



**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
MEJORAMIENTO SISTEMA DE RIEGO EN RÍO SAN PEDRO,
SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

SANTIAGO, FEBRERO DE 2014

Estudio Elaborado por:

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería
Hidráulica y de Riego

Capítulo 3 - 1

M^a Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2)
2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Dir: María Luisa Santander 0231, PROVIDENCIA – SANTIAGO
Fonos: 02-23414800 – e-mail: oficina@arrauingenieria.cl – www.arrauingenieria.cl

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO SISTEMA DE RIEGO EN RÍO SAN PEDRO, SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INDICE GENERAL

- VOLUMEN I : INGENIERÍA
- VOLUMEN II : TOPOGRAFÍA
- VOLUMEN III : ESTUDIO AGROECONÓMICO
- VOLUMEN IV : ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
- VOLUMEN V : PARTICIPACIÓN CIUDADANA
- VOLUMEN VI : PLANOS

FEBRERO 2014

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápite	Descripción	Página
1	INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1 - 1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1 - 1
1.2.	UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	1 - 1
1.3.	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1 - 2
1.4.	OBJETIVO GENERAL	1 - 4
1.5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1 - 4
1.6.	CONTENIDOS DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD	1 - 5
2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	2 - 1
2.1.	INTRODUCCIÓN	2 - 1
2.2.	ANÁLISIS DE ESTUDIOS ANTERIORES	2 - 1
2.2.1.	Estudio de Factibilidad DOH-Arrau, 2000	2 - 1
2.2.2.	Diseño Definitivo (DOH -Luis San Martín, 2001)	2 - 3
2.2.2.1.	Embalse Coyil	2 - 3
2.2.2.2.	Análisis de Alternativas de Conducción del Río Salado y Diseño de Obras	2 - 7
2.2.3.	Mejoramiento del Regadío de San Pedro de Atacama, Informe Preliminar, Octubre de 1959, Fernando Dávila I., Ambrosio G. Huidobro E., Emilio Donoso D.	2 - 11
2.2.4.	Aprovechamiento Integral de los Recursos de Agua de San Pedro de Atacama, Fernando Dávila, Dirección de Riego, 1960.	2 - 13
2.2.5.	Diagnóstico Obras de Riego Pueblos Hoya Río Salado II Región, IRH Ltda., Mayo 1995, MOP Dirección de Riego.	2 - 16
2.2.6.	Manejo Experimental de la Cuenca del Río San Pedro de Atacama, II Región, R&Q Ingeniería Ltda., Noviembre 1995, MOP, Dirección de Riego	2 - 17
2.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO	2 - 19
2.3.1.	Ubicación del Área de Proyecto	2 - 19
2.3.2.	Estructura Político – Administrativa	2 - 20

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
2.3.3.	Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos	2 - 22
2.3.3.1.	Población	2 - 22
2.3.3.2.	Representación de Grupos Étnicos	2 - 25
2.3.3.3.	Pobreza y Desarrollo Humano	2 - 25
2.3.3.4.	Actividades Económicas y Empleo	2 - 26
2.3.4.	Condiciones de Vida de la Población	2 - 29
2.3.4.1.	Educación	2 - 29
2.3.4.2.	Salud	2 - 30
2.3.4.3.	Vivienda	2 - 31
2.3.4.4.	Agua Potable	2 - 32
2.3.4.5.	Electrificación	2 - 33
2.3.4.6.	Servicios	2 - 34
2.4.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	2 - 35
2.4.1.	DESCRIPCIÓN AGROCLIMÁTICA GENERAL	2 - 35
2.4.2.	Descripción Agrológica General	2 - 37
2.4.3.	Tamaño de la Propiedad Agrícola	2 - 39
2.4.4.	Superficie Agrícola	2 - 40
2.4.5.	Características Climáticas	2 - 41
2.4.6.	Características de los Suelos	2 - 42
2.4.7.	Disponibilidad de Agua para Riego	2 - 43
2.4.7.1.	Aspectos Generales	2 - 43
2.4.7.2.	Río San Pedro de Atacama	2 - 43
2.4.7.3.	Río Vilama	2 - 44
2.4.8.	Características de las Aguas de Riego	2 - 46
2.4.9.	Caracterización de los Agricultores y Población de San Pedro de Atacama	2 - 46
2.5.	ANTECEDENTES PRODUCTIVOS	2 - 47
2.5.1.	Actividad Agrícola	2 - 47
2.5.2.	Actividad Ganadera	2 - 51
2.5.3.	Sistema de Riego Intrapredial	2 - 52
2.5.4.	Nivel Tecnológico de la Agricultura	2 - 52
2.5.5.	Instituciones y Organizaciones Vinculadas en El Desarrollo Agrícola	2 - 53
2.6.	ASPECTOS TECNICOS, LEGALES y AMBIENTALES	2 - 54
2.6.1.	Marco Legal y Administrativo	2 - 54
2.6.1.1.	Aspectos Generales	2 - 54

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
2.6.1.2.	Legislación Relacionada Con El Estudio	2 - 54
2.6.1.3.	Institucionalidad Competente en El Sector Público	2 - 56
2.6.2.	Derechos de Agua y Organizaciones de Usuario	2 - 60
2.6.2.1.	Aspectos Generales	2 - 60
2.6.2.2.	Antecedentes Históricos y Reconocimiento	2 - 60
2.6.2.3.	Listado de Usuarios	2 - 62
2.6.2.4.	Funcionamiento de las Organizaciones	2 - 62
2.7.	DAÑOS PRODUCIDOS POR CRECIDAS	2 - 63
2.7.1.	Aspectos Generales	2 - 63
2.7.2.	Revisión de Antecedentes de Prensa	2 - 63
2.7.3.	Daños Producidos	2 - 68
3	DIAGNÓSTICO	3 - 1
3.1.	SITIOS DE EMBALSE	3 - 1
3.2.	DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA DE RIEGO	3 - 2
3.2.1.	Aspectos Generales	3 - 2
3.2.2.	Situación Actual de las Obras	3 - 3
3.2.2.1.	Bocatomas	3 - 3
3.2.2.2.	Red de Canales de Riego	3 - 3
3.2.2.3.	Canal Matriz	3 - 7
3.2.2.4.	Canales Secundarios	3 - 8
3.2.3.	Distribución del Agua	3 - 13
3.2.4.	Diagnóstico Detallado por Canales Sector Catarpe	3 - 15
3.2.4.1.	Canal Cuchabrache	3 - 15
3.2.4.2.	Canal Patilla	3 - 16
3.2.4.3.	Canal Naranja	3 - 19
3.2.4.4.	Canal Catarpe	3 - 20
3.2.4.5.	Canal Tambillo	3 - 21
3.2.4.6.	Canal Bellavista	3 - 22
3.2.4.7.	Canal Guachar	3 - 23
3.2.5.	Diagnóstico Detallado por Canales Sector San Pedro	3 - 24
3.2.5.1.	Canal Matriz San Pedro	3 - 24
3.2.5.2.	Canal Solor	3 - 37
3.2.5.3.	Canal Coyo	3 - 37

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
3.3.	POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES DEL DESARROLLO PRODUCTIVO	3 - 37
3.3.1.	Aspectos Generales	3 - 37
3.3.2.	Factores Limitantes	3 - 38
3.3.2.1.	Ámbito Técnico/Productivo	3 - 38
3.3.2.2.	Ámbito Mercado/Comercialización	3 - 39
3.3.2.3.	Ámbito Gestión/Asociatividad	3 - 39
3.3.3.	Lineamientos	3 - 40
3.3.3.1.	Aspectos Generales	3 - 40
3.3.3.2.	Ámbito Técnico/Productivo	3 - 40
3.3.3.3.	Ámbito Mercado/Comercialización	3 - 40
3.3.3.4.	Ámbito Gestión/Asociatividad	3 - 41
4	TRABAJOS DE TERRENO	4 - 1
4.1.	TRABAJOS TOPOGRÁFICOS	4 - 1
4.1.1.	RESTITUCIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA	4 - 1
4.1.1.1.	ASPECTOS GENERALES	4 - 1
4.1.1.2.	OBJETIVO GENERAL	4 - 1
4.1.1.3.	Objetivos Específicos	4 - 1
4.1.2.	Topografía	4 - 2
4.2.	PROSPECCIONES y ENSAYOS	4 - 3
4.2.1.	Sondajes	4 - 3
4.2.1.1.	Sitio 1	4 - 3
4.2.1.2.	Sitio 2	4 - 4
4.2.1.3.	Ensayes en Terreno	4 - 5
4.2.1.4.	Criterios Adoptados para Ubicación y Profundidad de Exploración Recomendadas.	4 - 6
4.2.2.	Perfiles de Refracción Sísmica	4 - 8
4.2.2.1.	Sitio 1	4 - 8
4.2.2.2.	Sitio 2	4 - 10
4.2.2.3.	Análisis de Resultados Obtenidos	4 - 12
4.2.3.	Pozos de Exploración	4 - 13
4.2.3.1.	Prospecciones en Sitios del Eje del Muro	4 - 13
4.2.3.2.	Prospecciones en Zona de Canales	4 - 15
4.2.3.3.	Prospecciones en Zona de Yacimientos	4 - 16

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
4.2.3.4.	Análisis de Resultados Obtenidos	4 - 17
4.3.	ENSAYES DE LABORATORIO	4 - 17
5	DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS	5 - 1
5.1.	GENERALIDADES	5 - 1
5.2.	ALTERNATIVA 1	5 - 3
5.3.	ALTERNATIVA 2	5 - 7
5.4.	ALTERNATIVA 3	5 - 11
5.5.	ALTERNATIVA 4	5 - 15
5.6.	ALTERNATIVA 5	5 - 19
6	ESTUDIOS BÁSICOS	6 - 1
6.1.	INTRODUCCIÓN	6 - 1
6.2.	ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	6 - 2
6.2.1.	Antecedentes Generales	6 - 2
6.2.2.	Marco Morfológico	6 - 3
6.2.3.	Marco Geológico	6 - 5
6.2.3.1.	Aspectos Generales	6 - 5
6.2.3.2.	Depósitos no Consolidados ó Suelos	6 - 5
6.2.3.3.	BASAMENTO ROCOSO	6 - 7
6.2.4.	Marco Estructural	6 - 11
6.2.5.	Riesgos Geológicos	6 - 12
6.2.5.1.	Aspectos Generales	6 - 12
6.2.5.2.	Diagnóstico de Riesgos Geológicos	6 - 12
6.2.6.	Hidrogeología	6 - 19
6.2.7.	Materiales de Empréstito: Agregados, Áridos, y Enrocados	6 - 20
6.2.7.1.	Agregados y Áridos	6 - 20
6.2.7.2.	Enrocados	6 - 28
6.2.8.	Análisis Geotécnico, Conclusiones y Recomendaciones Respecto de los Terrenos Comprometidos en El Emplazamiento de Obras del Proyecto	6 - 33
6.2.8.1.	Introducción	6 - 33
6.2.8.2.	Túneles de Trasvase (Características de los Túneles y Marco Morfogeológico de los Terrenos Comprometidos en Sus Desarrollos)	6 - 33

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápite	Descripción	Página
6.2.8.3.	Obras de Bocatoma Sobre Río Grande y Alternativas de Presas de Almacenamiento y Regulación Sobre El Río Salado	6 - 42
6.2.8.4.	Obras de Conducción en Tubería Presa Río Salado – Portal de Entrada Túnel Río Salado – Río Grande	6 - 52
6.2.8.5.	Alternativa de Conducción Única de Aguas Mediante Tubería Spiropecc Soterrada	6 - 53
6.2.8.6.	Conclusiones y Recomendaciones	6 - 54
6.2.8.7.	Presas de Control y Regulación de Crecidas en Río San Pedro	6 - 56
6.2.9.	Referencias	6 - 66
6.3.	ESTUDIO GEOTÉCNICO	6 - 67
6.3.1.	Introducción	6 - 67
6.3.2.	Presa de Acumulación	6 - 67
6.3.2.1.	Aspectos Generales	6 - 67
6.3.2.2.	Antecedentes de la Zona del Proyecto	6 - 67
6.3.2.3.	Sitio de Presa N°1	6 - 67
6.3.2.4.	Sitio de Presa N°2	6 - 68
6.3.2.5.	Conclusiones	6 - 69
6.3.3.	Presas de Control y Regulación de Crecidas en Río Grande	6 - 70
6.3.3.1.	Introducción	6 - 70
6.3.3.2.	Sitio Muro	6 - 70
6.3.3.3.	Conclusiones Campaña de Exploración	6 - 70
6.4.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	6 - 71
6.4.1.	Introducción	6 - 71
6.4.2.	Objetivos	6 - 72
6.4.3.	Antecedentes y Área de Estudio	6 - 73
6.4.3.1.	Aspectos Generales	6 - 73
6.4.3.2.	Antecedentes Hidrometeorológicos	6 - 74
6.4.4.	Análisis de Estadística Hidro-Meteorológica	6 - 76
6.4.4.1.	Pluviometría	6 - 76
6.4.4.2.	Registros Evaporación	6 - 80
6.4.4.3.	Precipitación Máxima San Pedro de Atacama	6 - 81
6.4.5.	Fluviometría	6 - 83
6.4.5.1.	Caudales Medios Mensuales	6 - 83
6.4.5.2.	Campañas de Aforos Chi-535, Dga 1978	6 - 91

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
6.4.5.3.	Campaña Aforos 1995	6 - 94
6.4.5.4.	Campaña Aforos 2013	6 - 95
6.4.5.5.	Coeficientes de Trasposición y Caudales Medios Adoptados	6 - 96
6.4.6.	Caudales Máximos	6 - 98
6.4.6.1.	Ajuste de Frecuencia	6 - 98
6.4.6.2.	Fórmula Racional	6 - 103
6.4.6.3.	Verni King	6 - 106
6.4.6.4.	Hidrograma Unitario Sintético	6 - 107
6.4.6.5.	Caudales Adoptados	6 - 111
6.4.6.6.	Precipitación Máxima Probable y Crecida Máxima Probable	6 - 113
6.5.	ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO	6 - 118
6.5.1.	Aspectos Generales	6 - 118
6.5.2.	Gasto Sólido Suspendido	6 - 119
6.5.2.1.	Método MUSLE	6 - 119
6.5.2.2.	Tasa Ayquina	6 - 120
6.5.2.3.	Método USBR	6 - 121
6.5.2.4.	Gasto Arrastre de Fondo	6 - 122
6.5.2.5.	Volumen Sólido Suspendido y de Fondo Adoptados	6 - 123
6.6.	EVALUACIÓN DE CRECIDAS EN LOS CANALES	6 - 124
6.6.1.	Aspectos Generales	6 - 124
6.6.2.	Cálculo del Caudal	6 - 126
6.6.2.1.	Aspectos Generales	6 - 126
6.6.2.2.	Método Racional	6 - 126
6.6.2.3.	Método de Verni King	6 - 126
6.6.2.4.	Coeficientes de Escorrentía	6 - 127
6.6.3.	Caudales de Diseño	6 - 127
6.6.4.	Proposición de Obras	6 - 128
6.6.4.1.	Aspectos Generales	6 - 128
6.6.4.2.	Punto Q1	6 - 129
6.6.4.3.	Punto Q2	6 - 129
6.6.4.4.	Punto Q3 y Q4	6 - 129
6.6.4.5.	Punto Q5	6 - 129
6.6.4.6.	Otros Lugares	6 - 130

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
6.7.	ESTUDIOS BÁSICOS DEL MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN SAN PEDRO DE ATACAMA	6 - 130
6.7.1.	Generalidades	6 - 130
6.7.2.	Revisión Catastro Antiguo	6 - 131
6.7.3.	Diagnóstico de Infraestructura y Mejoramientos Propuestos	6 - 132
6.7.3.1.	Canal Cuchabrachi	6 - 132
6.7.3.2.	Canal Patilla	6 - 136
6.7.3.3.	Canal Catarpe	6 - 141
6.7.3.4.	Canal Tambillo	6 - 143
6.7.3.5.	Canal Naranja	6 - 146
6.7.3.6.	Canal Huachar	6 - 148
6.7.3.7.	Canal Bellavista	6 - 149
6.7.3.8.	Canal San Pedro	6 - 152
6.7.4.	Mejoramiento de la Red de Distribución	6 - 158
6.7.4.1.	Introducción	6 - 158
6.7.4.2.	Tranques de Regulación Nocturna	6 - 158
6.7.4.3.	Sifones y Canales de Enlace	6 - 162
6.8.	ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DEL TRASVASE DE AGUAS DESDE EL RÍO SALADO AL RÍO GRANDE (TÚNEL SAN BARTOLO)	6 - 166
6.8.1.	Dimensiones de la Sección del Túnel y del Ducto de Conducción	6 - 166
6.8.1.1.	Aspectos Generales	6 - 166
6.8.1.2.	Bocatoma San Bartolo en El Río Salado	6 - 166
6.8.1.3.	Geología del Túnel	6 - 167
6.8.1.4.	Ducto de Conducción	6 - 167
6.8.2.	Portal de Salida del Túnel y Minicentral	6 - 168
6.8.3.	Conducción por Canal Bartolo	6 - 169
6.9.	ESTUDIOS DE CANALIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE	6 - 170
6.10.	Estudio Red de Canales de Distribución	6 - 171
6.10.1.	Introducción	6 - 171
6.10.2.	Criterios de la Modelación Hidráulica	6 - 172
6.10.2.1.	Definición del Caudal A Transportar	6 - 172
6.10.2.2.	Rugosidad de Manning	6 - 174
6.10.2.3.	Condiciones de Borde	6 - 176
6.10.2.4.	Procedimiento de Modelación	6 - 176

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
6.10.3.	Resultados	6 - 176
6.10.3.1.	Aspectos Generales	6 - 176
6.10.3.2.	Canal Cuchabrachi	6 - 176
6.10.3.3.	Canal Patilla	6 - 177
6.10.3.4.	Canal Catarpe	6 - 177
6.10.3.5.	Canal Bellavista	6 - 177
6.10.3.6.	Canal San Pedro	6 - 178
6.10.3.7.	Canal Coyo	6 - 178
6.10.3.8.	Canal Solor	6 - 179
6.11.	Estudio Hidráulico del Cauce de los Ríos Grande y San Pedro para Control de Crecidas (Situación Sin Embalse)	6 - 180
6.11.1.	Introducción	6 - 180
6.11.2.	Simulación del Eje Hidráulico	6 - 181
6.11.3.	Resultados	6 - 185
6.12.	Estudio Efecto Regulador de los Embalses	6 - 185
6.12.1.	Introducción	6 - 185
6.12.2.	Metodología del Efecto Regulador de Un Embalse	6 - 186
6.12.2.1.	Objetivo	6 - 186
6.12.2.2.	Consideraciones Generales	6 - 186
6.12.2.3.	Procedimiento de Cálculo	6 - 186
6.12.2.4.	Método de Balance	6 - 187
6.12.3.	Resultados Efecto Regulador Embalse Río Grande	6 - 189
6.12.4.	Conclusiones	6 - 191
6.13.	Estudio Hidráulico de los Cauces de los Ríos Grande, Salado y San Pedro (Situación Con Embalse)	6 - 192
6.13.1.	Análisis de Alternativas del Muro Controlador de Crecidas	6 - 192
6.13.2.	Resultados Efecto Regulador Embalse Río Salado	6 - 195
6.13.2.1.	Aspectos Generales	6 - 195
6.13.2.2.	Consideraciones Previas	6 - 195
6.13.2.3.	Conclusiones	6 - 195
6.13.3.	Análisis de la Caja del Río San Pedro	6 - 196
6.13.3.1.	Introducción	6 - 196
6.13.3.2.	Determinación del Caudal Máximo Soportado por El Río	6 - 196
6.13.3.3.	Análisis para Otros Caudales	6 - 198

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
6.13.3.4.	Obras de Control	6 - 198
6.13.3.5.	Curva de Costos	6 - 202
6.13.4.	Efecto Regulador de los Embalses en Río San Pedro	6 - 203
6.14.	Determinación de la Relación Daños Provocados V/S Niveles de Inundación	6 - 204
6.14.1.	Introducción	6 - 204
6.14.2.	Metodología	6 - 205
6.14.3.	Determinación Curva de Daños Base	6 - 206
6.14.4.	Determinación Daños Situación Actual	6 - 208
6.14.4.1.	Introducción	6 - 208
6.14.4.2.	Valorización de Daños	6 - 209
6.14.4.3.	Daños Directos	6 - 209
6.14.4.4.	Daños Indirectos	6 - 215
6.14.4.5.	Intangibles	6 - 215
6.14.4.6.	Daño Total Estimado para la Crecida del Año 2012 (Crecida de 40 Años de Período de Retorno en Situación Actual)	6 - 216
6.14.4.7.	Daño Esperado en Situación Actual	6 - 216
6.14.5.	Cálculo Daño Evitado por Mejoramiento Caja del Río Grande	6 - 217
6.14.6.	Cálculo Daño Evitado por Embalse Controlador de Crecidas Río Grande	6 - 218
6.14.7.	Cálculo Daño Evitado por Embalse de Riego en Río Salado	6 - 220
6.14.8.	Cálculo Daño Evitado por Embalse de Riego en Río Salado y de Control de Crecidas en Río Grande	6 - 223
6.15.	Estudio Legal de los Derechos de Agua	6 - 229
6.15.1.	Antecedentes Históricos y Reconocimiento	6 - 229
6.15.2.	Organizaciones Existentes Ligadas A la Distribución del Recurso Hídrico	6 - 231
6.15.3.	Derechos de Agua Existentes, Permanentes y Eventuales	6 - 233
6.15.3.1.	Aspectos Generales	6 - 233
6.15.3.2.	Comunidad Atacameña de Río Grande y A la Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama	6 - 233
6.15.3.3.	Otros Propietarios	6 - 234
6.15.3.4.	Resumen de la Información	6 - 236
6.15.4.	Derechos de Agua en Trámite de Otorgamiento	6 - 241
6.15.5.	Análisis Legal de las Alternativas	6 - 242
6.15.5.1.	Aspectos Generales	6 - 242
6.15.5.2.	Río Grande	6 - 242

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
6.15.5.3.	Río Salado	6 - 242
6.15.5.4.	Río San Pedro	6 - 243
6.15.6.	Solicitud de Derechos	6 - 243
7	MODELO DE SIMULACIÓN Y OPERACIÓN SAN PEDRO	7 - 1
7.1.	ANTECEDENTES GENERALES	7 - 1
7.2.	CAUDALES MEDIOS RÍO SAN PEDRO	7 - 2
7.3.	TASAS DE EVAPORACIÓN	7 - 3
7.4.	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN	7 - 4
7.5.	CURVA DE EMBALSE	7 - 5
7.6.	DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS Y DEMANDAS DE AGUA	7 - 6
7.7.	EVALUACIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL y FUTURA	7 - 6
7.7.1.	Situación Actual	7 - 6
7.7.2.	Alternativa 1	7 - 8
7.7.3.	Alternativa 2	7 - 8
7.7.4.	Alternativa 3	7 - 9
7.7.5.	Alternativa 4	7 - 10
7.7.6.	Alternativa 5	7 - 11
7.8.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	7 - 12
8	ESTUDIO AGROECONÓMICO	8 - 1
8.1.	INTRODUCCIÓN	8 - 1
8.2.	ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO	8 - 1
8.3.	ASPECTOS CLIMÁTICOS	8 - 1
8.4.	ASPECTOS AGROLÓGICOS	8 - 2
8.5.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA	8 - 3
8.5.1.	Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola	8 - 3
8.5.2.	Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso	8 - 5
8.5.3.	Resultados Situación Actual Agropecuaria	8 - 5
8.6.	SITUACIÓN SIN PROYECTO	8 - 6
8.7.	SITUACIÓN CON PROYECTO	8 - 7
8.7.1.	Caracterización Productiva	8 - 7
8.7.2.	Costos Indirectos y Gastos Generales	8 - 12
8.7.3.	Inversiones en Tecnificación del Riego	8 - 13

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
8.7.4.	Habilitación de Terrenos	8 - 13
8.7.5.	Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica	8 - 13
8.8.	DEMANDAS DE AGUA	8 - 14
8.9.	BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO	8 - 14
8.9.1.	Determinación de Flujos Agroeconómicos	8 - 14
8.9.2.	Balance de Mano de Obra	8 - 21
9	CALIDAD DE AGUAS	9 - 1
9.1.	INTRODUCCIÓN	9 - 1
9.2.	DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	9 - 2
9.2.1.	Introducción	9 - 2
9.2.2.	Parámetros Físico-Químicos y Biológicos	9 - 2
9.2.2.1.	Generalidades	9 - 2
9.2.2.2.	Datos de Calidad de Aguas Estación Río San Pedro en Cuchabrachi	9 - 2
9.2.2.3.	Datos de Calidad de Muestreos Puntuales	9 - 4
9.2.2.4.	Datos de Calidad de Agua Muestreo In Situ	9 - 9
9.2.2.5.	Parámetros Seleccionados	9 - 10
9.2.3.	Análisis Territorial de las Aguas para Riego	9 - 11
9.2.3.1.	Generalidades	9 - 11
9.2.3.2.	Río Salado	9 - 12
9.2.3.3.	Río Grande	9 - 16
9.2.3.4.	Río San Pedro	9 - 20
9.2.3.5.	Sector Pueblo San Pedro de Atacama	9 - 25
9.2.3.6.	Síntesis de la Información	9 - 29
9.3.	DIAGNÓSTICO BASE PARA EL TRATAMIENTO DE SALINIDAD DE LAS AGUAS EN HOYA DEL RÍO SAN PEDRO	9 - 35
9.3.1.	Introducción	9 - 35
9.3.1.1.	Objetivos	9 - 35
9.3.1.2.	Metodología	9 - 35
9.3.2.	Diagnóstico Salinidad Río Salado	9 - 37
9.3.3.	Diagnóstico Salinidad Río Grande	9 - 39
9.3.4.	Diagnóstico Salinidad Río San Pedro	9 - 42
9.3.5.	Diagnóstico de la Calidad del Agua en Régimen de Crecidas	9 - 43
9.4.	MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA	9 - 44

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
9.4.1.	Introducción	9 - 44
9.4.2.	Mejoramiento A Través de Tecnologías de Desalación	9 - 45
9.4.2.1.	Generalidades	9 - 45
9.4.2.2.	Antecedentes Bibliográficos	9 - 46
9.4.2.3.	Procesos Termales	9 - 47
9.4.2.4.	Tecnologías de Membranas	9 - 50
9.4.2.5.	Evolución del Costo de los Procesos de Desalación	9 - 54
9.4.2.6.	Análisis Comparativo de los Métodos de Desalación de Aguas	9 - 54
9.4.3.	Análisis del Tratamiento de las Aguas del Río San Pedro	9 - 58
9.4.3.1.	Introducción	9 - 58
9.4.3.2.	Breve Caracterización Calidad de Aguas por Tramo	9 - 59
9.4.3.3.	Evaluación Preliminar de Costos	9 - 59
9.4.3.4.	Proposición de Tratamiento	9 - 60
9.4.4.	Mejoramiento A Través de Alternativas de Obras	9 - 61
9.4.4.1.	Introducción	9 - 61
9.4.4.2.	Elementos Que Forman Parte de las Alternativas	9 - 61
9.4.4.3.	Evaluación de Alternativas	9 - 61
9.4.5.	Mejoramiento A Través de la Lixiviación para Disminuir la Salinidad	9 - 67
9.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	9 - 68
10	DIMENSIONAMIENTO GENERAL Y CÁLCULO HIDRÁULICO	10 - 1
10.1.	INTRODUCCIÓN	10 - 1
10.2.	DISEÑOS ALTERNATIVA 1	10 - 1
10.2.1.	Aspectos Generales	10 - 1
10.2.2.	Obra de Toma en Río Salado	10 - 1
10.2.2.1.	Consideraciones Básicas	10 - 1
10.2.2.2.	Características de Una Captación Tipo Sumidero	10 - 2
10.2.3.	Diseño Túnel 2 (Túnel San Bartolo)	10 - 4
10.2.3.1.	Introducción	10 - 4
10.2.3.2.	Antecedentes de Diseño	10 - 4
10.2.3.3.	Túnel	10 - 4
10.2.3.4.	Obra de Salida	10 - 5
10.2.4.	Conducción Río Grande	10 - 5
10.2.4.1.	Consideraciones Básicas	10 - 5

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
10.2.4.2.	Diseño Conducciones en Presión	10 - 6
10.2.4.3.	Conducciones en Acueducto	10 - 7
10.3.	DISEÑOS ALTERNATIVA 2	10 - 7
10.3.1.	Aspectos Generales	10 - 7
10.3.2.	Obra de Toma en Río Salado	10 - 8
10.3.3.	Diseño Conducción Río Salado	10 - 8
10.3.3.1.	Condiciones de Diseño	10 - 8
10.3.3.2.	Diseño en Canal Abierto	10 - 8
10.3.3.3.	Diseño en Tubería Acueducto	10 - 9
10.3.3.4.	Diseño en Tubería Presurizada	10 - 9
10.3.4.	Muro Controlador de Crecidas	10 - 10
10.4.	DISEÑOS ALTERNATIVA 3	10 - 10
10.4.1.	Aspectos Generales	10 - 10
10.4.2.	Obra de Toma en Río Grande	10 - 10
10.4.3.	Diseño Túnel 1	10 - 10
10.4.4.	Diseño Conducción Río Salado	10 - 10
10.5.	DISEÑOS ALTERNATIVA 4	10 - 11
10.5.1.	Aspectos Generales	10 - 11
10.5.2.	Obra de Toma Río Grande	10 - 12
10.5.3.	Conducción Río Grande	10 - 12
10.6.	DISEÑOS ALTERNATIVA 5	10 - 12
10.7.	DISEÑO MURO CONTROLADOR DE CRECIDAS RÍO GRANDE	10 - 13
10.7.1.	Introducción	10 - 13
10.7.2.	Antecedentes Utilizados	10 - 14
10.7.3.	Propiedades del Suelo de Fundación	10 - 15
10.7.3.1.	Antecedentes Geológicos	10 - 15
10.7.3.2.	Estratigrafía Sector Muro	10 - 19
10.7.3.3.	Estratigrafía Sector Yacimientos	10 - 19
10.7.3.4.	Ensayes de Infiltración	10 - 20
10.7.3.5.	Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes	10 - 24
10.7.4.	Diseño Hidráulico	10 - 24
10.7.5.	Diseño Estructural	10 - 26
10.7.5.1.	Cálculo de Estabilidad de la Presa	10 - 26
10.7.5.2.	Comportamiento de las Laderas del Embalse	10 - 30

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápite	Descripción	Página
10.7.5.3.	Seguimiento de la Socavación del Cauce del Río	10 - 30
10.7.6.	Excavaciones y Recomendaciones de Construcción	10 - 30
10.7.7.	Selección del Sitio de Embalse	10 - 32
10.7.7.1.	Conclusiones Geológicas	10 - 32
10.7.7.2.	Conclusiones Geotécnicas	10 - 32
10.7.7.3.	Análisis de Costos	10 - 33
10.7.7.4.	Conclusión Final y Selección	10 - 34
10.8.	DISEÑO EMBALSE REGULADOR RIEGO RÍO SALADO	10 - 34
10.8.1.	Introducción	10 - 34
10.8.2.	Antecedentes Utilizados	10 - 34
10.8.3.	Propiedades del Suelo de Fundación	10 - 35
10.8.3.1.	Antecedentes Geológicos	10 - 35
10.8.3.2.	Estratigrafía Sector Muro	10 - 36
10.8.4.	Conclusiones	10 - 36
10.8.5.	Propiedades Mecánicas	10 - 37
10.8.6.	Diseño Estructural	10 - 38
10.8.6.1.	Ancho de Coronamiento	10 - 38
10.8.6.2.	Cálculo de Estabilidad de la Presa	10 - 39
10.8.6.3.	Makdisi y Seed	10 - 40
10.8.6.4.	Inyecciones	10 - 41
10.8.7.	Diseño Hidráulico	10 - 42
10.9.	DISEÑO RED DE CANALES	10 - 44
10.9.1.	Alternativas de Diseño	10 - 44
10.9.2.	Tipo de Obras A Mejorar	10 - 44
10.9.3.	Criterios de Diseño	10 - 45
10.9.4.	Mejoramiento de Infraestructura Alternativas Sin Embalse	10 - 48
10.9.5.	Mejoramiento de Infraestructura Alternativas Con Embalse	10 - 48
10.9.6.	Mejoramiento Red Secundaria	10 - 51
10.10.	Diseño Tranques Nocturnos	10 - 52
10.11.	Mini Centrales Hidroeléctricas	10 - 57
10.11.1.	Introducción	10 - 57
10.11.2.	Cálculo de Potencia Eléctrica Estimada	10 - 57
10.11.3.	Cálculo Potencial Asociado A Diferentes Alternativas	10 - 59
10.11.4.	Costos	10 - 60

