficientemente grandes, en el que se debe tratar el modelo numérico con cuidado y evitar fijar los resultados como de alta precisión. Sin embargo, el modelo numérico logró reproducir bien los niveles observados y las

concentraciones observadas en general, y por lo tanto, puede entregar una buena utilidad para evaluar cuantitativamente los distintos escenarios de gestión futura.

5.6 Sustentabilidad

Los criterios de sustentabilidad utilizados en el presente estudio fueron establecidos por la Dirección General de Aguas para los PEGH y se basan en la Resolución DGA-MOP N°425 de 2007 y en el Decreto MOP-DGA N°203 de 2014. Si bien no existe un manual que defina por completo dichos criterios, el “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos” del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) permite complementar el análisis. De esta forma, los criterios sustentabilidad considerados en el presente estudio fueron:

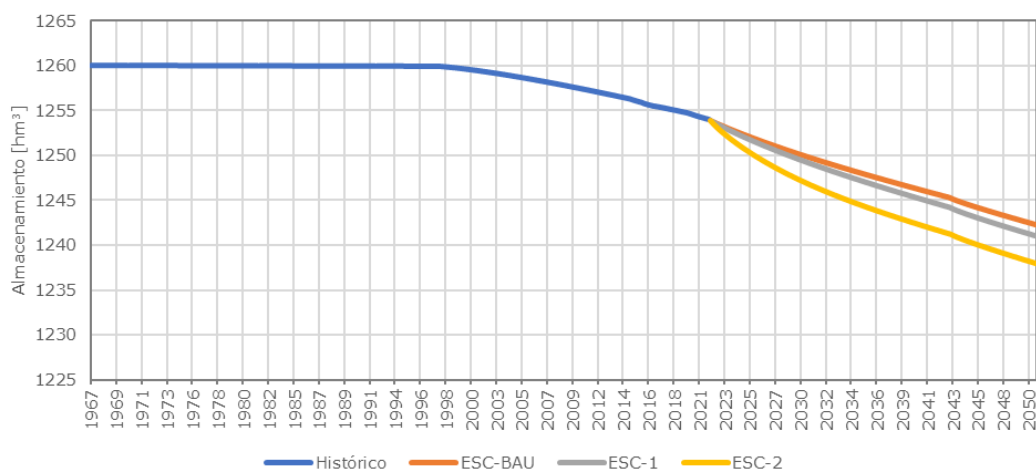
Tabla 5-14 Criterios de sustentabilidad

Criterios de sustentabilidad	Definición
Descensos sustentables	Si los descensos son sostenidos: Se considera que el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (al menos 50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.
Satisfacción de 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.
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.
Concentraciones	Si bien no existe un criterio de sustentabilidad para el contenido de concentraciones, se propondrá que un pozo no cumplirá el criterio de sustentabilidad si tiene un aumento de 5% de sus concentraciones y el acuífero no cumplirá con el criterio de sustentabilidad si el 10% de los pozos no cumple con este criterio.

Fuente: Elaboración propia

El primer criterio de sustentabilidad examina el cambio de volumen almacenado en los SHAC en el largo plazo. Se considera que el volumen de afección no debe afectar más

allá de un 5% del volumen total del acuífero al final del periodo de análisis. Para evaluar el cambio de volumen acuífero, se calculó el volumen inicial y final considerando los años 1967 y 2050, respectivamente. En la Figura 5-27 se observa la variación de almacenamiento para los 3 escenarios futuros y como en el escenario número 2, el de mayores extracciones, ocurre la mayor disminución de almacenamiento. Sin embargo, como se observa en la Tabla 5-15, en ningún escenario este descenso es mayor al 5% del volumen almacenado en un inicio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-27 Almacenamiento para el periodo histórico (1967-2021) y periodo futuro (2022-2050) para cada escenario.

Tabla 5-15 Análisis criterio de cambio de volumen acuífero, Periodo 1967-2050.

Escenario	Volumen medio, 1967 [hm³]	Volumen medio, 2050 [hm³]	% Cambio	Criterio
Escenario BAU	1260	1242	-1,4%	Cumple
Escenario N°1	1260	1241	-1,5%	Cumple
Escenario N°2	1260	1238	-1,8%	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Para dar cumplimiento al criterio de satisfacción de la demanda, el modelo debe permitir una extracción mínima del 95% del caudal ingresado como demanda, Esto resulta en:

$$Q_{oferta} > 95\% Q_{demanda}$$

Los resultados se obtienen para el periodo entre 1967 y 2050, considerando de esta forma el nivel medio histórico de la demanda promedio anual, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5-16.

Tabla 5-16 Análisis criterios de satisfacción de la demanda periodo 1967-2050.

Escenario	Demanda	Demanda abastecida	Demanda satisfecha	Criterio
	[l/s]	[l/s]	[%]	
ESC-BAU	22,6	22,0	97,7%	Cumple
ESC-1	23,7	23,6	99,5%	Cumple
ESC-2	39,3	39,2	99,7%	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-17, Tabla 5-18, Tabla 5-19 se muestra el análisis del criterio de sustentabilidad de pozos secos para los escenarios BAU, N°1 y N°2 respectivamente. Este análisis considera aquellos pozos que registran bombeo durante el escenario de estudio, y en los tres el pozo D5 se seca al final del periodo de simulación, por lo cual se supera el 5% de pozos secos en el acuífero.

Tabla 5-17 Análisis criterio de pozos secos escenario BAU.

Pozo	Nivel al final del periodo	Intervalo ranurado final	Criterio
	[m s.n.m.]	[m s.n.m.]	
B2	0,32	-112,53	Pozo no seco
B8	12,50	10,75	Pozo no seco
B10	5,30	-86,60	Pozo no seco
D2	3,82	-71,22	Pozo no seco
D3	2,79	-88,00	Pozo no seco
D4 (*)	1,35	-252,20	Pozo no seco
D5 (*)	3,27	6,40	Pozo seco
D6	0,39	-81,10	Pozo no seco
D7	4,72	-27,24	Pozo no seco
B1b (*)	1,64	-67,80	Pozo no seco
Número de pozos			10
Número de pozos secos			1
Porcentaje de pozos secos			10%

Fuente: Elaboración propia.

(*) Se consideró como intervalo ranurado final la profundidad del pozo.

Tabla 5-18 Análisis criterio de pozos secos escenario N°1.

Pozo	Nivel al final del periodo	Intervalo ranurado final	Criterio
	[m s.n.m.]	[m s.n.m.]	
B2	0,31	-112,53	Pozo no seco
B8	12,23	10,75	Pozo no seco
B10	5,24	-86,60	Pozo no seco
D2	3,79	-71,22	Pozo no seco
D3	2,79	-88,00	Pozo no seco
D4 (*)	1,34	-252,20	Pozo no seco
D5 (*)	3,25	6,40	Pozo seco
D6	0,38	-81,10	Pozo no seco
D7	4,72	-27,24	Pozo no seco
B1b (*)	1,51	-67,80	Pozo no seco
SSR	10,54	-88,00	Pozo no seco
Número de pozos			11
Número de pozos secos			1
Porcentaje de pozos secos			9%

Fuente: Elaboración propia.

(*) Se consideró como intervalo ranurado final la profundidad del pozo.

Tabla 5-19 Análisis criterio de pozos secos escenario N°2.

Pozo	Nivel al final del periodo	Intervalo ranurado final	Criterio
	[m s.n.m.]	[m s.n.m.]	
B2	0,02	-112,53	Pozo no seco
B8	13,12	10,75	Pozo no seco
B10	2,67	-86,60	Pozo no seco
D2	2,03	-71,22	Pozo no seco
D3	2,33	-88,00	Pozo no seco
D4 (*)	0,25	-252,20	Pozo no seco
D5 (*)	2,31	6,40	Pozo seco
D6	-0,26	-81,10	Pozo no seco
D7	4,72	-27,24	Pozo no seco
B1b (*)	-1,75	-67,80	Pozo no seco
B3	1,01	-104,54	Pozo no seco
Número de pozos			11
Número de pozos secos			1
Porcentaje de pozos secos			9%

Fuente: Elaboración propia.

(*) Se consideró como intervalo ranurado final la profundidad del pozo.

Respecto al análisis de las concentraciones en la Tabla 5-20 se presentan los valores de simulación de concentraciones para cada pozo en los tres distintos escenarios. Es posible observar que sólo el pozo B2 tiene una variación mayor al 5% llegando a un aumento de un 22% de sus concentraciones para el escenario N°1.

Tabla 5-20 Análisis de concentraciones en escenario de gestión.

Pozos	Histórico	Escenario BAU		Escenario 1		Escenario 2	
		[kg/m³]	Variación [%]	[kg/m³]	Variación [%]	[kg/m³]	Variación [%]
Pozo B2	1,461	1,691	15,7%	1,690	16%	1,782	22%
Pozo B8	2,302	2,331	0,0%	2,331	1%	2,349	2%
Pozo B10	3,455	3,452	0,0%	3,453	0%	3,446	0%
Pozo D2	0,994	0,986	0,0%	0,988	-1%	1,011	2%
Pozo D3	1,000	1,000	0,0%	1,000	0%	1,000	0%
Pozo D4	1,039	1,014	0,0%	1,014	-2%	1,007	-3%
Pozo D5	0,994	0,991	0,0%	0,991	0%	1,018	2%
Pozo D6	1,037	1,005	0,0%	1,005	-3%	1,003	-3%
Pozo D7	0,993	0,997	0,0%	0,997	0%	0,997	0%
Pozo B1 B	0,648	0,651	0,0%	0,651	0%	0,649	0%

Fuente: Elaboración propia.

El resumen del análisis de criterios de sustentabilidad se presenta en la Tabla 5-21 en donde solo el criterio de pozos secos no cumple con el criterio de sustentabilidad en ninguno de los 3 escenarios analizados.

Tabla 5-21 Resumen análisis criterios de sustentabilidad.

Criterio	Escenario BAU	Escenario 1	Escenario 2
Descensos sustentables	Cumple	Cumple	Cumple
Satisfacción de demanda	Cumple	Cumple	Cumple
Pozos secos	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Concentraciones	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Indicadores Hídricos de la Cuenca

Para poder comparar los resultados obtenidos del escenario BAU o periodo histórico con aquellos asociados a los escenarios de gestión para la cuenca, se ha propuesto evaluar los indicadores hídricos presentados en la Tabla 5-22. Estos indicadores se asocian directamente a los resultados de la modelación, los cuales permiten cuantificar el impacto que tiene cada escenario de gestión propuesto.

Tabla 5-22 Indicadores definidos para la evaluación de escenarios.

Indicador	Detalle
Almacenamiento	Se evalúa cómo varía el volumen almacenado desde el acuífero
General-Head-Boundary	Se evalúan la magnitud y dirección de flujo de la condición de borde GHB
Salida al mar	Se evalúa la magnitud de la salida al mar

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-23, se resumen los indicadores hídricos analizados en la cuenca, en donde se comparan valores de estos indicadores para el periodo histórico, y periodo futuro considerando el escenario base (BAU), y escenarios de gestión (ESC1 y ESC2).

Tabla 5-23 Resultados de los indicadores hídricos de cuenca.

Indicador	Variable asociada	Histórico	Bau	ESC1	ESC2
		1967 - 2021	2022 - 2050	2022 - 2050	2022 - 2050
Almacenamiento	Almacenamiento [hm ³]	1.259	1.248	1.247	1.244
General-Head-Boundary	Flujo GHB [l/s]	3,5	22,7	24,2	53,2
Salida al mar	Flujo salida al mar [l/s]	-103,5	-74,6	-74,1	-62,4

Fuente: Elaboración propia. Conclusiones, brechas y recomendaciones.