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
10.11.5.	Factibilidad de la Generación Hidroeléctrica	10 - 61
10.11.6.	Modelo de Negocios	10 - 62
10.11.7.	Conclusiones	10 - 62
10.12.	Desalación de Aguas	10 - 63
10.12.1.	Introducción	10 - 63
10.12.2.	Osmosis Inversa	10 - 63
10.12.3.	Conclusiones	10 - 63
10.13.	Diseño de Sistema de Aforo Remoto de Caudales	10 - 64
10.13.1.	Introducción	10 - 64
10.13.2.	Diseño Hidráulico Preliminar Aforadores	10 - 69
10.13.2.1.	Aforador Canal Matriz	10 - 69
10.13.2.2.	Recomendación de Construcción	10 - 72
10.13.2.3.	Aforador Marco Partidor Mamani	10 - 74
10.13.2.4.	Recomendación de Construcción	10 - 75
10.13.2.5.	Aforadores de Red Secundaria	10 - 76
10.13.3.	Sistema de Conexión Remoto	10 - 78
11	EXPROPIACIONES	11 - 1
11.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS TERRENOS A EXPROPIAR: EMBALSES Y OBRAS ANEXAS	11 - 1
11.1.1.	Introducción	11 - 1
11.1.2.	Retenedor de Crecidas	11 - 1
11.1.3.	Obras por Alternativa	11 - 1
11.2.	COSTOS DE EXPROPIACIÓN	11 - 30
11.3.	PLANOS DE EXPROPIACIONES	11 - 31
12	PRESUPUESTOS	12 - 1
12.1.	ASPECTOS GENERALES	12 - 1
12.2.	PRECIOS UNITARIOS	12 - 1
12.3.	RESUMEN PRESUPUESTOS POR OBRAS	12 - 3
12.3.1.	Generalidades	12 - 3
12.3.2.	Túneles	12 - 3
12.3.3.	Conducción Aguas Río Grande	12 - 4
12.3.4.	Conducción Aguas Río Salado	12 - 7
12.3.5.	Embalse de Riego Río Salado	12 - 9

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
12.3.6.	Embalse de Control de Crecidas	12 - 13
12.3.7.	Mejoramiento y Ampliación Red Primaria	12 - 14
12.3.8.	Mejoramiento y Ampliación Red Secundaria	12 - 15
12.3.9.	Presupuestos Aforadores Remotos	12 - 15
12.3.10.	Presupuestos Conducción de Aguas de Mala Calidad	12 - 16
12.3.11.	Presupuestos Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro	12 - 16
12.3.12.	Presupuestos Mini Centrales Hidroeléctricas	12 - 16
12.3.13.	Presupuestos Planta Desalación de Aguas	12 - 17
12.4.	RESUMEN PRESUPUESTOS POR ALTERNATIVA	12 - 17
13	ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL	13 - 1
14	EVALUACIÓN ECONÓMICA	14 - 1
14.1.	INTRODUCCIÓN	14 - 1
14.2.	INDICADORES DE RENTABILIDAD	14 - 1
14.3.	CONDICIONES DE EVALUACIÓN	14 - 2
14.4.	MÉTODOS DE EVALUACIÓN	14 - 3
14.5.	DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PROYECTO A EVALUAR	14 - 4
14.6.	COSTOS	14 - 6
14.6.1.	Introducción	14 - 6
14.6.2.	Obras Civiles: Costo Obras y Operación y Mantención	14 - 6
14.6.2.1.	Aspectos Generales	14 - 6
14.6.2.2.	Costos de Componentes de las Alternativas	14 - 6
14.6.3.	Costo de Operación	14 - 8
14.6.4.	Expropiaciones	14 - 8
14.6.5.	Mejoramiento Caja del Río	14 - 9
14.6.6.	Costos Mini Central Hidroeléctrica	14 - 9
14.6.7.	Costos Ambientales	14 - 10
14.6.8.	Presupuesto de Obras por Alternativa	14 - 11
14.7.	BENEFICIOS	14 - 12
14.7.1.	Generalidades	14 - 12
14.7.2.	Beneficios Derivados del Riego	14 - 12
14.7.2.1.	Beneficios Según Método del Presupuesto	14 - 12
14.7.2.2.	Beneficio Asociado El Valor Incremental de la Tierra	14 - 23

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
14.7.2.3.	Beneficio Asociado A las Transacciones de los Derechos de Aguas	14 - 24
14.7.3.	Beneficio Asociado A la Generación Hidroeléctrica	14 - 25
14.7.4.	Beneficios Asociados Al Control de Crecidas	14 - 25
14.8.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	14 - 26
14.8.1.	Aspectos Generales	14 - 26
14.8.2.	Evaluación Proyecto Mejoramiento Caja del Río	14 - 27
14.8.3.	Evaluación Embalse Control de Crecidas	14 - 28
14.8.4.	Mini Central Hidroeléctrica	14 - 28
14.8.5.	Evaluación Económica Alternativas Propuestas	14 - 29
14.9.	EVALUACIÓN POTENCIAL HIDROELÉCTRICO	14 - 33
14.10.	MÉTODOS ALTERNATIVOS	14 - 33
14.11.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROYECTO DE RIEGO + CONTROL DE CRECIDAS	14 - 35
14.12.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROYECTO MULTIPROPÓSITO: RIEGO + CONTROL DE CRECIDAS + HIDROELECTRICIDAD	14 - 42
14.13.	EVALUACIONES COMPLEMENTARIAS	14 - 43
14.13.1.	Aspectos Generales	14 - 43
14.13.2.	Mejoramiento Red Primaria	14 - 44
14.13.3.	Mejoramiento Red Secundaria	14 - 44
14.13.4.	Proyecto Íntegro	14 - 44
14.14.	INDICADORES ADICIONALES	14 - 45
14.14.1.	Generación de Empleo	14 - 45
14.14.2.	Rentabilidad por Hectárea Productiva	14 - 46
14.14.3.	Ingreso Per Cápita Asignable Al Sector Agropecuario	14 - 46
14.14.4.	Generación de Impuestos	14 - 47
14.15.	MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN	14 - 47
14.16.	ANÁLISIS FINANCIERO Y DISPOSICIÓN DE PAGO	14 - 48
14.17.	RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO	14 - 50
15	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	15 - 1
15.1.	INTRODUCCIÓN	15 - 1
15.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15 - 2
15.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15 - 2
15.4.	PRINCIPALES RESULTADOS	15 - 2
15.4.1.	Introducción	15 - 2

INDICE INFORME FINAL

VOLUMEN I: INGENIERÍA

Acápites	Descripción	Página
15.4.2.	Descripción del Área del Proyecto	15 - 3
15.4.3.	Diagnóstico del Territorio	15 - 3
15.4.4.	Plan de Actividades de Participación Ciudadana	15 - 13
15.4.4.1.	Componente de Género	15 - 13
15.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15 - 13
16	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	16 - 1
16.1.	CONCLUSIONES	16 - 1
16.2.	RECOMENDACIONES	16 - 7

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS CAPITULO 3 DIAGNÓSTICOS

- 3 - 1 CATASTRO DE CANALES
- 3 - 2 ESTUDIO CRECIDAS AÑO HIDROLÓGICO
- 3 - 3 ANTECEDENTES HIDROQUÍMICOS

ANEXOS CAPÍTULO 4 TRABAJOS DE TERRENO

- 4 - 1 SONDAJES
- 4 - 2 PERFILES SÍSMICOS
- 4 - 3 POZOS DE EXPLORACIÓN
- 4 - 4 FOTOGRAFÍAS CALICATAS
- 4 - 5 ENSAYES DE LABORATORIO

ANEXOS CAPÍTULO 5 DEFINICION DE ALTERNATIVAS

OBRAS SAN PEDRO

ANEXOS CAPITULO 6

- 6 - 1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

- 6 - 2 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO
- 6 - 3 ESTUDIO DE CRECIDAS EN CANALES
- 6 - 4 BASE DE DATOS CANALES
- 6 - 5 RESUMEN CATASTRO ESTUDIO DE R&Q
- 6 - 6 FICHAS CANALES
- 6 - 7 ESTUDIO RED DE CANALES DE DISTRIBUCIÓN
- 6 - 8 ESTUDIO HIDRÁULICO RÍO GRANDE Y RÍO SAN PEDRO (SIN EMBALSE)
- 6 - 9 EFECTO REGULADOR
- 6 - 10 ESTUDIO HIDRAULICO RÍO SAN PEDRO (CON EMBALSE)
- 6 - 11 EVALUACION DE DAÑOS POR CRECIDAS
- 6 - 15 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS SEGÚN DERECHOS DE AGUAS

ANEXOS CAPITULO 7

- 7 - 1 MODELO DE SIMULACION OPERACIONAL

ANEXOS CAPITULO 9

- 9 - 1 DATOS ESTACION CUCHABRACHI
- 9 - 2 RESULTADOS LABORATORIO
- 9 - 3 PUNTOS DE MUESTREO
- 9 - 4 ANTECEDENTES HIDROQUIMICOS
- 9 - 5 ESTUDIO DE CRECIDAS AÑO HIDROLÓGICO
- 9 - 6 BIBLIOGRAFIA DESALACION DE AGUAS
- 9 - 7 COSTO TRATAMIENTO

ANEXOS CAPITULO 10 DIMENSIONAMIENTO GENERAL Y CÁLCULO HIDRÁULICO

- 10 - 1 DISEÑOS HIDRÁULICOS CONDUCCIONES
- 10 - 2 DISEÑOS HIDRAULICOS EMBALSES
- 10 - 3 DISEÑO ESTRUCTURAL EMBALSES
- 10 - 4 ANÁLISIS DE COSTO SITIOS EMBALSE RÍO GRANDE
- 10 - 5 SOCAVACION SIFONES
- 10 - 6 MEJORAMIENTO CANALES
- 10 - 7 HIDROGENERACIÓN
- 10 - 8 AFORADORES REMOTOS

ANEXOS CAPÍTULO 11 EXPROPIACIONES

11 - 1 TABLA DE EXPROPIACIONES

ANEXOS CAPÍTULO 12 PRESUPUESTOS Y CUBICACIONES

COTIZACIONES

CUADRO DE EXPROPIACIONES SAN PEDRO

CUBICACIONES ALTERNATIVAS 1 Y 2 RÍO GRANDE

CUBICACIONES EMBALSE SALADO

CUBICACIONES TÚNELES

ESTIMACION COSTO DE GAVIONES

PRESUPUESTO COMPLETO DE OBRS PRECIOS PRIVADOS

PRESUPUESTO COMPLETO DE OBRS PRECIOS SOCIALES

PRECIOS UNITARIOS GAVIONES

ANEXOS CAPÍTULO 14 EVALUACION ECONÓMICA

14 - 1 ESTUDIO TARIFARIO AGUAS ANTOFAGASTA 2006-2011

14 - 2 MEJORAMIENTO CAJA RÍO

14 - 3 CC

14 - 4 MCH

14 - 5 ALT 1

14 - 6 ALT 2

14 - 7 ALT 3

14 - 8 ALT 4

14 - 9 SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 3

14 -10 SENSIBILIDAD ALTERNATIVA 3 + MCH

14 -11 RED PRIMARIA

14 -12 RED SECUNDARIA

14 -13 PROYECTO TOTAL

14 -14 ANÁLISIS FINANCIERO

INDICE DE PLANOS DE INGENIERIA		
Nº	CÓDIGO	NOMBRE
1	GN-SPA-01	PLANTA GENERAL ÁREA DE ESTUDIO

INDICE DE PLANOS DE INGENIERIA		
Nº	CÓDIGO	NOMBRE
2	GEO-SPA-01	PLANTA ESTUDIO GEOLÓGICO PRELIMINAR
3	ALT-SPA-01	PLANTA Y DETALLES EJE EMBALSE SAN BARTOLO MURO 35 Mts
4	ALT-SPA-02	PLANTA Y DETALLES EJE EMBALSE SAN BARTOLO MURO 45 Mts
5	ALT-SPA-03	PLANTA Y DETALLES EJE EMBALSE SAN BARTOLO MURO 50 Mts
6	ALT-SPA-04	Planta Muro Control Crecida 1
7	ALT-SPA-05	Planta Muro Control Crecida 2
8	OBR-SPA-01	PLANO DE OBRAS ALTERNATIVA Nº1
9	OBR-SPA-02	PLANO DE OBRAS ALTERNATIVA Nº2
10	OBR-SPA-03	PLANO DE OBRAS ALTERNATIVA Nº3
11	OBR-SPA-04	PLANO DE OBRAS ALTERNATIVA Nº4
12	OBR-SPA-05	PLANO DE OBRAS ALTERNATIVA Nº5
13	OBR-SPA-06	PLANTA DE TRAZADO TUBERÍA CONDUCCIÓN AGUAS SALINAS
14	TUN-SPA-01	PLANTA Y DETALLES PORTAL DE ENTRADA Y PORTAL DE SALIDA TUNEL 1
15	TUN-SPA-02	PLANTA Y DETALLES PORTAL DE ENTRADA Y PORTAL DE SALIDA TUNEL 2
16	ETH-SPA-01	AREA INUNDACION RIO GRANDE Y RIO SAN PEDRO LAMINA 1
17	ETH-SPA-02	AREA INUNDACION RIO GRANDE Y RIO SAN PEDRO LAMINA 2
18	ETH-SPA-03	AREA INUNDACION RIO GRANDE Y RIO SAN PEDRO LAMINA 3
19	ETH-SPA-04	AREA INUNDACION RIO GRANDE Y RIO SAN PEDRO LAMINA 4
20	ETH-SPA-05	AREA INUNDACION RIO GRANDE Y RIO SAN PEDRO LAMINA 5
21	MJC-SPA-01	MEJORAMIENTO CANAL CUCHABRACHE
22	MJC-SPA-02	MEJORAMIENTO CANAL PATILLA 1_3
23	MJC-SPA-03	MEJORAMIENTO CANAL PATILLA 2_3
24	MJC-SPA-04	MEJORAMIENTO CANAL PATILLA 3_3
25	MJC-SPA-05	MEJORAMIENTO CANAL CATARPE
26	MJC-SPA-06	MEJORAMIENTO CANAL NARANJO

INDICE DE PLANOS DE INGENIERIA		
Nº	CÓDIGO	NOMBRE
27	MJC-SPA-07	MEJORAMIENTO CANAL TAMBILLO 1_2
28	MJC-SPA-08	MEJORAMIENTO CANAL TAMBILLO 2_2
29	MJC-SPA-09	MEJORAMIENTO CANAL BELLAVISTA
30	MJC-SPA-10	MEJORAMIENTO CANAL SAN PEDRO TRAMO 1 Y CANAL HUACHAR
31	MJC-SPA-11	MEJORAMIENTO canal San Pedro 1_6
32	MJC-SPA-12	MEJORAMIENTO canal San Pedro 2_6
33	MJC-SPA-13	MEJORAMIENTO canal San Pedro 3_6
34	MJC-SPA-14	MEJORAMIENTO canal San Pedro 4_6
35	MJC-SPA-15	MEJORAMIENTO canal San Pedro 5_6
36	MJC-SPA-16	MEJORAMIENTO canal San Pedro 6_6
37	EXP-SPA-01	EXPROPIACIONES ZONA DE INUNDACIÓN Y MURO ALTERNATIVA CONTROL DE CRECIDA Nº1
38	EXP-SPA-02	EXPROPIACIONES ZONA DE INUNDACIÓN Y MURO ALTERNATIVA CONTROL DE CRECIDA Nº2
39	EXP-SPA-03	EXPROPIACIONES ZONA DE INUNDACIÓN Y MURO EMBALSE REGULADOR PARA RIEGO EN RÍO SALADO
40	EXP-SPA-04	EXPROPIACIONES CONDUCCIÓN RIO GRANDE
41	EXP-SPA-05	EXPROPIACIONES CONDUCCIÓN RIO SALADO
42	EXP-SPA-06	EXPROPIACIONES TUNEL 1
43	EXP-SPA-07	EXPROPIACIONES TUNEL 2 SAN BARTOLO
44	EXP-SPA-08	EXPROPIACIONES TRANQUES DE REGULACIÓN NOCTURNOS EN CANAL CUCHABRACHE Y CANAL SAN PEDRO
45	EXP-SPA-09	EXPROPIACIONES CONDUCCIÓN AGUAS SALINAS
46	AFO-SPA-01	PLANTA Y DETALLES TIPO AFORADORES

1. introduccion y objetivos

1.1. *Introducción*

El estudio “Mejoramiento del Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta”, fue desarrollado por la Comisión Nacional de Riego y adjudicado a la empresa consultora ARRAU INGENIERIA E.I.R.L., mediante la Res. CNR N°66 de 5-9-12, estableciéndose su comienzo oficial el día 4 de octubre de 2012.

La Comisión Nacional de Riego (CNR) es el organismo responsable de la planificación, generación de información y seguimiento de programas de desarrollo agrícola en áreas de Riego y Drenaje, y dentro de este marco llama a la presente licitación.

De acuerdo a lo expresado en los Términos de Referencia de esta licitación, los servicios solicitados al Consultor, a los cuales se refiere esta Metodología, corresponden al desarrollo completo de los estudios a nivel de prefactibilidad para proponer y evaluar las alternativas de mejoramiento del Sector de San Pedro de Atacama, donde se plantea mejorar las condiciones del riego, y eventualmente extenderlo, en el valle de San Pedro; mitigar los daños que producen las crecidas del invierno altiplánico, en la agricultura y en otros sectores, y finalmente, evaluar la posibilidad de generar energía hidroeléctrica en una mini central asociada al embalse.

Teniendo como base lo señalado en los Términos de Referencia, los trabajos de terreno y gabinete estarán orientados a desarrollar los estudios a nivel de prefactibilidad de las obras consideradas en el diseño del embalse y red de conducción y distribución. En caso que la solución no sea en base a un embalse, se harán los diseños definitivos de las nuevas obras que procedan.

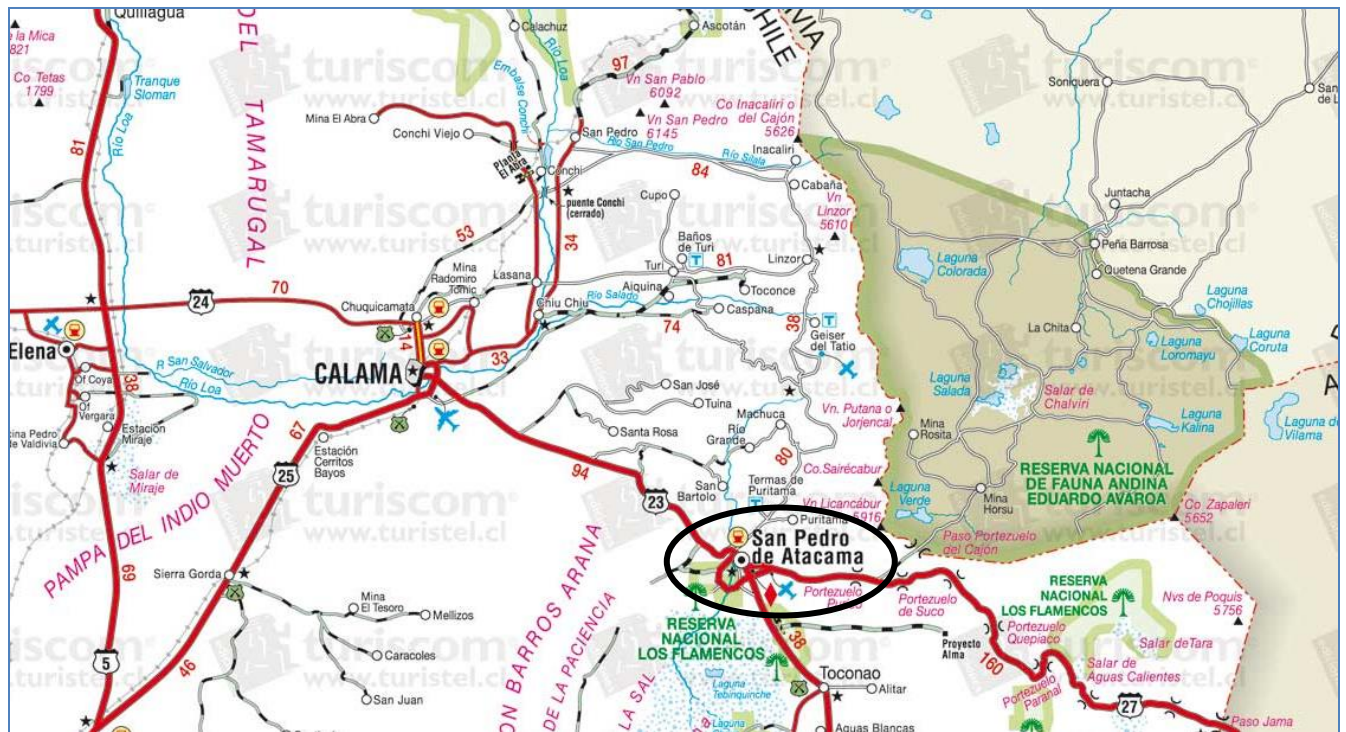
1.2. *Ubicación de la zona del Proyecto*

El área de estudio se ubica en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región, aproximadamente a 100 km al suroeste de la ciudad de Calama a 2.438 m.s.n.m., cerca del extremo norte del salar de Atacama, entre los 22°22' S y los 24°21' S de latitud y entre los 67°00' O y los 68°40' O de longitud.

Los accesos a San Pedro de Atacama se encuentran en buen estado, pudiendo acceder desde Calama, Socaire y Argentina por camino asfaltado; y desde el Tatio por camino de tierra.

En la comuna de San Pedro de Atacama cruza el río San Pedro, del cual se utilizan sus aguas para riego. En el sector de Cuchabrache se unen los afluentes río Salado y río Grande, formándose este último por la confluencia de los ríos Jauna y Putana, que nacen de las vegas del mismo nombre. En Figura 1.2-1 se presenta la ubicación geográfica del área de estudio.

FIGURA 1.2-1
UBICACIÓN DEL PROYECTO



Fuente: www.sitios.cl

1.3. Identificación y definición del problema

San Pedro de Atacama es un sector al interior de Calama en la Región de Antofagasta, en el cual queda ubicada la localidad homónima en medio de un vasto desierto atacameño. Constituye desde hace mucho tiempo, un importante atractivo turístico, nacional e internacional, para la región de Antofagasta, lo cual configura un sector socioeconómico de alto potencial de desarrollo. No obstante lo señalado anteriormente, uno de los grandes problemas, para elevar significativamente el nivel del desarrollo socioeconómico, viene dado por la muy baja calidad de la agricultura atacameña, la que se mantiene desde mucho tiempo en niveles de subsistencia. Esta realidad del sector agrícola se explica, casi en su totalidad, por la muy mala calidad de las aguas, y la baja seguridad de agua, tanto para el riego como para otros usos básicos.

Contribuye básicamente a la mala calidad de las aguas, el alto contenido salino que contienen las aguas que se utilizan a partir de los cauces de la hoya del río San Pedro y sus afluentes, como lo son el río Salado y el río Grande.

El río Grande es afluente del río San Pedro, siendo este último el que utiliza para el riego en el sector de San Pedro de Atacama. En el sector de Cuchabrachi se une al río Grande el río Salado, que aporta una concentración altísima de sal, disminuyendo de esta forma la calidad de agua que utiliza en el regadío.

La actividad agropecuaria de casi toda la comuna de San Pedro de Atacama, se basa en la explotación de los ayllus, que forman sectores agrícolas pequeños, los cuales debido a la escasa disponibilidad y la mala calidad de las aguas, no pueden, en la situación actual, tener grandes expectativas de mejorar la explotación de sus cultivos.

Actualmente en el Río San Pedro no existen obras de regulación, y se producen aumentos considerables del caudal medio de dicho río y sus afluentes durante las crecidas que ocurren recurrentemente entre los meses de Diciembre a Marzo, provenientes de intensas precipitaciones convectivas originadas por el fenómeno conocido como el invierno altiplánico ó boliviano. Tales crecidas afectan la mayoría de las veces a los poblados interiores y ayllus de San Pedro de Atacama al generar pérdidas en la infraestructura pública por los desbordes que dañan algunos caminos secundarios impidiendo por algún tiempo la adecuada conectividad del entorno; pérdidas en infraestructura de riego existente en sectores adyacentes al cauce y además las consecuentes pérdidas a predios agrícolas que están expuestos a inundaciones.

La agricultura de San Pedro se encuentra en una situación crítica, viéndose amenazada su subsistencia, debido principalmente al abandono de la tierra por parte de la juventud, que hoy encuentra mayores incentivos en otros lugares ó otras actividades que proporcionan mayores ingresos.

La solución a estos problemas pasa por una capacitación agrícola y asistencia técnica permanente a los agricultores, además de la construcción de obras para el mejor aprovechamiento del escaso recurso agua, de manera que la actividad agrícola pueda generar rentabilidad que la haga atractiva.

Las obras a desarrollar se pueden clasificar en tres grupos:

- Mejoramiento de la infraestructura de riego.
- Obras que permitan mejorar en cantidad y/o calidad el caudal disponible en cabecera del sistema de riego.
- Obras que permitan regular las crecidas del río, evitando la generación de daños a la infraestructura pública y privada.

Por tanto, se pretende definir alternativas de mejoramiento del riego, en la zona de San Pedro, que considere alternativas como: una obra de embalse para riego, el mejoramiento y/o diseño de las redes de conducción y distribución que permitan transportar el agua en forma eficiente, y además regulación de las crecidas; aumentando así la superficie de riego y potenciando la agricultura de la comuna y evitando los daños producidos por las crecidas. Se espera además un análisis del potencial de generación hidroeléctrica que pudiera obtenerse de este embalse.

1.4. *Objetivo General*

El presente estudio tiene por Objetivo General proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema actual de riego de la Comuna de San Pedro, Región de Antofagasta y el control de crecidas del río, proponiendo alternativas como: un embalse que tenga uso múltiple (de riego, regulación de crecidas y generación hidroeléctrica) y el mejoramiento de la red de conducción y distribución de agua, asociada a la zona beneficiada por el futuro embalse u otras obras que cumplan la misma función.

1.5. *objetivos específicos*

Los objetivos específicos del estudio son:

- Seleccionar la mejor alternativa de mejoramiento del riego, ya sea a través del emplazamiento de un embalse y sus obras anexas, u otra solución; y desarrollar sus diseños a nivel preliminar para el caso de un embalse o diseños definitivos en caso de soluciones de otro tipo.
- Analizar la situación de los recursos hídricos de la cuenca, identificando los derechos de agua que se hayan concedido, los que estén sin regularizar, así como aquellos recursos excedentes que pudieran ser regulados, embalsados y/o encauzados.
- Obtener un compromiso con las organizaciones de regantes, de inicio del trámite de regularización y/o perfeccionamiento de sus derechos de aguas
- Definir el trazado de los canales necesarios y elaborar sus diseños preliminares, para las zonas de nuevo riego.
- Evaluar alternativas de mejoramiento de los canales de la red existente y diseñar a nivel de diseño preliminar la alternativa elegida.
- Identificar y evaluar los daños que producen las crecidas y sedimentos de acuerdo a distintos períodos de retorno.
- Diseñar a nivel de diseño preliminar las obras de control de las crecidas, en el caso de que la solución no sea un embalse.
- Plantear diversos escenarios de proyecto, considerando los tres usos del embalse y la red de conducción y distribución, y caracterizarlos con estudios de ingeniería, agronomía y ambientales, a nivel de prefactibilidad.
- Realizar el diseño de ingeniería del aforo remoto de caudales en los canales.
- Estudiar la operación del sistema riego-control de crecidas-generación y optimizarla.

- Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.
- Precisar los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos.
- Analizar y proponer alternativas de financiamiento para los proyectos de hidrogenación, así como el Modelo de Negocios y Operación.
- Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana
- Evaluar económicamente las alternativas planteadas y recomendar la más conveniente.

1.6. *contenidos del estudio de prefactibilidad*

El estudio de prefactibilidad está compuesto de los siguientes 16 capítulos:

Capítulo1	Introducción, Objetivos, Área de Estudio y Contenido del Estudio
Capítulo2	Recopilación y Análisis de Antecedentes
Capítulo3	Diagnóstico
Capítulo4	Trabajos de Terreno
Capítulo5	Definición Alternativas
Capítulo6	Estudios Básicos
Capítulo7	Modelo de Operación
Capítulo8	Estudio Agroeconómico
Capítulo9	Calidad de Aguas
Capítulo10	Dimensionamiento General y Cálculo Hidráulico
Capítulo11	Expropiaciones
Capítulo12	Presupuestos
Capítulo13	Estudio de Análisis Ambiental
Capítulo14	Evaluación Económica
Capítulo15	Participación Ciudadana
Capítulo16	Conclusiones y Recomendaciones

2. recopilación y análisis de antecedentes

2.1. *introducción*

En este capítulo se presenta en primer lugar una descripción de estudios con información relevante, para luego presentar una caracterización inicial del área de estudio en sus diferentes dimensiones.

2.2. *análisis de estudios anteriores*

En esta sección se presenta la información relativa a 6 estudios anteriores.

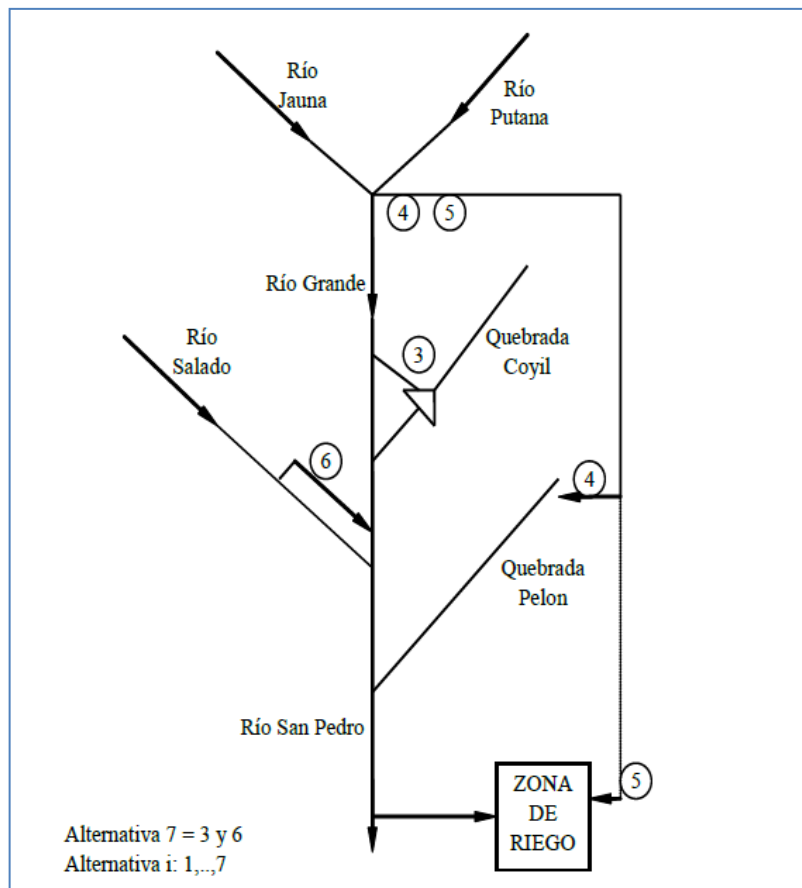
2.2.1. **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DOH-ARRAU, 2000**

De acuerdo a lo expresado en el estudio de factibilidad realizado por Luis Arrau, este embalse se ubica en la quebrada de Abra Pampa o de Coyil, afluente del río Grande, la cual presenta escurrimiento solamente durante las épocas de precipitaciones, permaneciendo seca durante gran parte del año. Por lo tanto, el embalse se llenaría fundamentalmente con los recursos del río Grande, que deberían ser captados y conducidos mediante un canal alimentador. En la Figura 2.2.1-1 se muestra un esquema de las quebradas.

Las situaciones modeladas en el estudio de Arrau son las siguientes:

- Situación Actual
- Situación Actual Mejorado
- Embalse Coyil
- Captación en confluencia Río Jauna - Río Putana y Tránsito
- Captación en confluencia Río Jauna - Río Putana y Conducción Directa
- By-Pass Río Salado
- By-Pass Río Salado y Embalse Coyil

**FIGURA 2.2.1-1
ESQUEMA DE LAS QUEBRADAS DEL SECTOR**



El embalse está configurado por dos presas, una principal de 20 m de altura y una secundaria de 7 m de altura. Su emplazamiento se ubica a 14,5 km al norte de la localidad de San Pedro de Atacama, siguiendo el cauce del río San Pedro - Río Grande, hacia aguas arriba.

Considerando las características de los materiales de fundación del sitio de la presa, y la disponibilidad de materiales en la cercanía, el estudio de factibilidad recomendó la construcción de una presa zonificada con núcleo de arcilla y/o limo, filtro de arena y espaldones de grava arenosa. La altura de la presa principal es de 20 m de altura y taludes 2,5:1 (H/V) para el talud de aguas arriba y 2:1 (H/V) para el talud de aguas abajo. El volumen de la presa es de 0,131 hm³ para una capacidad de almacenamiento de 5,8 hm³, con lo cual se obtiene una relación agua muro de 44.

El estudio de factibilidad consideró también, que la obra de evacuación estará constituida por una torre de captación de 2,0 m de diámetro, descargando por el portezuelo hacia el río Grande mediante una tubería de acero de 1,0 m de diámetro y 50 m de longitud aproximadamente, para continuar a través de un canal revestido en una longitud de 200 m.

La obra de entrega está constituida por una cámara de captación con rejillas, una tubería de entrega de acero de 1,0 m de diámetro y 70 m de longitud. Se agrega a ello una cámara de válvulas, una cámara de impacto y una estructura de aforo.

De este estudio, además de toda la información básica, es de gran utilidad el análisis de alternativas, por cuanto cubrió el espectro completo de posibilidades. El tema ahora es que, descartado el embalse Coyil, deben volver a analizarse las demás y bajo el escenario actual del riego de la zona.

2.2.2. DISEÑO DEFINITIVO (DOH -LUIS SAN MARTÍN, 2001)

2.2.2.1. Embalse Coyil

a) Trabajos Topográficos

Para el estudio del embalse fue necesario realizar una serie de trabajos topográficos según se indica:

Traslado de Coordenadas a la Zona del Proyecto El traslado de coordenadas a la zona del proyecto se efectuó a través de los puntos IGM "Mal Paso" y "Camino del Cajón".

Traslado de Cota a la Zona del Proyecto El traslado de cotas se efectuó desde el punto denominado PN 69-4-B, que se encuentra al pie del edificio de Carabineros de Chile en San Pedro de Atacama.

Levantamiento Aerofotogramétrico de la Zona del Embalse Para efectuar el levantamiento de la zona del embalse, se realizó un vuelo sobre la zona del proyecto, de acuerdo a lo especificado en los Términos de Referencia: vuelo escala 1:10.000 para restituir a escala 1:2.500. Originalmente, el proyecto consideraba el vuelo de 660 ha aproximadamente, correspondiente a la zona del proyecto de la presa. Sin embargo, con el mismo vuelo se logró obtener fotografías aéreas del área del proyecto que incluye los sectores de los ríos Grande y Salado y la zona del túnel de trasvase. Esto significa alrededor de 1.400 ha adicionales, que en parte fueron utilizadas en etapas posteriores de la Consultoría.

Poligonal de Apoyo También se ejecutó en terreno una poligonal que servirá de apoyo a la realización de trabajos topográficos relacionados con el proyecto.

Levantamiento Zona de Presa a Escala 1:500 Se realizó un levantamiento escala 1:500 tanto de la presa principal, como de la secundaria. Este levantamiento cubrió, en el caso de la presa principal 20 ha, llegando hasta la zona del río Grande, y en el caso de la presa secundaria 15 ha, llegando también hasta la zona del río Grande.

b) Estudios de Geología

El alcance de este estudio es el de entregar las características de la geología del área y la aptitud de los elementos geológicos para proceder a ejecutar un embalse en el sector.

Plano geológico Se preparó un plano geológico de planta a escala 1:2.000 con un perfil interpretativo por el eje del muro principal a escala 1:500.

Geología General del Área

En el área destaca, a grandes rasgos, la presencia de rocas de la Formación San Pedro. La edad de la formación San Pedro se estima entre 20 y 25 millones de años, lo cual lleva a pensar que debería tratarse de una secuencia de rocas duras "normales" para una edad como la indicada. Sin embargo, el carácter sedimentario continental de su origen y el medio donde se encuentran hace que estas rocas presenten un bajo grado de litificación, resultando en sedimentos con pobre cementación, de fácil erodabilidad, salinos, desintegrables bajo acción de agua.

Se destaca que en el área se efectuaron prospecciones tanto durante la etapa de anterior de factibilidad como durante esta Consultoría.

- Prospecciones en la etapa de Factibilidad

Durante el desarrollo de la etapa de factibilidad se efectuaron calicatas básicamente en toda el área externa de la zona del embalse orientadas a la búsqueda de empréstitos. Los sondajes de reconocimiento efectuados fueron dos, los que se ubican en el eje del muro principal del embalse.

- Prospecciones realizadas en el transcurso de la presente Consultoría

Se efectuaron 7 sondajes que totalizaron 205 ml de perforación, relacionados tanto con la presa principal como la secundaria.

- Exploraciones geotécnicas

Para las presas principal y secundaria, inicialmente se estableció una exploración geotécnica del terreno, consistente en perfiles geosísmicos, sondajes y calicatas. Esta campaña de exploración cubría tanto el terreno de fundación, como zonas de estribos y materiales de empréstito. Sin embargo, a la luz de los resultados preliminares que indican la presencia de una roca sedimentaria que se altera significativamente con la presencia de agua, se optó por reducir la campaña de exploración inicial, en espera de los resultados de resistencia y deformabilidad del material. Luego de efectuados los ensayos indicados y su evaluación se optó por no continuar con el resto de las exploraciones programadas.

El sector de presa, incluidas ambas presas, es decir la principal y la denominada secundaria, así como toda el área de cubeta, se encuentran inmersas en rocas de la denomina Formación San Pedro, la cual ha sido descrita en el acápite anterior.

Basado en el estudio efectuado puede concluirse lo siguiente:

- El área de muros y cubeta quedará íntegramente en rocas de la Formación San Pedro del tipo arcillolitas, limolitas, areniscas y brechas. Sobre estas rocas se emplaza un horizonte de rocas ignimbríticas.
- Las rocas de la Formación San Pedro son de muy baja competencia geotécnica, blandas, con estratos salinos, desintegrables en agua.
- Las laderas al quedar expuesta a agua y oleaje tenderán a desintegrarse adquiriendo ángulos de reposo muy tendidos que afectan la estabilidad del horizonte ignimbrítico superior.
- La roca de la Formación San Pedro no tiene capacidad de resistencia, lo que queda de manifiesto por el hidrofracturamiento que se produjo en un alto

Prospecciones Efectuadas

Geología Local

Conclusiones del Estudio de Geología

**Conclusiones del
Estudio de
Geología**

- porcentaje de las pruebas Lugeon efectuados en sondajes.
- No hay estructuras mayores que comprometan el sector.
- Los espesores de suelos en el sector de los muros son nulos a muy reducidos.
- En general se aprecia que las rocas tenderán a una extrema y rápida degradación en contacto con agua lo que obligaría a sistemas especiales y onerosos de impermeabilización.
- En resumen se concluye que el sitio no tiene condiciones geológicas adecuadas para un proyecto de embalse para almacenamiento de agua a costos y seguridad razonables.

c) Estudio de Geotecnia

Este estudio se orientó básicamente a caracterizar geotécnicamente el material del sitio de la presa bajo una condición de saturación completa y a establecer la factibilidad técnica real de construir un embalse en el sector seleccionado.

Para estos fines se realizaron una serie de ensayos en muestras provenientes de sondajes y posterior análisis de sus resultados. Estos ensayos y análisis corresponden a los que se indican:

Ensayos

- Ensayos Lugeon.
- Ensayos de clasificación consistentes en granulometría, plasticidad, peso específico y límites de Atterberg.
- Evaluación de la resistencia mecánica del terreno.
- Ensayos de compresión no-confinada, en un intento de tener mayor información sobre el efecto del agua en la resistencia.
- Ensayos de depresión de hinchamiento y de hinchamiento libre, al observar en laboratorio un importante hinchamiento de la muestras.
- Ensayos de medición de sales solubles.
- Análisis de estabilidad de taludes.
- Análisis de la estabilidad de la presa.

El sitio proyectado para el emplazamiento de la presa Coyil, tanto en el sector del muro primario como secundario, se considera que no es adecuado, por presentarse un terreno natural de propiedades geotécnicas prácticamente incompatibles con la construcción de un embalse.

**Conclusiones
del estudio de
Geotécnia**

Los resultados de las prospecciones y ensayos indican las siguientes características del terreno natural:

- El material sufre una drástica degradación de resistencia y rigidez con el cambio de humedad. Se transforma visiblemente de roca a suelo al entrar en contacto con agua; esta situación se produce en el lapso de horas.
- El material presenta un elevado potencial de hinchamiento. Responde con un significativo aumento de volumen al entrar en contacto con agua, llegándose a

una muy alta presión de hinchamiento, de 3,1 kg/cm². La menor presión de hinchamiento es de 0,57 kg/cm², valor que se considera también elevado

Conclusiones del estudio de Geotécnia

- El sector del estribo derecho presenta un importante contenido de sales solubles (hasta un 3%), lo que necesariamente afectará la deformabilidad y permeabilidad de este sector en la medida que se disuelvan las sales.

Lo anterior implica la ocurrencia de derrumbes en toda la cubeta del sector al llenarse el embalse de agua, incluyendo los sectores aledaños a la presa. A esto se sumarán las deformaciones por hinchamiento del terreno, las que podrían agrietar completamente la presa. La solución a estos problemas pasan por impermeabilizar, lo cual es excesivamente caro y se estaría siempre en una condición extremadamente sensible a una eventual filtración.

A la luz de los resultados expuestos, es opinión del consultor cambiar de ubicación el proyecto a un sitio adecuado, que garantice apropiadamente la estabilidad de la obra.

d) Estimación del Valor de las Obras

Se procedió a efectuar una evaluación del costo de construcción de las obras, con el fin de cuantificar la significancia de las medidas de protección que deben adoptarse, para garantizar la estabilidad de la obra. Estas medidas se refieren fundamentalmente a la protección del vaso de la presa a través de algún elemento impermeabilizante y la consideración de taludes más bien conservadores en el diseño de las obras.

Considerando las características geológicas - geotécnicas, y la disponibilidad de materiales existentes en la zona de la presa, es posible considerar la construcción de una presa zonificada con núcleo de arcilla y/o limo, filtro de arena y espaldones. Una presa de grava fluvial gruesa con pantalla de hormigón ha sido descartada a raíz del inusual comportamiento del material de fundación, en relación a su gran capacidad de hinchamiento, lo que no permite considerar la construcción de una pantalla rígida.

La impermeabilización se lograría mediante la colocación de un geotextil impermeable, en todo el vaso de la presa y los taludes de éste, hasta el nivel máximo de la presa.

El presupuesto resultante para el Embalse en estas condiciones fue el siguiente: \$US 11.792.554 (moneda diciembre de 2001).

e) Conclusiones en Relación con la Construcción del Embalse Coyil

El valor obtenido para la construcción de las obras de la presa Coyil bordean los US\$11.800.000, siendo una componente importante aquella asociada a la impermeabilización del vaso de la presa.

El área a ser regada a través del embalse es de 800 ha y si se considera que el costo de la obra es de US\$ 11.800.000, resulta un valor indicador de US\$ 17.750 por ha. Este valor es en extremo alto, no siendo compatible con estándares normales de inversión en obras de riego.

Ante esta situación, fue opinión de la empresa Consultora no recomendar la construcción de la presa Coyil en el emplazamiento propuesto originalmente. Para ello, se ha tenido en consideración lo siguiente:

- Los resultados de los ensayos de geotécnica en especial aquellos referidos a la baja capacidad de soportación que posee el terreno una vez saturado y al nivel de hinchamiento que este desarrolla bajo este mismo ambiente.
- El informe geológico que es concordante con lo expresado en el estudio de geotécnica, y que indica que la zona del proyecto se encuentra en la formación denominada San Pedro, caracterizada por la presencia de sedimentos terrígenos que resultan ser deleznales, blandos y con baja cohesión. Al contacto con agua, y sin estar comprimido se desintegran generando un suelo de color ocre-rojizo.
- Ante los problemas detallados anteriormente, sería posible considerar soluciones tales como la impermeabilización total del vaso, incluidos los estribos de la presa. Sin embargo, ante la rotura eventual de esta membrana, en cualquiera de sus partes el sistema se hace vulnerable frente a la presencia de agua, objetivo central del proyecto. Se suma a ello el alto costo de esta alternativa, que lo hace tal vez comparable a otros proyectos en la zona, también de alto costo, pero que poseen un mayor grado de seguridad en sus resultados y en su operación en el largo plazo.

2.2.2.2. Análisis de Alternativas de Conducción del Río Salado y Diseño de Obras

En su nacimiento el río Salado, presenta aguas con bajo contenido de sal, pero a través de su recorrido se va contaminando, llegando a presentar conductividades del orden de 5.600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Microhm/cm).

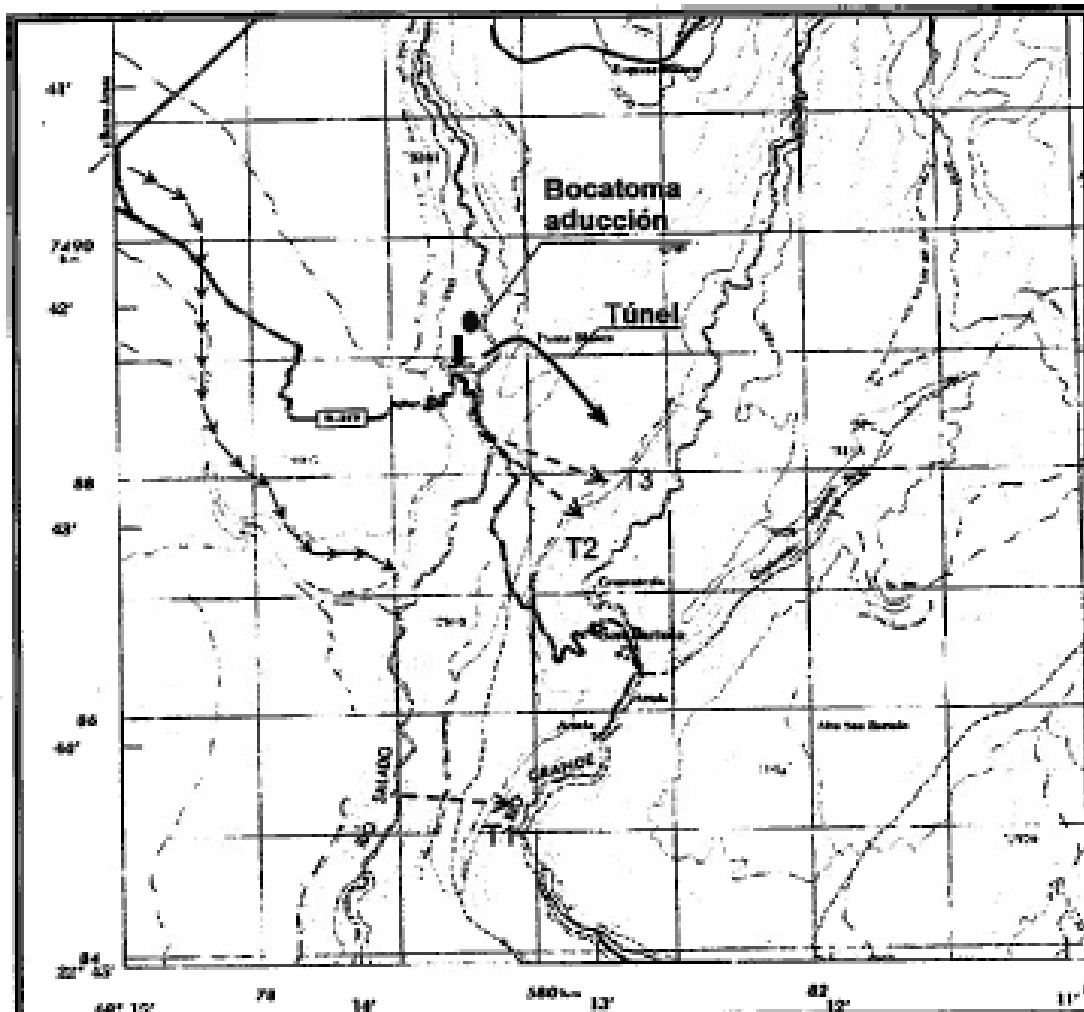
El agua salada es transportada por el río hasta su confluencia con el río Grande, para formar ambos el río San Pedro. Desde este último nace una red de canales de regadío que abastece a la localidad de San Pedro de Atacama. La contribución de agua salada proveniente del río Salado desmejora la calidad del agua del río San Pedro, motivo por el

cual los regantes han solicitado la materialización de un proyecto que evite la contaminación salina de las aguas del río Salado, lo que fue considerado entre los objetivos de estudio.

Dentro de este marco, se solicitó el estudio de dos tipos de obra, o alternativas: ***Tubería o canal by-pass del Río Salado y Túnel de trasvase del Río Salado a la cuenca del río Grande.***

En lo que sigue se indican y describen las principales alternativas del trazado del túnel de trasvase del río Salado al río Grande. La Figura 2.2.2.2-1 muestra las 3 alternativas.

FIGURA 2.2.2-1
ESQUEMA DE TRASVASE RÍO SALADO A RÍO SAN PEDRO



Alternativa tubería o canal by-pass del río Salado

Este proyecto consiste en captar las aguas del río Salado, a la altura del cruce con el camino al Establecimiento San Bartolo, donde todavía sus aguas presentan índices de salinidad aceptables y llevarlas hasta su confluencia con el río Grande, donde se origina el río San Pedro.

De acuerdo a los estudios realizados en la etapa de factibilidad se considera la instalación de un tubo Spíropecc enterrado 2 m, cuyo trazado deberá irse adecuando al cauce, con cámaras de inspección cada 50 m. Se estima que el trazado tendrá una longitud total de 13 km. Esta alternativa con conducción por tubería tiene un costo de US\$ 2.880.917.

Si la conducción se hace por un canal revestido el costo asciende a US\$ 1.540.266.

Alternativa túnel de trasvase

Como una alternativa al by-pass del río Salado se encuentra la opción de construir un túnel para conducir las aguas del río Salado hacia la cuenca del río Grande, con lo que se evita el trayecto de aproximadamente 13 km por la caja del río Salado. El trazado propuesto tiene una longitud aproximada de 1200 m y su costo es de US\$1.005.600.

Comparación económica de alternativas

Lo indicado anteriormente muestra que la alternativa túnel resulta ser más económica. Se agrega a ello el gran nivel de seguridad que ésta presenta, en relación a la conducción en by-pass por tubería o canal, que por presentar un largo trazado deben considerar la construcción y mantención de una gran cantidad de obras de arte. El proyecto prosiguió entonces considerando la opción de construcción de un túnel de trasvase desde el río Salado hacia el río Grande.

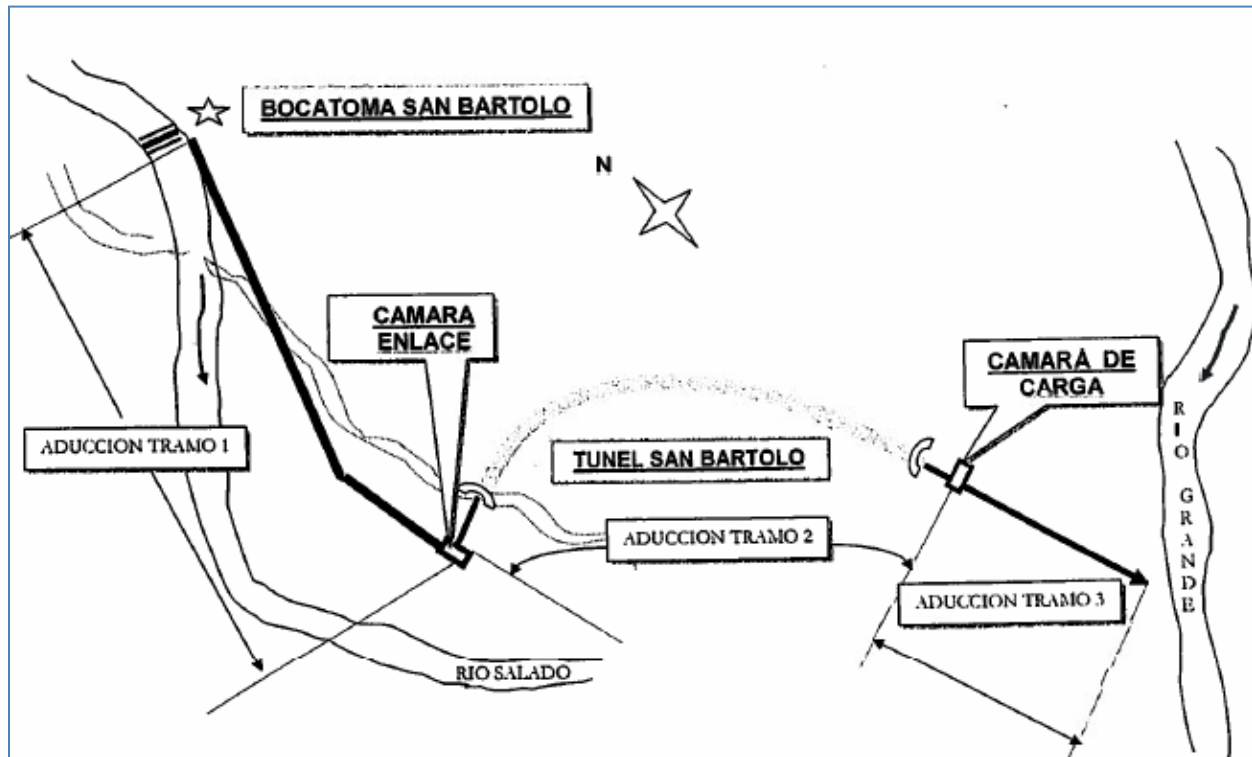
Se estudiaron tres alternativas de trazado del túnel, T1, T2, y T3, las que fueron desechadas por haberse detectado la presencia de un deslizamiento activo orientado hacia la zona de los portales de entrada, que se prolonga aproximadamente hasta los primeros 400 m de cada túnel. Bajo estas condiciones, no se consideró factible la ejecución de un túnel en el área con lo que se generó la necesidad de buscar un nuevo punto para la ejecución del túnel, teniendo presente en primer lugar la condición geológica del sector.

Análisis de alternativas de Trazado de Túnel

Después de analizar la zona en torno al cruce del camino al Establecimiento San Bartolo, se estimó que la posición del trazado que permite evitar la zona de deslizamiento y que presenta además condiciones adecuadas para la materialización del portal de entrada, corresponde a aquella que se presenta esquemáticamente en la Figura 2.2.2.2-2. El portal de entrada se ubica aproximadamente 250 m aguas bajo del cruce del río Salado con el camino a San Bartolo, encontrándose la obra de toma 50 m aguas arriba de este mismo punto. El trazado se inicia con dirección noreste, para luego, mediante una curva en el trazado tomar la dirección sureste, para salir finalmente en la cuenca del río Grande, en la zona de San Bartolo. Esta configuración permite evadir la zona del deslizamiento existente, obteniéndose un trazado de una longitud de 1.257 m que no resulta ser significativamente mayor que los anteriormente considerados.

A continuación se indican y describen las principales obras que conforman el trasvase del río Salado al río Grande.

FIGURA 2.2.2-2
ESQUEMA DE TRASVASE RÍO SALADO A RÍO SAN PEDRO



La obra de toma se ubica en el río Salado, aproximadamente 50 m aguas arriba del cruce del río con el camino a San Bartolo.

La obra de toma consiste en una barrera frontal sobre el lecho del río de 26,2 m de largo aproximadamente. Sobre el eje de la barrera, en su parte más alta, se genera una canaleta que permite captar el caudal proveniente del río y conducirlo hacia una cámara que alimenta una tubería de conducción. Se cuenta además con un vertedero lateral que permite la evacuación de 0,02 m³/s, correspondiente al caudal ecológico.

Bocatoma San Bartolo

La bocatoma frontal de una longitud de 26,2 m capta sus aguas por el costado derecho y cruza entubada hacia el costado izquierdo del río, esto con los siguientes propósitos:

- Protección de las obras, ya que se encuentra por el lado interior de la curva existente aguas arriba en el río Salado.
- El costado izquierdo posee fuerte pendiente lo que es motivo de frecuentes desprendimientos de material rocoso hacia el río
- Se facilita el acceso al sector de emplazamiento de las obras.

Bocatoma San Bartolo La obra ha sido diseñada considerando un caudal en el río de 50

**Aducción Tramo 1,
desde Bocatoma hasta
la entrada del túnel de
trasvase**

m^3/s , que corresponde aproximadamente a un período de retorno de 100 años. En el verano del año 2001 se registraron crecidas en el río del orden de $50 m^3/s$ que dejaron evidentes marcas en los bordes del cauce. Estas fueron consideradas al efectuar los trabajos de topografía, con lo cual fue posible diseñar las obras, en especial el trazado de la tubería y la ubicación del portal de entrada del túnel, sobre estos niveles.

A través del borde izquierdo del río se desarrolla el trazado de una tubería PECC de diámetro nominal $e = 355$ mm, enterrada y de 325 m de longitud, que conduce las aguas hacia la entrada del túnel. Se consideró un caudal de diseño de $0,20 m^3/s$ y un caudal máximo admisible de $0,24 m^3/s$.

**Aducción Tramo 2 por
el interior del túnel de
trasvase (San Bartolo)**

La sección transversal del túnel es del tipo arco de medio punto, con un ancho de 3,2 m y alto de 2,9 m. En la zona de entrada, como de salida, que suman una longitud aproximada de 80 m la sección excavada es de 3,8 m ancho y 3,2 m alto, con el objetivo de incorporar los correspondientes soportes.

**Aducción Tramo 3 y
entrega al río Grande**

El portal de salida del túnel se ubica en el borde derecho del río Grande, sobre una antigua faena minera actualmente sin uso. El desnivel existente entre la salida del túnel y el río es de 53 m aproximadamente. Ello, ha obligado al diseño de una obra de caída y posterior disipación antes de ingresar al río Grande.

2.2.3. Mejoramiento del Regadío de San Pedro de Atacama, Informe Preliminar, Octubre de 1959, Fernando Dávila I., Ambrosio G. Huidobro E., Emilio Donoso D.

Este estudio analiza el regadío de San Pedro de Atacama desde diversos aspectos, revisando previamente los antecedentes geomorfológicos, de suelos, cultivos, sistemas de riego, etc., tanto para los Ayllus regados por el río San Pedro, como para los del río Vilama.

Entre los aspectos que plantea están; que el río San Pedro se saliniza en dos sectores: Frente a Lagunita en 300 metros y frente a San Bartolo en unos 7 km. Además, indica que el río se forma por la confluencia de los ríos Jauna y Putana, siendo el Machuca y el Salado afluentes de más abajo. Hoy en día se le conoce como a partir de la confluencia de los ríos Grande y Salado, naciendo el Grande en la confluencia del Jauna y Putana. Por su parte, indica que el río Vilama se contamina en su nacimiento, por lo que no cuenta con las posibilidades de mejorar su calidad del agua de riego que cuenta el río San Pedro.

Uno de los aspectos más relevantes que plantea el estudio es que: "El río San Pedro presenta crecidas en Verano ("Invierno Boliviano"), debido al escurrimiento superficial de las precipitaciones cordilleranas. Estas lluvias, que duran generalmente 2 a 3 días arrastran grandes cantidades de sal, lo que hace imposible el aprovechamiento de dichas crecidas mediante la construcción de un embalse. El resto del año el río presenta una sorprendente invariabilidad." Esta aseveración es la que conlleva posteriormente a postular al embalse

Coyil como solución para el riego, por cuanto es lateral y no capta las crecidas. Lamentablemente, estudios posteriores descartaron su factibilidad técnica.

Además del problema de la salinidad, el estudio plantea como principales problemas del riego las pérdidas de agua por conducción, tanto en el río como en los canales, que en la época eran en su mayoría no revestidos. Es así como se proponen a nivel de idea varias soluciones para disminuir la salinidad y las pérdidas de agua, entre las cuales se pueden citar:

- Defensas en el río San Pedro en el sector lagunitas
- Túnel en roca en el sector San Bartolo y Cuchabrachi – San Pedro
- Canal de albañilería en los sectores San Bartolo y Cuchabrachi – San Pedro
- Entubación en los sectores San Bartolo y Cuchabrachi – San Pedro
- Revestimiento de Canales
- Regulación Nocturna
- Bocatomas y Marcos Partidores
- Regulación estacional (embalse Coyil para río San Pedro y embalse Guatín para río Vilama)
- Revestimiento del río Salado

El estudio realiza a continuación un costeo de estas soluciones, a nivel de idea, y un plan de estudios para llevarlas a diseños previos, anteproyectos y proyectos. También, recomienda la formación de una Asociación de Canalistas, la Canalización del río San Pedro, el estudio de la napa freática, la realización de un catastro de propiedades, la creación de una escuela agrícola y una colonización con gente de la zona. Termina concluyendo una estimación de los beneficios que podrían obtenerse con cada proyecto.

Lo planteado en este estudio es muy interesante, por cuanto se contrapone en cierto sentido a lo establecido en las Bases y Términos de Referencia de la presente Consultoría, que postulan la necesidad de analizar la factibilidad de construir un embalse de cabecera en el río Grande, que atrape las crecidas. Este Consultor estima que definir esta factibilidad debe incluir no solamente la posibilidad técnica de construir el embalse, sino que también ratificar si lo postulado por los ingenieros Dávila et. Al., respecto de la salinidad de las crecidas, es correcto. También, se considera de gran relevancia revisar si las angosturas postuladas en el río Grande son apropiadas desde el punto de vista del contenido de sales

en la fundación y estribos. En efecto, los tipos de presas que se vislumbran como más apropiados, CFRD o RCC, requieren de bajos asentamientos para que sus estructuras no sufran de mayores daños, lo que no se cumpliría si las fundaciones y estribos contienen grandes cantidades de sales.

El resto de las obras planteadas, tanto para evitar pérdidas de agua como para disminuir las salinidades del agua, son razonables para la época, pero ya han sido en gran medida construidas, especialmente lo referido a revestimiento de canales. Estos temas deben ser abordados en la presente Consultoría bajo la perspectiva de la situación actual y de la tecnología disponible.

Por lo tanto, se considera rescatable de este estudio, algunas ideas y conceptos acerca de los orígenes de las aguas y de su calidad, los que serán investigados, demanera de ser corroborados o rebatidos.

2.2.4. Aprovechamiento Integralde los Recursos de Agua de San Pedro de Atacama, Fernando Dávila, Dirección de Riego, 1960.

Este estudio surge como consecuencia de las conclusiones y recomendaciones efectuadas en el estudio “Mejoramiento del Regadío de San Pedro de Atacama”, Informe preliminar, octubre de 1959, realizado por los ingenieros Fernando Dávila I., Ambrosio G. Huidobro E., y Emilio Donoso D.

En efecto, por Res DR N°37 de 16 de febrero de 1960, se contrató al ingeniero Fernando Dávila el estudio de las obras necesarias para lograr los siguientes fines:

- a) Saneamiento de las aguas del río San Pedro y eliminación de las pérdidas por filtración.
- b) Saneamiento de las aguas del río Vilama y eliminación de las pérdidas por filtración.
- c) Embalses de regulación estacional para almacenar las aguas sobrantes de invierno en los ríos San Pedro y Vilama.
- d) Sistema de impermeabilización de los canales de distribución para eliminar las pérdidas por filtraciones.
- e) Plano general de la zona regada y susceptible de regar, a escala 1:5.000 con curvas de nivel cada metro y catastro de las propiedades
- f) Informe general, con recomendaciones y conclusiones.

Cabe destacar, que en el estudio colaboraron diversas personalidades, entre las cuales se incluyó el Reverendo Padre Gustavo Le Paige, S.J.

En su primera parte, de antecedentes, el estudio contiene una recopilación de antecedentes, entre los cuales se hace referencia en su capítulo 1 a generalidades sobre la ubicación, el clima, la geología y la historia. En el capítulo 2, se refiere a los recursos de

agua, incluyendo el agua subterránea, y en el capítulo 3 a la agricultura, incluyéndose los suelos, los cultivos y el riego. En el capítulo 4, se efectúa un programa de los estudios a efectuar en la segunda parte.

Entre las generalidades, plantea que el clima es desértico continental con intensas precipitaciones, algunos años sobre los 4.000 mm.