Al revisar los indicadores escogidos se observa que el indicador de almacenamiento disminuye en los escenarios futuros y esta disminución es mayor a medida que aumentan los bombeos, sin embargo, no es una disminución fuerte. En el caso más desfavorable (ESC 2), la disminución es de solo 11 hm³, es decir, sólo un 0,9% menos que en el periodo histórico.

El segundo indicador de GHB explicaría el por qué el almacenamiento no disminuye tan fuertemente al aumentar las extracciones, lo que se podría deber a que la entrada que más aumenta en el modelo al subir las extracciones es el flujo desde el borde GHB, el que aumenta un 134% entre el escenario BAU (extracciones constantes) y el escenario 2 (extracciones al máximo de derecho). Este flujo representaría una mayor entrada desde Perú hacia Chile producto del aumento de los bombeos en el sector chileno y en caso del escenario 2 es equivalente al 52% de las extracciones.

Por último, el indicador de la salida al mar muestra que a medida que se explota más el acuífero, la disponibilidad de agua para la salida al mar disminuye, pasando de -74,6 l/s en el escenario BAU a -62,4 l/s en el escenario ESC 2, con una disminución del 16%.

5.8 Mercado de aguas

5.8.1 Marco Conceptual

Como parte del diagnóstico se ha realizado un análisis del mercado de DAA, utilizando como base la información de transacciones de los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) que DGA tiene disponible en su página web. Con esta información se han identificado:

- Los DAA actualmente asignados en la región y sus niveles de concentración

- Los valores y caudales asignados
- Relación entre los DAA actualmente asignados y las demandas hídricas totales estimadas en la cuenca
- Un análisis de los precios de mercado que se observa en las transacciones de compraventa y su relación con la oferta y demanda de agua
- La evolución, tendencia y estacionalidad de precios, etc.

Como se aprecia en las secciones siguientes de este análisis, la cuenca Quebrada de La Concordia expone un volumen pequeño de derechos de aprovechamiento de aguas los cuales están asignados a sólo entes públicos. Teniendo esto en consideración, el análisis que se presenta a continuación se desarrolla en primer lugar a nivel regional, luego a nivel de la provincia de Arica para finalmente, haciendo uso del comportamiento de estos mercados estudiar específicamente el caso de la Quebrada de La Concordia y la forma en que los mercados adyacentes pueden entregar información de utilidad para las proyecciones particulares de esta cuenca.

La pregunta esencial que debería responder este análisis es si el mercado de aguas entrega la información necesaria y suficiente a inversionistas que deseen desarrollar proyectos de desarrollo territorial en ámbitos agropecuarios, industriales, urbanos para los cuales el insumo hídrico resulta fundamental. En otras palabras, verificar si el mercado tiene la capacidad de readecuar su oferta para satisfacer las nuevas demandas o si se requiere la participación del Estado para solventar las inversiones para la generación de nuevas ofertas hídricas.

5.8.2 Estadísticas de transacciones de DAA

A continuación, se realiza un análisis del Mercado de Aguas en la región de Arica y Parinacota con el propósito de evaluar el comportamiento sus transacciones de DAA a nivel global regional y a partir de estas conclusiones evaluar si el mercado de aguas regional permitiría sustentar posibles proyectos de desarrollo territorial en la cuenca Quebrada de La Concordia en particular.

a. Volumen de Transacciones

En la Tabla 5-24 se muestra la evolución de las transacciones de compraventa observadas en los registros del Conservador de Bienes Raíces de la región de Arica y Parinacota.

Tabla 5-24 Transacciones de DAA nivel regional en las cuencas región de Arica y Parinacota.

Tipo		Compraventa			
Caudales					
Año	%	Acciones	l/s	No Indica	Total
2005		4.397	113	54	4.564
2006		3.508	139	76	3.722
2007		5.894	54	26.525	32.472
2008		7.484	149	15	7.649
2009		7.318	267	0	7.585
2010		4.518	63	2	4.583
2011		16.523	175	3	16.701
2012	12	7.566	1.495	0	9.073
2013	38	10.212	1.012	9.999	21.261
2014	8	4.961	202	18	5.189
2015	8	7.322	397	95	7.822
2016	32	8.449	595	0	9.076
2017	0	9.254	267	0	9.521
2018	24	11.272	62	0	11.357
2019		3.147	124	0	3.272
2020	20	2.821	335	36	3.212
Total	142	114.645	5.449	36.822	157.058

Fuente: Elaboración propia a partir de información CBR región de Arica y Parinacota consultada desde página DGA a inicios de marzo 2022.

Las transacciones anuales de DAA en acciones se mueven entre el 7% y 17% del total de acciones lo que implica un dinamismo relativamente importante y en donde durante los años 2011, 2013 hasta 2018 se aprecia un incremento sostenido en el nivel de transacciones reduciéndose durante 2019 y 2020, seguramente por efectos de la pandemia.

En cuanto a las transacciones en l/s, a excepción de los años 2012 y 2013 en donde se aprecia un peak en el caudal transado, durante el período 2016-2020 se ha transado en promedio un caudal 277 l/s anuales, cifra que representa sólo un 1% de los DAA asignados en l/s.

b. Precios observados para transacciones

En las Tabla 5-25 y Tabla 5-26 se muestran los precios medios de los DAA para las transacciones expresadas en acciones y l/s respectivamente. En ambos casos a partir del 2013 en volumen de transacciones superan los mil millones de pesos anuales.

Con relación a los precios observados para las transacciones de compraventa se destacan dos situaciones relevantes:

- Existe una fuerte diferencia entre el precio medio global evaluado como la razón entre el monto y el caudal total transado anualmente y el promedio de los precios de cada una de las transacciones. Para el caso de las acciones, mientras el promedio de los precios gira alrededor de los 10 millones de pesos por acción, el valor medio lo hace alrededor de los cientos de miles de pesos por acción. Lo mismo ocurre en las transacciones en l/s, en donde el promedio del precio de las transacciones oscila en el orden de los 13 millones de pesos por l/s mientras que el valor medio los hace alrededor de los 6 millones de pesos por l/s.
- El otro hecho relevante de tener en consideración, y que explica en cierto grado el punto anterior, es la fuerte variabilidad observada en el precio de las transacciones, las que en todos los años muestran una desviación estándar superior al 80% respecto al promedio (Figura 5-28).

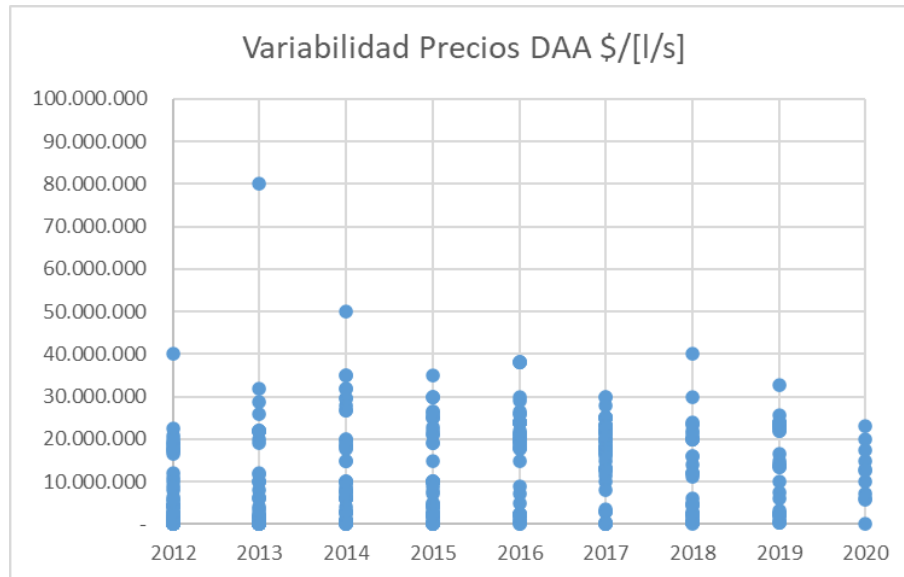
Las fuertes diferencias entre ellas se deben a la existencia de unas pocas transacciones que mueven un alto volumen de caudales a unos precios muy bajos. Los valores relevantes para tener en consideración para las evaluaciones de la cuenca Quebrada de La Concordia, debieran referirse al promedio de los precios, pero teniendo en consideración la fuerte variabilidad observada. Lo que en palabras simples estaría señalando que no existe un precio de mercado claro para proyectar con certeza en futuras decisiones.

Tabla 5-25 Valor medio del precio de las acciones cuencas región de Arica y Parinacota.

Año	Acciones	Valor [\$]	Promedio de precio	Desviación estándar de precio
2005	4.396	199.717.187	1.659.232	2.528.418
2006	2.515	376.066.972	1.763.786	3.220.206
2007	4.22	337.859.295	1.545.212	2.169.108
2008	7.473	523.719.848	2.154.242	3.432.934
2009	7.318	573.538.646	2.429.428	2.548.708
2010	4.516	691.653.664	4.466.068	6.690.849
2011	15.947	904.207.924	3.780.593	9.519.295
2012	6.781	469.438.457	5.862.732	7.973.404
2013	9.341	1.203.281.095	5.474.880	8.143.876
2014	4.96	1.110.468.273	6.448.145	8.724.974
2015	7.322	1.701.252.496	9.527.205	11.465.941
2016	6.711	905.567.332	8.688.595	11.912.345
2017	9.236	1.437.483.878	13.183.153	39.136.449
2018	11.224	1.071.060.118	9.231.837	13.051.248
2019	3.147	1.170.125.856	11.681.774	16.052.222
2020	2.817	277.319.302	5.118.968	7.428.966
Total	107.922	12.952.760.343	6.075.869	14.066.619

Tabla 5-26 Valor medio del precio en [l/s] cuencas región de Arica y Parinacota.

Año	Caudal [l/s]	Valor [\$]	Promedio de precio	Desviación estándar precio
2005	113	10.500.000	556.254	1.002.965
2006	22	9.800.000	1.311.111	1.288.506
2007	54	10.722.200	199.953	81
2008	114	145.195.000	2.758.183	4.864.604
2009	267	129.490.220	3.436.854	6.652.163
2010	61	259.740.000	5.036.497	5.501.358
2011	173	314.029.080	7.218.310	9.039.513
2012	1.14	1.026.221.600	5.546.602	8.014.744
2013	1.012	394.615.340	6.816.732	12.731.403
2014	198	895.219.760	15.966.926	35.737.305
2015	396	1.074.088.988	9.567.461	10.197.391
2016	124	1.029.423.500	19.517.958	18.343.466
2017	211	1.363.195.408	16.459.343	8.376.549
2018	62	459.600.000	10.577.222	10.249.908
2019	132	1.969.300.000	13.429.938	9.955.421
2020	335	94.500.000	11.804.288	6.850.684
Total	4.414	9.185.641.096	10.621.503	15.742.626

**Figura 5-28 Variabilidad de Precios observados para transacciones en [l/s].**

c. Transacciones realizadas en la cuenca Quebrada de La Concordia

De acuerdo a la información de los DAA levantada desde el CBR de la región de Arica y Parinacota, no se han realizado transacciones de DAA en la cuenca, ya que los DAA están registrados a nombre de empresas públicas, como la DGAC, ZOFRI e INIA, y DAA solicitados por otros han sido denegados.