Con respecto a la geología, indica que unos 10 km al sur comienza el desierto de Atacama, donde desembocan los ríos San Pedro y Vilama. La formación San Pedro, que es del Terciario Inferior, es la principal en la zona, es sedimentaria y metamórfica de varios centenares de metros de espesor. La formación tiene plegamientos bastante intensos y con sedimentación lacustre impregnada de sal. Esta cordillera separó una parte del lago, lo que hoy se denomina "Llano de la Paciencia", el que posiblemente formó primero un brazo y más tarde quedó en seco.

Posteriormente, vino la época de la gran actividad volcánica de fines del terciario y comienzos del cuaternario, durante la cual se formó la cadena montañosa por la que corre la frontera actual entre Chile y Bolivia.

Al comienzo de esta formación volcánica se mantuvieron los antiguos cauces naturales de escurrimiento, algo modificado por las alteraciones tectónicas. Luego, el torrente de basalto y liparita obstruyó esos cauces, dejando la región sin desagüe aparente. Sin embargo, se supone que esos diques no son totalmente impermeables, debido a las numerosas fisuras que se forman en ese tipo de rocas. De este modo, el antiguo escurrimiento continuaría hasta hoy en forma de filtraciones subterráneas que serían las que alimentan los ríos actuales del lado chileno.

Esta teoría permite explicar la constancia de los gastos de estos ríos, cuyos valores no guardan ninguna relación con las superficies de las hoyas hidrográficas de donde provienen. Las precipitaciones ocasionales del invierno altiplánico escurren de inmediato en forma de grandes avenidas. Por otra parte, la nieve caída en la alta cordillera no alcanza a fundirse debido a los fuertes vientos y a la sequedad del aire, lo que provoca su evaporación directa, tomando la conocida forma de "Penitentes", en tanto el terreno bajo ella se mantiene seco.

Por otra parte, el largo trayecto subterráneo actuaría a modo de estanque regulador de varios años, dando por resultado un gasto normal sensiblemente constante, lo que se observa en los ríos Loa, San Pedro, Vilama y demás de la Región.

Tal fue la conclusión a que llegaron el señor William E. Rudolf, ex ingeniero Jefe de la Chile Exploration Company y sus colaboradores, después de un extenso estudio de las fuentes de abastecimiento de agua para Chuquicamata.

Los primeros agricultores de la región, que posiblemente datan de varios miles de años atrás, debieron luchar contra la alta salinidad del suelo que dejaba descubierto el lago en su descenso. Por otra parte, dada la aridez del clima, el riego era indispensable, disponiendo para ello de los ríos San Pedro y Vilama, cuyas aguas tienen un contenido salino apreciable. Sin embargo, lograron descubrir el sistema que los permitía lavar los suelos y mantener su grado de salinidad dentro de un cierto límite mediante la inundación del campo en cada

riego. Así, con el exceso de agua que aplicaban, conseguían hacer penetrar al sub suelo, en los sectores en que la permeabilidad lo permitía, la sal acumulada anteriormente, lo que se incorporaba a la napa freática y, por medio de ella, al salar. Este sistema de riego lo empleaban los Atacameños a la llegada de los españoles y es el que en líneas generales emplean los habitantes actuales, aunque con muchos defectos.

Para analizar los recursos de agua, el estudio divide al río en 5 sectores, a saber:

- Sector Lagunita, aprox. 6 km
- Sector Río Grande, aprox. 21 km
- Sector San Bartolo, aprox. 9 km
- Sector Confluencia, aprox. 10 km
- Sector Inferior, aprox. 12 km

El estudio indica que el río San Pedro tiene su primer contacto con sectores salados frente a Lagunita, en un punto llamado “Ojo Salado”, y luego las principales contaminaciones son en el sector desde el establecimiento San Bartolo hasta el Ayllu del mismo nombre y en la junta con el río Salado.

Con respecto a la napa subterránea, se indica que la salinidad es bastante alta y el contenido de Boro está muy por encima de los valores aceptables para los cultivos. Cabe destacar que el Salar de Atacama, incluida la cordillera de la sal, abarca todo el sector de cultivos, o de Ayllus.

Con respecto a los cultivos, los principales son la alfalfa, el maíz y el trigo, los cuales se dan en condiciones bastante deficientes.

Con respecto al riego, se plantea la necesidad de regar permanentemente con tasas altas, que permitan lavar los suelos y mantener un relativo equilibrio del contenido salino, lográndose un cultivo estable. De lo contrario, los suelos se irán salinizando cada vez más. El estudio estima que de una necesidad de dotación del orden de 17.000 m³/ha/año, debe regarse con una dotación del orden de 25.000 m³/ha/año.

Finalmente, con respecto a los canales, se plantea que adolecen de graves defectos, como pendientes excesivas, largos tramos por trayectos de gran permeabilidad, y canales que siguen cursos paralelos pudiendo fácilmente reunirse en uno solo.

Para el saneamiento de las aguas del río San Pedro, se diseñaron defensas en 150 m del sector Lagunita, un canal de 6 km en el sector San Bartolo y una tubería de rocalit enterrada, con una bocatoma en el río Salado, para desviar el río de la zona contaminante.

Para la regulación estacional del río San Pedro, se diseñó el embalse Coyil, de 8 hm³ de capacidad, al cual se le calculó un 3,34% de pérdidas por evaporación. El muro es del tipo mixto, con un núcleo de tierra impermeable y espaldones de enrocado, construidos con la roca liparítica existente en la zona.

Para la impermeabilización, cuarto punto del contrato, se propone un acueducto entubado en hormigón armado, por la caja del río y protegido de las crecidas, que entregará el agua a los canales troncales a la entrada del pueblo, así como también a los Ayllus intermedios por medio de válvulas con medidores de caudales. Para los canales, se propone revestir con albañilería de piedras o con membranas plásticas. Un análisis económico permite concluir al autor que lo mejor es la membrana.

Con respecto al plano general de la zona, se efectuó (o habría efectuado, porque no estaba disponible) un levantamiento por restitución aerofotogramétrica a escala 1:5.000 con curvas de nivel cada 1 m, del cual salieron dos láminas, una con la zona regada y susceptible de regar y la otra con el catastro de propiedades.

Finalmente, como conclusiones y recomendaciones, el estudio incluye un análisis de los costos y beneficios que producirían cada una de las obras propuestas, así como recomendaciones relativas a otros temas, como traslado de Ayllus, distribución de las aguas, formación de una Asociación de Canalistas, Dotación de agua potable al pueblo, generación de energía hidroeléctrica, creación de un establecimiento destinado a la investigación y educación, y confección de un plano regulador de la zona urbana.

Este Consultor estima que el estudio es bastante interesante en los análisis que realiza, y aporta información de utilidad, pero las obras que plantea deben volver a analizarse bajo la situación actual de información y con el máximo aprovechamiento de las tecnologías disponibles. Por lo tanto, al igual que el estudio anterior del ing. Dávila, lo más interesante es el análisis conceptual de los orígenes de las aguas y de su calidad, que se intentará verificar.

2.2.5. Diagnóstico Obras de Riego Pueblos Hoya Río Salado II Región, IRH Ltda., Mayo 1995, MOP Dirección de Riego.

Este estudio, incluye una revisión de los antecedentes disponibles, una descripción de las localidades, una identificación de los problemas y proposiciones para el mejoramiento de la agricultura. Está dirigido a las localidades de Ayquina, Turi, Caspana, Cupo, Paniri y Toconce.

Aún cuando se refiere a otras localidades, es de interés para el presente estudio destacar las conclusiones que pueden ser comunes, y que se refieren básicamente a las necesidades de asistencia técnica permanente, transferencia tecnológica y redes de comercialización, temas absolutamente importantes en el marco del desarrollo agrícola de cada localidad.

También, se destaca que en las zonas de mala calidad de las aguas, la propuesta de desarrollo es en base a la actividad agropecuaria.

Finalmente, el estudio concluye que, salvo el caso de Caspana, no hay una justificación económica para llevar adelante los proyectos de desarrollo propuestos. La justificación que podría tener un proyecto no rentable de esta naturaleza, a nivel de interés del país, radica en conceptos que no se han incluido en la evaluación, porque no son sistemáticamente cuantificables y por lo tanto constituyen una externalidad. Estos conceptos son: la conveniencia o la necesidad de mantener poblada una determinada zona del país (aspecto

geopolítico), y la conveniencia de no permitir la muerte de una cultura enriquecedora del patrimonio nacional.

En terrenos estratégicos, el beneficio intangible de mantener una población puede llegar a ser muy alto, y por lo tanto, justificar una elevada inversión económicamente no rentable. Igualmente, evitar el exterminio de culturas únicas en el mundo puede tener un valor que supere cualquier costo en que se incurra para su mantención.

2.2.6. Manejo Experimental de la Cuenca del Río San Pedro de Atacama, II Región, R&Q Ingeniería Ltda., Noviembre 1995, MOP, Dirección de Riego

El objetivo de este estudio, fue determinar un programa de desarrollo agropecuario y priorizar inversiones, en una zona de gran interés socioeconómico, cuyas posibilidades de desarrollo están muy limitadas por la contaminación salina de las aguas de riego y de los suelos, y por los deterioros generados por las crecidas de los ríos durante el “invierno altiplánico”.

El estudio se ejecutó en las 8 etapas siguientes:

- 1.- Recopilación y Análisis de Antecedentes
- 2.- Estudios Hidrológicos
- 3.- Confección de Catastros y Estudio Agronómico
- 4.- Análisis del Problema de Contaminación
- 5.- Diagnóstico y Proposición de Soluciones
- 6.- Desarrollo de Alternativas de Solución
- 7.- Evaluación Económica y de Impacto Ambiental
- 8.- Informe Final

En la Memoria y Resumen del Estudio, que es el Volumen 1, se incluyen las características socioeconómicas del área, un estudio hidrológico que entrega para el río San Pedro un caudal medio de entre 720 L/s y 860 L/s. Para un año 85% varían entre 620 L/s y 780 L/s. Hay bastante “pulsación” del caudal durante las 24 horas, debido al congelamiento y posterior derretimiento de las aguas en lagunas y vegas, especialmente en los meses de invierno, en los cuales las variaciones son superiores al 100%, en tanto que en el resto de los meses es del orden del 7%.

En lo que respecta a las aguas subterráneas, existe un buen caudal, entre 40 L/s y 150 L/s en pozos perforados por CORFO, pero con mala calidad química, especialmente por el alto contenido de Boro, 15 mg/L en promedio.

Se entrega un estudio agroclimático y de suelos, con Capacidad de Uso, Clases de Drenaje, Categorías de Riego, Aptitud Frutal y Grupos de Manejo. Se incluye también estudios de infiltrometría y de calidad de las aguas.

Un tema de gran interés para el presente estudio es el catastro de las áreas de riego, que incluye Rol del propietario, Área total del Rol, área actualmente bajo riego, área potencialmente regable, distribución de los cultivos de cada Rol y distribución de los cultivos del área.

También, se entregan los resultados de encuestas y un estudio de mercado, que revela lo frágil de la agricultura.

A continuación, el estudio incluye un capítulo de Catastro, Reparación y Modificación de la Infraestructura de riego existente, el que es de interés como punto de partida al que se realizará en el presente estudio, y un Catastro de Pozos y Norias y Eventual Explotación del Agua Subterránea.

El estudio continúa con un análisis de la Contaminación de las Aguas, sus Causas y Soluciones Propuestas para Mejorar su Calidad, una descripción de la Situación Actual del Riego y Soluciones propuestas, una descripción de los Embalses de Temporada identificados, entre los cuales está el embalse Coyil para regular el río San Pedro y el embalse Guatín para regular el río Vilama.

Finalmente, el estudio concluye con un Programa de Desarrollo Agropecuario, una Evaluación Económica de las Soluciones Propuestas, y un Estudio de Impacto Ambiental.

Las Conclusiones y Recomendaciones finales, se refieren a los recursos naturales de agua, clima y suelos, al Uso y Manejo de los Recursos Hídricos, a las Obras Propuestas, a la Comercialización, al programa de Desarrollo Agropecuario, a la Evaluación Económica, al Impacto Ambiental, y Recomendaciones Generales.

El Volumen 2 corresponde a los estudios básicos, el Volumen 3 a los Estudios Catastrales y de Mercado, el Volumen 4 al “Análisis del Problema de Contaminación” y el Volumen 5 a la “Regulación y Distribución de Aguas de Riego”. Finalmente existen volúmenes de Anexos al Vol 2, al Vol 3, Vol 4 y Vol 6, además de un Informe Ejecutivo.

Todos los contenidos de este estudio son de interés para la ejecución del presente proyecto y serán considerados, previa validación, las estadísticas, datos y análisis de laboratorio y de gabinete respecto de los diferentes temas. Las obras propuestas serán consideradas como referencia solamente, por cuanto se analizará directamente en terreno todo lo que en el presente estudio se proponga.

2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO

2.3.1. Ubicación del Área de Proyecto

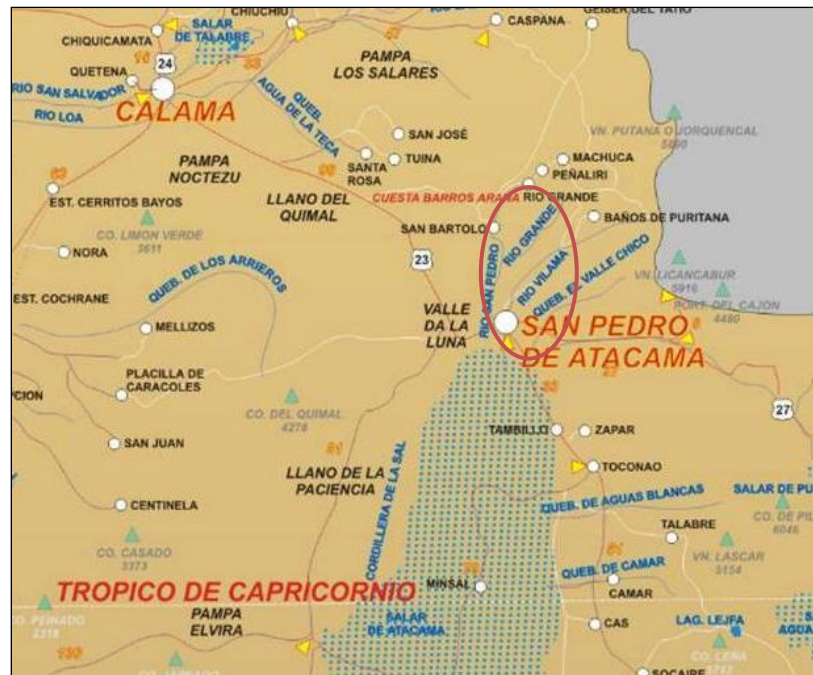
El área de estudio se ubica en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región, aproximadamente a 100 km al suroeste de la ciudad de Calama a 2.438 m.s.n.m., cerca del extremo norte del salar de Atacama, entre los 22°22' S y los 24°21' S de latitud y entre los 67°00' O y los 68°40' O de longitud.

Los accesos a San Pedro de Atacama se encuentran en buen estado, pudiendo acceder desde Calama, Socaire y Argentina por camino asfaltado; y desde el Tatio por camino de tierra.

En la comuna de San Pedro de Atacama cruza el río San Pedro, del cual se utilizan sus aguas para riego. En el sector de Cuchabrachi se unen los afluentes río Salado y río Grande, formándose este último por la confluencia de los ríos Jauna y Putana, que nacen de las

vegas del mismo nombre. En Figura 2.3.1-1 se presenta la ubicación geográfica del área de estudio.

FIGURA 2.3.1-1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: www.orplan.cl (2007).

2.3.2. Estructura Político – Administrativa

La comuna de San Pedro de Atacama se independiza de la comuna de Calama en 1980. Al norte limita con la comuna de Calama y Bolivia, al sur con la comuna de Antofagasta y Argentina, al este con Argentina, y al oeste con la comuna de Sierra Gorda. La comuna abarca una superficie de 23.439 km², que equivalen al 54,5% del territorio provincial y al 18,5% de la superficie regional. En la Figura 2.3.2-1 se presenta la ubicación del proyecto y la comuna de San Pedro de Atacama en el contexto político-administrativo en que se encuentra.

Geográficamente coincide con una de las Áreas de Desarrollo Indígena definidas en Chile en el año 1997 por la presencia de 17 comunidades originarias en dichos territorios.

Finalmente cabe destacar que junto con las comunas de Tocopilla, María Elena, Ollagüe y Calama integran el Distrito Electoral N° 3, perteneciendo a la 2ª Circunscripción Senatorial (Antofagasta).

FIGURA 2.3.2-1
CONTEXTO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional (2009).

2.3.3. Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos

2.3.3.1. Población

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Censo de Población y Vivienda del año 2002, la población en la comuna de San Pedro de Atacama alcanza 4.969 habitantes, lo que corresponde a un 1% del total de habitantes de la Región de Antofagasta. Además la población proyectada para el año 2012 alcanzaría los 9.778 habitantes, lo que representa un aumento de 96,78%, muy por encima de lo estimado para la situación a escala regional y nacional (Cuadro 2.3.3.1-1).

**CUADRO 2.3.3.1-1
POBLACIÓN TOTAL 2002 Y PROYECTADA 2012
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA**

Territorio	Año 2002	Año 2012	Variación (%)
Comuna	4.969	9.778	96,78
Región de Antofagasta	493.984	588.130	19,06
País	15.116.435	17.398.632	15,10

Fuente: Censo INE 2002 y Proyecciones de Población (INE, 2002).

El Censo del año 1992 define a la comuna de San Pedro de Atacama como completamente rural, situación que cambió al año 2002, en la que se considera que un 39% del total de los habitantes son población urbana (Cuadro 2.3.3.1-2).

**CUADRO 2.3.3.1-2
POBLACIÓN URBANO – RURAL
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA**

Territorio	Habitantes	%
Total Comunal	4.969	100,0
Urbana	1.938	39,0
Rural	3.031	61,0

Fuente: Censo INE 2002

En cuanto a la distribución de la población por género, los hombres representan el 61,1% del total de habitantes de la comuna, con un índice de masculinidad¹ de 143,46, valores levemente mayores comparado a nivel regional, condición que se mantiene con lo proyectado para la situación al año 2012 (Cuadro 2.3.3.1-3).

¹Hombres/Mujeres*100

Al analizar la población entre el año 2002 y lo proyectado para el año 2012 (INE), es posible apreciar una variación en el número de habitantes por grupo etario. Si en el año 2002 el grupo más numeroso está entre 15 y 29 años, en el 2012 el grupo entre 30 y 44 años es el más grande (Cuadro 2.3.3.1-4). Además, la mayor variación porcentual estimada para cada grupo etario entre el censo 2002 y lo proyectado para el año 2012, está constituido por la población entre 45 y 64 años (148,48%).

CUADRO 2.3.3.1-3 DISTRIBUCIÓN POBLACIÓN SEGÚN SEXO E ÍNDICE DE MASCULINIDAD COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Territorio	Año 2002		Año 2012		Índice Masculinidad	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	2002	2012
Comuna	2.928	2.041	6.237	3.541	143,46	176,14
Región de Antofagasta	256.165	237.819	306.102	282.028	107,71	108,54
País	7.447.695	7.668.740	8.610.934	8.787.698	97,12	97,99

Fuente: Censo INE 2002 y Proyecciones de Población (INE, 2002).

CUADRO 2.3.3.1-4 POBLACIÓN POR GRUPO DE EDAD 2002 Y PROYECTADA 2012 COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Edad	2002	2012	% Según Territorio 2012		
			Comuna	Región	País
0 a 14	1.008	1.548	15,83	23,85	21,77
15 a 29	1.535	2.187	22,37	25,65	24,56
30 a 44	1.249	3.446	35,24	22,41	21,08
45 a 64	785	1.949	19,93	21,46	23,08
65 y más	392	648	6,63	6,64	9,52
Total	4.969	9.778	100	100,01	100,01

Fuente: Censo INE 2002 y Proyecciones de Población (INE, 2002).

La comuna de San Pedro de Atacama para el Censo de 2002 se componía de tres distritos censales: San Pedro de Atacama, Toconao y Socaire; de los cuales el primero posee el 50% de la población comunal. En el Cuadro 2.3.3.1-5 se presenta la distribución poblacional por distrito censal de la comuna.

Además se identifican 9 localidades en la comuna, las que se emplazan en torno a los recursos hídricos presentes en las diversas cuencas hidrográficas del Salar de Atacama. Las localidades en cuestión corresponden a: San Pedro, Toconao, Peine, Socaire, Río Grande, Talabre, Camar, Machuca, Rezagado (Cuadro 2.3.3.1-6). La

localidad de San Pedro de Atacama es la capital comunal, concentrando el 65,7% de la población. Se divide en un área urbana donde se emplaza el centro histórico, los servicios públicos y privados esenciales; y un área rural que se estructura en Ayllus, asociaciones socioeconómicas agrícolas con lazos de parentesco.

CUADRO 2.3.3.1-5
DISTRIBUCIÓN DE HABITANTES POR DISTRITOS CENSALES
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Distrito	Habitantes	%
San Pedro de Atacama	3.264	65,69
Toconao	862	17,35
Socaire	843	16,97
TOTAL	4.969	100,00

Fuente: Censo INE 2002

CUADRO 2.3.3.1-6
CIUDADES, PUEBLOS, ALDEAS Y CASERÍOS
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Localidad	Población
San Pedro Urbano	1.938
San Pedro Rural	1.228
Toconao	732
Peine	522
Socaire	255
Rio Grande	80
Talabre	59
Camar	41
Machuca	4
Rezagado	110
Total	4.969

Fuente: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos (INE 2005)

Por otra parte, de acuerdo con datos del INE es posible apreciar un proceso de migración entre los años 1997 al 2002, representada por un 38% de los habitantes que inmigraron a la comuna. Esta situación resulta más significativa para el distrito de San Pedro en donde el valor alcanza sobre el 40%, con 1.210 personas que provienen de otras comunas (PLADECO 2006 - 2010).

La fuente migratoria proviene principalmente de la misma región, con un porcentaje de participación respecto de los migrantes totales cercano al 45%. Un segundo componente de importancia lo constituyen extranjeros que se han radicado en la comuna, y personas provenientes de la Región Metropolitana, sumando ambos un 33% del total de inmigrantes. Los menores aportes provienen de las regiones de Tarapacá, Coquimbo (5% cada una), Atacama y Valparaíso (3% cada una) y la del BíoBío (2%), (PLADECO 2006 - 2010).

2.3.3.2. Representación de Grupos Étnicos

Tal como lo muestra el Cuadro 2.3.3.2-1, la mayor parte de los habitantes de la Comuna de San Pedro de Atacama está representada por personas de ascendencia indígena, principalmente atacameña (72,58% del total, según la Encuesta CASEN 2009).

En términos generales, la población atacameña está asentada mayoritariamente entre los 2.000 y 3.600 metros de altitud. Esta población autóctona mantiene una tradición milenaria dentro de las culturas andinas, desarrollándose esencialmente en actividades agrícolas y de pastoreo.

CUADRO 2.3.3.2-1
POBLACIÓN SEGÚN ETNIA DECLARADA
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Etnia	Cantidad de Personas			% según Territorio (2009)		
	2003	2006	2009	Comuna	Región	País
Atacameño	3.402	4.397	4.542	72,58	3,75	0,18
Aymara	18	20	119	1,9	0,72	0,57
Mapuche	3	41	25	0,4	0,59	5,96
Rapanui	0	5	0	0	0	0,03
Otras	817	1.018	1.572	25,12	94,94	93,26
Total	4.240	5.481	6.258	100	100	100

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

2.3.3.3. Pobreza y Desarrollo Humano

La pobreza en Chile se define a partir de una canasta básica de alimentos, cuyo valor se actualiza según la evolución de los precios. Con ese valor se definen la línea de indigencia y la línea de pobreza (\$32.067 y \$ 64.134, respectivamente para CASEN 2009).

En este contexto, según cifras de la encuesta CASEN, la población pobre disminuyó desde el año 2003 al 2006, aumentando posteriormente el año 2009. Además se constató un leve aumento de la población en condición “pobre no indigente” al año 2009 en relación al año 2003 (Cuadro 2.3.3.3-1).

En cuanto a la indigencia a nivel comunal registrada para el año 2009, los índices muestran que el 0,65% de la población cabe dentro de esta categoría, valor que es inferior a la condición regional y nacional para ese año, los que alcanzaban un 0,75% y un 3,74% respectivamente.

De acuerdo a la última estimación del Índice de Desarrollo Humano (IDH) elaborado por el PNUD, la II región se ubica entre las cuatro mejores, después de la región Metropolitana, Magallanes y Tarapacá. En tanto el IDH comunal, sitúa a la comuna de San Pedro de

Atacama en el lugar 146 en un ranking de 191 comunas, de las cuales Antofagasta se sitúa en el puesto 23, Calama 37, Tocopilla 64 y Taltal 131.

Cuadro 2.3.3.3-1

población según pobreza

Comuna San Pedro de Atacama

Pobreza en las Personas	2003	2006	2009	% según Territorio (2009)		
				Comuna	Región	País
Pobre Indigente	91	32	56	0,65	0,75	3,74
Pobre no Indigente	465	167	477	5,57	7,24	11,38
No Pobre	3.684	5.282	8.028	93,77	92,01	84,88
Total	4.240	5.481	8.561	100,00	100,00	100,00

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

2.3.3.4. Actividades Económicas y Empleo

Con respecto al empleo, de acuerdo a los resultados del censo 2002, la fuerza de trabajo comunal a ese año era de 2.319 personas, llegando la tasa de participación al 58,5%. Dentro de este grupo, la tasa de desocupación alcanzaba 8,4%, siendo mayor en hombres que en mujeres. Esta información es posible de observar en forma resumida en el Cuadro 2.3.3.4-1, junto con la proyección para el año 2012.

Sobre el mismo tema, las estadísticas aportadas por la encuesta CASEN muestran que el nivel de ocupación evidenció un aumento constante entre los años 2003 y 2009, pasando de 1.755 personas en esta situación a 3.775, respectivamente (Cuadro 2.3.3.4-2)

En relación a lo anterior, los niveles de desocupación mantienen una tendencia inversa a los niveles de ocupación entre los años 2003 y 2006, presentándose tasas de desocupación inferiores a la realidad regional y de país. Si bien entre estos años se evidenció una disminución de la desocupación, para el año 2009 aumentaron las tasas de desempleo llegando a un valor de 6,14 como se puede apreciar en el Cuadro 2.3.3.4-3.

Con respecto a la importancia de las diferentes ramas de la actividad económica, el Censo 2002 indicó que la comuna de San Pedro de Atacama se especializa en la construcción, con

un 17,7% del total de los ocupados, seguida por el trabajo en hoteles y restaurantes (15,0%) y la explotación de minas y canteras (11,4%), apareciendo la actividad agrícola solo con un 4,7%. El Cuadro 2.3.3.4-4 muestra la población ocupada según rama de actividad económica según el Censo 2002 y su evolución hasta el año 2012, bajo el supuesto de que la composición porcentual se mantiene.

Cuadro 2.3.3.4-1

población según tipo y condición de actividad económica

Comuna San Pedro de Atacama

Censo 2002 y proyección 2012

Tipo de Condición Económica		2002			2012		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Población de 15 años o más		3.961	2.440	1.521	7.794	5.198	2.597
ECONOMICAMENTE ACTIVA (FUERZA DE TRABAJO)	Total	2.319	1.670	649	4.665	3.557	1.108
	Ocupados	2.124	1.518	606	4.268	3.234	1.035
	Cesantes	167	136	31	343	290	53
	Buscando trabajo por primera vez	28	16	12	55	34	20
NO ECONOMICAMENTE ACTIVA (FUERA DE LA FUERZA DE TRABAJO)	Total	1.642	770	872	3.129	1.640	1.489
	En quehaceres de su hogar	680	73	607	1.192	155	1.036
	Estudiando	157	84	73	304	179	125
	Jubilado o rentista	196	121	75	386	258	128
	Incapacitado permanentemente para trabajar	31	15	16	59	32	27
	Otra situación	578	477	101	1.189	1.016	172
Tasa de Participación		58,5%	68,4%	42,7%	59,9%	68,4%	42,7%
Tasa de Ocupación		53,6%	62,2%	39,8%	54,8%	62,2%	39,8%
Tasa de Desocupación		8,4%	9,1%	6,6%	8,5%	9,1%	6,6%

Fuente: Censo INE 2002 y elaboración Propia a partir de Proyecciones de Población (INE, 2002).

Cuadro 2.3.3.4-2

Población ocupada, desocupada e inactiva Comuna San Pedro de Atacama CASEN 2003-2006-2009

Territorio	Ocupados			Desocupados			Inactivos		
	2003	2006	2009	2003	2006	2009	2003	2006	2009
San Pedro de Atacama	1.755	2.379	3.775	124	92	247	1.110	1.441	2.713
Región de Antofagasta	191.148	216.726	217.523	17.694	14.138	13.427	157.746	157.129	188.846
País	5.994.561	6.577.961	6.636.881	643.977	519.357	755.252	4.995.468	5.288.126	5.871.272

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Cuadro 2.3.3.4-3

Tasas de ocupación y desocupación Comuna San Pedro de Atacama CASEN 2003-2006-2009

Territorio	Tasa de Ocupados			Tasa de Desocupados			Tasa de Inactivo		
	2003	2006	2009	2003	2006	2009	2003	2006	2009
San Pedro de Atacama	58,72	60,81	56,05	6,6	3,72	6,14	62,86	63,16	59,72
Región de Antofagasta	52,14	55,86	51,82	8,47	6,12	5,81	56,97	59,5	55,01
País	51,53	53,11	50,04	9,7	7,32	10,22	57,06	57,3	55,73

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Cuadro 2.3.3.4-4

Población ocupada por rama de actividad económica Comuna San Pedro de Atacama Censo 2002 y proyección 2012

Rama Actividad Económica	2002			2012		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
A Agricultura, ganadería, caza y silvicultura.	100	84	16	206	179	27
B Pesca.	2	1	1	4	2	2

C Explotación de minas y canteras.	243	231	12	513	492	20
D Industrias manufactureras.	71	61	10	147	130	17
E Suministro de electricidad, gas y agua.	11	10	1	23	21	2
F Construcción.	376	359	17	794	765	29
G Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos.	209	123	86	409	262	147
H Hoteles y restaurantes.	318	157	161	609	334	275
I Transporte, almacenamiento y comunicaciones.	182	133	49	367	283	84
J Intermediación financiera.	2	1	1	4	2	2
K Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler.	205	159	46	417	339	79
L Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	156	121	35	318	258	60
M Enseñanza	109	37	72	202	79	123
N Servicios sociales y de salud.	32	12	20	60	26	34
O Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales.	53	18	35	98	38	60
P Hogares privados con servicio doméstico.	54	10	44	96	21	75
Q Organizaciones y órganos extraterritoriales.	1	1	0	2	2	0
Ignorado	0	0	0	0	0	0
Total Ocupados	2.124	1.518	606	4.268	3.234	1.035

Fuente: Censo INE 2002 y elaboración Propia a partir de Proyecciones de Población (INE, 2002).

Según el PLADECO Agrícola 2011-2015, en el año 1992 la agricultura y la ganadería se consideraban las principales actividades económicas en la comuna, seguidas por la industria manufacturera. Esta situación ha ido cambiando a la fecha, reduciéndose drásticamente ambas actividades un 18% y 16%, respectivamente, dando paso a las actividades de construcción que aumentó 9%, hoteles y restaurantes 10%, inmobiliarias 8% y, en menor medida el comercio.

Esta situación es posible comprender por la importancia que la actividad turística ha adquirido en la zona, impulsando el aumento de empresas que prestan servicios turísticos como hoteles y restaurantes, los cuales aumentaron entre el año 2003 al 2009 de 67 a 106 empresas registradas en el Servicio de Impuestos Internos.

La minería es otra actividad de importancia en la economía del sector, constituida principalmente por la explotación de litio, sodio, bórax y potasio en faenas mineras emplazadas en los sectores cercanos a Toconao y Peine. Las empresas SQM Salar S.A. y la Sociedad Chilena de Litio Ltda desarrollan la actividad de la minería no metálica, exportando principalmente carbonato de litio, cloruro de litio, cloruro de potasio a EE.UU., Alemania, China y Japón.

En el sector silvoagropecuario, de acuerdo a los antecedentes aportados por el Censo Agropecuario del año 2007, existe una mayor presencia de hombre que desarrollan

actividades remuneradas en forma permanente, condición que es posible observar tanto a nivel regional y país (Cuadro 2.3.3.4-5).

Cuadro 2.3.3.4-5

Empleos permanentes en sector silvoagropecuario año 2007

Comuna San Pedro de Atacama

Empleo Permanente	Comuna	Región	País
Hombres	29	287	168.262
Mujeres	14	144	19.894
Total	43	435	188.156

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

2.3.4. Condiciones de Vida de la Población

2.3.4.1. Educación

En la comuna de San Pedro de Atacama el 87,8% de la población se encuentra alfabetizada, presentándose una tasa de analfabetismo que según las encuestas CASEN 2000 y 2003, 8,2 puntos por sobre el promedio de la región, 7,2 sobre la provincia y 5,4 puntos sobre la nacional. Estas cifras resultan de importancia en especial en el caso de las mujeres, quienes alcanzan una tasa de analfabetismo del orden de los 13 puntos.