5.8.3 Evaluación de las condiciones de eficiencia de Mercado de DAA de la región de Arica y Parinacota

En esta sección se evalúa el cumplimiento de las condiciones de eficiencia del mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas como también descubrir la existencia de posibles imperfecciones que afecten su comportamiento ideal tales como comportamiento monopolístico en la fijación de precios, flexibilidad en las transferencias de derechos, especulación, acaparamiento y criterios para la asignación inicial de derechos. El análisis se realiza en función de las siguientes dimensiones analíticas:

- Comportamiento de los precios
- Condiciones de transportabilidad y transferencia del producto DAA
- Respuesta del mercado en las asignaciones de agua en períodos de escasez hídrica
- Externalidades y sobreexplotación
- Monopolios bilaterales
- Concentración y acaparamiento

1. Análisis de precios

El objetivo de este procedimiento es comparar los precios reales observados en el mercado de aguas de la cuenca con la estimación teórica de la curva de demanda calibrada para la región a partir de simulaciones realizadas con el Modelo Insumo Producto aproximada para la región de Arica y Parinacota. El objetivo es verificar si el Mercado de Aguas satisface las condiciones de eficiencia económica.

Precio Teórico del Agua

La demanda del recurso hídrico se estima como el **Ingreso de la Productividad Marginal** (Figura 5-29) del recurso lo que corresponde a la valoración de la producción adicional que es capaz de producir la cuenca por cada m³ adicional de agua que se hace disponible. Este cálculo puede realizarse en virtud de que el sistema de ecuaciones representativo de las transacciones económicas ha sido formulado a partir de las matrices insumo/producto calibradas para la región en particular. Con ello, se obtiene una correlación entre la disponibilidad hídrica con el PIB regional, y realizando posteriormente evaluaciones marginales (Delta PIB/ Delta Aguas) se logra una estimación de la curva de demanda y por ende del valor marginal del agua dentro del modelo representativo del sistema productivo modelado para la cuenca. Las curvas se presentan en la Figura 5-30.

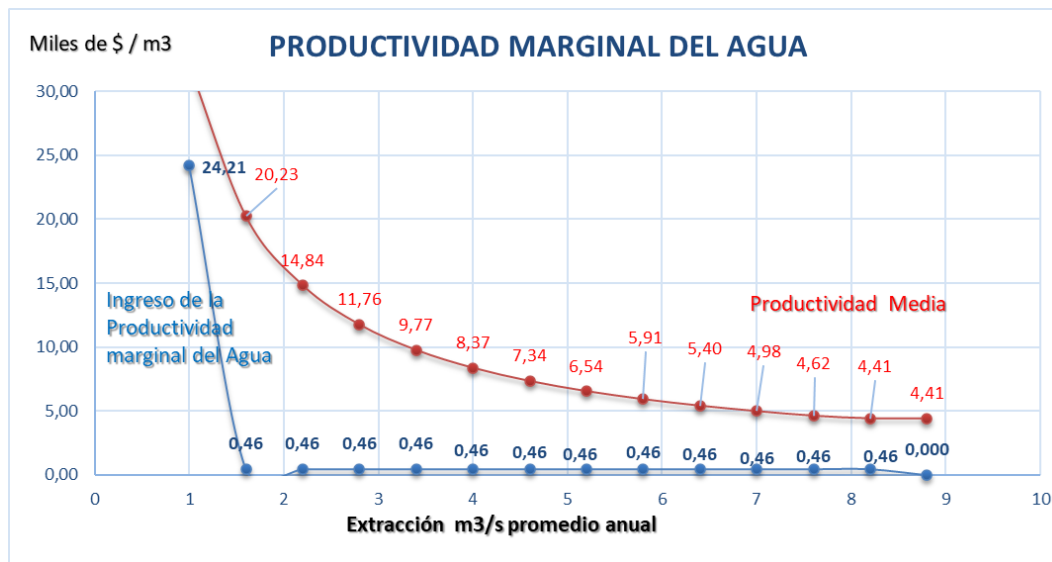
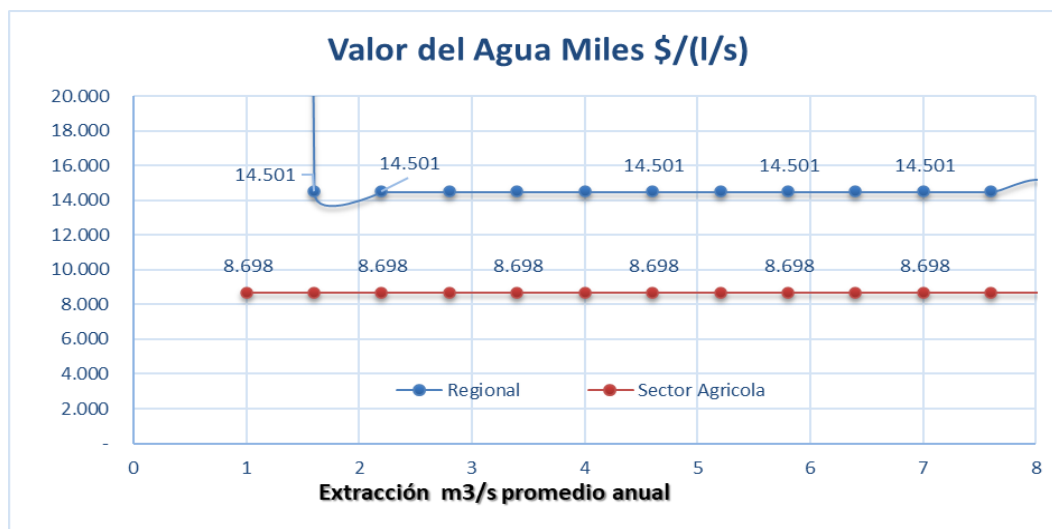


Figura 5-29 Productividad marginal del agua.



Fuente: Elaboración Propia a través de Matriz Insumo Producto calibrada para la región en 2018.

Figura 5-30 Valor del agua

Tal como se aprecia en la figura anterior, la productividad marginal (teórica) de 1 l/s adicional en la región converge a un valor de 14,5 millones de pesos por l/s. A nivel sectorial la productividad marginal del agua aplicada en el sector agrícola es de 8,7 millones de pesos por l/s adicional.

Comparando estas cifras teóricas con el precio promedio de las transacciones de compraventa observadas en el mercado de aguas se aprecia cierta similitud entre el valor teórico del agua a nivel regional con los precios medios reales observados.

A primera vista pareciera que el mercado de aguas estuviera operando en condiciones de eficiencia económica pues el precio de las transacciones tiene más semejanza con el

valor teórico regional. Sin embargo, esta afirmación no es lo suficientemente categórica debido a la alta variabilidad observada en el precio de las transacciones reales. En la práctica se trataría de transacciones bilaterales entre usuarios del sector agrícola cada cual con sus propias productividades y disposiciones a pago por el recurso hídrico.

2. Transportabilidad y transferencia del agua

Para el correcto funcionamiento de un mercado de agua es necesaria una buena red de infraestructuras que permitan realizar las transferencias de agua sin restricciones entre los usuarios de una transacción.

En las transacciones que se realicen entre usuarios de aguas superficiales, el propio río, sus tramos y redes de canales servirán como medio de transporte, no ocasionando costes de esta naturaleza para las partes del contrato.

En el caso de aguas subterráneas, mover un derecho subterráneo de un lugar a otro del acuífero requiere un conocimiento e información más detallada del comportamiento del modelo hidrológico subterráneo y de cómo se mueven los flujos en esta dimensión. Es relevante poder certificar técnicamente que el movimiento de un punto de extracción no altere el abastecimiento de otros usuarios de la red, sean ellos subterráneos o superficiales.

En virtud de lo anterior las transacciones de DAA por lo general ocurren entre usuarios de un mismo tramo de red superficial, o bien usuarios de un mismo pozo de extracción de aguas subterráneas. Con ello, el mercado de aguas obedece a mercados de tipo descentralizados en donde las transacciones ocurren entre compradores y vendedores de un mismo sector generando eventualmente la existencia de monopolios bilaterales.

3. Monopolios bilaterales

Como se menciona más arriba, el mercado de aguas tiende a ser descentralizado, con escasas opciones de transportabilidad técnica del recurso entre diferentes sectores de la cuenca, y un deficiente sistema de información respecto a la oferta y demanda del recurso hídrico. En este tipo de escenarios, el precio de las transacciones comerciales de compraventa de DAA converge a mercado de Monopolios Bilaterales en donde el que vende ejerce un poder monopólico sobre el comprador tratando de capturar el máximo de su excedente. Esta situación se ratifica al observar en el análisis de precios de

mercado de las transacciones de compraventa de derechos de agua, la alta variabilidad de los precios de transacción.

5.8.4 Mercado de DAA y su aplicabilidad en cuenca Quebrada de La Concordia

Del análisis del mercado de aguas de la región de Arica y Parinacota resaltan algunas conclusiones relevantes que son de utilidad para la formulación del plan estratégico de la cuenca Quebrada de La Concordia en particular. Ellas son:

- El mercado de aguas es de naturaleza descentralizada y por lo tanto las transacciones ocurren a nivel de cada sector de la cuenca. Por esta razón es de esperar que cualquier transacción en esta cuenca ocurra entre usuarios del acuífero específico que abastece de agua a la cuenca Quebrada de La Concordia.
- Los pocos usuarios de agua de esta cuenca están bien identificados y con una fuerte concentración de los DAA disponibles en manos del INIA. De no mediar inversiones en nuevas fuentes de abastecimiento hídrico, los nuevos proyectos e iniciativas que se formulen para la cuenca debieran negociar transacciones con esta entidad.
- Respecto a los precios del recurso hídrico, si bien el precio promedio oscila alrededor de los 8 a 10 millones de pesos por l/s, su fuerte variabilidad (casi 100%) indicaría que el valor final de una futura transacción dependerá más de las negociaciones bilaterales que ocurran entre las partes que de las referencias de un precio de mercado.

Estas señales de precios ya existentes estarían indicando que, si algún agente económico se incentiva a generar una nueva oferta hídrica en la zona, el precio al cual debiera entrar al mercado esta nueva oferta es el observado en el mercado, es decir 8 a 10 millones de peso por cada l/s generado, el que actualmente se paga por una sola vez, tal cual se procede en la actualidad en el mercado de DAA.

Cabe hacer notar que disponer de un caudal de 1 [l/s] equivale a disponer de un consumo anual de 31.536 m³/año. Con el precio de 10 millones de pesos por l/s, si el DAA de 1 [l/s] durara un período de 10 años equivaldría a un precio unitario de 31,7 \$/m³.

A estos valores de precio por metro cúbico resulta difícil inducir la creación de nuevas ofertas hídricas desde una perspectiva privada, con lo que la operación y función del mercado se reduce simplemente a gestionar las transacciones de reasignación de los caudales disponibles entre usuarios locales de una sección de la cuenca. Y la forma en

que el mercado interviene tampoco cumple con las condiciones competitivas y de eficiencia económica pues básicamente su modus operandi obedece a criterios monopólicos bilaterales. A riesgo de parecer imprudente con esta afirmación y faltando mucha reflexión al respecto, uno podría concluir que el mercado de aguas no aporta el valor necesario y suficiente para el desarrollo de la economía en donde participa, ni tampoco es capaz de hacerse cargo de las complejidades propias en que se encuentra inserto el recurso hídrico en la actualidad.

El agua como un bien nacional de uso público y la Matriz Insumo Producto

Ahora bien, al considerar el recurso hídrico como un bien nacional de uso público cambia la perspectiva y la dimensión analítica. Al ser una región o una cuenca el objeto de gestión integral el patrón de análisis cambia como también sus indicadores de gestión.

La cuenca Quebrada de La Concordia forma parte de la región de Arica y Parinacota, y si se considera por un momento que se está gestionando la región completa el modelamiento de la Matriz Insumo Producto regional permite generar información de suma utilidad para la gestión integral de la región, y posteriormente para la cuenca en particular.

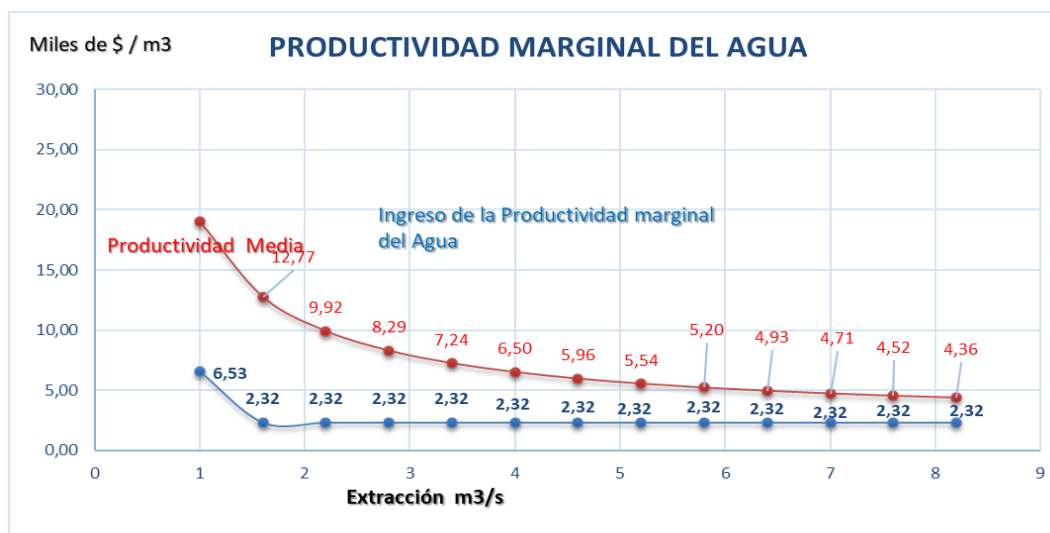
Esta matriz muestra un modelamiento del sistema productivo general de la región y la forma en que se generan sus principales indicadores de gestión como lo son el PIB, el empleo, su comercio exterior y otros.

En la sección de análisis de precios se presenta una curva de demanda hídrica para la región asumiendo una población constante y por lo tanto al existir déficit productivo este debe ser abastecido a través de importaciones desde el resto de las regiones o del exterior. En el caso de la cuenca Quebrada de La Concordia la situación es diferente pues se trata de una zona relativamente despoblada y que debe ser activada a través de iniciativas de fomento productivo que permitan inducir actividad económica y desarrollo social y territorial.

En virtud de lo anterior, la simulación de escenarios con el modelo insumo producto debe contemplar las capacidades inductivas que genera la disponibilidad hídrica a nivel global y por lo tanto sus capacidades de sustentar mayores niveles de población y sus respectivas demandas.

En este escenario la curva de demanda hídrica y el respectivo valor del agua toman otros valores que son relevantes de tener en consideración al momento de evaluar alternativas de desarrollo territorial.

La Figura 5-31 muestra la curva de demanda hídrica caracterizada para la región en un escenario inductivo de población variable.



Fuente: Elaboración Propia a través de Matriz Insumo Producto calibrada para la región en 2018.

Figura 5-31 Productividad Marginal del Agua a Población Variable.

En este escenario la productividad marginal del agua a nivel global cambia drásticamente con relación a las estimaciones anteriores. En esta situación el aporte marginal, medido como el diferencial del PIB regional generado, de un m³ que se inserte en la cuenca asciende a un valor de 2.300 \$/m³ y este valor resulta lo suficientemente alto como para pagar hasta la instalación de plantas desaladoras.

Si bien el principal consumidor del recurso hídrico sigue siendo el sector agrícola, su productividad marginal sigue siendo la misma estimada anteriormente y por ende incapaz de pagar este valor con lo que se ratifica que como bien económico el recurso hídrico es un bien de uso público y la evaluación económica de sus proyectos asociados deben trascender al ámbito privado considerando todas sus externalidades sobre el resto de los sectores económicos y sus impactos sociales ampliados dentro de la economía en donde participa.

Con el propósito ejemplificar los conceptos anteriores, se simuló la incorporación de 1.100 hectáreas de riego en la región obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2-8. Los resultados de la simulación muestran por una parte que el agro mantiene

su productividad por hectárea, pues es uno de los supuestos del ejercicio. No obstante, lo que se pretende destacar es la capacidad inductiva que encadena la actividad agrícola.

A la luz de lo anterior, si bien las 1.100 has adicionales generan en el agro un PIB adicional de 6,1 MMM \$, a nivel regional logra encadenar 55 MMM \$ por el crecimiento que induce en el resto de los sectores económicos de la región. Por otra parte, si bien en el sector agrícola en particular, el proyecto genera del orden de 1.000 empleos, a nivel regional se genera del orden 6.000, es decir, aproximadamente 5 empleos por ha adicional. Las cifras expuestas en la Tabla 2-8 permiten calcular la contribución marginal del agua en virtud de este proyecto específico.

Valoración regional agua

- Delta aguas: 0,75 m³/s = 23.665.954 m³/año
- Delta PIB regional 55 MMM \$ 2013
- Valor marginal del agua 73.227 Millones de \$ / m³/s adicional
- Valor marginal del agua 2.322 \$/ m³

Valoración agrícola del agua

- Delta aguas: 0,70 m³/s = 22.116.825 m³/año
- Delta PIB sectorial 6,1 MMM \$ 2013
- Valor marginal del agua: 8.698 Millones de \$ / m³/s adicional
- Valor marginal del agua 276 \$/ m³

Los resultados de esta simulación preliminar permiten ratificar que en forma privada para el sector agrícola le resultaría muy difícil pagar los costos de producir y transportar las aguas necesarias para su proyecto, no así si se evalúa globalmente para la región o cuenca pues el valor marginal de 2.322 \$/m³ permitiría incluso cubrir los costos de desalación.

6 ACCIONES

Este capítulo presenta los ejes y objetivos del plan, así como un levantamiento de problemáticas, acciones e iniciativas a considerar en el PEGH para la cuenca.

También, se incluye un análisis de las relaciones entre los ejes y objetivos propuestos en función de las brechas identificadas en las etapas de descripción, caracterización y modelación de la cuenca, así como desde las actividades de PAC desarrolladas a lo largo del PEGH. El capítulo también incluye la cartera de iniciativas vigente extraída desde el Banco integrado de proyectos del Ministerio de Desarrollo Social.

Finalmente, a partir de la información ya levantada en estudios previos relevantes, sumada al trabajo de descripción y diagnóstico de la cuenca desarrollada en esta consultoría, se presenta el listado de acciones que fueron discutidas en las actividades de PAC.

La información en extenso se incluye tanto en el Anexo J, capítulo 7, así como la metodología aplicada en el Anexo F, capítulo 5.

6.1 Ejes y objetivos para el PEGH cuenca Quebrada de La Concordia

La Tabla 6-1 presenta los ejes y objetivos propuestos para el PEGH.

Tabla 6-1 Ejes y Objetivos propuestos para PEGH de cuenca Quebrada de La Concordia.

Eje	Nombre de eje	Nº	Objetivos para definición de Acciones del Plan
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1.1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua para agua potable, riego y desarrollo industrial considerando cambio climático y la condición de escasez hídrica en la cuenca.
		1.2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		1.3	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	2.1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo y de montaña).
		2.2	Mejorar el conocimiento hidrológico e hidrogeológico de la cuenca.
3	Gestión y gobernanza del agua	3.1	Promover la conformación de OUA y fortalecer las existentes.
		3.2	Promover y revitalizar la alianza público-privada en materia hídrica (gobernanza).
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	4.1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas y proteger funciones ecosistémicas de las fuentes superficiales y subterráneas.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las soluciones para las problemáticas, las iniciativas serán clasificadas según 4 tipologías, conforme a lo sugerido por DGA para PEGH previos (Figura 6-1) y cuyo alcance se indica en la Tabla 6-2.

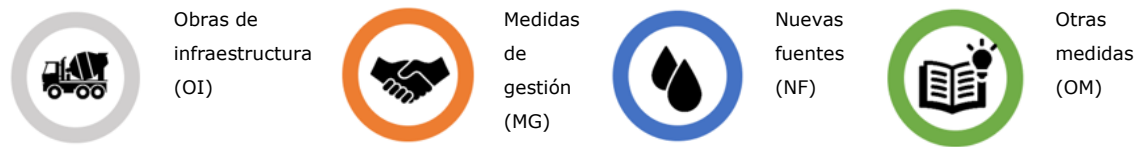


Figura 6-1 Tipologías de las iniciativas del plan de acción.

Tabla 6-2 Alcance de las tipologías de las iniciativas del plan de acción.

Tipología	Sigla	Alcance
Obras de infraestructura	OI	Obras de infraestructura (constructivas) y redes de monitoreo.
Medidas de Gestión	MG	Acciones en relación con gobernanza, OUA y medidas de gestión hídrica.
Nuevas Fuentes	NF	Iniciativas que incorporan recursos hídricos externos a la cuenca o acciones para aumentar la oferta para satisfacer la demanda.
Otras Medidas	OM	Relacionadas principalmente con estudios para toma de decisiones o como insumos de otras acciones.

6.2 Cartera de iniciativas de inversión vigentes en la cuenca

Para levantar las iniciativas vigentes contempladas por Servicios Públicos como privados de la cuenca, se recurrió tanto a bibliografía, reuniones y entrevistas, así como a una revisión de la cartera de proyectos publicada en el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO, 2022).

En este caso, dicha plataforma identifica sólo 1 iniciativa de inversión para la cuenca en materia de recursos hídricos con solicitud vigente para el año 2022 (ver Tabla 6-3). En la misma tabla también se incluyen otras dos iniciativas vigentes en los últimos 2 años, aunque sin asignación presupuestaria.

Tabla 6-3 Temáticas y tipos de soluciones consideradas en el estudio.

Código BIP	Descripción	Año postulación	Tipología	Sub sector	Solicitado año	Etapas actual	Institución financiera	Institución formuladora	Costo total [m\$]
40004197-0	DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DE PAMPA CONCORDIA ARICA Año y Etapa a Financiar: 2019-EJECUCIÓN	2019	ESTUDIO BASICO	RECURSOS HIDRICOS	205.999	Perfil	DGA	DGA región de Arica y Parinacota	463.498
40020278-0	CONSTRUCCION SISTEMA SSR SECTOR PAMPA CONCORDIA, COMUNA DE ARICA	2021	PROYECTO	AGUA POTABLE	2	Perfil	AGUA POTABLE RURAL MOP	DOH región de Arica y Parinacota	2.011.113
		2022	PROYECTO	AGUA POTABLE	57.250	Perfil	AGUA POTABLE RURAL MOP	DOH región de Arica y Parinacota	2.011.111
40028460-0	CONSTRUCCION SISTEMA SSR PAMPA SAN MARTIN, COMUNA DE ARICA	2021	PROYECTO	AGUA POTABLE	2	Perfil	AGUA POTABLE RURAL MOP	DOH región de Arica y Parinacota	1.126.376
		2022	PROYECTO	AGUA POTABLE	529.761	Perfil	AGUA POTABLE RURAL MOP	DOH región de Arica y Parinacota	1.058.803

Fuente: MIDESO (2022).

6.3 Problemáticas levantadas según ejes

En el taller 1 realizado, fueron presentados los listados que sistematizan las problemáticas levantadas en la cuenca, clasificados según los 4 ejes que se indican lo cual se presenta en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4 Listado de problemáticas presentados en PAC.