Parte importante de la población (18%) se encuentra en un nivel de escolaridad básico incompleto, cifra superior a la realidad regional y nacional, presentándose más del 50% de la población con un nivel de escolaridad que no alcanza a completar la enseñanza media, como se aprecia en el Cuadro 2.3.4.1-1.

Cuadro 2.3.4.1-1

Nivel educacional de la población

Comuna San Pedro de Atacama

Nivel Educacional	2003	2006	2009	% según Territorio (2009)		
				Comuna	Región	País
Sin Educación	250	399	332	6,73	2,51	3,52
Básica Incompleta	721	722	919	18,64	10,24	14,34
Básica Completa	481	648	634	12,86	11,12	10,97
Media Incompleta	542	735	764	15,5	22,09	18,98
Media Completa	621	970	1.609	32,64	33,9	29,9
Superior Incompleta	185	146	429	8,7	8,82	9,86
Superior Completa	160	292	243	4,93	11,32	12,43
Total	2.960	3.912	4.930	100	100	100

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Respecto de la dependencia de los establecimientos educacionales presentes en la comuna de San Pedro de Atacama, se destaca sólo la presencia de 9 establecimientos municipales, sin contar con establecimientos particulares subvencionados, particulares pagados o establecimientos vinculados a una corporación municipal o particular.

2.3.4.2. Salud

La red de salud está compuesta por un centro de salud ambulatorio, el cual cuenta con el reconocimiento del Ministerio de Salud bajo el nombre Consultorio General Rural de San Pedro de Atacama (PLADECO 2006 - 2010); y cuatro postas rurales en las localidades de Toconao, Socaire, Peine y Río Grande. En las localidades en donde no se presentan postas rurales, como Talabre y Cámar, se implementan Estaciones Médico Rurales. En el Cuadro 2.3.4.2-1 se señala el número de establecimientos de salud en la comuna y región.

En cuanto al sistema previsional de los habitantes de la comuna, mayoritariamente utilizan el sistema público, cubriéndose aproximadamente un 84,1% de la población bajo este sistema previsional, situación que ha sido una constante entre los años 2003 y 2009 (Cuadro 2.3.4.2-2). Cabe señalar que, de las personas que cotizan por FONASA, aproximadamente el 50% se encuentra en los dos primeros tramos (A y B) y el resto en los tramos siguientes (C y D), con una distribución relativamente equilibrada de sus integrantes en cada uno de los tramos, apreciándose una leve mayoría en el tramo D, representado por personas que cotizan por un sueldo superior al mínimo. En el Cuadro 2.3.4.2-3 se presenta la distribución de personas cotizantes en FONASA, para cada tramo por comuna, región y país.

CUADRO 2.3.4.2-1
NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD
COMUNA SAN PEDRO DE ATACAMA

Nº de Establecimientos	Comuna	Región
Hospitales	0	5
Centros de Salud Ambulatorios	1	24
Postas Rurales	4	12
Total	5	41

Fuente: Base de establecimientos de salud (Ministerio de Salud, 2011).

Cuadro 2.3.4.2-2

Población según sistema de salud

Comuna San Pedro de Atacama

Sistema Previsional	2003	2006	2009	% según Territorio (2009)		
				Comuna	Región	País
Público	3.448	4.417	5.263	84,1	71,84	78,79
Isapre	173	441	379	6,06	21,47	13,04
Particular	619	623	616	9,84	6,69	8,17
Total	4.240	5.481	6.258	100,00	100,00	100,00

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

Cuadro 2.3.4.2-3

Población en FONASA según nivel

Comuna San Pedro de Atacama

Población según Tramo	Comuna		Región	
	Nº	%	Nº	%
Grupo A	327	20,25	77.329	22,66
Grupo B	387	23,96	96.370	28,24
Grupo C	306	18,95	75.284	22,06
Grupo D	595	36,84	92.267	27,04
Total	1.615	100	341.250	100

Fuente: Departamento de Estadísticas e Información de Salud (Ministerio de Salud, 2010).

2.3.4.3. Vivienda

En general en la comuna se presenta un alto porcentaje de viviendas que han sido pagadas (65.84%), las que junto al número de viviendas cedidas constituyen aproximadamente un 81,27% del total, constituyéndose un alto porcentaje en comparación de la realidad nacional que alcanza sólo un 69,34% según antecedentes de la encuesta CASEN 2009 (Cuadro 2.3.4.3-1).

Cuadro 2.3.4.3-1

Tipo de tenencia de la vivienda comuna san pedro de atacama

TENENCIA	AÑO 2009	%
Viviendas Pagadas	1.220	65,84
Viviendas Pagándose	19	1,03
Arrendadas	291	15,7
Cedidas	286	15,43
Ocupación Irregular	37	2,00
Total	1.853	100,00

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN, 2009).

Respecto del tipo de viviendas, las casas constituyen la principal infraestructura habitacional en la comuna, representadas por un 97,41% del total de viviendas. Dicho porcentaje es prácticamente equivalente al valor Regional, caracterizándose tanto a nivel comunal como regional un crecimiento horizontal en términos de asentamientos humanos, careciendo por completo dentro de la comuna la presencia de instalaciones habitacionales de altura importante, como es posible apreciar en el Cuadro 2.3.4.3-2.

Cuadro 2.3.4.3-2

Tipo de vivienda predominante comuna san pedro de atacama

Tipo de Vivienda	2003	2006	2009	% según Territorio (2009)		
				Comuna	Región	País
Casa	1.043	1.313	1.805	97,41	95,48	88,62
Departamento	0	0	0	0	2,85	10,18
Pieza	28	0	42	2,27	1,51	0,59
Otro Tipo	71	29	6	0,32	0,16	0,61
Total	1.142	1.342	1.853	100,00	100,00	100,00

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN).

2.3.4.4. Agua Potable

El acceso a agua potable en la comuna está dado principalmente por la red pública, cubriendo alrededor del 90% de las viviendas. Se destaca un uso de agua para consumo importante proveniente de río o vertientes en las localidades de río grande, Camar, Machuca y Rezagado, manteniendo además en esta última localidad acceso a agua de pozos y norias (Cuadro 2.3.4.4-1).

Cuadro 2.3.4.4-1

Origen del agua por localidades comuna san pedro de atacama

Localidad	Red Pública	%	Pozo o Noria	%	Río, Vertiente, Estero	%	Total	%
San Pedro urbano	491	96,8	1	0,2	15	3	507	100
San Pedro Rural	267	90,5	7	2,4	21	7,1	295	100
Toconao	177	94,7	1	0,5	9	4,8	187	100
Peine	75	82,4	1	1,1	15	16,5	91	100
Socaire	57	85,1	2	3	8	11,9	67	100
Rio Grande	1	3,4	0	0	28	96,6	29	100
Talabre	15	100	0	0	0	0	15	100
Camar	0	0	0	0	13	100	13	100
Machuca	0	0	0	0	3	100	3	100
Rezagado	0	0	2	50	2	50	4	100
Total	1.083	89,4	14	1,2	114	9,4	1.211	100

Fuente: Censo INE 2002

2.3.4.5. Electrificación

De acuerdo al censo 2002 es posible señalar que el consumo de electricidad en la comuna de San Pedro de Atacama está cubierto principalmente por el uso de generadores, condición que es posible apreciar en la mayoría de las localidades, incluso en el área urbana, en donde el 54,8% de las familias utiliza este medio para consumo eléctrico. El acceso a la red pública en tanto, es utilizado por el 20% de las familias, y tan sólo el 8,6% utiliza alternativas no convencionales como paneles solares. En el Cuadro 2.3.4.5-1 se señala el número de viviendas según el origen del alumbrado público en las distintas localidades de la comuna.

Según datos de la Dirección de Desarrollo Comunitario del municipio de San Pedro de Atacama, a mayo del 2005, sólo el 14,2% de las viviendas en la localidad de San Pedro de Atacama mantendría un suministro eléctrico deficiente, y en la totalidad de la comuna, un 10,5% de las viviendas encuestadas. Cabe destacar que los antecedentes señalados

corresponden a un número de encuestas que representan el 50% de las viviendas existentes a esa fecha (Cuadro 2.3.4.5-2).

Cuadro 2.3.4.5-1

Número de Viviendas según Origen del alumbrado público por localidades comuna san pedro de atacama

Localidad	Red Pública	%	Generador	%	Placa Solar	%	No Tiene	%	Total
San Pedro Urbano	150	29,6	278	54,8	1	0,2	78	15,4	507
San Pedro Rural	23	7,8	71	24,1	85	28,8	116	39,3	295
Toconao	24	12,8	159	85	0	0	4	2,1	187
Peine	40	44	45	49,5	0	0	6	6,6	91
Socaire	10	14,9	39	58,2	10	14,9	8	11,9	67
Rio Grande	1	3,4	18	62,1	7	24,1	3	10,3	29
Talabre	0	0	15	100	0	0	0	0	15
Camar	0	0	13	100	0	0	0	0	13
Machuca	0	0	1	33,3	0	0	2	66,7	3
Rezagado	0	0	0	0	1	25	3	75	4
Total	248	20,5	639	52,8	104	8,6	220	18,2	1.211

Fuente: Censo INE 2002

Cuadro 2.3.4.5-2

Viviendas con suministro eléctrico deficiente según unidad vecinal. comuna san pedro de atacama

Localidad	Suministro Eléctrico deficiente		Total viviendas encuestadas por U. V.
	Nº Viviendas	%	
San Pedro de atacama	48	14,2	338
Toconao	2	2,4	83
Socaire	4	8,5	47
Peine	3	4,8	62
Talabre	0	0	2
Camar	0	0	7
Río Grande y Machuca	1	6,7	15
Total Comuna	58	10,5	554

Fuente: Dirección de Desarrollo Comunitario municipio de San Pedro de Atacama (2005).

2.3.4.6. Servicios

A nivel de servicios públicos existe una fuerte dependencia con Calama, y en algunos casos con la Capital Regional Antofagasta, sin embargo se han implementado algunos servicios de carácter permanente, tales como: Aduana, Servicio Agrícola Ganadero, Policía e Investigaciones, CONAF, CONADI, Municipalidad, Carabineros, Registro civil y Oficina de Inscripción Electoral.

De acuerdo a lo señalado por PLADECO (2011-2015), el municipio ha desarrollado convenios con una serie de servicios, de modo de facilitar el acceso de la población a diferentes trámites, destacando la presencia local de:

- **Banco Estado:** institución que atiende 1 vez por semana en San Pedro de Atacama, está próxima a abrirse una sucursal permanente en el sector de Casona Municipal.
- **Bienes Nacionales:** atiende según programa casos de título gratuito y saneamientos, el sistema se complementará con el ingreso de expedientes vía intranet.
- **Impuestos Internos:** se instalará una oficina en la localidad de San Pedro de Atacama

2.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.4.1. Descripción Agroclimática General

De acuerdo al Mapa Agroclimático de Chile (INIA, 1989), se identifican dos tipos de climas en el territorio de la Comuna de San Pedro de Atacama, “Clima Desértico” y “Clima Tierra Fría”, en los cuales se presentan las subdivisiones Clima Desierto de Altura y Clima Alto andino, respectivamente (Figura 2.4.1-1).

De estos dos tipos de clima presentes en la comuna, el clima desértico es el que caracteriza el área de estudio. La subdivisión climática presente (desierto de altura), ocupa sectores precordilleranos desde la frontera con Perú hasta la región de Atacama.

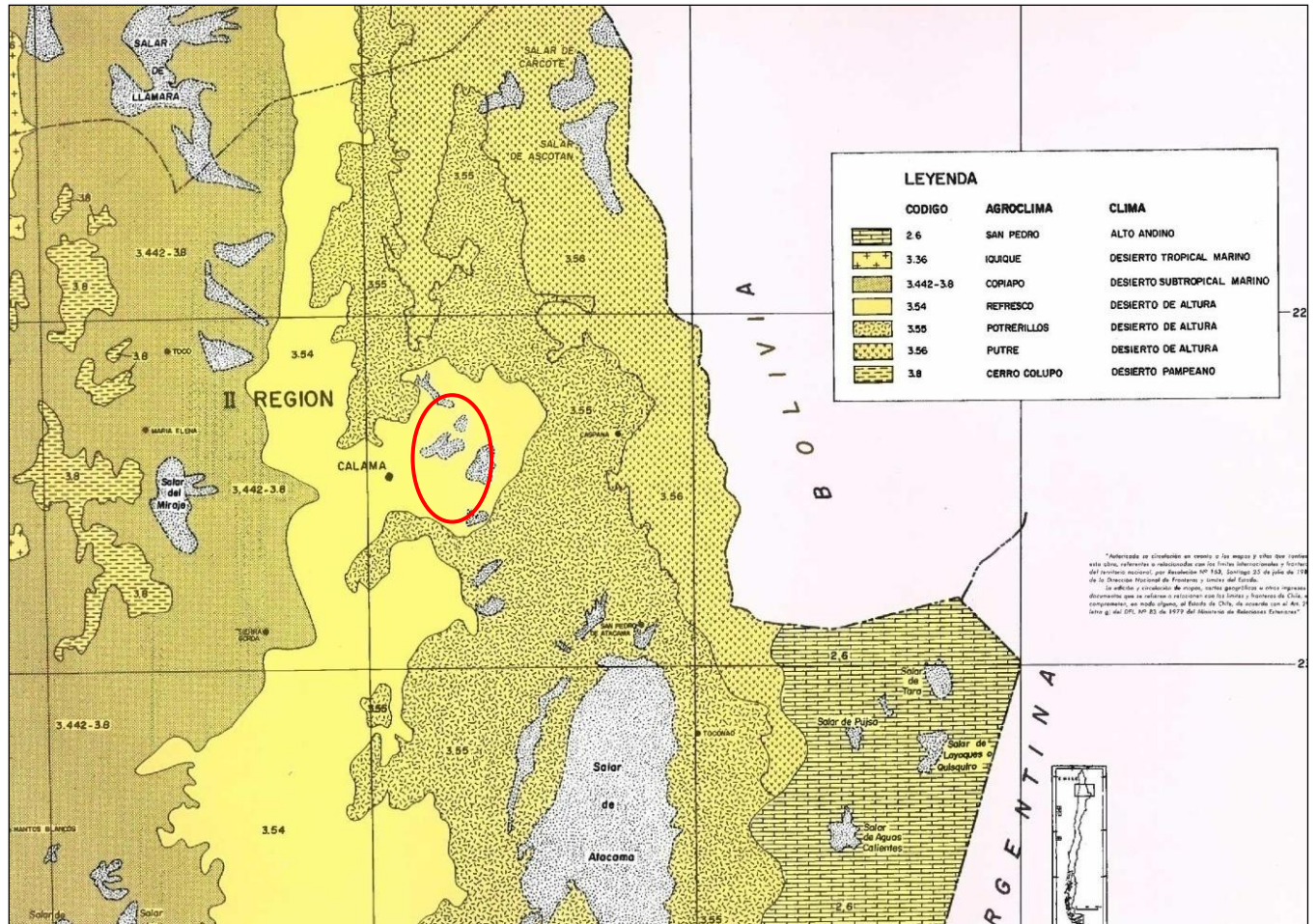
El distrito agroclimático presente en el área de estudio corresponde a Potrerillo, caracterizado por un régimen térmico con una temperatura media anual de 11,9°C, con una máxima media de 18,4 °C en los meses más cálidos (Enero y Febrero) y una mínima media del mes más frío de 4,9 °C. La lluvia anual alcanza a 44,1 mm, distribuida principalmente en los meses de mayo a agosto (INIA, 1989).

En términos de aptitud agrícola, esta zona se ve potencialmente apta para la producción de avena, trigo, cebada, alfalfa y papas (INIA, 1989).

En el Cuadro 2.4.1-1, se presenta una variación mensual de algunos parámetros agroclimáticos relevantes determinados en la estación Potrerillo que caracterizan el área de estudio en San Pedro de Atacama.

**FIGURA 2.4.1-1
CLIMAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta



Fuente: INIA (1989)

Cuadro 2.4.1-1 parámetros agroclimáticos mensuales, estación potrerillos

MES	Nubosidad	Horas de Sol		Radiación Solar (calxcmx día-1)			Precipitación mm	Evaporación mm	Déficit sat. mb.	Índice Humedad	Humedad Relativa %
	Centesimales	Teóricas	Medidas o Estim.	Sol tabla	Glover	Blak					
Enero	0,15	13,62	11,58	1022,90	650,38	635,79	0,70	271,00	12,90	0,01	39,00
Febrero	0,08	13,06	12,02	954,07	636,71	592,93	2,20	242,00	13,12	0,04	38,00
Marzo	0,09	12,33	11,22	834,42	545,20	518,82	2,20	251,00	13,58	0,04	35,00
Abril	0,13	11,57	10,07	686,27	423,93	426,87	2,20	215,00	14,61	0,05	26,00
Mayo	0,24	10,81	8,22	558,28	302,54	343,18	4,80	189,00	13,64	0,24	23,00
Junio	0,24	10,48	7,96	494,48	261,23	303,97	12,20	150,00	11,30	0,54	24,00
Julio	0,24	10,61	8,06	518,16	276,56	318,52	8,20	161,00	12,06	0,31	23,00
Agosto	0,21	11,24	8,88	620,17	352,11	383,18	5,60	184,00	12,22	0,18	24,00
Septiembre	0,14	12,00	10,32	760,28	472,13	472,77	1,30	216,00	13,73	0,03	22,00
Octubre	0,14	12,76	10,97	896,04	566,97	557,19	1,70	266,00	13,98	0,03	25,00
Noviembre	0,07	13,39	12,45	993,32	670,39	616,93	0,10	280,00	14,80	0,00	25,00
Diciembre	0,08	13,79	12,69	1036,40	696,74	644,10	0,00	279,00	14,62	0,00	30,00
Promedio	0,15	12,14	10,37	781,23	487,91	484,52	3,67	-	13,38		27,00
Suma Anual	1,81	145,66	124,44	9374,79	5854,90	5814,24	44,10	-	-	0,04	

Fuente: INIA, (1989)

2.4.2. Descripción Agrológica General

De acuerdo a antecedentes señalados en el “Estudio Alternativas de Manejo del río San Pedro II Región” (DOH, 2000) los suelos de la localidad agrícola de San Pedro de Atacama forman parte del valle longitudinal del Salar de Atacama. Estos suelos son de origen aluvial, formados por depositación de material proveniente de los ríos San Pedro y Vilama, sobre depósitos lacustres que han rellenado la cuenca.

Estos suelos aluviales se caracterizan por mantener texturas predominantes arenosas, con un drenaje externo bueno y un drenaje interno variable, predominando los suelos de permeabilidad moderada a lenta, según los distintos suelos caracterizados por ser profundos y de buen arraigamiento. La morfología de estos suelos resulta plana estratificada, con pendientes de 0 a 2%, presentándose una erosión eólica que varía de ligera a moderada.

En cuanto a los suelos de origen lacustre presentes en San Pedro de Atacama, se caracterizan por ser de texturas diversas, predominando las arenas y las texturas franco - arenosas. La pendiente es relativamente plana con pendientes de 0 a 2 %, la erosión eólica varía de ligera a moderada, el drenaje externo es bueno y el drenaje interno rápido; son suelos profundos y de buen arraigamiento.

En el Cuadro 2.4.2-1 se presenta las series de suelo identificadas para el área de estudio, de acuerdo a antecedentes señalados en el estudio “Manejo Experimental de la Cuenca del Río San Pedro, II Región” desarrollado en 1995 por la empresa RyQ para la entonces Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas.

Cuadro 2.4.2-1 Serie de suelos

Serie	Familia
Cachiyuyal	Francosa fina
Cucuter	Francosa fina sobre arcilla
Maizal	Francosa
Solor	Francosa gruesa sobre arena
Triángulo Cucuter	Francosa fina
Tulor	Arenosa
Vecinal Cucuter	Francosa fina

Fuente: Dirección de Riego-MOP (1995)

Las principales características de los suelos en el área de estudio se describen en el Cuadro 2.4.2-2.

Cuadro 2.4.2-2 características de los suelos

Serie	Características
Cúcuter y Cachiyuyal	Suelos dominados por materiales provenientes de depósitos lacustres.
Solor y Tulor	Suelos aluviales constituidos por materiales arenosos
Triángulo de Cucuter, Vecinal Cucuter, y Maizal	Suelos estratificados, constituidos por materiales lacustrinos y arenosos
T1 (*)	Suelos aluviales constituidos por materiales arenosos
T2 y T3 (*)	Suelos aluviales constituidos por materiales lacustrinos y arenosos.
P1 (*)	Suelos coluviales.

Fuente: Dirección de Riego-MOP (1995)
(*) Unidades no diferenciadas

En general los suelos del área de estudio son ligera a moderadamente salinos y no tienen problemas de sodicidad. Mantienen una alta permeabilidad lo que favorece su lavado, controlando el efecto nocivo de la salinidad de las aguas. No existen limitaciones importantes para los cultivos.

Por otra parte, la capacidad de uso preferentemente agrícola, cubriendo un 96,3 % aproximadamente del área total. Gran parte de esta superficie corresponde a suelos de clase II y III (Cuadro 2.4.2-3).

Cuadro 2.4.2-3

capacidad de uso de los suelos

CLASE	s	e	Total (ha)	Porcentaje (%)
II	827,5	26,8	854,3	41,86
III	862,4	-	862,4	42,25
IV	192,7	55,4	248,1	12,15
TOTAL ARABLE			1.964,8	96,26
VI - VII	-		76,3	3,74
TOTAL UTILIZABLE	-		2.041,10	100,00
VIII			9,5	-
TOTAL			2.050,60	-

Fuente: Dirección de Riego-MOP (1995)

2.4.3. Tamaño de la Propiedad Agrícola

Las condiciones adversas del medio físico en que se encuentra la agricultura de la zona, extrema aridez del desierto atacameño y escasez de agua superficial disponible, originan un patrón productivo dispuesto en torno a escasos cauces y a una actividad pecuaria en torno a ella y a los bofedales altiplánicos. Consecuencia de esto, se aprecia una amplia diferencia entre la superficie total de las explotaciones respecto al área efectivamente utilizada para la producción intensiva², situación que se puede observar en los resultados del Censo Agropecuario y Forestal, desarrollado por INE (2007), donde se clasificaron las propiedades en 11 rangos de tamaño predial. De ello se desprende que, para la comuna de San Pedro de Atacama, el 88,4% de los predios con tierra tienen un tamaño menor a 5 ha, lo que contrasta con su importancia en términos de superficie, llegando sólo al 0,53%. Por otra parte, los predios de tamaño entre 5 y 100 ha corresponden al 10,7% del total de los predios y al 0,51% de la superficie agropecuaria. Los predios de 100 a 2.000 ha representan un 0,18% del total de predios, y un 0,85% de la superficie. Finalmente, los predios mayores a 2.000 ha, que abarcan el 98,1% de la superficie, representan sólo el 0,74% del total de predios (ver Cuadro 2.4.3-1).

²Agricultura Aymara y Atacameña. Análisis socioespacial a partir del VI Censo Nacional Agropecuario. Documento de trabajo N° 7. ODEPA - CONADI. 2002.

Cuadro 2.4.3-1

Explotaciones agropecuarias con tierra comuna de SAN PEDRO DE ATACAMA

Rango de tamaño (ha)	Nº de Explotaciones con tierra	Sup. 2007 (ha)
Menores de 1	474	209,9
De 1 a menos de 5	483	1.041,4
De 5 a menos de 10	81	552,3
De 10 a menos de 20	27	350,6
De 20 a menos de 50	6	171,3
De 50 a menos de 100	2	138
De 100 a menos de 200	0	0,0
De 200 a menos de 500	1	204,4
De 500 a menos de 1000	0	0
De 1000 a menos de 2000	1	1.810
De 2000 y más	8	231.502,7
Total Superficie	1.083	235.980,6

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

2.4.4. Superficie Agrícola

La superficie potencialmente agrícola existente en los Ayllus que conforman el área en estudio es de 1.804 ha, que representa el 5,3% de la superficie censada por el Instituto Nacional de Estadísticas en la comuna de San Pedro de Atacama, y el 4,4% de la censada en la Región de Antofagasta.

Cabe señalar que según lo publicado en el VI Censo Nacional Agropecuario 1997, la superficie regada en la comuna es de 1.731 ha, cifra que es inferior a la antes señalada, y esto considerando que las 1.731 ha incluyen terrenos cultivados en otras áreas agrícolas existentes al interior de la comuna.

De lo antes expuesto, y teniendo en cuenta que las condiciones climáticas imperantes en la zona impiden desarrollar una actividad agrícola de secano, se concluye que la superficie efectivamente cultivada en el área en estudio es inferior a las 1.860 ha potenciales identificadas como arables.

Resulta muy difícil determinar la superficie realmente cultivada en los Ayllus, ya que ellos experimentan variaciones anuales que dependen de las condiciones climáticas que se presenten, y sobre todo del régimen de precipitaciones caídas. Si se consideran para estos

efectos los resultados de la tabulación del cuestionario aplicado a los agricultores en el mes de enero del año 2000, se concluye que la superficie regada, y por ende cultivada, es de aproximadamente 1.155 ha, equivalentes al 64% de la tierra arable disponible.

2.4.5. Características Climáticas

Las precipitaciones acumulan una caída anual de 27,1 mm, concentrándose un 80% de ellas entre los meses de noviembre y enero, lo que es de gran importancia por el aporte de recurso hídrico que ello implica para los cultivos en desarrollo. La humedad relativa presenta un promedio anual de 24,3%, sin embargo, entre los meses de enero y marzo ella alcanza cifras superiores al 35%, en tanto que en los meses de inviernos desciende a un rango de 15 °C a 18 °C.

El recorrido del viento registra un promedio anual de 1.770 km, con variaciones mensuales que van desde 1.212 km en el mes de mayo, hasta 2.549 km en el mes de octubre. La mayor velocidad promedio mensual ocurre en el mes de octubre (1,0 m/s), mientras que durante la época de desarrollo de los cultivos anuales ésta oscila entre 0,6 m/s y 1,0 m/s.

Cabe hacer notar que en ocasiones la velocidad del viento puede llegar a alcanzar tales velocidades que causa daños a los cultivos, invernaderos, túneles y cortinas corta viento³.

La temperatura media anual es de 14,4 °C, con un máximo en el mes de febrero (18,8 °C) y un mínimo en el mes de junio (9,2 °C). La temperatura promedio de las máximas mensuales tiene un rango de entre 22,6 °C y 31,3 °C, en tanto que las temperaturas promedio de las mínimas mensuales oscila entre -3,4 °C en el mes de agosto hasta 4,7 °C en el mes de enero. No se dispone de registros que permitan conocer con exactitud las temperaturas extremas máximas diarias y las temperaturas extremas mínimas diarias, sin embargo, de acuerdo a lo informado por agricultores y técnicos de la Universidad Arturo Prat, ellas pueden alcanzar tal magnitud que provocan serios daños a cultivos que se encuentran a la intemperie, y a los que se encuentran bajo plástico sin disponer de un sistema de calefacción que permita evitar los efectos de la helada, y un sistema eficiente de ventilación forzada.

El estudio climático no se determinó el período libre de heladas para San Pedro de Atacama, sin embargo si se asume que éste es similar al existente en la localidad de Calama, el período libre de heladas, considerando para su cálculo las temperaturas mínimas medias, es de 212 días al año, extendiéndose desde el mes de octubre hasta el mes de abril. Lo antes señalado se ve refrendado por los propios agricultores, que en el cuestionario de encuesta informaron que dicho período se extiende normalmente desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, aunque en ocasiones este período es incluso menor.

El período de receso vegetativo, con base a un umbral de 10 °C, es de 61 días (junio y julio). La acumulación anual de horas de frío es de aproximadamente 2.700 horas, en tanto que la sumatoria de días-grado, a igual umbral térmico, es de 1.656 días. La evapotranspiración

³ La estación meteorológica más cercana no cuenta con registros sobre la velocidad máxima diaria del viento.

potencial de los cultivos llega a 2.083 mm, concentrándose ella principalmente en la época en que se debe efectuar el mayor aporte hídrico. El déficit hídrico anual y mensual alcanza valores similares a los de evapotranspiración de los cultivos, y el período seco (período en que es necesario regar) se extiende a todo lo largo del año.

De acuerdo a lo antes señalado, y considerando tanto variables climáticas como agroclimáticas, se puede concluir que las mayores restricciones para el desarrollo de la actividad agrícola están dadas por el alto déficit hídrico, por el riesgo de ocurrencia de heladas, por la intensidad de las mismas, por el fuerte viento que azota algunas veces a la zona, y por temperaturas máximas diarias que pueden afectar a algunos cultivos, principalmente aquellos que se han establecido bajo plástico.

2.4.6. Características de los Suelos

Los suelos tienen un origen aluvial complejo, con depósitos sedimentarios de gran variabilidad. Los perfiles presentan una marcada estratificación originada por depósitos asociados a sucesivos aluviones. El drenaje es bueno, siendo muchas veces excesivo por el predominio de texturas gruesas. El problema de salinidad superficial es leve, llegando a ser moderado en el subsuelo. El Boro en el extracto saturado se encuentra en niveles superiores a los estipulados como perjudiciales para cultivos sensibles a este elemento (0,7 ppm).

Si se comparan los resultados de sendos estudios de suelos efectuados en los años 1995 y 2000, se observa que no existen cambios significativos con respecto a la acidez (PH) y salinidad (conductibilidad eléctrica). Sin embargo, el nivel de boro ha aumentado casi al doble, y no se conocen las causas que expliquen este fenómeno, aunque se sabe que las prácticas de manejo, especialmente del riego, inciden en el contenido de sales y boro en el perfil.

Se identificaron siete Series de suelo y cuatro tipos de Misceláneos aluviales. Las Series son: Cachiyuyal, Cucuter, Maizal, Solor, Triángulo de Cucuter, Tolor, y Vecinal Cucuter.

Considerando las características del perfil, la salinidad, el contenido de boro y la topografía del sector, los suelos se agruparon en seis categorías, cuyas principales características son las siguientes:

CATEGORÍA A

Suelos planos, profundos, de textura moderadamente fina a moderadamente gruesa, sin problemas de aireación ni de drenaje. La salinidad del suelo y subsuelo se mantiene en niveles bajos (entre 2 y 4 dS/m), y los niveles de boro se encuentran entre 2 y 4mg/L.

La aptitud de estos suelos es para todo tipo de cultivo y frutal que permitan las condiciones climáticas y los niveles de salinidad y boro presentes en suelo y agua. Se debe tener la precaución de regar con sistemas que eviten un aumento del tenor salino y de boro existente.

En esta categoría se clasifican 663,5 ha, localizadas en todos Ayllus que conforman el área en estudio.

CATEGORÍA

Suelos profundos a moderadamente profundos, cuyo perfil presenta texturas moderadamente gruesas a gruesas. No presentan

B	acumulación salina ni de boro muy diferentes a las señaladas en la Categoría A. Aptos para todo cultivo y frutal, siempre y cuando se tomen medidas especiales de riego para evitar erosión e incremento de sales y boro en el perfil. En esta categoría se clasifican 260,4 ha, que se encuentran presente en prácticamente todos los Ayllus estudiados. Suelos que presentan niveles de salinidad y de boro crecientes en el subsuelo, hasta alcanzar niveles muy perjudiciales para el desarrollo de los cultivos (CE de 6 a 12 dS/m; boro entre 3 y 12 mg/L). El subsuelo puede ser arcilloso masivo, o con compactación de arena fina. Estratificación abrupta.
CATEGORÍA C	No se recomienda la plantación de frutales y vid, aunque son aptos para cultivos anuales y praderas adaptadas a las condiciones de la zona. Abarcan una superficie de 597,3 ha, que se localizan en todos los Ayllus salvo los más pequeños: Suchor y Guachar. Agrupa suelos cuya pendiente es mayor a 3% y menor a 5%, y áreas con suelos muy delgados, pedregosidad, o con textura gruesa en la matriz. Aptitud para todo cultivo y frutal que se adapte a las condiciones climáticas de la zona y a los niveles de salinidad y boro en suelo y agua de riego. El aporte hídrico a los cultivos debe efectuarse necesariamente mediante sistemas de riego tecnificado, En esta categoría reúne una superficie de 124,9 ha, y se encuentra ausente de algunos de los Ayllus estudiados. Suelos de profundidad media a delgada, estratificados y de textura gruesa. En su uso no debe considerarse plantaciones frutales por uno o varios de los factores limitantes enunciados en la categoría C. El riego debe aplicarse en forma controlada para evitar el incremento de los niveles de salinidad y boro. Abarca una superficie de 157,8 ha.
CATEGORÍA D	Son suelos en los que no se puede desarrollar actividad agrícola por corresponder a dunas, cerros, cajas de río, o caídas entre terrazas con pendientes cortas y altas. Ocupan una superficie de 56,6 ha, distribuidas prácticamente en todos los Ayllus estudiados, salvo en los de menor tamaño.
CATEGORÍA E	
CATEGORÍA F	

2.4.7. Disponibilidad de Agua Para Riego

2.4.7.1. Aspectos Generales

Las aguas que riegan los terrenos agrícolas de San Pedro de Atacama son captadas mayoritariamente en el río San Pedro, y en menor importancia, desde el río Vilama, según se describe en lo que sigue.

2.4.7.2. Río San Pedro de Atacama

El río San Pedro se forma de la confluencia de los ríos Jauna y Putana. El primero de ellos nace en los cerros de Tocorpuri y el Tatio, y el segundo, en los ojos de Agua del Putana. A su

vez, el río Putana recibe al río Incahuasi como su principal afluente; el río Putana es también afluente del río Jauna el que escurre en sentido norte-sur, recibiendo éste los aportes del río Peñaliri o Machuca, dando nacimiento este conjunto de escurrimientos naturales al río Grande, el cual es uno de los principales afluentes del río San Pedro.

El afluente principal del río San Pedro es el río Salado con un caudal promedio de 200 L/s, corre paralelo al río principal y muy próximo a él desde San Bartolo hasta su confluencia. En la Figura 2.7.4.2-1 se aprecia el Río San Pedro.

Figura 2.7.4.2-1

Río San Pedro de atacama



Fuente: Google Earth

El río San Pedro es el de mayor caudal y más largo de la cuenca de Atacama, drena desde su nacimiento una extensión de 70 km de longitud.

2.4.7.3. Río Vilama

El río Vilama tiene su hoya hidrográfica independiente del río San Pedro y sus nacientes algo más al sur y son esencialmente de origen termal. Uno de sus afluentes más importante es el río Puritama, el cual nace en los baños de Puritama a 3.695 msnm y el río Frío que tiene iguales fuentes. El río Vilama desemboca en el Salar al sur del Ayllu de Poconche. En la Figura 2.7.4.3-1 se aprecia el Río Vilama.

Figura 2.7.4.3-1

Río Vilama



Fuente: Google Earth

Los escasos caudales de los ríos San Pedro y Vilama se ven agravados por el problema de la calidad de sus aguas. Debido a los terrenos fuertemente salinos que atraviesan, su contenido total en sólidos es muy alto, especialmente en cloruros y carbonatos.

Otro problema que presentan estos ríos corresponde a las crecidas o bruscos aumentos de caudal. Las precipitaciones de la alta cordillera durante enero a marzo se desplazan a occidente aumentando su caudal bruscamente. Estas crecidas se presentan cada 3 a 4 años y tienen el mismo ritmo de las lluvias que llegan a San Pedro.

Del análisis de la curva de gastos medios mensuales se destacan algunos rasgos del régimen del río San Pedro. El más notable es la constancia de los caudales a través del año, sólo 0,16 m³/s. El segundo rasgo notable estriba en la absoluta irregularidad de sus variaciones que impiden clasificarlo ni entre los ríos de régimen pluvioso ni entre los ríos de régimen nival.

2.4.8. Características de las Aguas de Riego

De acuerdo a los antecedentes disponibles las aguas de San Pedro, según la clasificación de Riverside, son de clase C4S3. Esto significa que presentan un muy alto riesgo de salinización, y un alto riesgo de sodificación.

El Boro llega a concentraciones de 1,2 a 2,0 mg/L, lo que excede con creces el límite de 0,75 mg/L establecido por la Norma 1333. Sin embargo no se alcanzan los niveles existentes en los ríos Loa y Lluta, razón por la cual es posible pensar en el establecimiento de cultivos que no sean sensibles a la presencia de Boro.

En muestras tomadas en diferentes oportunidades se detectó que el arsénico, elemento altamente tóxico para la salud humana y animal, que tiene un efecto acumulativo en el cuerpo, presentó valores de entre 0,05 hasta 0,14, cifra que es considerada alta si se compara con el valor límite de 0,10 mg/L establecido en la Norma Chilena 1333.

Los análisis de coliformes fecales efectuados en los Ayllus dieron resultados disímiles. En un primer muestreo en el sector del Hotel Internacional se detectaron 5.000 coliformes por 100 ml de agua, en tanto que en un segundo testeo se contaron 26.000 coliformes por 100 ml de agua. Ambos valores exceden largamente lo estipulado por la Norma Chilena 1333, donde se establece un límite de 1.000 coliformes por 100 ml de agua.

Todos estos elementos necesariamente deben tenerse en cuenta al momento de proyectar cualquier tipo de desarrollo agrícola y turístico de la zona. De ser posible se deberían efectuar todos los esfuerzos necesarios tendientes a tratar las aguas, y reducir al máximo sus efectos negativos para la salud humana y para el desarrollo de los cultivos.

2.4.9. Caracterización de los Agricultores y Población de San Pedro de Atacama

En la localidad de San Pedro de Atacama se puede decir que los estratos semi-campesinos, pequeños propietarios, y comuneros, son un sector socio cultural con una cultura rígida respecto al cambio, lo que afecta indirectamente su voluntad a cualquier modificación que se quiera efectuar con relación a tecnologías productivas, educación, familia, y otros factores de transformación no tradicional.

En el último tiempo esta cultura rígida se ha visto permeabilizada por la alta afluencia de turistas, lo que ha generado transformaciones en las costumbres de la población, y

flexibilizado su actitud con respecto a los mismos. Esta disposición, que no es necesariamente voluntaria, se ha desarrollado como consecuencia de las penurias económicas que viven las familias campesinas, al desarrollar una actividad agrícola que no es rentable, y que muchas veces no alcanza para generar los alimentos suficientes como para el sustento familiar. Sin embargo, este cambio de comportamiento no es homogéneo en la población atacameña, existen personas que se resisten a ellos, aunque no lo hagan en forma explícita.

Por otra parte, no todos los habitantes de San Pedro de Atacama se inclinan por un solo tipo de cambio, referido al empleo, sino que algunos de ellos lo asocian al mejoramiento de las condiciones tecnológicas y organizacionales, en tanto que otros se proyectan al rubro de servicios, y al comercio asociado al turismo.

Las posibilidades de lograr cambios de comportamiento en la población dependen de la naturaleza y profundidad de ellos, de tal manera que para poder tener éxito en cualquier programa de desarrollo necesariamente se deberán proyectar cambios en etapas sucesivas y complementarias, y donde se haga una diferenciación clara en función de los objetivos que se persiguen.

Del estudio sociológico y antropológico se concluye que aspectos como reconversión productiva, transformaciones en la mentalidad de producción (rentable, competitiva, autónoma, y no dependiente), transformaciones en la calidad de vida articulada al incremento de ingresos económicos, son todos cambios que sólo pueden alcanzarse en un horizonte de largo plazo, entendiéndose por tal un período de cinco a ocho años.

A su vez, para lograr cualquier tipo de cambio de comportamiento es fundamental de que éste no solo sea consensuado, sino que también promovido con el beneplácito de los habitantes de la zona. Por tal motivo se deben hacer esfuerzos para promover formas distintas de lograr una participación activa y dinámica de la población, y que a su vez ésta se comprometa con los objetivos de desarrollo planteados por la autoridad.

2.5. Antecedentes Productivos

2.5.1. Actividad Agrícola

A continuación se presentan los antecedentes generales que permiten establecer el contexto agropecuario en el cual se encuentra inserta el área de estudio. Según INE (2007), en la comuna de San Pedro de Atacama existen 1.136 explotaciones silvoagropecuarias con y sin tierra, las que abarcan una superficie total de 236.089 ha. De éstas, el 96,8% tienen actividad agropecuaria (Cuadro 2.5.1-1).

Por otra parte, la distribución de la superficie agropecuaria con tierra y con actividad para la comuna de San Pedro de Atacama se resume en el Cuadro 2.5.1-2. De esta información se observa que sólo un 0,7% corresponde a suelos de cultivo, mientras la mayor cantidad de superficie se clasifica como "otros suelos", principalmente praderas naturales. Esta proporción es prácticamente la misma con respecto a la registrada en la región, donde los

suelos de cultivo alcanzan el 0,8%. Cabe destacar que se observa una disminución de 110 ha (cerca del 30%) de cultivos anuales y permanentes en esta comuna con respecto a los resultados del Censo Agropecuario y Forestal del año 1997.

CUADRO 2.5.1-1
RESUMEN INFORMACIÓN PREDIAL
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007

Tipo Explotaciones	Nº	Sup. (ha)
1. Total Censadas	1.136	236.089
1.1 Agropecuarias	1.100	235.980,6
1.1.1 Con Tierra	1.083	235.980,6
1.1.1.1 Con Actividad	1.038	235.881,7
1.1.1.2 Temporalmente sin Actividad	45	98,9
1.1.2 Sin tierra	17	-
1.2 Explotaciones Forestales	36	108,4

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

CUADRO 2.5.1-2
SUPERFICIE AGROPECUARIA
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007

Superficie Agropecuaria Según Uso del Suelo	SUP. 2007 (ha) COMUNA	SUP. 2007 (ha) REGIÓN
Total Explotaciones Agropecuarias	235.980,6	374.533,4
Total suelos de cultivo	1.692,8	3.057,1
Cultivos anuales y permanentes	322,5	717
Forrajeras permanentes y de rotación	749,7	1.094,9
En barbecho y descanso	620,7	1.245,2
Total otros suelos	234.287,7	371.476,4
Praderas mejoradas	251,6	264,6
Praderas naturales	231.541,1	364.244,1
Plantaciones forestales	122,8	212,3
Bosque nativo	34	43,4
Matorrales	329	365,7
Infraestructura	44,6	3.709,2
Terrenos estériles	1.964,7	2.637

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

Dentro de los suelos de cultivo, se observa el dominio de las plantas forrajeras como el principal cultivo en la zona, situación que también se aprecia a nivel regional, seguido por los frutales y hortalizas, y en menor medida, por cereales. Cabe señalar que el cambio de

cultivos agrícolas a monocultivos de forraje para producción de carne y animales de carga, ha sido determinante para el modelo productivo “moderno” del pueblo indígena atacameño presenta en esta comuna⁴.

Las escasas hectáreas cultivadas con viñas y parronales viníferos en la Región, se encuentran todas en la comuna de San Pedro de Atacama, estando representadas principalmente por tintas viníferas corrientes. En el Cuadro 2.5.1-3 se presenta la estructura de cultivos para la comuna de San Pedro de Atacama junto a las superficies que abarcan al año 2007.

Cuadro 2.5.1-3

ESTRUCTURA DE CULTIVOS

COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA año 2007

Cultivo	Superficie (ha)	Estructura (%)
Cereales	52,6	4,9
Leguminosas y tubérculos	3,6	0,3
Cultivos industriales	0	0
Hortalizas	123	11,4
Flores	0,1	0,01
Plantas forrajeras	750,7	69,9
Frutales	135,3	12,6
Viñas y parronales viníferos	6,0	0,5
Viveros	0	0
Semilleros	1,3	0,1
TOTAL	1.072,5	100

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

En el Cuadro 2.5.1-4 se presenta la distribución de la superficie destinada a especies frutales. Los frutales más relevantes en cuanto a superficie son los huertos caseros, estando la totalidad de su superficie en producción. Luego aparecen los cultivos de peral europeo y membrillo. Comparando los resultados con las cifras del Censo de 1997, se mantienen los tipos de frutales más relevantes, sin embargo los huertos caseros poseen una mayor

⁴Agricultura Indígena Chilena. Información social y productiva de la agricultura según etnia. ODEPA – Programa Orígenes. 2011.

importancia en la actualidad, aumentando su superficie en un 268% (60,5 ha), contrariamente al peral europeo, que disminuye su superficie en un 65% (28,2 ha). INE (2007) indica que el 11,4% de la superficie sembrada o plantada posee hortalizas (123 ha), predominantemente al aire libre. Tal como se muestra en el Cuadro 2.5.1-5, el choclo es el cultivo más relevante, con un 67% del total de hortalizas, seguido de las habas (12%). Es importante señalar que todos los cultivos de hortalizas predominantes en la comuna han disminuido su superficie con respecto al Censo de 1997. En el caso del choclo y las habas, disminuyeron en un 57% y 51%, respectivamente.

Cuadro 2.5.1-4

Superficie plantada con especies frutales COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA año 2007

Frutales	Superficie Plantada con Frutales (ha)			
	En Formación		En Producción	TOTAL
	Plantada en el Año Agrícola 2006/2007	Total		
Ciruelo Japonés	0,0	0,0	1,5	1,5
Damasco	0,0	0,0	0,2	0,2
Huerto Casero	0,0	0,0	83,0	83,0
Limonero	0,0	0,0	3,6	3,6
Manzano Rojo	0,0	0,0	1,0	1,0
Manzano Verde	0,0	0,0	3,6	3,6
Membrillo	0,0	0,0	12,7	12,7
Naranja	0,0	0,0	3,9	3,9
Olivo	0,0	0,0	1,6	1,6
Otros Frutales	0,3	0,6	4,2	4,8
Peral Europeo	0,0	0,0	14,9	14,9
Tuna	0,0	0,0	1,1	1,1
Uva de Mesa	0,0	0,0	3,6	3,6
TOTAL	0,3	0,6	134,7	135,3

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

CUADRO 2.5.1-5

**SUPERFICIE CULTIVADA CON HORTALIZAS
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007**

Hortalizas	Superficie Hortalizas 2007 (ha)		
	Al Aire Libre	Invernadero	Total
Ajo	10,2	0,0	10,2
Cebolla Temprana	0,3	0,0	0,3
Choclo	82,4	0,0	82,4
Coliflor	1,0	0,0	1,0
Haba	14,8	0,0	14,8
Huerta Casera	9,4	0,0	9,4
Lechuga	0,9	0,1	1,0
Otras hortalizas	2,6	0,1	2,7
Tomate consumo fresco	0,0	0,1	0,2
Zanahoria	0,6	0,0	0,6
Zapallo temprano y de guarda	0,5	0,0	0,5
TOTAL	122,7	0,3	123,0

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

El Cuadro 2.5.1-6 muestra la superficie y el rendimiento promedio del grupo de cereales, leguminosas y tubérculos, de acuerdo a INE (2007), donde se advierte que el maíz (grano seco) es el cultivo preponderante, seguido del trigo blanco. Además, se observa un aumento de 19 ha en la superficie cultivada de maíz (grano seco), en comparación al año 1997, junto con un aumento de su rendimiento. Asimismo, se aprecia un aumento de 6,5 ha en la superficie cultivada de quínoa, contrario a la papa y trigo blanco, que han disminuido su superficie en 9,4 y 14,2 ha, respectivamente.

CUADRO 2.5.1-6
SUPERFICIE DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBERCULOS
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007

Cultivo	Superficie(ha)			Rend, Promedio (qqm/ha)
	Total	En riego	En seco	
Cebada forrajera (grano seco)	0,29	0,29	0	41,38
Centeno (grano seco)	1,2	1,2	0	24,17
Maíz (grano seco)	25,96	25,96	0	21,07
Otros cereales	0,01	0,01	0	0,0
Papa	3,55	3,55	0	39,72
Quínoa	7,29	7,29	0	8,64
Trigo blanco	17,82	17,82	0	15,15
TOTAL	56,1	56,1	0,0	-

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

Finalmente, cabe mencionar la escasa presencia de especies forestales en la comuna, donde sólo se registran 15 ha de tamarugo, cifra que contrasta con la del año 1997, donde se registraban 827 ha que incluían diversas plantaciones forestales.

2.5.2. Actividad Ganadera

El detalle de especies ganaderas a nivel comunal sólo está especificado para el censo 2007, ya que el del 1997 detalla la masa ganadera hasta el nivel de provincia. La masa ganadera comunal está representada mayormente por ganado ovino (33,2%), seguida de caprino (23,7%) y luego de camélidos (19,1%). El Cuadro 2.5.2-1 resume las cabezas de ganado por especie.

Pese a la incorporación de ovinos y bovinos a la estructura ganadera de la comuna, la mayor parte de ésta continúa siendo de llamas y alpacas, tal como el pueblo indígena atacameño lo ha hecho desde tiempos inmemoriales⁵.

⁵Agricultura Indígena Chilena. Información social y productiva de la agricultura según etnia. ODEPA - Programa Orígenes. 2011.

CUADRO 2.4.7.3-1
EXISTENCIAS PECUARIAS POR ESPECIE
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007

Especie	Cabezas
Bovinos	126
Ovinos	5,560
Cerdos	446
Equinos	906
Caprinos	3.981
Camélidos	3.200
Jabalíes	0
Ciervos	0
Conejos	2.550

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

2.5.3. Sistema de Riego Intrapredial

Se puede observar en el Cuadro 2.5.3-1, que de un total de 1.467,3 ha de riego, el 99,4% son regadas por métodos gravitacionales, casi en su totalidad riego tendido.

CUADRO 2.5.3-1
SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS EN
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA AÑO 2007

Método de Riego	Sup, (ha)	%
Riego gravitacional	1.458,8	99,4
Tendido	1.444,2	98,4
Surco	8,3	0,6
Otro tradicional	6,3	0,4
Mecánico mayor	4,0	0,3
Aspersión tradicional	4,0	0,3
Carrete o pivote	0,0	0,0
Microriego	4,5	0,3
Goteo y cinta	4,4	0,3
Microaspersión y microjet	0,1	0,0
Total Superficie Regada	1.467,3	100,0

Fuente: VII Censo Agropecuario y Forestal INE 2007.

2.5.4. Nivel Tecnológico de la Agricultura

Según el estudio “Proyecto Fomento de la Agricultura en la II Región”, financiado por el Gobierno Regional de Antofagasta y la CNR, realizado por GEOFUN el año 2000, una parte importante de la población originaria se dedica a la agricultura y a la cría de ganado ovino, y en menor medida auquénidos, además de la crianza de ganado menor. Según el Censo Agropecuario del 2007, las hectáreas cultivadas corresponden aproximadamente a 1.693 ha, en donde se cultiva principalmente choclo, habas, ajos y otras hortalizas; además de plantas forrajeras y frutales diversos. De acuerdo a lo señalado por el PLADECO 2006, la ganadería predomina sobre la agricultura, esto explicaría que el cultivo principal sea la alfalfa, observándose un cambio desde una ganadería de llamas extensiva, hacia una ganadería intensiva de ovinos y caprinos.

La tenencia de la tierra en San Pedro de Atacama es en forma predominante de pequeños predios, entre 1 a 3 ha, expresado en la existencia de pequeños propietarios; predominando además la propiedad comunitaria indígena atacameña. La comuna se caracteriza por mantener una gran superficie rural, siendo el turismo la actividad económica de mayor importancia, desarrollándose una agricultura prácticamente de subsistencia como actividad complementaria (CNR-2000), aspecto que es ratificado por el PLADECO 2006-2010, quien además da cuenta de los escasos excedentes que se generan para la comercialización de los productos agrícolas y ganaderos.

En el estudio “Alternativas de Manejo del Río San Pedro” realizado por Arrau Ingenieros Consultores el año 2000 para la DOH, se afirma que los agricultores utilizan el turno como sistema de distribución del agua, entregándose cada 22 días, entre 2 y 3 horas de riego por hectárea en algunos sectores, habiendo otros que se riegan incluso cada 30 días o más. Los que riegan con frecuencia menor, lo hacen a los 20 días, estimado insuficiente por parte de los usuarios.

La técnica de riego tradicional es por tendido e inundación, aunque desde algunos años a la fecha, INDAP ha propiciado el uso de riego tecnificado. Los agricultores, en general, tienen algún conocimiento de distintos tipos de riego tecnificado, los cuales no son incorporados, principalmente por falta de recursos económicos (DOH, 2000).

La información de las distintas fuentes citadas, permite definir un escenario tecnológico de agricultura muy básica y de subsistencia, enfocado fundamentalmente al cultivo de praderas como insumo para una ganadería extensiva, al cultivo de chacras y al cultivo de cereales para autoconsumo, todos esencialmente bajo un sistema de riego tradicional.

2.5.5. Instituciones y Organizaciones Vinculadas en el Desarrollo Agrícola

En la comuna intervienen diversos organismos vinculados al desarrollo del sector agrícola, señalándose en PLADECO 2011-2015:

- **INDAP:** a través del Programa de Desarrollo Agrícola Local (PRODESAL), por el cual INDAP pone a disposición de las familias de pequeños productores agrícolas y campesinos de menores recursos, para

aumentar el capital productivo y desarrollar capacidades que les permita optimizar sus sistemas de producción.

- **INIA:** Tendiente a la investigación y transferencia tecnológica en el país. En la Región desarrolla el programa de Diseño e Implementación de buenas prácticas agrícolas en cultivos hortícolas.
- **SAG:** Participa en ámbitos de desarrollo para el rubro apícola, agricultura orgánica y en el **Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD)**. Además participa en el Plan de Trabajo “Conformación de Red de Comercialización de Productos Agropecuarios” junto a otras instituciones como: SEREMI de Salud, Fundación para la Superación de la Pobreza, Municipalidad de San Pedro de Atacama y SERCOTEC.
- **SQM:** Institución privada que tiene por objetivo fomentar la generación de nuevos productos locales de alto valor comercial a partir de actividades productivas tradicionales de la zona. **En el área agrícola está presente el programa de fomento agrícola “Atacama Tierra Fértil” en localidades del Salar de Atacama.**

En cuanto a las instituciones que han realizado inversiones para riego, se destacan: INDAP, CONADI, DOH, CNR, FOSIS, Prelatura de Calama y Gobierno Regional.

Por su parte, los agricultores y regantes en San Pedro de Atacama están organizados en Asociaciones de Agricultores y Regantes. La Asociación del río San Pedro está conformado por 500 socios aproximadamente, dividida en 7 grupos de riego y con una situación económica general de poca solvencia, donde los ingresos provienen esencialmente de las cuotas que cada usuario paga para recibir su turno de agua (PLADECO 2011-2015).

2.6. ASPECTOS TECNICOS, LEGALES Y AMBIENTALES

2.6.1. Marco Legal y Administrativo

2.6.1.1. Aspectos Generales

En el presente apartado se realiza una breve síntesis acerca del marco legal y administrativo en materia de obras fluviales y ambientales que son aplicables al presente Estudio, describiendo los principales cuerpos normativos y la institucionalidad competente en el tema.

2.6.1.2. Legislación Relacionada con el Estudio

a) Ley 20.417 de 2010. Código de Aguas.

El Código de Aguas, aprobado por DFL N°1.122 de 1981 y que ha tenido varias modificaciones, como las Leyes 20.017 de 2005, Ley 20.099 de 2006 y Ley 20.417 de 2010, entrega, en gran medida, las atribuciones de normar, controlar y fiscalizar los derechos de propiedad, la construcción de obras de regadío y drenaje y el control de cauces y riberas, a dos Servicios del Ministerio de Obras Públicas, que son: la Dirección General de Aguas y la Dirección de Obras Hidráulicas.

b) DFL N°1.123 de 1981 del Ministerio de Justicia.

Este texto legal, y su Reglamento, es el que regula la inversión en las grandes obras de riego por parte del Estado. Como proyectos de inversión en obras públicas, corresponde al MOP la ejecución de las etapas de inversión, diseño, construcción y explotación provisional. De acuerdo con este texto, el Estado podrá someter a consideración de los interesados un determinado proyecto y su sistema de subsidio y financiamiento, pudiendo ser aceptado o rechazado por parte de los regantes. La obra, en caso de ser aceptada, es construida por el Estado.

c) Ley 18.450, de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje.

Esta Ley permite, a través de un sistema de concursos especiales, la puesta en riego de los grandes proyectos, de manera que junto a la gran obra de riego y otros programas de inversiones en capacitación, asistencia técnica y transferencia tecnológica, u otros, forman parte de lo que se denomina un programa de desarrollo agrícola de un cierto sector.

d) Ley 20.173 de 2007. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (corresponde a la modificación Ley 19.300 de 1994)

Dicha Ley da origen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el cual a través de su reglamento (D.S. 95 de 2001, Ministerio Secretaría General de la Presidencia), fija las características de aquellas obras de infraestructura relacionadas con los cursos de agua, que deben someterse al SEIA.

De acuerdo al artículo 3, letra a.4 de este reglamento, debe someterse al SEIA toda obra que corresponda a “defensa o alteración de un cuerpo o curso de aguas terrestres, tal que se movilice una cantidad igual o superior a cincuenta mil metros cúbicos de material (50.000 m³), tratándose de las regiones I a IV,...”. Explicita además que “se entenderá por defensa o

alteración aquellas obras de regularización o protección de las riberas de éstos cuerpos o cursos, o actividades que impliquen un cambio de trazado de su cauce, o la modificación artificial de su sección transversal, todas de modo permanente”.

e) Convenio 169 sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes (Organización Internacional del Trabajo)

Adoptado en el año 1989 por la Conferencia Internacional del Trabajo con el objetivo de promover y proteger los derechos de 370 millones de personas pertenecientes a más de 5000 pueblos indígenas que habitan en no menos de 70 países, el Convenio 169 de la OIT representa el único instrumento internacional, jurídicamente vinculante que trata específicamente sobre los derechos de los pueblos indígenas y tribales.

El Convenio sobre pueblos indígenas y tribales, que pasa a ser a partir de hoy Ley del Estado chileno, contiene 44 artículos que cubren un amplio rango de temas que van desde su reconocimiento como pueblos y sus derechos sobre la tierra y territorio, recursos naturales y la defensa del medioambiente, hasta la Salud, Educación, formación profesional, condiciones de empleo y el derecho a mantener y fortalecer sus identidades, lenguas y religiones. El instrumento internacional reconoce también las aspiraciones de los pueblos indígenas a asumir, dentro del marco de los Estados en que viven, el control de sus propias instituciones y de sus formas de vida y de desarrollo económico.

Los principios rectores del Convenio son:

- El derecho a la participación, consulta y consentimiento libre e informado, cuyas bases fundamentales están en los artículos 6 y 7 del Convenio, los que según ha establecido la OIT son primordiales para definir cómo debería aplicarse el Convenio;
- La Buena fe;
- El autogobierno concebido como el derecho a establecer sus prioridades en materia de desarrollo;
- El mejoramiento progresivo de derechos.

Dado que el área de desarrollo del Estudio se encuentra inmersa en territorios con presencia de comunidades indígenas y ancestralmente demandados por las mismas, la aplicación de los mecanismos relacionados con el convenio es pertinente, según lo planteado en las directrices del documento.

2.6.1.3. Institucionalidad Competente en el Sector Público

A continuación, se describen los principales ámbitos de competencia que tienen las principales Instituciones asociadas a los proyectos de grandes obras de riego.

a) Comisión Nacional de Riego.

La Comisión Nacional de Riego se creó como persona jurídica de derecho público mediante Decreto Ley N°1.172 de 1975, con el objetivo de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país.

Está conformada por los Ministros de Agricultura, Obras Públicas, Hacienda, Economía y Mideplan, y se relaciona con el Supremo Gobierno a través del Ministerio de Agricultura. Además, cuenta con una Secretaría Ejecutiva y es la institución más importante en la planificación y ejecución del riego en Chile.

Entre sus principales funciones tiene las de evaluar y aprobar las grandes obras de riego que se construyan con fondos fiscales, así como también el desarrollo y aplicación del exitoso programa de desarrollo e inversión en obras de riego medianas y menores a través de la Ley 18.450..

Bajo los preceptos anteriores, hoy realiza los estudios de evaluación a nivel de prefactibilidad, estando previsto a futuro que también se encargue de los de factibilidad definitiva.

b) Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (DOH): Oficinas Central y Regional

Por mandato directo de la Ley 19.525, corresponden a la Dirección de Obras Hidráulicas, entre otras competencias:

- La planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales.
- La planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de evacuación y drenaje de aguas lluvias. La Dirección de Obras Hidráulicas y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, según corresponda, podrán contratar la realización de las obras correspondientes.
- El estudio, proyección, construcción y reparación del abovedamiento de los canales de regadío que corren por los sectores urbanos de las poblaciones, siempre que dichos canales hayan estado en uso con anterioridad a la fecha en que la zona por donde atraviesan haya sido declarada dentro del radio urbano y que dichas obras se construyan con fondos fiscales o aportes de las respectivas municipalidades.

- Concurrir por delegación, a través de sus direcciones regionales -establecida en la Resolución de la Comisión Nacional de Riego N° 328/2000 - en ciertas actuaciones de los concursos “Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje”, regidos por la Ley N° 18.450, entre las cuales destacan la inspección de las obras postuladas en los proyectos que concursan. Por otra parte, participa en los proyectos de construcción de instalaciones para dotar de agua potable a las localidades rurales.

Fuera del área urbana, la DOH tiene responsabilidad y está a cargo de los trabajos (aspectos técnicos y económicos), relacionados con obras de riego, obras fluviales, encauzamiento, manejo de cauce y permisos de trabajo en los cauces. Dentro del área urbana, la DOH asesora a las Municipalidades en aspectos técnicos, tanto en lo relativo a obras nuevas como existentes.

En el caso de las obras de protección fluvial y extracción de áridos en el área urbana, la DOH debe emitir un oficio en el que indica si aprueba técnicamente los proyectos presentados, pero será responsabilidad de la Municipalidad dar el permiso correspondiente. También apoya al Municipio en la fiscalización de los trabajos de explotación de áridos, en cuanto a ver que se estén realizando en la forma y lugar correcto, sin embargo, las acciones legales las debe llevar a cabo la Municipalidad.

Este organismo debe funcionar en forma coordinada con la DGA en la constante actualización del Catastro Público de Obras en los cauces. En todas las obras construidas en los cauces, la DOH debe aprobar los proyectos y recibir las obras una vez finalizadas. Posteriormente, debe traspasar a la DGA todos los antecedentes necesarios para proceder con la inscripción en el Catastro. Las obras realizadas en cauces, en tramos dentro del área urbana, son recibidas por la Municipalidad, por lo que se genera un vacío en el proceso de actualización del catastro.

Por otra parte, todos los proyectos que interfieran, modifiquen o atraviesen un cauce primario, deberán contar con la aprobación del Departamento de Obras Fluviales (dependiente de la DOH). Tal es el caso de los proyectos de puentes, que vial y estructuralmente son objetos de verificación de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, sin embargo, el diseño de sus protecciones y la verificación de las revanchas exigidas, es responsabilidad del Departamento de Obras Fluviales.

c) Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA): Oficina Regional

Le compete el registro estadístico y monitoreo de las cuencas. Son responsables de la mantención, operación y entrega de la información de la red de estaciones pluviométricas y pluviométricas en la cuenca del Río San Pedro.

También es su responsabilidad, mantener el catastro público de las cuencas. Es decir, la DGA debe para cada cauce, poseer toda la información relevante a obras que lo intervenga,

cruce o modifique, como son bocatomas, obras de protección, puentes, etc. En este sentido, debe operar en forma coordinada con la DOH, ya que a ésta le corresponde informar de todas las obras sobre el cauce, pues es el ente técnico que aprueba las obras. Como se indicó previamente, se genera una discontinuidad en el proceso de actualización del catastro con las obras en el área urbana, ya que la Municipalidad recibe estas obras y por lo tanto, es la que posee los antecedentes completos del proyecto. También hay que señalar, que en muchas oportunidades se terminan los trabajos pero no se continúa con las acciones posteriores de inscripción.

Por otro lado, la DGA debe mantener las líneas de comunicación con los regantes para facilitarles información sobre pronósticos de caudales y situaciones especiales en los ríos. De igual forma, la DGA con su red de monitoreo, cumple un rol importante en informar a la Oficina Nacional de Emergencia sobre pronósticos de crecidas o precipitaciones importantes que puedan implicar cortes de camino, aludes, anegamiento de algunas comunidades, etc.

Con respecto a las obras de riego, tiene un rol preponderante tanto en la asignación de los derechos de agua como en la conformación de las organizaciones de usuarios y Juntas de Vigilancia.

d) Ministerio de Bienes Nacionales

Este organismo tiene la responsabilidad de velar por el patrimonio nacional, por el correcto uso de la propiedad estatal y delimitar las propiedades de bien común. En él recae definir los límites estatales relativos a los cauces, y por ende, determinar los deslindes de los ríos, etc. Con respecto a las obras de riego, su participación recae principalmente en las expropiaciones de terrenos que deben efectuarse para efectuar las inversiones en terrenos que sean bienes nacionales de uso público.

e) Servicio de Evaluación Ambiental

Creado a través de la Ley 20.417, que modifica a la Ley General de Bases del Medioambiente (19.300), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tiene como objetivo fundamental contribuir al desarrollo sustentable del país en materia ambiental y cautelar por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el país, a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y la coordinación de todos los servicios del Estado competentes en estas materias con el propósito de evaluar y calificar ambientalmente los proyectos que ingresan al SEIA.