Eje	Nombre eje	Id Probl.	Problemática levantada
Eje 1	Uso estratégico RRHH	P01	Limitada disponibilidad por sobreexplotación del acuífero.
		P02	Dificultad para concretar iniciativas de riego en el territorio.
		P03	Efectos negativos sobre aguas subterráneas en Chile por extracciones desde Perú.
		P04	Incertidumbre en la disponibilidad hídrica para la implementación de SSR.
		P05	Impacto en la oferta hídrica por variabilidad climática.
		P06	Creciente déficit de agua para el consumo humano.
		P07	Precariedad en la infraestructura de acumulación de agua para SSR.
Eje 2	Información y Monitoreo	P08	Desconocimiento en la gestión de entrega de derechos de agua.
		P09	Insuficiente red de monitoreo hídrico, especialmente calidad de agua, niveles y extracciones de aguas subterráneas.
		P10	Falta de información y desconocimiento del funcionamiento del sistema hidrogeológico de la cuenca, tanto del lado chileno como peruano.
Eje 3	Gestión y gobernanza	P11	Extracciones ilegales de aguas.
		P12	Compleja coordinación y planificación de la gestión del acuífero, al ser compartido entre dos países.
		P13	Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (lado chileno).
		P14	Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (Binacional).
		P15	Limitadas oportunidades de desarrollo productivo.
		P16	Deficiente gestión administrativa que permita la entrega de agua potable a las familias del sector.
		P17	Disconformidad de actores sobre el Plan de alerta temprana vigente en la cuenca.
		P18	Escasa coordinación e interés en asociatividad (trabajo en conjunto o conformación de algún tipo de OUA).
		P19	Existe la percepción de los usuarios que su opinión no es considerada en los estudios.
Eje 4	Conservación y Protección RRHH	P20	Acuífero con altos niveles de salinidad.
		P21	Incertidumbre por contaminación industrial y agrícola.

Los resultados de la priorización de problemáticas permiten dar un marco referencial para apoyar la identificación de iniciativas que serán parte del Plan de acción. En este sentido, la Tabla 6-5 muestra los resultados de la priorización de problemas en el taller 1.

Tabla 6-5 Resultados de la priorización de problemas en taller 1.

Eje	Id	Problemáticas	Puntaje promedio taller 1	Lugar
EJE 1: Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	P04	Incertidumbre en la disponibilidad hídrica para la implementación de SSR.	5,0	1°
	P01	Limitada disponibilidad por sobreexplotación del acuífero.	4,2	2°
	P03	Efectos negativos sobre aguas subterráneas en Chile por extracciones desde Perú.	4,2	3°
	P05	Impacto en la oferta hídrica por variabilidad climática.	3,8	4°
	P06	Creciente déficit de agua para el consumo humano.	1,9	5°
	P07	Precariedad en la infraestructura de acumulación de agua para SSR.	1,5	6°
	P02	Dificultad para concretar iniciativas de riego en el territorio.	1,2	7°
EJE 2: Información y monitoreo del recurso hídrico	P10	Falta de información y desconocimiento del funcionamiento del sistema hidrogeológico	5,0	1°
	P09	Insuficiente red de monitoreo hídrico, especialmente calidad de agua, niveles y	3,3	2°
	P08	Desconocimiento en la gestión de entrega de derechos de agua.	1,7	3°
EJE 3: Gestión y gobernanza del agua	P14	Ausencia de instancia que permita gestionar el acuífero de forma integral (Binacional).	5,0	1°
	P13	Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (lado chileno).	4,4	2°
	P18	Escasa coordinación e interés en asociatividad (trabajo en conjunto o	4,4	3°
	P12	Compleja coordinación y planificación de la gestión del acuífero, al ser compartido entre	3,8	4°
	P11	Extracciones ilegales de aguas.	2,6	5°
	P19	Existe la percepción de los usuarios que su opinión no es considerada en los estudios.	2,6	6°
	P16	Deficiente gestión administrativa que permita la entrega de agua potable a las	2,4	7°
	P15	Limitadas oportunidades de desarrollo productivo.	1,5	8°
	P17	Disconformidad de actores sobre el Plan de alerta temprana vigente en la cuenca.	0,9	9°
EJE 4: Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	P20	Acuífero con altos niveles de salinidad.	5,0	1°
	P21	Incertidumbre por contaminación industrial y agrícola.	2,7	2°

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Iniciativas presentadas en PAC

Para avanzar hacia un análisis de iniciativas de solución desde las problemáticas planteadas, en un principio el equipo de trabajo levantó iniciativas estratégicas planteadas por estudios previos para la zona de estudio en concordancia con las problemáticas y brechas existentes en la cuenca, y sumado a iniciativas levantadas durante el proceso de PAC.

Se identificó un total de 19 iniciativas, las cuales se presentan en la Tabla 6-6. Dichas iniciativas provienen tanto de la revisión bibliográfica, de reuniones y de las instancias de PAC realizadas, así como de la experiencia y análisis realizado por el equipo consultor. Para un mejor entendimiento de los actores y para facilitar posteriormente una priorización, las iniciativas identificadas fueron clasificadas según cuatro tipologías generales (Obras de infraestructura (OI), Medidas de gestión (MG), Nuevas fuentes (NF), Otras medidas (OM)). Dicha clasificación de tipologías ya fue detallada en Figura 6-1.

Tabla 6-6 Listado de iniciativas de solución (19) presentadas en actividades PAC según tipología.

Tipología	Id	Nombre Iniciativa	Fuente
Obras de Infraestructura (OI)	I01	Implementación y mejoramiento de pozos y estanques.	PAC, Revisión bibliográfica
	I02	Implementación de arranque de agua para Carabineros, Retén Central.	PAC
	I03	Construcción sistema SSR Pampa San Martin y Concordia.	Revisión bibliográfica, PAC
Medidas de gestión (MG)	I04	Estudio para evaluar factibilidad de cambios de puntos de captación en el acuífero.	PAC
	I05	Programa de apoyo para la tecnificación de riego e innovación.	Revisión bibliográfica
	I06	Constituir nuevos derechos para abastecer SSR.	PAC
	I07	Conformación de CASUB.	Revisión bibliográfica
	I08	Mejoras en la coordinación y articulación de los servicios públicos.	Equipo consultor, PAC
	I09	Plan de trabajo a mediano plazo para abordar la temática recursos hídricos compartidos en el área de estudio.	PAC
	I10	Conformación de Mesa del Agua de la cuenca.	Equipo consultor
Nuevas Fuentes (NF)	I11	Trasvase de recurso hídrico desde cuenca río Lluta.	Revisión bibliográfica
	I12	Estudio para evaluar la factibilidad de Instalación de atrapanieblas y captadores de humedad atmosférica.	Revisión bibliográfica
	I13	Estudio para evaluar la factibilidad de trasvase aguas subterráneas desde cuenca Uchusuma.	Revisión bibliográfica
	I14	Planta desaladora con alcance en la Cuenca Quebrada La Concordia.	Revisión bibliográfica
	I15	Tratamiento de aguas servidas de Arica para abastecer demanda en Concordia.	Revisión bibliográfica
Otras medidas (OM)	I16	Fondo para la investigación aplicada en temas agrícolas y eficiencia hídrica.	Revisión bibliográfica

Tipología	Id	Nombre Iniciativa	Fuente
	I17	Estudio para evaluar factibilidad de flexibilizar PAT para un aumento de las extracciones.	PAC
	I18	Plan de recuperación de acuíferos cuya sustentabilidad se encuentre afectada.	Revisión bibliográfica
	I19	Estudios de exploración Geofísica.	Equipo consultor

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1 Relación entre iniciativas levantadas y los objetivos del plan

Las iniciativas levantadas y propuestas para la discusión en el proceso de PAC, fueron seleccionadas a partir del análisis de antecedentes y las reuniones bilaterales desarrolladas como primer acercamiento con los actores de la cuenca.

Este conjunto de iniciativas debe abordar el conjunto de objetivos del PEGH asociados a sus ejes. Lo anterior, se presenta en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7 Relación entre iniciativas identificadas, ejes y objetivos del PEGH.

Ejes	Objetivos	Iniciativas																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1.1 Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua para agua potable, riego y desarrollo industrial considerando cambio climático y la condición de escasez hídrica en la cuenca.																			
	1.2 Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.																			
	1.3 Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.																			
2. Información y monitoreo del recurso hídrico	2.1 Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo y de montaña).																			
	2.2 Mejorar el conocimiento hidrológico e hidrogeológico de la cuenca.																			
3. Gestión y gobernanza del agua	3.1 Promover la conformación de OUA y fortalecer las existentes.																			
	3.2 Promover y revitalizar la alianza público-privada en materia hídrica (gobernanza).																			
4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	4.1 Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas y proteger funciones ecosistémicas de las fuentes superficiales y subterráneas.																			

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Iniciativas adicionales a partir del diagnóstico y de los resultados de la modelación

En esta sección se entrega información adicional para ser consideradas en la elaboración del plan de acción al plantear recomendaciones de iniciativas que, si bien no son visibilizadas como prioridad por parte de los actores locales, sí resultan relevantes desde el punto de vista del equipo consultor, así como los tomadores de decisión.

A partir del trabajo de diagnóstico y modelación del presente PEGH, se identificó un conjunto de brechas, las cuales se presentan en el capítulo 6 del Anexo H. Dichas brechas dan lugar a un conjunto de recomendaciones para abordar las problemáticas identificadas durante el proceso de diagnóstico y modelación, lo cual se presenta en la Tabla 6-8 e incluye dos columnas (ámbito y sub-Ámbito) para clasificar cada recomendación propuesta.

Tabla 6-8 Resumen de recomendaciones desde el diagnóstico y la modelación desarrollada

Ámbito	Sub-ámbito	Recomendaciones
Monitoreo	Niveles	Se recomienda ampliar la caracterización de hidrogeología en profundidad. Principalmente se recomienda realizar estudios en terreno como perforaciones que permitan la medición de niveles y concentraciones principalmente en el sector fronterizo con Perú e incluir otros puntos de monitoreo de niveles en el sector cercano a la cuenca de río Lluta.
Monitoreo	Precipitaciones	De contar con mejor información de precipitación en la parte alta del modelo se recomienda mejorar las estimaciones de recarga, tanto para la Quebrada la Concordia como en la Quebrada de Escritos/Caplina.
Gestión	Comparación binacional	Se recomienda buscar generar un acuerdo binacional entre Chile y Perú para compartir datos hidrogeológicos ya que el sistema acuífero Concordia tiene conexión con el sistema acuífero Caplina.
Monitoreo	Extracciones	Se debe construir pozos de monitoreo de niveles (piezómetros) sin bombeo, cerca del límite fronterizo con Perú, para monitorear la dirección de flujo.
Estudio	Sustentabilidad	Se recomienda reevaluar los criterios de sustentabilidad y establecer una extracción máxima sustentable.

Fuente: Elaboración Propia.

7 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

7.1 Priorización de iniciativas

7.1.1 Resumen metodológico

Los pasos desarrollados para la priorización de acciones e identificación de iniciativas que se describen a continuación se presentan de manera esquemática en la Figura 7-1.