Algunas de las competencias del Servicio de Evaluación Ambiental son:

- Uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los Ministerios y demás organismos del

Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite.

- Proponer la simplificación de trámites para los procesos de evaluación o autorizaciones ambientales.
- Administrar un registro público de consultores/as certificados/as para la realización de Declaraciones y Estudios de Impacto Ambiental, teniendo dicho registro sólo carácter informativo.
- Interpretar administrativamente las Resoluciones de Calificación Ambiental, previo informe del o los organismos con competencia en la materia específica que participaron de la evaluación, del Ministerio y la Superintendencia del Medio Ambiente, según corresponda.
- Fomentar y facilitar la participación ciudadana en la evaluación de proyectos, de conformidad a lo señalado en la ley.

En función de los impactos potenciales del proyecto que sean identificados en el presente estudio, se deberán solicitar una serie de permisos sectoriales previo a la ejecución. Estos permisos se encuentran detallados en el Reglamento del SEIA y aquellos atingentes al proyecto serán especificados en el Estudio de Análisis Ambiental.

2.6.2. Derechos de Agua y Organizaciones de Usuario

2.6.2.1. Aspectos Generales

A continuación, se entrega la recopilación de los antecedentes disponibles a la fecha, los que serán complementados en la etapa 2 con nuevos antecedentes que se obtengan acerca de derechos de aguas existentes (consuntivos, no consuntivos, permanentes y eventuales), derechos en trámite de otorgamiento, derechos no regularizados, no perfeccionados o no constituidos, listado de regantes del área del proyecto y cantidad de acciones por propietario, organizaciones con detalle de su constitución legal, domicilio, nombre de sus directivos, derechos de agua que administran, etc.

2.6.2.2. Antecedentes Históricos y Reconocimiento

En San Pedro existe la Asociación de Productores del Río San Pedro, que cuenta con 800 socios aproximadamente. Siendo atacameños, se encuentran protegidos por la ley N° 19.253 sobre protección, fomento y desarrollo indígena, que establece dentro de sus disposiciones, mecanismos orientados a formalizar el restablecimiento y protección de derechos de carácter ancestral en comunidades aymaras y atacameñas.

En 1997 la Dirección General de Aguas y la CONADI suscribieron un convenio para avanzar en el restablecimiento y protección de derechos ancestrales de comunidades indígenas aymaras y atacameñas en la I y II Regiones.

Posteriormente, los usuarios formaron legalmente la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, la cual solicitó para sí los derechos de aguas del río San Pedro. A esta solicitud presentaron oposiciones 2 empresas y 2 personas naturales (Explora S.A., Sociedad Tular S.A., Ana María Barón y Juan Francisco D'Etigny Lira) aduciendo principalmente que, por no ser ellos indígenas, no podían pertenecer a esa Asociación, lo cual se solucionó mediante un avenimiento entre las partes.

Por Oficio Ord. D.G.A. II N°083 del 15 de febrero de 1996, la Dirección Regional de Aguas remitió en primera instancia al Segundo Juzgado de Letras de El Loa de la ciudad de Calama, el expediente de Regularización NR-II-1932, en el cual se incluyó el río San Pedro de Atacama. Dicho Juzgado solicitó a su vez, antecedentes complementarios para esta causa, rolada con el N° 4057-96, mediante el Oficio N° 334 del 03 de octubre de 1996. Este oficio fue contestado mediante un Informe Técnico Complementario de la Dirección General de Aguas en abril de 1997, a fin de que la causa se tramite en el Juzgado ya indicado.

Finalmente, la causa se tramitó y quedó constituida legalmente la Comunidad de Aguas Indígena de San Pedro de Atacama, inscrita en el Conservador de Aguas de Calama, con los derechos de agua correspondientes.

El expediente de Regularización indica, para el río San Pedro, lo siguiente:

- Alveo: Río San Pedro
- Naturaleza de las aguas: Superficiales y Corrientes
- Caudal: 870 l/s
- Captación: Coordenadas UTM Norte 7.475.871; Este 582.233.
- Tipo de derecho: Consuntivo, permanente y continuo.

El sistema legal de concesión de derechos a través de la comunidad, y no en forma individual, permite una amplia libertad para establecer la distribución del agua entre los derivados y los sistemas de turnos entre los regantes, dentro de cada derivado o subderivado. Los derechos así definidos, no pueden ser vendidos o traspasados a terceros que no pertenezcan a la Comunidad.

Para definir los derechos que corresponderían al sistema de regadío de San Pedro de Atacama, la Dirección General de Aguas se basó en los derechos que por uso y costumbre hasta la fecha han utilizado los regantes, los cuales a su vez se basan en un sistema de distribución muy antiguo, en que para repartirse el agua estos regantes se han dividido en 7 grupos, los que son:

- Grupo 1: Regantes de los Ayllus Cuchabrachi, Catarpe, Tambillo, Guachar y Quitor.
- Grupo 2: Regantes de los Ayllus de parte de Conde Duque, Yaye y Checar
- Grupo 3: Regantes de los Ayllus de otra parte de Conde Duque, Solcor y Larache.
- Grupo 4: Regantes de los Ayllus Séquitor y Coyo.
- Grupo 5: Regantes del Ayllusolor.
- Grupo 6: Regantes del Ayllucucuter.
- Grupo 7: Regantes del Aylllo de Conde Duque que riegan desde el Estanque.

2.6.2.3. Listado de Usuarios

En primer lugar es necesario destacar la carencia de información actualizada sobre los usuarios y poseedores de los derechos de aprovechamiento proveniente del Río San Pedro, ni menos de la distribución espacial en predios.

La principal fuente de información existente es el Catastro General de Usuarios de Aguas de los Cauces Afluentes Al Salar de Atacama (DGA, 1991), el que posee de 1.068 registros de predios diferenciados por canal. En este caso se habla de “registros” y no solamente de “predios” debido a que en algunos un predio puede aparecer en listado tantas veces como canales que lo abastecen. En el Cuadro 2.6.2.3-1 se presenta un resumen de los registros de predios por canal y la superficie asociada.

CUADRO 2.6.2.3-1

LISTADO de registro de predios abastecidos por canales del Río San Pedro

CANAL MATRIZ	CANAL DERIVADO	REGISTROS	SUPERFICIE (HA)
BELLAVISTA	-	1	4,00
CUCHABRACHI	-	11	8,64
EL NARANJO	-	1	0,70
GUACHAR	-	1	3,00
LA PATILLA	-	39	27,49
SAN PEDRO	-	17	15,92
	AGUILAR	34	8,20

	CAPIA	49	39,98
	COYO	280	309,43
	CUCUTER	53	127,86
	ESTANQUE	53	12,77
	LARACHE	54	52,51
	MUTAR	37	10,95
	PAXA	29	20,65
	SILO	24	29,68
	SOLCOR	119	85,59
	SOLOR DOS	85	80,37
	SOLOR UNO	152	190,10
	TURBINA	18	13,48
TAMBILLO	-	11	15,10
Total		1.068	1.056,42

Fuente: Catastro General de Usuarios de Aguas de los Cauces Afluentes Al Salar de Atacama (DGA, 1991),

2.6.2.4. Funcionamiento de las Organizaciones

Diversos estudios⁶, han identificado problemas organizacionales relacionados con:

- La falta de confianza entre los socios de las organizaciones
- Falta de compromiso, "espíritu de superación" y comunicación entre los socios
- Existencia de liderazgos conflictivos y poco unificadores
- Bajo nivel educacional de los socios
- Carencia de coordinación y permanencia en la asistencia a las reuniones
- Existencia de problemas administrativos y financieros que se polarizan por los conflictos organizacionales existentes.

En cuanto a la directiva de Grupo de riego o distribución del agua los presidentes son los siguientes:

- **GRUPO 1**, Presidente: VALENTIN VILCA SOLIS
- **GRUPO 2**, Presidente: RICARDO VILCA SOLIS
- **GRUPO 3**, Presidente: JUSTO ZULETA SANTANDER

⁶Alternativas de Manejo del Río San Pedro (DOH, 2000), Bienestar Humano y Manejo Sustentable en San Pedro de Atacama (RIDES, 2005), Diagnóstico y Propuesta de Fomento a la Agricultura Regada en la II Región (CNR, 2000).

- **GRUPO 4**, Presidente: APOLINARIO COCA TEJERINA
- **GRUPO 5**, Presidente: ELVIS RAMOS RAMOS
- **GRUPO 6**, Presidente: EDUARDO COOPMAN MORENO
- **GRUPO 7**, Presidente: LUIS MORGADO PIZARRO

2.7. DAÑOS PRODUCIDOS POR CRECIDAS

2.7.1. Aspectos Generales

Se realizó un análisis preliminar sobre los daños que producen las crecidas del río San Pedro en los distintos sectores socioeconómicos del área del proyecto: infraestructura, propiedades rurales, suelos urbanos y otros; y se incluye una estimación de la frecuencia con que se producen estos eventos, de su magnitud y del monto de los daños producidos por las crecidas históricas.

2.7.2. Revisión de Antecedentes de Prensa

Para desarrollar este objetivo el primer paso fue realizar una revisión de antecedentes de prensa, con el fin de identificar los hitos históricos de crecidas del Río San Pedro y sus afluentes, y los daños producto de estas en el área de estudio.

Esta búsqueda se realizó a través de la revisión de los archivos de prensa existentes en la Biblioteca Nacional, consultando los siguientes medios escritos: El Mercurio, El Mercurio de Antofagasta y El Mercurio de Calama. Es importante indicar se revisó información desde el año 1924 hasta el año 2012.

La revisión de estos periódicos se realizó buscando la siguiente información:

- Eventos del invierno altiplánico que han afectado al área de estudio.
- Crecidas del Río San Pedro o sus afluentes (Río Grande y Río Salado)
- Antecedentes de daños producidos por los eventos anteriores (pérdidas de viviendas, daños en los cultivos, cortes en los caminos, etc.) y localidades afectadas dentro de la Comuna de San Pedro de Atacama.
- Respuesta de las autoridades públicas frente a estos eventos.
- Identificar montos de los daños y/o inversiones para recuperación del área afectada.

En el Cuadro 2.7.2-1, se presenta un resumen de los antecedentes recopilados en la prensa, indicando tanto la fecha, el lugar afectado así como las características más relevantes de la

noticia. En este cuadro se incluye además la revisión complementaria realizada en medios de prensa en formato digital.

**CUADRO 2.7.2-1
RESUMEN ANTECEDENTES REVISIÓN DE PRENSA**

Fecha Publicación	Periódico	Evento	Resumen
07/04/1971	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	San Pedro de Atacama sin suministro de agua potable y caminos interiores cortados
04/02/1972	El Mercurio	Aluvión	No se cuantificaron daños
18/02/1972	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Casas dañadas: 8 en San Pedro de Atacama, 3 en Río Grande
18/02/1972	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Casas dañadas en la comuna de San Pedro de Atacama: 156.
09/02/1973	El Mercurio de Calama	Lluvias	Corte de camino Calama - San Pedro
09/02/1973	El Mercurio de Calama	Lluvias	Corte de Camino Calama - San Pedro de atacama
08/03/1973	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Corte del puente sobre el Río San Pedro
25/02/1977	El Mercurio	Lluvias	San Pedro de Atacama aislado, caminos cortados
25/02/1977	El Mercurio	Lluvias	Se corta el puente de acceso a San Pedro de Atacama y daños en caminos interiores.
21/02/1981	El Mercurio	Inundación	Caminos cortados por crecida rio San Pedro camino cortado Toconao-Socaire Toconao-Peine
24/02/1981	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	San Pedro de Atacama, caminos cortados hacia el sur por inundaciones. Grietas de 7 metros en el camino impiden el tránsito producto de las lluvias que han afectado la zona
24/02/1981	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Corte caminos de San Pedro a Toconao
27/02/1981	El Mercurio	Lluvias	Corte de suministro de agua y cortes en caminos
27/02/1981	El Mercurio	Lluvias	San Pedro de Atacama, viviendas dañadas y caminos que conectan con las localidades del sur agrietados e intransitables.
06/02/1989	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	4 mm de agua caída en San Pedro de Atacama. Caminos con daños leves.
01/02/1995	El Mercurio	Lluvias	Río Grande queda aislado por 3 días por las intensas lluvias y además de perder su casecha de habas, 3 días sin agua potable y 16 canales quedaron con sus bocatomas tapadas de barro. No se dispone de agua de riego
02/02/1995	El Mercurio	Lluvias	Sin agua potable San Pedro de Atacama y Río Grande, este último con problemas en siembras y canales de regadío. Ambos lugares aislados producto de las lluvias
02/02/1995	El Mercurio	Lluvias	Daños en caminos de localidades al sur de la comuna de San Pedro de Atacama.
20/02/1999	El Mercurio	Lluvias	Caen 60 mm en San Pedro de Atacama. Problemas en el camino de acceso a Santiago de Río Grande.

**CUADRO 2.7.2-1
RESUMEN ANTECEDENTES REVISIÓN DE PRENSA**

Fecha Publicación	Periódico	Evento	Resumen
30/01/2000	El Mercurio	Lluvias	Poblado de Río Grande si agua potable, problemas en los caminos de acceso. Baden Salado que conduce a Ayquina, cortado.
28/02/2001	El Mercurio	Lluvia	Corte de agua potable en Río Grande.
02/03/2001	El Mercurio	Inundación	Localidad de Río Grande, Matansilla, San Pedro, Toconao, Talabre, Camar, Socaire, Peine y Machuca: El Gobierno de Chile declaró el 03 de marzo de 2001 a San Pedro como zona afectada por catástrofe. Restricción de suministro de agua por 10 horas durante el día. Anegamiento de calles y viviendas.
03/03/2001	El Mercurio	Inundación	Crecida Río Grande y Río San Pedro, colapso de canales de riego. Total de damnificados:500. San Pedro de Atacama y los Ayllus cercanos fueron afectados por las precipitaciones y la inundación. Corte de caminos aisla a los sectores de Cuchabrachi y Río Grande.
16/01/2008	El Mercurio	Lluvias	Daños en caminos interiores y pasos internacionales.
19/01/2008	El Mercurio	Lluvias	Corte camino San Pedro - Paso Sico.
13/02/2011	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Corte de caminos San Pedro de Atacama
11/02/2012	El Mercurio	Inundación	Los damnificados por las fuertes lluvias en San Pedro de Atacama aumentaron a 25 personas y ya se registra un total de 800 afectados a causa del aluvión que afectó a parte de la Provincia del Loa.
14/02/2012	El Mercurio	Inundación	500 personas afectadas en la comuna de San Pedro de Atacama, por inundaciones de viviendas, filtraciones, problemas de cortes de agua y electricidad.
14/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Desborde del Río Salado deja 320 damnificados en San Pedro de Atacama, en que los poblados más afectados son el mismo San Pedro, Toconao y Quitar.
17/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Las pérdidas se estiman en 2500 millones de pesos. El Gobierno decreta Emergencia Agrícola.
19/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Las peores lluvias en 10 años dejan pérdidas cercanas a los 2.500 millones de pesos en la agricultura y daños inestimables en la actividad turística.
19/02/2012	La Tercera *	Inundación	Decenas de damnificados en San Pedro de Atacama por la crecida de los ríos de la comuna. El poblado más afectado es Río Grande con decenas de damnificados
20/02/2012	La Tercera *	Inundación	La ONEMI dio a conocer un conteo de 132 personas están afectadas por las crecidas de los ríos en la comuna de San Pedro de Atacama. En total, las fuertes lluvias del invierno altiplánico han dejado 343 viviendas dañadas y 4.243 afectados en la Región de Antofagasta. Según la alcaldesa de

CUADRO 2.7.2-1
RESUMEN ANTECEDENTES REVISIÓN DE PRENSA

Fecha Publicación	Periódico	Evento	Resumen
			San Pedro de Atacama, Sandra Berna, las localidades más perjudicadas son Río Grande, Matancilla, Quitor, Catarpe, Socaire, Peine y Toconao

* Revisión de prensa disponible en internet.

Fuente: Elaboración Propia con base en El Mercurio, El Mercurio de Calama y El Mercurio de Antofagasta, periodo 1925 – 2012.

En general, de la revisión de la prensa se aprecia que en los diferentes medios consultados la información publicada abarca los efectos del invierno altiplánico en toda la región de Antofagasta o en la totalidad de la Provincia del Loa, haciendo especialmente alusión a los problemas en los caminos o a las alteraciones de suministro de los servicios básicos como luz y agua potable.

Los eventos que han sido identificados en la información periodística hacen referencia casi en su totalidad a eventos intensos de precipitaciones que han afectado a la totalidad de la Provincia, y que en el caso del área de estudio correspondiente a la comuna de San Pedro de Atacama no han causado estragos mayores, esto exceptuando los eventos de los años 2001 y 2012, que son años en que el invierno altiplánico ha sido de mayor intensidad y se han desbordado el Río San Pedro o alguno de sus afluentes.

Escasean antecedentes en la prensa relacionados con la cuantificación económica de los impactos de este fenómeno o la estimación de las pérdidas en cuanto a agricultura o infraestructura, no se hace referencia a los caudales escurridos ni a cifras, sino que es información más general. Ante este escenario a partir de la información recopilada no es posible construir una clara idea de los problemas que afectan al área, en cuanto a la productividad, puesto que no existen cifras exactas. Esto se debe fundamentalmente a que las noticias se preocupan de los impactos instantáneos, y no de los efectos de largo plazo que puedan tener las crecidas y aluviones ocasionados por el invierno altiplánico.

Sin embargo se puede identificar que las zonas más afectadas tanto por las lluvias como por los eventos de crecidas corresponden a las localidades de Santiago de Río Grande, Toconao, San Pedro de Atacama y los Ayllus que allí y en los alrededores existen.

Las excepciones a esta escasez de información corresponden a los eventos de inundaciones producto del invierno altiplánico acontecidos en los años 2001 y 2012.

Del análisis de la prensa se puede concluir lo siguiente:

De los daños estructurales:

- Los principales daños estructurales se han producido por el corte parcial o total de los caminos desde y hacia San Pedro de Atacama, y caminos y

puentes de acceso a localidades interiores como Santiago de Río Grande, Toconao, Machuca, etc.

- Un aspecto mencionado reiterativamente en la prensa local es el colapso de los sistemas de agua potable de los diferentes poblados por efecto de la caída de las cañerías que trasladan este elemento o por colapso de las tomas y/o bocatomas desde donde se obtiene el agua para las plantas de tratamiento del agua.

De los daños a la población:

- En cuanto a los daños del evento producido en el año 2001 no se especifican mayores antecedentes sobre los montos de los daños, sin embargo, se declara Zona de Catástrofe al área de San Pedro de Atacama.
- En cuanto a los daños, en la prensa se hace principalmente mención a dos temáticas: vivienda y agricultura. Esto es atribuible en el caso del evento del año 2012 a la presencia casi inmediata de los Ministros de las carteras de Agricultura, Desarrollo Social, Obras Públicas y Economía en la zona y además porque son las áreas en que se han cuantificado los montos de los daños junto con lo cual se ha señalado el financiamiento comprometido para la restauración.
- En el caso de la agricultura, los daños se estimaron en 2.500 millones de pesos, por lo que se declara zona de emergencia agrícola en parte de la Región de Antofagasta, lo que incluye a la Comuna de San Pedro de Atacama. El Ministerio de Agricultura informó la reasignación de \$1.000 millones del presupuesto de la cartera para financiar las medidas de emergencia y la reconstrucción: \$500 millones de Indap (50% de estos para obras de riego) y \$500 millones adicionales para concursos de riego de la CNR.
- Respecto a los daños en cuanto a viviendas, estos se produjeron tanto por las inundaciones de los inmuebles producto del desborde de ríos y canales, como por los daños por las precipitaciones que en suma dejan cientos de damnificados en la zona. Según señala además que la inversión para reconstrucción y reparación de las viviendas afectadas en la Comuna de San Pedro de Atacama alcanza aproximadamente los mil millones de pesos.
- En tercer lugar y aunque sin restarle importancia, en los medios de prensa se hace referencia a los daños a la industria turística que se desarrolla en la Comuna de San Pedro de Atacama y que constituye una de las

actividades económicas principales de la zona. No se entregan montos, sin embargo se señala la suspensión de gran parte de las reservas de alojamiento (tanto por el temor de los turistas como por el daño en las instalaciones hoteleras) y de los circuitos turísticos programados.

De las reacciones ciudadanas:

- En términos generales no aparecen muchas en la prensa local, excepto los años 2001 y 2012, en que hay declaraciones de la Alcaldesa y funcionarios municipales. Además de esto, impresiones de dirigentes vecinales respecto a los daños en las diferentes localidades.

2.7.3. Daños Producidos

La información relativa a los daños ocasionados por las crecidas, se basa en el análisis de la información periodística presentada en el acápite anterior. Esta información se presenta en el Cuadro 2.7.3-1 y corresponde a los años en que se han registrado estos eventos y existe mayor información al respecto.

De la información contenida en el Cuadro 2.7.3-1, se desprende que en general no se dispone de magnitud de daños en cuanto a valores monetarios, sólo una descripción cualitativa de los mismos.

En la Figura 2.7.3-1 Se presentan imágenes de los daños producidos por la crecida ocurrida en febrero de 2012.

CUADRO 2.7.3-1
DAÑOS PRODUCIDOS POR LAS CRECIDAS DE LOS AÑOS 2001 Y 2012

Año	Descripción
2001	Río Grande y Río San Pedro, colapso de canales de riego y destrucción de obras de riego.
	Corte de agua potable en Río Grande.
	Anegamiento de calles y viviendas en las localidades de Río Grande, Matansilla, San Pedro, Toconao, Talabre, Camar, Socaire, Peine y Machuca.
	500 Damnificados en San Pedro de Atacama y los Ayllus cercanos
	Corte de caminos de acceso a Cuchabrachi y Río Grande.
2012	Desborde del Río Salado deja 320 damnificados en San Pedro de Atacama
	Las pérdidas en agricultura se estiman en 2500 millones de pesos
	Destrucción de bocatomas, canales y compuertas
	Destrucción y embancamiento de estanques acumuladores
	Anegamiento de terrazas de cultivo
	Pérdida de cultivos
	Pérdida de las cosechas por exceso de humedad
	Falta de forraje
	Daños inestimables en la actividad turística.
	Corte de caminos San Pedro de Atacama y conexión con poblados interiores
Cortes de agua y electricidad en toda la comuna	

Fuente: Elaboración Propia con base en antecedentes de prensa.

FIGURA 2.7.3-1
FOTOS DAÑOS PRODUCIDOS POR LA ÚLTIMA CRECIDA



Fuente: Ediciones digitales de los periódicos El Mercurio y La Tercera. (2012)

3. diagnóstico

3.1. SITIOS DE EMBALSE

Los sitios de embalse previstos en las Bases del contrato, se ubican en el río Grande entre su confluencia con la quebrada de Coyil y la confluencia con el río Salado. En este tramo, el río corre bastante encajonado en laderas rocosas casi verticales por ambos costados y, aparentemente, puede utilizarse cualquier lugar de este sector como angostura para construir una presa. La gracia, es que hacia aguas arriba se abre un poco el valle en la

confluencia con la quebrada de Coyil, dando lugar a la posibilidad de embalsar aguas con una relación de agua muro aceptable. En la Figura 3.1-1 se aprecian estos sitios.

Figura 3.1-1

Sitios de Embalse San Pedro



Fuente: Elaboración Propia en base a Google Earth.

No es común en el valle encontrar angosturas para emplazar un embalse que logren almacenar el agua en un sector no productivo. En efecto, el río Grande presenta una caja de río bastante estrecha que, cuando se abre, da paso a zonas de cultivo como las localidades de Río Grande o San Bartolo, que sería impensable inundarlas. Por lo tanto, los sitios son bastante adecuados desde un punto de vista geomorfológico y ambiental.

No obstante, subsisten algunas dudas respecto de embalsar las aguas en un sitio frontal en el río Grande, por cuanto si bien controlaría crecidas, debe verificarse el tipo de aguas que embalsará, tanto desde el punto de vista del contenido salino y calidad química, como del contenido de sólidos. Ya informes de 50 años atrás (Dávila et. al) plantean la imposibilidad de embalsar las aguas de las crecidas por cuanto arrastran todas las sales de la cuenca y no sirven para el riego, razón por la cual se postuló al embalse Coyil como un embalse Lateral que no regularía las aguas de crecidas.

Además, el sector se ubica en plena cordillera de la sal, por lo que es presumible que la cantidad de sales solubles que existan en las laderas y fundación sean más de las permisibles para el tipo de presa que se espera construir. En efecto, por las características de las angosturas, es muy probable que los tipos de presa más factibles sean de hormigón rodillado autovertedora, o enrocados con pantalla de concreto. En ambos casos, los asentamientos admisibles son bajos y debe verificarse la estabilidad de una presa bajo el punto de vista de este factor. Incluso, este Consultor recomienda ni siquiera prospectar los sitios con sondajes si los contenidos de sales son altos.

Desde ya, se puede mencionar un antiguo sitio detectado en la confluencia de los ríos Jauna y Putana. Este sitio es frontal y regularía parcialmente las crecidas. Desde el punto de vista de los daños producidos por las crecidas, habría que complementarlo con defensas fluviales en sectores estratégicos, luego de evaluar los efectos reguladores correspondientes. Este sitio fue antiguamente descartado por la larga conducción de las aguas hasta las zonas de riego, que hacía inviable el proyecto por costos. Cabe destacar que las aguas son de muy buena calidad en este lugar y si se logra llegar con ellas a las zonas de riego sin que se contaminen, habría un cambio radical en la productividad del riego en la zona. Si el embalse entrega al río, podría utilizarse para regular las aguas, pero no para mejorar su calidad. En este caso, habría que ver la forma que se contaminen lo menos posible, especialmente con las aguas del río Salado.

3.2. Diagnóstico infraestructura de riego

3.2.1. Aspectos Generales

Luego de haber realizado las visitas a terreno, en este acápite se realizará un diagnóstico preliminar del estado de las principales características de la red de riego.

3.2.2. Situación Actual de las Obras

3.2.2.1. Bocatomas

El sistema de riego actual consta de 3 bocatomas del Río San Pedro. La primera está ubicada unos 10 m aguas abajo de la estación fluviométrica de la DGA. Esta bocatoma estaba construida de hormigón armado y tomaba las aguas del río para regar la zona de Catarpe, sin embargo con las últimas crecidas del verano de 2012 la bocatoma fue

completamente destruida. Actualmente se ha hecho una ataguía para desviar parte del río para continuar con el riego en la zona de Catarpe.

La segunda bocatoma es la que está ubicada aguas abajo de la Catarpe. Esta bocatoma está construida rústicamente con un pretil de tierra hecho con máquina excavadora. Toda el agua del río se desvía por esta bocatoma y alimenta el tranque Guachar para toda la zona de riego del proyecto. El tranque Guachar es un estanque con una capacidad de 30.000 metros cúbicos que fue construido para mejorar la capacidad de riego de la zona. Sin embargo ha tenido algunos problemas ya que la capacidad que tiene no es suficiente. Actualmente se utiliza de día para el riego de la zona y se llena durante la noche.

La tercera bocatoma se encuentra en la zona de Quitar, aguas abajo del tranque Guachar, es una bocatoma rústica utilizada para alimentar el canal San Pedro cuando el tranque está lleno en el momento de las crecidas.

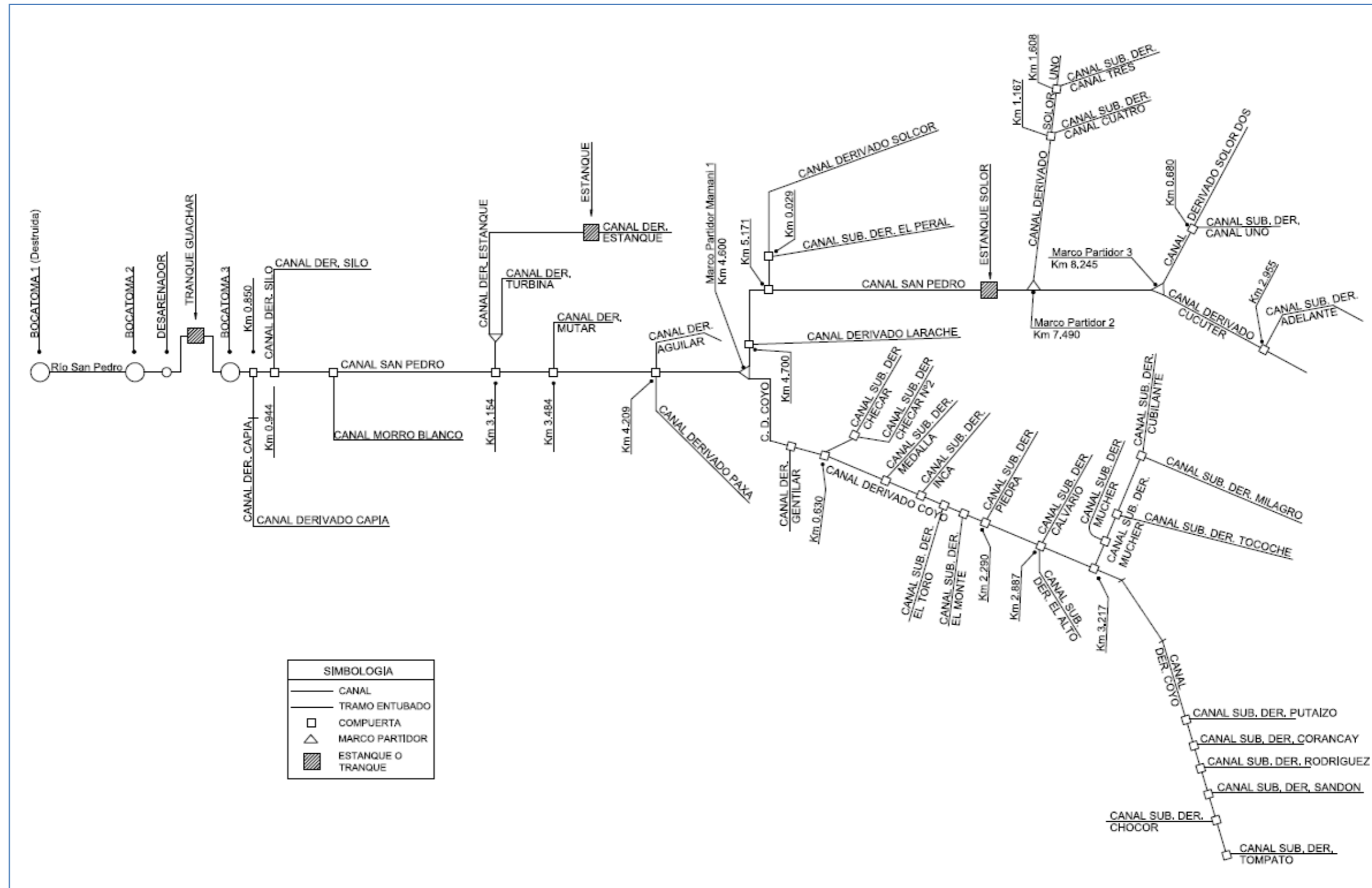
Según el Catastro Preliminar realizado no existen más bocatomas en el Río San Pedro.

3.2.2.2. Red de Canales de Riego

La red de riego consta de un canal matriz San Pedro y los canales secundarios, que riegan las distintas comunidades o "Ayllus" de la zona. En la Figura 3.2.2.2-1 se muestra el diagrama unifilar de la red de riego. En los siguientes acápite se describirá el canal matriz y canales secundarios.

figura 3.2.2.2-1

DIAGRAMA UNIFILAR DE LOS CANALES DE SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3. Canal matriz

Como se dijo anteriormente, una vez que el agua entra en el tranque Huachar es conducida por en canal matriz San Pedro. Este canal está construido de hormigón armado, sección trapezoidal en algunas zonas y rectangulares en otras. Posee una capacidad máxima de 1,4 m³/s aproximadamente. En la Figura 3.2.2.3-1 se muestran imágenes del canal.

figura 3.2.2.3-1

CANAL SAN PEDRO SECCIÓN
RECTANGULAR



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.3-2 Canal san Pedro Atravesio y Cambio de Sección



Fuente: Equipo Consultor

3.2.2.4. Canales Secundarios

Estos canales secundarios están conectados al matriz por medio de compuertas de acero con volante manual, algunos poseen desarenadores y para el caso de atravesos de caminos se hace por medio de sifones. La mayoría de todos los canales poseen un aforador inmediatamente después de la compuerta. Los principales canales se describen a continuación.