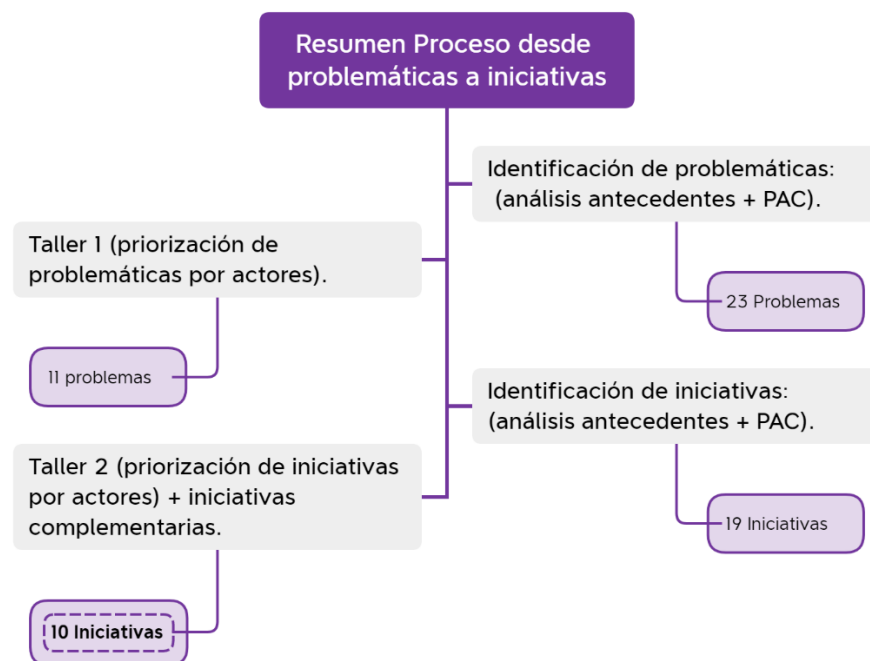


Figura 7-1 Esquema general para elaboración de PEGH.

Fuente: Elaboración propia.

Las 19 iniciativas que fueron presentadas a los actores en la ronda de Taller 2, donde dicho listado fue priorizado y se presenta en Tabla 7-1.

Tabla 7-1 Resultados de votación de iniciativas en PAC (taller 2) y priorización.

Eje	Id	Iniciativas de solución según tipo	Notas (1-5) SSPP-Com-ICASS	Lugar	Prioriza
Tipo 1: OI	101	Implementación y mejoramiento de pozos y estanques.	2,5	3	-
	102	Implementación de arranque de agua para Carabineros, Retén Central.	3,5	2	-
	103	Construcción sistema SSR Pampa San Martín y Concordia.	4,0	1	Por votación
Tipo 2: MG	104	Estudio para evaluar factibilidad de cambios de puntos de captación en el acuífero.	4,4	3	-
	105	Programa de apoyo para la tecnificación de riego e innovación.	1,5	7	-
	106	Constituir nuevos derechos para abastecer SSR.	3,5	5	-
	107	Conformación de CASUB.	1,8	6	-
	108	Mejoras en la coordinación y articulación de los servicios públicos..	3,8	4	Adiciona (estratégica)
	109	Plan de trabajo a mediano plazo para abordar la temática recursos hídricos compartidos en el área de estudio.	5,0	1	Por votación
	110	Conformación de Mesa del Agua de la cuenca.	5,0	2	Por votación
Tipo 3: NF	111	Trasvase de recurso hídrico desde cuenca río Lluta.	4,5	2	Por votación
	112	Estudio para evaluar la factibilidad de Instalación de atrapanieblas y captadores de humedad atmosférica.	1,8	4	-
	113	Estudio para evaluar la factibilidad de trasvase aguas subterráneas desde cuenca Uchusuma.	2,3	3	-
	114	Planta desaladora con alcance en la Cuenca Quebrada La Concordia.	5,0	1	Por votación
	115	Tratamiento de aguas servidas de Arica para abastecer demanda en Concordia.	5,0	1	Por votación
Tipo 4: OM	116	Fondo para la investigación aplicada en temas agrícolas y eficiencia hídrica.	2,1	4	
	117	Estudio para evaluar factibilidad de flexibilizar PAT para un aumento de las extracciones.	2,5	3	Adicional (estratégica)
	118	Plan de recuperación de acuíferos cuya sustentabilidad se encuentre afectada.	2,9	2	Por votación
	119	Estudios de exploración Geofísica.	5,0	1	Por votación

Fuente: Elaboración propia.

Las problemáticas de mayor valoración están cubiertas por el conjunto de iniciativas levantadas.

Al hacer la comparación de problemáticas priorizadas junto con iniciativas priorizadas, (Tabla 7-2 y Figura 7-2), también se aprecia que las iniciativas priorizadas cubren las problemáticas priorizadas.

Tabla 7-2 Relación entre los Problemas priorizados (Pi) e iniciativas priorizadas (Ii).

			Iniciativas									
			SSR Pampa San Martín y Pampa Concordia	Mejor coordinación Servicios públicos	Plan de trabajo recursos hídricos	Mesa del agua	Trasvase desde cuenca río Lluta	Planta desaladora	Tratamiento aguas servidas Arica	Estudio flexibilización de PAT	Plan recuperación de acuífero	Estudios geofísica
Eje	Id	Problemáticas	I03	I08	I09	I10	I11	I14	I15	I17	I18	I19
1	P01	Limitada disponibilidad por sobreexplotación del acuífero										
	P03	Efectos negativos sobre las aguas subterráneas en Chile por extracciones desde Perú.										
	P04	Incertidumbre en la disponibilidad hídrica para la implementación del SSR.										
2	P09	Insuficiente red de monitoreo hídrico, especialmente calidad de agua, niveles y extracciones de aguas subterráneas.										
	P10	Falta de información y desconocimiento del funcionamiento del sistema hidrogeológico de la cuenca, tanto del lado chileno como peruano.										
3	P12	Compleja coordinación y planificación del acuífero, al ser compartido entre dos países										
	P13	Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (lado chileno)										
	P14	Ausencia de instancia permita gestionar el acuífero de forma integral (Binacional)										
	P18	Escasa coordinación e interés en asociatividad (trabajo en conjunto o conformación de algún tipo de OUA)										
4	P20	Acuífero con altos niveles de salinidad										

Notas:

- Las filas corresponden a las problemáticas con mayor valoración por eje (priorizadas).
- En las columnas se indican las 10 iniciativas priorizadas, incluyendo un nombre simplificado y cuyo nombre completo se indicó en Tabla 6-6.
- Las celdas marcadas en azul dan cuenta que la iniciativa aborda la problemática de la fila correspondiente.

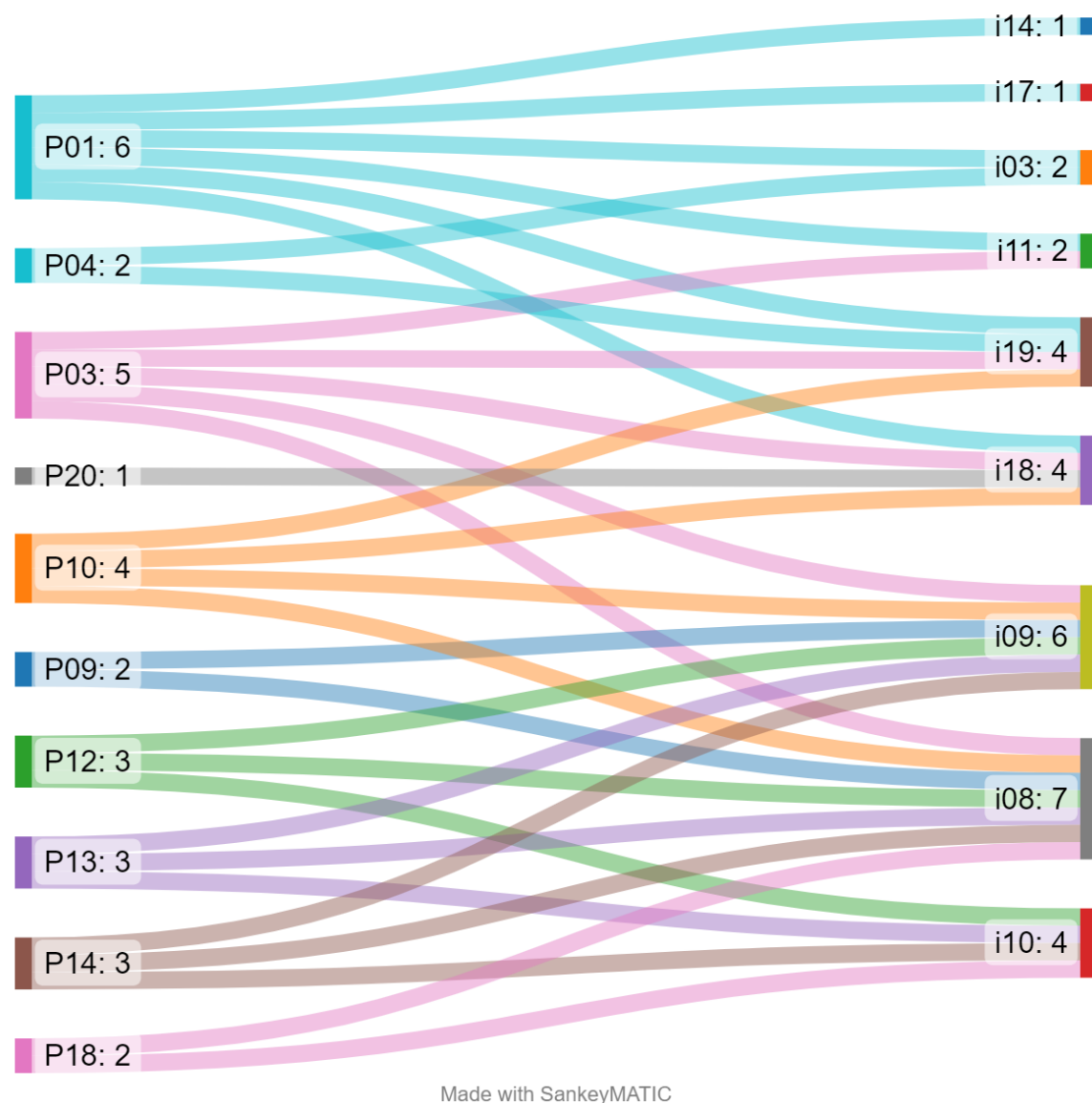


Figura 7-2 Relación problemas priorizados (Pi) e iniciativas priorizadas (Ii).

7.2 Listado definitivo de iniciativas para incorporar al PEGH

El número total de iniciativas propuestas es 10, las que se presentan en la Tabla 7-3. En la Tabla 7-2 se incorporan montos, plazos, responsables y posibles fuentes de financiamiento de las iniciativas propuestas.

Tabla 7-3 Listado final de iniciativas a incorporar en el PEGH.

Tipo	Id	Iniciativas de solución
Obras de infraestructura	I03	Construcción sistema SSR Pampa San Martín y Concordia.
Medidas de gestión	I08	Mejoras en la coordinación y articulación de los servicios públicos.
	I09	Plan de trabajo a mediano plazo para abordar la temática de recursos hídricos compartidos en el área de estudio.
	I10	Conformación de Mesa del Agua de la cuenca.
Nuevas fuentes de agua	I11	Trasvase de recurso hídrico desde cuenca río Lluta.
	I14	Planta desaladora con alcance en la Cuenca Quebrada La Concordia
	I15	Tratamiento de aguas servidas de Arica para abastecer demanda en Concordia.
Otras medidas	I17	Estudio para evaluar factibilidad de flexibilizar PAT para un aumento de las extracciones.
	I18	Plan de recuperación de acuíferos cuya sustentabilidad se encuentre afectada.
	I19	Estudios de exploración Geofísica.

Tabla 7-4 Listado final de iniciativas a incorporar en el PEGH con plazos, costos y responsables.

Id	Iniciativas de solución	Plazo Implementación (años)	Inversión [miles de UF]	Operación anual [miles de UF]	Responsable	Tipo de financiamiento	Fuente financiamiento principal	Fuente financiamiento secundaria
I03	Construcción sistema SSR Pampa San Martín y Concordia.	3	100,3	-	DOH	Público	DOH	-
I08	Mejoras en la coordinación Servicios públicos.	2	1,8	-	DGA	Público	GORE Arica y Parinacota	-
I09	Plan de trabajo a mediano plazo para abordar la temática de recursos hídricos compartidos en el área de estudio.	3	28,9	-	DIFROL	Público	DIFROL	-
I10	Mesa del agua.	5	3,5	-	DGA	Público	GORE Arica y Parinacota	-
I11	Trasvase de recurso hídrico desde río Lluta.	3	173,3	-	DOH	Público	DOH	-
I14	Planta desaladora con alcance en la Cuenca Quebrada La Concordia.	5	245,3	40,4	DOH	Mixto público-privado	GORE Arica y Parinacota+ Privado	Privado
I15	Tratamiento de aguas servidas de Arica para abastecer demanda en Concordia.	3	582,7	80,8	DOH	Mixto público-privado	GORE Arica y Parinacota+ Privado	Privado

I17	Estudio para evaluar factibilidad de flexibilizar PAT para un aumento de las extracciones.	1	2,3	-	INIA	Mixto público-privado	CNR+ Privado	Privado
I18	Plan de recuperación de acuíferos cuya sustentabilidad se encuentre afectada.	2	7,2	-	DGA	Público	DGA	-
I19	Estudios de exploración geofísica	1	4,3	-	DGA	Público	GORE Arica y Parinacota	-

7.2.1 Fichas resumen de las iniciativas propuestas

Las fichas resumen de las iniciativas propuestas en el marco de este PEGH se presentan en la sección Apéndice digital del Anexo K, incluyendo la evaluación económica y fichas descriptivas.

7.3 Propuesta de planificación de ejecución del plan

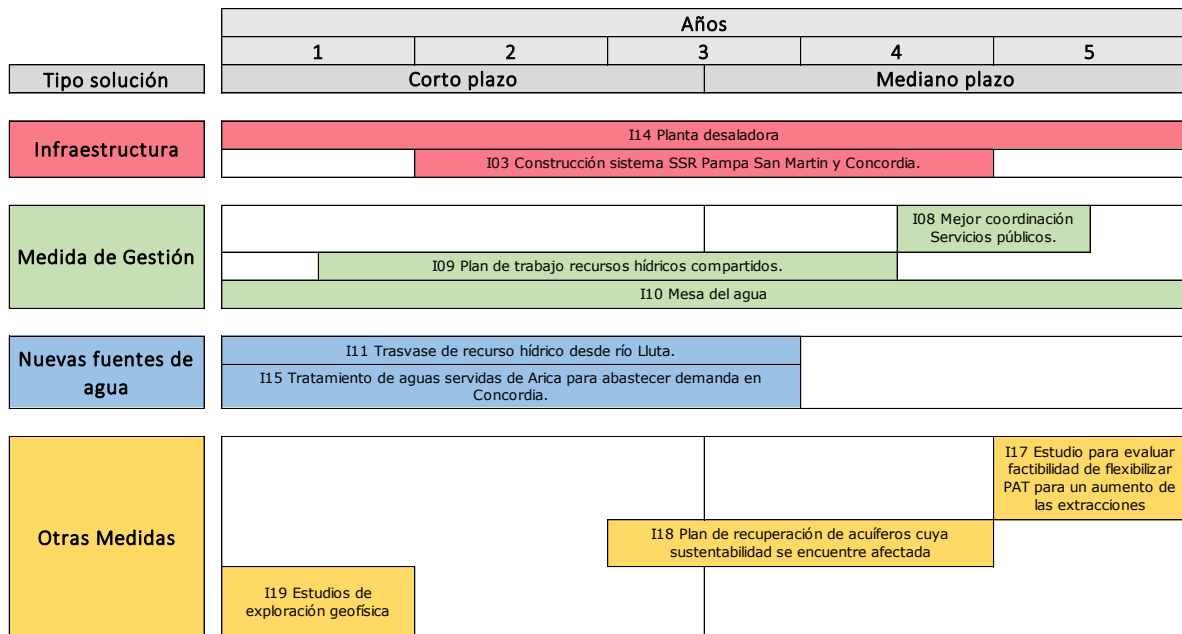
Para poder establecer una planificación de las iniciativas en el marco del PEGH se desarrolló una evaluación considerando 4 criterios:

- Ambiental (SEIA e Impacto positivo)
- Participativo
- Económico
- Estratégico/Temporalidad

Estos criterios se detallan en el Anexo F sección 5.1, y permitieron priorizar las iniciativas (Apéndice digital K1 de Anexo K) que finalmente se incorporan en la planificación presentada en el cronograma de la sección 7.4 del presente informe.

7.4 Cronograma de las soluciones

En el esquema presentado en la Figura 7-3, se presenta la hoja de ruta propuesta para el PEGH de la cuenca Quebrada de La Concordia. Es el resultado del análisis e integración de los diversos componentes trabajados, priorizados y seleccionados a través de todo el estudio. Se tomó en consideración su temporalidad orientativa en el corto y mediano plazo, planificación desarrollada a partir de la priorización de iniciativas detallada en el Anexo F sección 5.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-3 Cronograma de iniciativas del PEGH

7.5 Valorización del Plan

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor de inversión de 1.254,1 miles de UF. El financiamiento del PEGH se basa principalmente en la coordinación de las entidades públicas, reasignación de presupuesto público, y la gestión de los fondos y/o programas en forma consistente a los objetivos y medidas del Plan.

En la Tabla 7-5 y Figura 7-4 se resume la inversión por entidades financieras donde destaca como principal responsable financiero el Gore Región de Arica y Parinacota en alianza con privados (para algunas iniciativas de financiamiento mixto público-privado) y en segundo lugar a la DOH.

Tabla 7-5 Inversión por entidad financiera

Responsable	Inversión [miles de UF]
CNR+Privado	2,3
DGA	7,2
Gore Región de Arica y Parinacota	14,8
Gore Región de Arica y Parinacota+ Privado	868,7
DOH	332,2
DIFROL	28,9
Total	1254,1

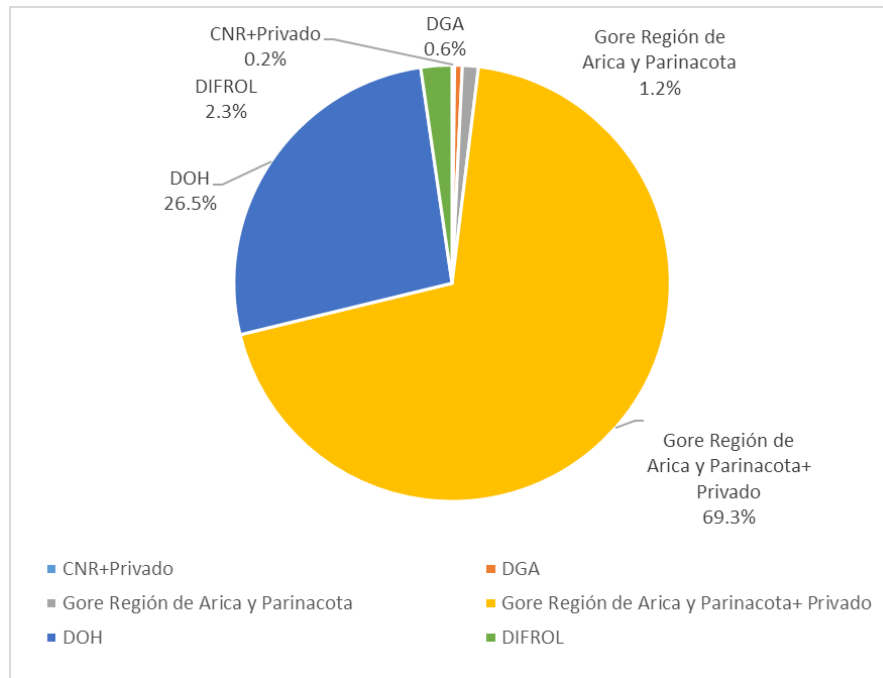


Figura 7-4 Porcentajes de la inversión total según entidad financiera

La Tabla 7-6 presenta los valores de Costo Anual Equivalente (CAE) y Valor de Costo (VAC) asociados a las iniciativas priorizadas.

Tabla 7-6 Costo Anual Equivalente (CAE) y Valor de Costo (VAC) asociados a las iniciativas priorizadas.

Id	Iniciativas	VAC	CAE
I03	Construcción sistema SSR Pampa San Martin y Concordia.	114,06	9,94
I08	Mejor coordinación servicios públicos.	1,80	0,98
I09	Plan de trabajo a mediano plazo para abordar la temática de recursos hídricos compartidos en el área de estudio.	28,90	10,81
I10	Mesa del agua.	8,70	2,07
I11	Trasvase de recurso hídrico desde río Lluta.	247,96	21,62
I14	Planta desaladora con alcance en la Cuenca Quebrada La Concordia.	708,68	61,79
I15	Tratamiento de aguas servidas de Arica para abastecer demanda en Concordia.	1321,92	115,25
I17	Estudio para evaluar factibilidad de flexibilizar PAT para un aumento de las extracciones.	2,30	0,20
I18	Plan de recuperación de acuíferos cuya sustentabilidad se encuentre afectada.	7,20	3,93
I19	Estudios de exploración geofísica	4,30	4,56

Fuente: Elaboración propia.

8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se presentan las características necesarias para la correcta implementación del PEGH. Se incluye también un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

8.1 Estrategia de Implementación

Para lograr implementar las iniciativas del PEGH es necesario conocer los diferentes aspectos que puedan influir en la implementación de las acciones del plan, dentro de lo cual se pueden identificar aspectos institucionales, culturales, normativos, y económicos,

En cuanto a los Aspectos institucionales, en la cuenca existen diversas instituciones que poseen influencia en materia hídrica y son condicionantes para la implementación de las iniciativas del plan. Por tanto, no tan solo hay que tener en consideración a los organismos públicos pertinentes sino también a la interacción o instancias de coordinación donde puedan relacionarse estos organismos. Las interacciones clave se indican en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1 Interacciones clave de actores del territorio cuenca Quebrada de La Concordia.

Instituciones	Interacción
DGA-INIA	Coordinación para el uso del recurso hídrico y la implementación, mejoras, seguimiento y adecuaciones del PAT-INIA (Plan de Alerta Temprana).
DGA-CNR	Trabajo conjunto para la gestión hídrica y uso del recurso en riego. Coherencia de políticas públicas.
DGA-DOH	Trabajo conjunto en cuanto a los derechos, financiamiento y apoyo en la gestión del agua con los Comités de SSR.
DGA-GORE	Vinculación en la proyección y planificación de iniciativas de inversión que permitan una gestión hídrica exitosa en la cuenca.
DGA-CNR-DOH-MIDESO	Coordinación en el trabajo de planificación, financiamiento y ejecución de soluciones para usuarios de SSR en el sector Quebrada de La Concordia.
CORFO-GORE	Coordinación para el financiamiento de iniciativas relacionadas con innovación y fomento al riego y al desarrollo productivo en la zona.
DGA-Usuarios del recurso hídrico	Coordinación en la entrega de información, tanto en calidad de agua como derechos de agua, y fiscalización de las extracciones efectivas.
Municipio-GORE	Planificación territorial, en cuanto a visión y misión conjunta del territorio cuenca quebrada de La Concordia.
DGA-DIFROL	Coordinación en la planificación y ejecución de iniciativas de inversión que permitan mejorar el conocimiento, monitoreo y proyecciones futuras del comportamiento de niveles y disponibilidad de aguas subterráneas en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8-1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH.

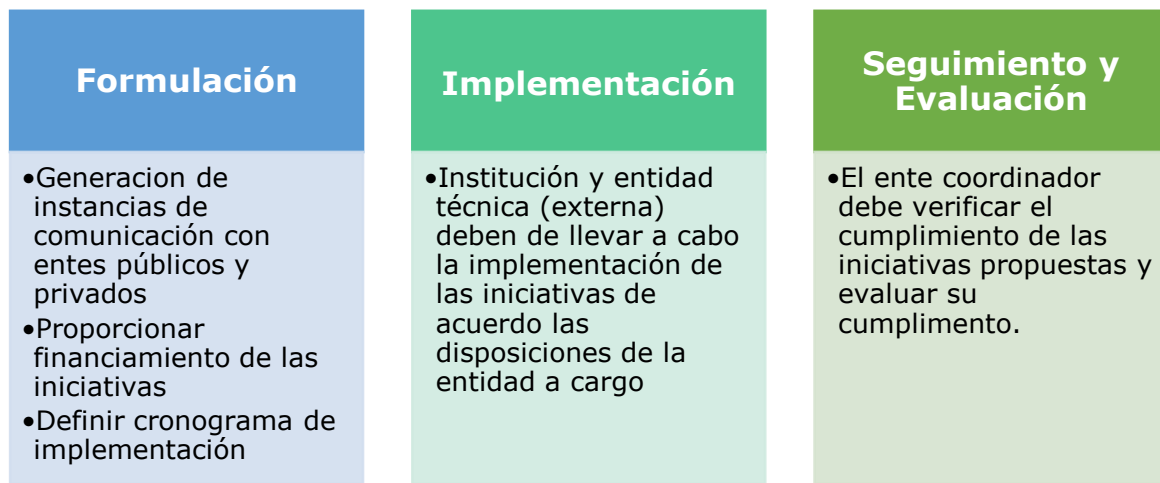


Figura 8-1 Esquema de implementación del PEGH

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Gobernanza del Plan Estratégico

El Plan Estratégico para la gestión de la cuenca es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación, en las cuales se propone integrar la dimensión de la gobernanza para su desarrollo.

De esta forma, en la etapa de formulación del plan se requiere la creación de una instancia que permita la participación y vinculación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos, que se denomina Mesa PEGH. En este sentido, la Mesa PEGH podría evolucionar en su rol, adquiriendo una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos estratégicos del plan, en este caso, su formulación y actualización. Además, podría ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y actores presentes en el territorio. Sin embargo, esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida, por lo que se debe avanzar hacia niveles deliberativos en la gobernanza del agua, teniendo en cuenta los límites y reglamentación vigente para ello.

Para la implementación del PEGH se requiere atender a diversos factores que incidirán o afectarán su buen desarrollo, tales como la precisión de las responsabilidades

institucionales, el interés y confianza de los actores involucrados en el plan, los recursos financieros disponibles, el fortalecimiento de las capacidades técnicas en los equipos territoriales y los imponderables u otras externalidades positivas o negativas particulares de la o las iniciativas del plan.

Asimismo, la etapa de implementación del plan requiere contar con una instancia de coordinación, ausente actualmente en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. También, se hace necesaria dicha instancia de coordinación para las etapas de seguimiento y evaluación, que se haga cargo de llevar un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan Estratégico formulado, permitiendo su actualización.

En particular, en la cuenca Quebrada de La Concordia, los actores clave en la gobernanza de la misma son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico, el Municipio de Arica, y los comités de SSR del territorio, ya sea vigentes o en proceso de conformación. De este modo, no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y privados en este tema. Por lo tanto, también resultan relevantes las empresas privadas como elementos estructurantes dentro de la dinámica social de la cuenca, puesto que son los que absorben la mayor cantidad de derechos, pero a su vez generan empleo. Por lo tanto, también se debe incorporar para el desarrollo de una exitosa gobernanza.

En el caso de las OUA, se requiere generar acciones para su conformación y su fortalecimiento organizacional. Por lo anterior, se debe considerar apoyo y acompañamiento para su participación en la gobernanza de la cuenca en el marco del Plan Estratégico.

A continuación, se propone un modelo de gobernanza, consistente en una mesa técnica coordinada por DGA y Mesa PEGH, cuyos miembros son los distintos grupos de actores que fueron mapeados y analizados en el estudio.

La propuesta de gobernanza para el PEGH considera una mesa técnica donde la DGA regional toma un rol relevante tanto en la coordinación como en el monitoreo y evaluación del avance del PEGH. La Figura 8-2 muestra los componentes de la mesa técnica.

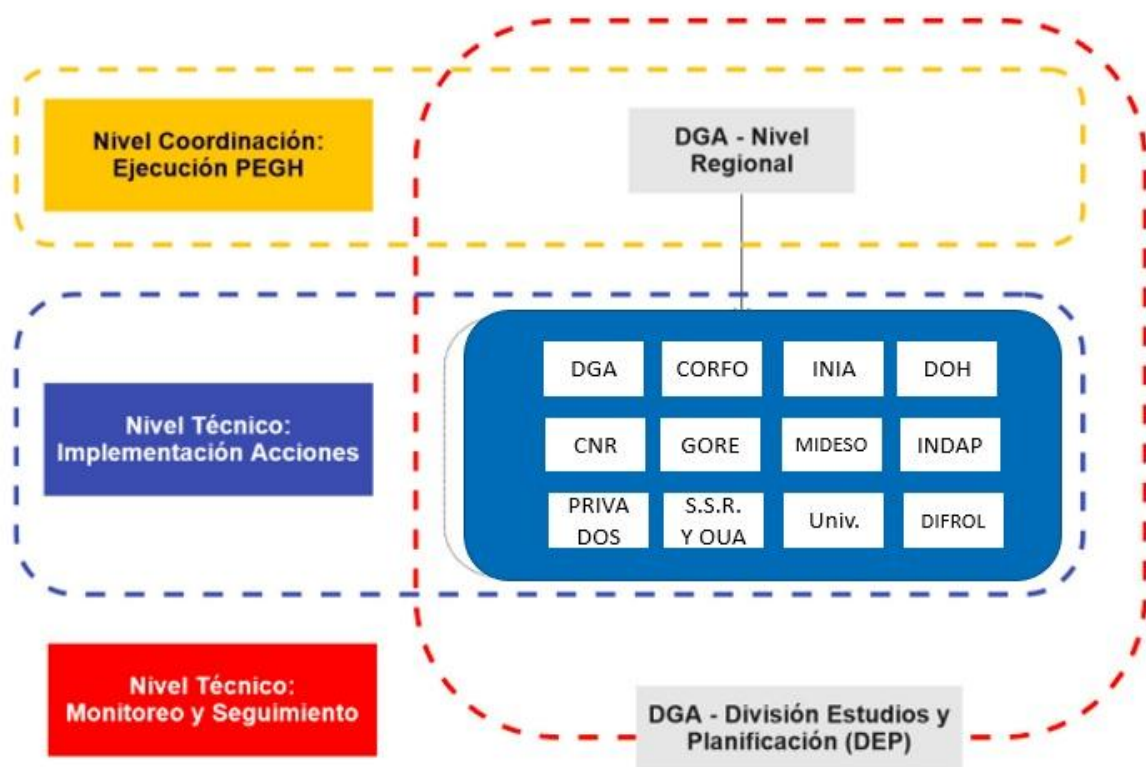


Figura 8-2 Esquema de gobernanza para el PEGH.

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Estrategia de comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH deberá considerar a los actores que participaron de este proceso, en vista de que se vinculan con la necesidad de implementar una estrategia de Gobernanza pertinente a la cuenca.

Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras. El resumen las actividades de comunicación y difusión durante el proyecto en la Figura 8-3.

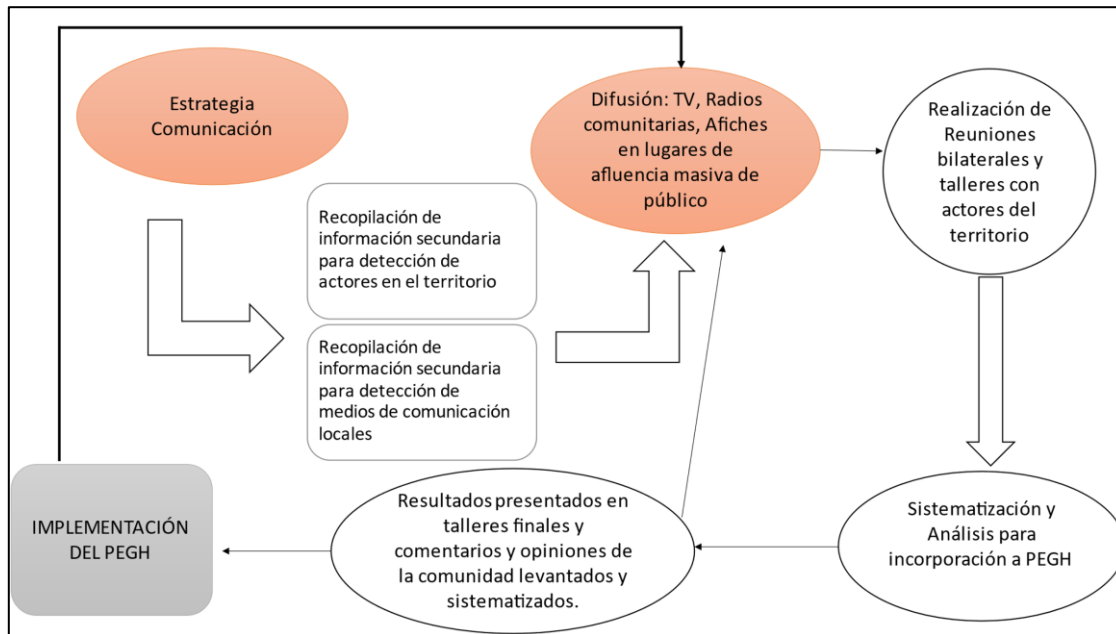


Figura 8-3 Estrategia comunicacional PEGH

Fuente: Elaboración propia.

9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados, con el objetivo de evaluar la eficacia de la implementación del PEGH, estableciendo para ello indicadores que permitan seguir el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos definidos para el PEGH.

9.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo del PEGH busca establecer el grado de cumplimiento en el tiempo de las iniciativas del PEGH, y así, evaluar el grado de avance para alcanzar los objetivos formulados por el plan a través de un modelo de seguimiento. Este programa de Monitoreo se basa en experiencias anteriores en materia de planes hídricos de cuenca.

El PEGH centrará sus esfuerzos en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años. Para el periodo posterior (mediano y largo plazo) el Plan de monitoreo deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado.

Entre los indicadores propuestos, se cuentan:

- a. Indicadores Generales:** Cuantifican el grado de avance del plan a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt.
- b. Indicadores Específicos:** Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del PEGH y el aporte al balance hídrico.
- c. Parámetro de referencia:** Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del Plan de Monitoreo.
- d. Umbrales:** Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador presentados.

e. Frecuencia de revisión: El plan de monitoreo considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cuatro años (2023-2026), a través de los indicadores descritos anteriormente. Y se contempla una evaluación y rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PEGH.

f. Plan de Acción: Si la evaluación realizada a través del Plan de monitoreo indica que no se ha cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

El Plan de Monitoreo del PEGH se detalla en capítulo 9 del informe principal, incluyendo los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido por indicador de seguimiento.

9.2 Mecanismos de evaluación, actualización y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos), y finalmente, en un contexto político donde la propiedad sobre el agua y el rol de las comunidades en la cuenca podría tornarse en un tema conflictivo. Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

En el presente mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca Quebrada de La Concordia en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el

estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca, solución de brechas de información identificadas en el desarrollo del PEGH y actualización del modelo desarrollado. Considera recopilar, revisar y analizar los nuevos antecedentes generados durante los 5 años de implementación del PEGH.

2. Actualización de las problemáticas, brechas y cartera actual de acciones generadas en la cuenca a nivel público como privado.
3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
4. Evaluación de nuevos escenarios de gestión a través de la herramienta de modelación disponible.
5. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
6. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá definir cómo abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.

Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.