- Canal Capia: Este es el primer canal derivado del canal San Pedro, posee una compuerta de acero con volante manual, aforador y un pequeño desarenador, este canal atraviesa el camino y el Río San Pedro por medio de un sifón. Buen estado. Figura 3.2.2.4-1.

- Canal Silo: Este canal es el segundo derivado. Posee una compuerta de acero con volante manual y un aforador. Buen estado. Figura 3.2.2.4-2.
- Canal Morro Blanco: Canal que posee compuerta de acero con volante manual, aforador y una cámara de carga. Figura 3.2.2.4-3.
- Canal Siete: En la Figura 3.2.2.4-4 se aprecia arriba el canal siete que es el que conduce las aguas hasta el estanque N°2 y el canal de abajo de la fotografía es el canal derivado turbina. Ambos canales poseen aforador. Se aprecia, también, en la Figura 3.1.2.4-5 el desarenador del Estanque N°2.
- Canal Paxa: Canal derivado con compuerta de acero. Buen estado. Figura 3.2.2.4-6
- Marco Partidor N°1 ó Mamani: Es el primer marco partidor del Canal San Pedro. En la Figura 3.2.2.4-7 el canal derecho riega los Ayllus de Coyo, Sequitor y Yaye. El canal izquierdo riega los sectores de Larache, Solcor, Solor y Cúcuter. Se encuentra en buen estado

figura 3.2.2.4-1 canal copia



Fuente: Equipo Consultor

En general como se puede apreciar, los canales se encuentran en buen estado. Las compuertas se mantienen bien, están bien lubricadas así como también los sellos se encuentran bien. Los marcos partidores existentes se encuentran en buen estado, poseen buena envergadura y buen mantenimiento.

figura 3.2.2.4-2 canal silo



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.4-3 canal morro blanco



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.4-4 canal siete



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.4-5 desarenador canal siete



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.4-6 canal paxa



Fuente: Equipo Consultor

figura 3.2.2.4-7
marco partidor numero 1 ó mamani



Fuente: Equipo Consultor

Debido a la gran cantidad de canales existentes se presenta en el Anexo 3-1 el listado completo de los canales con sus características más importantes. Sin embargo, el catastro a realizar en etapas posteriores a este estudio complementará la información para realizar estimaciones de reparaciones, revestimientos faltantes, entre otras.

3.2.3. Distribución del Agua

El estudio Diagnóstico y Propuesta de Fomento a la Agricultura Regada en la II Región (CNR, 2000) destaca que para efectuar la distribución del agua de riego existe un sistema de turnos, que está conformado básicamente por los siguientes grandes grupos:

- Grupo 1: Regantes de los Ayllus Cuchabrachi, Catarpe, Tambillo, Guachar y Quitar.
- Grupo 2: Regantes de los Ayllus de parte de Conde Duque, Yaye y Checar
- Grupo 3: Regantes de los Ayllus de otra parte de Conde Duque, Solcor y Larache.
- Grupo 4: Regantes de los Ayllus Séquitor y Coyo.
- Grupo 5: Regantes del Aylo Solor.

- Grupo 6: Regantes del Aylo Cucuter.
- Grupo 7: Regantes del Aylo de Conde Duque que riegan desde el Estanque.

La distribución de las aguas, tanto del río San Pedro como del Vilama, se realiza mediante turnos muy espaciados, entre 22 y 30 días, entregándose 2 horas de agua por hectárea a los predios regados con las aguas del canal San Pedro y, 4 horas por hectárea aquellos que son regados con el canal Vilama.

El caudal y volumen de agua que se entrega a nivel de predio es muy irregular debido a diferentes factores. Uno de los factores más importantes tiene relación con la falta de elementos de medición, ya que la entrega del agua se realiza por medio de la abertura de las compuertas hacia los canales derivados y, por tanto, el caudal depende de la abertura que se le dé a la compuerta, quedando así a merced de la pericia y buena disposición del celador. Además, es frecuente que los regantes de aguas arriba obstaculicen el paso del agua hacia los de aguas abajo y, eventualmente, extraigan agua de los canales en días que no les corresponda por turno.

Por otra parte, otro de los problemas detectados es la existencia de tres pequeños canales que son El Naranjo, Tambillo y Bellavista, los cuales se localizan en la ribera derecha del río San Pedro entre Cuchabrachi y Quitor, que se alimentan de las aguas del río sin ningún elemento de control, de modo que el caudal que se deja pasar no guarda relación con la pequeña superficie que riegan, captando a veces todo el caudal del río. Una situación similar se produce con el canal La Patilla.

Por último, si a todo lo anterior se agrega la gran variación de caudal que se produce en el día en el río San Pedro, es predecible la irregularidad del riego en el sistema.

La distribución de los recursos superficiales del canal San Pedro se realiza por medio de cuatro marcos partidores, tres de los cuales están ubicados en el mismo canal y, el otro, en un canal derivado. La partición de estos marcos no es continua, pues llevan compuertas en sus ramas derivadas.

La ubicación de estos marcos, los canales a que dan origen y los porcentajes de partición se indican en el Cuadro 3.2.3-1.

Cuadro 3.2.3-1

Características de los marcos canal san pedro

Marco	Ubicación	Canal de	Rama	Canal	% de
-------	-----------	----------	------	-------	------

		Origen			partición
1	Km 4,600 del Canal San Pedro	Coyo	Entrante	San Pedro	100,00
			Izquierda	San Pedro	66,66
			Derecha	Coyo	33,34
2	Km 7,490 del canal San Pedro	Solor Uno	Entrante	San Pedro	100,0
			Derecha	San Pedro	50,0
			Izquierda	Solor Uno	50,0
3	Km 8,245 final del canal San Pedro	Solor 2 y Cucuter	Entrante	San Pedro	100,0
			Izquierda	Solor 2	50,0
			Derecha	Cucuter	50,0
4	Canal derivado del canal San Pedro en el Km 3,154	Estanque y Turbina	Entrante	Derivado del San Pedro	100,0
			Izquierda	Estanque	30,0
			Derecha	Turbina	70,0

Fuente: Diagnóstico y Propuesta de Fomento a la Agricultura Regada en la II Región (CNR, 2000)

Con respecto a los sectores altos de riego del río San Pedro, aguas arriba de Cuchabrachi, en los sectores de Río Grande, Peñaliri y San Juan, no existe distribución, sino que esos regantes, usan toda el agua y todo el tiempo que desean, extrayendo el caudal que les permite los canales y captaciones rústicas que hacen en el río.

La razón principal de este sistema de turnos, que se mantiene vigente desde antaño, probablemente se deba a que los recursos del río son bastante escasos y de mala calidad, con gran contenido de sales, lo que provoca un alto requerimiento de agua de lavado de suelos, demanda que se satisface solamente provocando “golpes de agua”, o inundaciones al terreno, las que solamente pueden efectuarse por períodos cortos de tiempo.

3.2.4. Diagnóstico Detallado por Canales Sector Catarpe

3.2.4.1. Canal Cuchabrache

a) Características Principales

Este canal es el primer canal en el sector de Catarpe, es un canal excavado en tierra, que capta sus aguas desde el antiguo canal Matriz San Pedro, con compuerta de “saca y pone”, es decir, sin regulación, por la ribera derecha del río. Mide aproximadamente 650 m de longitud y entrega sus aguas directamente a unas 12 ha pertenecientes a 8 regantes. Es utilizado únicamente para riego. Tiene una capacidad aproximada de 100 L/s. El antiguo canal matriz fue destruido por las últimas crecidas del río entre Cuchabrache y Quitor, pero mantiene una compuerta frontal de captación, con volante, que hoy sirve para alimentar al canal, ó devolver las aguas al río. Esta compuerta es poco operativa, por cuanto su tamaño impone que sea manejada por más de un persona. La solución sería cambiarla por dos de tamaño menor, construyendo un vano central. Las entregas a predio son directas y funcionan con compuertas que trabajan a turno.

b) Bocatoma

La bocatoma de este canal fue completamente destruida el año 2012 con las crecidas. Actualmente, para llegar a las compuertas de captación se construye una ataguía en la misma zona donde estaba ubicada, para desviar el río y que entre al canal, tal como se muestra en la Figura 3.2.4.1-1. Esta se construye fácilmente con pala o máquina, dependiendo de cómo quedó el río después de la última crecida. Se encuentra en las coordenadas E=582.037; N=7.475.470.

c) Problemas

Debido a que no existe bocatoma y como utilizan una ataguía para desviar el río, cada vez que hay una crecida por muy pequeña que sea el canal queda sin riego, pues el agua la destruye inmediatamente, entonces nuevamente hay que traer máquinas para poder arreglar. El problema que trae esto es que cada vez se hace más complicado desviar el agua al canal, porque el canal va socavando y el río va disminuyendo en cota, de modo que hay que mover la toma aguas arriba para poder desviar o hacer una gran pared de tierra para poder lograr desviar el agua. Este constante trabajo trae muchos gastos para los regantes y la municipalidad de San Pedro, además de la preocupación por no poder regar los predios y correr riesgo de perderlos.

figura 3.2.4.1-1

TOMA CANAL CUCHABRACHI



Fuente: Equipo Consultor.

d) Soluciones

Por su ubicación, la barrera de captación deberá seguir siendo rústica, pero se requeriría de:

- Una obra de captación más adecuada, con control de las aguas, pudiéndose aprovechar parte de las obras existentes, pero cambiando la compuerta frontal por dos menores.
- Completar los revestimientos del canal.

3.2.4.2. Canal Patilla

a) Características Principales

Este canal es el segundo canal en el sector de Catarpe y es el único que riega todo Catarpe por la ribera izquierda. Está revestido en un 90% en albañilería de piedra y mide 2,35 km de longitud y su sección es de 50x40 cm. El revestimiento se encuentra en regular estado, presentando algunas filtraciones importantes. Es utilizado únicamente para riego y riega aproximadamente 13,6 ha. Tiene una capacidad aproximada de 100 L/s. Posee buenas compuertas construidas de acero y volante manual, sin embargo algunas entregas no tienen compuerta. En las Figura 3.2.4.2-1 a la 3.2.4.2-2 se aprecian algunas fotografías del canal.

Son del orden de 32 regantes que se turnan durante 5 días. Riegan 2 ½ horas por hectárea cada 16 a 17 días. Normalmente va a mitad de capacidad. Cada regante podría captar toda el agua si el canal fuera lleno. El canal se encuentra protegido del río por barrera de gaviones, que ha funcionado bien durante las últimas crecidas.

b) Bocatoma

Al igual que el canal cuchabrachi este canal no tiene bocatoma, el agua es desviada del río haciendo un taco con máquina, como se aprecia en la Figura 3.2.4.2-3. Se encuentra en las coordenadas E= 582.001; N= 7.475.280.

c) Problemas

Presenta también el problema de una captación con barrera rústica, pero no se recomienda una de carácter definitivo mientras no se defina la solución integral con un embalse. Tiene problemas con un desarenador tapado que es necesario rehabilitar y también requiere de reparar los revestimientos. Tiene también algunos ramales sin revestir.

d) Soluciones

- Construir obras de control en la captación
- Revestir algunos ramales
- Reparar los revestimientos del matriz
- Rehabilitar el desarenador

FIGURA 3.2.4.2-1
CANAL PATILLA COMPUERTA DE DESAGÜE AL RÍO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.4.2-2
CANAL PATILLA REVESTIDO Y COMPUERTA DE ACERO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.4.2-3
TOMA DEL CANAL PATILLA



El desvío número 1 es que se utiliza actualmente. El desvío número 2 es el que se utilizaba antes que el río desviara su curso.

Fuente: Equipo Consultor.

3.2.4.3. Canal Naranjo

a) Características Principales

El canal Naranjo es un canal pequeño que riega solamente a la familia Siares, aproximadamente 1 ha. Capta en el río por la ribera derecha, sin obras de control por lo que las crecidas ingresan por el canal y lo destruyen. El canal está revestido en un 100% con hormigón.

b) Bocatoma

Al igual que los canales anteriores no tiene bocatoma, el agua es desviada del río haciendo un taco con máquina, como se aprecia en la Figura 3.2.4.3-1. Se encuentra en las coordenadas E= 581.753; N= 7.474.001.

FIGURA 3.2.4.3-1
TOMA DEL CANAL NARANJO



Fuente: Equipo Consultor.

c) Problemas

Similar al resto de los canales, la bocatoma fue destruida por el paso de la crecida del río.

d) Soluciones

Se debe proyectar una bocatoma más protegida y con control, que evite el ingreso de las crecidas al canal y su destrucción.

3.2.4.4. Canal Catarpe

a) Características Principales

En canal Catarpe es una especie de derivado del canal Patilla. Está revestido con hormigón armado y se encuentra en condiciones buenas. Es utilizado únicamente para regar predios productivos. Está ubicado en la ribera izquierda del río. Tiene una zona de riego de 9,0 ha aproximadamente y mide 850 m.

b) Bocatoma

Este canal no posee bocatoma propiamente tal ya que es la continuación del canal patilla.

c) Problemas

No presenta mayores problemas, excepto problemas puntuales de filtraciones.

d) Soluciones

Mejoras puntuales de los revestimientos.

3.2.4.5. Canal Tambillo

a) Características Principales

El Canal Tambillo capta por ribera derecha mediante barrera rústica que desvía las aguas a una canalización del río que las lleva al canal, que es en tierra y luego en hormigón, recientemente construido por la DOH. Tiene obras de captación y descarga con compuertas regulables, en buen estado. Canal continúa por ladera de cerro y el problema con los desprendimientos se produce por unos 2 km más o menos. Riega con entrega directa a 8 predios aproximadamente, con una superficie total de 12 ha.

b) Bocatoma

Al igual que los canales anteriores no tiene bocatoma, el agua es desviada del río haciendo un taco con máquina, como se aprecia en la Figura 3.2.4.5-1. Se encuentra en las coordenadas E=581.241; N= 7.473.193.

c) Problemas

Similar al resto de los canales, la bocatoma fue destruida por el paso de la crecida del río. Además de lo anterior, la socavación del río hace que disminuya en cota, de modo que

cuando ocurren crecidas, la captación hay que hacerla cada vez mas aguas arriba para poder tener flujo gravitacional.

Aparte de la situación anterior, que es común a todos los canales que captan en el río, su gran problema es la conducción a pie de un cerro muy empinado que, con cada lluvia y sismo, sufre desprendimientos que caen al canal y lo tapan.

d) Soluciones

En consideración que el canal de aproximación a las compuertas de captación y descarga ha sido recientemente mejorado, se propone solamente tapar con losetas unos 2 km de canal para evitar su destrucción a causa de los desprendimientos del cerro.

FIGURA 3.2.4.5-1
TOMA DEL CANAL TAMBILLO



Fuente: Equipo Consultor.

3.2.4.6. Canal Bellavista

a) Características Principales

El Canal Bellavista entrega sus aguas a una sola persona, Sr, Gerardo Cruz, y las capta desde el tranque Guachar vía canal matriz San Pedro, pasando por predio de Sra. Antonia Córdova y cruzando el río por badén, o canalización. Después, tiene una toma y está revestido en hormigón armado.

El canal bellavista es un canal construido en hormigón armado en muy buenas condiciones. Está ubicado en la ribera derecha del río. Tiene una capacidad de 140 L/s y riega unas 3,5 ha aproximadamente.

b) Bocatoma

Este canal, igualmente, no tiene una bocatoma, hacen la toma del agua por medio de una ataguía. Se encuentra en las coordenadas E=580.059; N=7.470.204.

c) Problemas

Similar al resto de los canales, la bocatoma fue destruida por el paso de la crecida del río, por lo que hoy no capta en el río.

d) Soluciones

Construir una toma directa, más permanente y un cruce del río entubado, similar al de Quito.

3.2.4.7. Canal Guachar

a) Características Principales

El canal Huachar es el canal que toma el agua del río para entregarla al tranque Guachar, el cual, aguas abajo entrega las aguas al canal matriz San Pedro. Tiene una longitud de 480 m hasta el tranque. Está ubicado en ribera izquierda del río. Está construido de hormigón armado en sus inicios y luego mampostería de piedra. Posee un desarenador en la entrada. Este canal es sumamente importante puesto que es el que alimenta el riego de todo San Pedro.

b) Bocatoma

Actualmente sin bocatoma, solo existe un taco de piedras y tierra para desviar el río y poder captar agua. Se encuentra en las coordenadas E= 580.318; N= 7.470.611.

c) Problemas

La bocatoma de este canal sufre los mismos problemas que la mayoría de los canales de Catarpe, cada vez que hay una crecida queda sin riego pues el río se lleva el taco de piedras que desvía el agua. Además el problema que trae la socavación del río que hay que hacer la toma cada vez más arriba del punto anterior para poder captar el agua gravitatoriamente.

d) Soluciones

Por la magnitud de este canal, se justificaría una toma con barrera permanente, con compuertas y obras de control, que incluyan captación, desarenación y descarga. Sin embargo, esto no se requeriría si se construye el embalse y una obra de entrega canalizada o entubada que lleve las aguas directamente del embalse al canal.

3.2.5. Diagnóstico Detallado por Canales Sector San Pedro

3.2.5.1. Canal Matriz San Pedro

a) Características Principales

El Canal San Pedro es el canal matriz que riega el 90% de todo el pueblo de San Pedro de Atacama. Es un canal de suma importancia y vital para el pueblo. Es utilizado para usos de riego de predios y domésticos, así como también para bebedero de animales. Comienza en el estanque Guachar ubicado en la ribera izquierda del río San Pedro y su trazado completo, incluyendo los derivados más importantes, se extiende por unos 27 km, el canal tiene una sección trapezoidal, está construido en mampostería en la mayoría de su desarrollo. Presenta también, tramos en hormigón en donde la sección es cuadrada.

b) Bocatoma

EL canal San Pedro no posee bocatoma que toma agua directamente del río, como se explicó anteriormente, el canal Guachar toma agua del río y las deposita en el tranque Guachar y este tranque es el que alimenta el canal San Pedro.

c) Problemas y Soluciones

El Canal se encuentra en buen estado a excepción de algunos lugares que hay que reparar la mampostería. También se han detectado 10 puntos en donde se hallaron problemas críticos los cuales se describen a continuación:

Atravieso de quebrada (1). En este punto, cuando hay crecidas, el agua de la quebrada cae al canal, pero cuando es mucha agua el canal rebalsa y el pasa por sobre éste inundando el sector de Morro Blanco, como se muestra en la Figura 3.2.5.1-1. Además las aguas de la quebrada arrastran sedimentos hacia el canal atascándolo. (Coordenadas E=581.468; N=7.467.791)

Para evitar dichos problemas se debería proyectar una obra de protección que permita el paso del agua sobre el canal, directamente a un desagüe al río.

**FIGURA 3.2.5.1-1
PROBLEMA PUNTO 1 CANAL SAN PEDRO**





Fuente: Equipo Consultor.

Puente de altura insuficiente (2). Existe un puente de hormigón que permite el paso de personas y/o animales de un costado al otro del canal. El problema del puente es que la cota de fondo de su loza es menor a la mayor cota del canal (ver Figura 3.2.5.1-2), por lo tanto, cuando el flujo en el canal alcanza la loza del puente, esta funciona como una barrera, que peralta el flujo hacia aguas arriba y provoca desbordes a predios productivos. Para solucionar este problema se debe levantar el puente a una cota mayor que la máxima del canal.

FIGURA 3.2.5.1-2
PROBLEMA PUNTO 2 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Caída de piedras al Canal (3). En este punto el canal recibe constantemente la caída de piedras de su ribera izquierda que presenta materiales sueltos en un talud muy pronunciado, como se observa en la Figura 3.2.5.1-3. (Coordenadas E=581.452; N=7.467.803)

Se propone como solución a este problema es proteger el talud con hormigón proyectado, ó bien la instalación de losetas para tapan el canal.

FIGURA 3.2.5.1-3
PROBLEMA PUNTO 3 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Canal dañado (4). El canal presenta daños en la mampostería de su muro derecho (Ver Figura 3.2.5.1-4). Se debe reparar el tramo.

FIGURA 3.2.5.1-4
PROBLEMA PUNTO 4 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Curva mal diseñada (5). El agua se desborda debido a que el diseño no contempla el peraltamiento del flujo por efecto de la curva del canal tal como se muestra en la Figura 3.2.5.1-5. Este problema trae consigo tremendas inundaciones en los predios y casas que hay abajo. La solución propuesta es que se debe levantar el muro por donde se desborda el canal. (Coordenadas E=581.356; N=7.467.866)

Por otra parte, el pretil de contención del canal se encuentra en mal estado en el sector de la curva (Figura 3.2.5.1-6) y hacia el sur de ella (3.2.5.1-7), probablemente por los desbordes del canal. Se debe reforzar el pretil o construir muro de contención de al menos 12 m en la curva y extender la protección del pretil con otro muro de contención de 20 m al sur.

FIGURA 3.2.5.1-5
PROBLEMA PUNTO 5 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.5.1-6
PROBLEMA PUNTO 5 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.5.1-7
PROBLEMA PUNTO 5 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Atravieso de quebrada (6). Existe una quebrada lateral (Ver Figura 3.2.5.1-8) que descarga sus aguas en el canal y arrastra sedimentos que estancan este punto. Además, cuando hay crecidas grandes, el agua cruza el canal y afecta predios cultivados y casas. (Coordendas E= 581.481; N= 7.468.224)

Para evitar dichos problemas se debería proyectar una obra de protección que permita el paso del agua sobre el canal y que luego sea conducida hacia un lugar seguro.

FIGURA 3.2.5.1-8
PROBLEMA PUNTO 6 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Atraveso de quebrada (7). En la Figura 3.2.5.1-9 se aprecia el efecto del paso del agua sobre el terreno. Igual que en el punto anterior el canal recibe los sedimentos arrastrados por las aguas de la quebrada. (coordenadas E=581.469; N=7.468.087)

La solución es proyectar una obra de protección del canal que permita el paso del agua sobre el canal.

FIGURA 3.2.5.1-9
PROBLEMA PUNTO 7 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Desborde de canal (8). Se aprecia, en la Figura 3.2.5.1-10, que el canal presenta un desborde de agua en su costado derecho, porque su muro se encuentra dañado. Se debe realizar el mejoramiento del tramo en mal estado.

FIGURA 3.2.5.1-10
PROBLEMA PUNTO 8 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

Laguna Chulacao (9). Durante las crecidas el sector conocido como laguna Chulacao (Ver Figura 3.2.5.1-11) descarga sus aguas al canal San Pedro sobrepasando totalmente la capacidad del canal y además arrastrando sedimentos que se embancan en su fondo. Este problema ocurre todos los años y trae consigo inundaciones a predios cultivados y casas. Es sumamente importante arreglar esta zona, sin embargo diseñar un desagüe desde este punto al río sería demasiado caro ya que está muy alejado y habría que expropiar predios productivos de modo que la solución propuesta es que se debe aumentar la capacidad del canal para que pueda tomar estas aguas y conducir las hasta el punto (5) en donde se diseñará un desagüe al río. Ver Figura 3.2.5.1-12 (coordenadas E= 581.448; N=7.468.373)

FIGURA 3.2.5.1-11
PROBLEMA PUNTO 9 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.5.1-12
PROBLEMA PUNTO 9 CANAL SAN PEDRO



En celeste se indica la “laguna” chulacao, en rojo el tramo que habría que aumentar la sección del canal para poder tomar las aguas de esta laguna y la flecha celeste es el punto de descarga al río.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Desborde del canal (10). En este sector el canal se desborda por su lado derecho desde la compuerta al norte, unos 60 m, debido a las crecidas y al cierre de la compuerta. Se debe aumentar la capacidad del canal. Ver Figura 3.2.5.1-13 y 3.2.5.1-14. Coordenadas E=580.336; N=7.467.679

FIGURA 3.2.5.1-13
PROBLEMA PUNTO 10 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

FIGURA 3.2.5.1-14
PROBLEMA PUNTO 10 CANAL SAN PEDRO



Fuente: Equipo Consultor.

3.2.5.2. Canal Solor

a) Características Principales

El canal Solor es la continuación del Canal San Pedro. No se considera un canal matriz propiamente tal ya que no toma las aguas del río directamente, pero si es un canal muy importante ya que riega los Ayllus de la parte sur-izquierda de San Pedro de Atacama. Sin embargo de igual manera se hizo un catastro de sus obras y un diagnóstico de su estado. Comienza en el marco partidor mamani y está construido en hormigón armado la mayor parte de su trayecto. Aguas abajo se subdivide en muchos canales más, como se dijo anteriormente, que riegan los Ayllus de Larache, Solcor, Solor, Poconchile y Beter. Se extiende al menos por 8 kilómetros sin incluir los subderivados. Tiene una capacidad de 100 a 150 L/s.

b) Problemas y Soluciones

Este canal no tiene mayores problemas, sin embargo se deben reparar ciertos tramos el revestimiento, mejorar algunas compuertas con pintura y/ó cambiar tapas.

3.2.5.3. Canal Coyo

a) Características Principales

El canal Coyo es la continuación del lado derecho del Canal San Pedro. Comienza en el marco partidor mamani y está construido en hormigón armado la mayor parte de su trayecto. Aguas abajo se subdivide canales que riegan los Ayllus de Coyo, Sequitor, Yaye y Tulo. Se extiende al menos por 6 kilómetros sin incluir los subderivados. Tiene una capacidad de 100 a 150 L/s

b) Problemas y Soluciones

El canal se encuentra en buenas condiciones y no posee mayores problemas, algunos tramos que deben ser reparados, mejorar algunas compuertas.

3.3. *Potencialidades y Limitaciones del Desarrollo Productivo*

3.3.1. Aspectos Generales

La ubicación del área de estudio respecto a los distritos agroclimáticos definidos por INIA (1989), localiza en forma aproximada la influencia del distrito Potrerillos. Este agroclima presenta condiciones de temperatura y de acumulación de días grado, apropiados para el cultivo de cereales, praderas de alfalfa y papas.

Según el estudio "Alternativas de Manejo del Río San Pedro" (DOH, 2000), existen parámetros limitantes para el desarrollo agrícola, como la alta tasa de evaporación, fuertes vientos y heladas. Sin embargo, el clima tiene un potencial agrícola bastante diversificado si se considera que el riesgo de heladas puede ser disminuido considerablemente si se siembra en el período adecuado. Este período es octubre - noviembre para los cultivos más sensibles: poroto, papa, maíz, tomate, zapallo, pimentón. En el caso de los cultivos más resistentes a las heladas, como los cereales ajo y cebolla, la siembra puede realizarse unos dos meses antes (agosto - septiembre).

Este mismo estudio señala que un 41,9 % de los suelos pertenece a la Clase II de Capacidad de Uso y un 42,3 % a la Clase III, por lo que se concluye que presentan una buena aptitud agrícola, además de las características agroclimáticas.

Se debe considerar que una evaluación de potencial productivo necesariamente debe abordar la disponibilidad de recurso hídrico. En lo referente a esta área de estudio el agua es un factor limitante. La infraestructura de canales y tranques de acumulación y el nivel tecnológico aplicado al riego son precarios.

Existen hoy serias desventajas en comparación con las regiones vecinas, tales como calidad y cantidad de suelos agrícolas, costo y disponibilidad de agua de riego, escasez de profesionales y técnicos del área, falta de apoyo financiero, y retraso tecnológico en relación a otros territorios con mayor vocación agrícola que Antofagasta.

El estudio “Agenda de Innovación Agraria Territorial, Región de Antofagasta” desarrollado por del FIA (2009), presenta una visión general de las limitantes productivas en la zona en cuanto a varios aspectos relacionados con el desarrollo de la agricultura, los cuales se detallan en los siguientes puntos:

3.3.2. Factores Limitantes

3.3.2.1. Ámbito Técnico/Productivo

Los factores limitantes transversales de innovación en el ámbito técnico-productivo se agruparon en torno a las siguientes temáticas:

- Falta de programas de transferencia tecnológica apropiados a la realidad sociocultural de la agricultura y ganadería regional, que faciliten procesos continuos de conocimiento y aprendizaje.
- Baja presencia de asesores técnicos calificados.
- Escasa integración de los organismos privados y públicos para el apoyo a la investigación aplicada y la validación de tecnología para la cadena de cada rubro.

Se advierten deficiencias en el manejo primario de los cultivos, como uso de variedades locales de baja productividad y calidad, manejo inapropiado de plagas y enfermedades, uso ineficiente del agua, entre otros factores. Junto con lo anterior, se reporta una asesoría técnica que utiliza metodologías no adecuadas para la realidad sociocultural de los agricultores y ganaderos de la zona. Por último, se debe recalcar que la escasa disponibilidad de recursos hídricos condiciona severamente el desarrollo del sector.

3.3.2.2. Ámbito Mercado/Comercialización

En la Región, con una actividad agrícola y ganadera de subsistencia, el comportamiento del mercado y las acciones de comercialización presentan un alto grado de informalidad, lo que se refleja en una alta proporción de agricultores sin iniciación de actividades y con un pobre conocimiento y compromiso con normas y protocolos de calidad y seguridad alimentaria, lo que limita fuertemente sus expectativas de alcanzar mercados más exigentes.

Lo anterior indica que los requerimientos de innovación en este ámbito, se relacionan con la generación de capacidades en aspectos necesarios para la inserción de la industria agropecuaria dentro del mercado formal.

Bajo este contexto, las principales limitantes de innovación se relacionan a la falta de identificación de nichos de mercado para los productos agropecuarios de la Región, falta de incorporación de criterios de producción limpia en los sistemas productivos, y a la falta de definición de una estrategia de marketing y agregación de valor para los productos agropecuarios de la Región.

La generación de una oferta sostenible y competitiva en el tiempo está condicionada a la clara identificación de la demanda que expresa las necesidades del mercado, tales como volúmenes, estacionalidad, calidad del producto, sistemas de transporte, almacenamiento, distribución y venta. La identificación de nichos de mercado permitirá definir los requerimientos técnicos y administrativos que los productores agropecuarios deben satisfacer para mejorar o incrementar los ingresos del sector.

Por otra parte, la nula promoción y agregación de valor que presenta la mayor parte de los productos agropecuarios generados en la Región, determina que los ingresos generados por ventas sean escasos y de bajo monto, completando un cuadro de bajo desarrollo agrícola, común a todos los territorios analizados.

3.3.2.3. Ámbito Gestión/Asociatividad

La principal limitante de innovación en este ámbito, se relaciona con la necesidad de fortalecer la capacidad de cooperación y coordinación entre productores, lo que facilitaría su vinculación con otros agentes de la cadena (organismos e instituciones privadas y públicas de investigación, consultoras y asesores técnicos, organismos de apoyo técnico y de apoyo financiero, entre otros). Lo anterior es posible lograr superando la falta de asociatividad y gestión que existe en ambos territorios.

Otro factor importante lo constituye la desconfianza existente entre los propios productores, lo que afecta la capacidad asociativa y la voluntad de trabajar en torno a un objetivo común. En este sentido, se entiende por asociatividad el grado de organización que se genere entre los propios productores, donde probablemente organizarse en función de objetivos sea un primer paso para alcanzar un grado mayor de confianza entre sus integrantes, y así lograr ventajas competitivas cuando se realicen emprendimientos en la comercialización de sus productos o la compra conjunta de insumos.

Esta limitante afecta directamente la capacidad de innovación, ya que al no disponer de una organización de base sólida, se obstaculiza el avance del desarrollo de los ámbitos técnico, productivo, de administración y comercialización. Sin embargo, la velocidad y dimensión

de avance de la asociatividad entre los productores debe ser abordada en una primera etapa cumpliendo objetivos muy específicos y que sirvan para reunir y congregar los productores en torno a una acción muy concreta. De este modo, se generarán confianzas y se avanzará hacia niveles superiores de organización.

Las limitantes de innovación para este ámbito son la falta de asociatividad entre productores para enfrentar los procesos comerciales y los bajos volúmenes de producción generando una oferta no competitiva.

3.3.3. Lineamientos

3.3.3.1. Aspectos Generales

El estudio FIA (2009) presenta una visión general de los principales lineamientos estratégicos de desarrollo y propuestas de acción en la zona y aspectos relacionados, los cuales se detallan a continuación:

3.3.3.2. Ámbito Técnico/Productivo

Los lineamientos transversales en el ámbito técnico-productivo más importantes para la Región son la implementación de programas de transferencia tecnológica apropiados a la realidad sociocultural de la agricultura y ganadería regionales, los programas de capacitación para mejorar competencias específicas de asesores técnicos y el fortalecimiento de la integración de organismos privados y públicos para el apoyo a la investigación aplicada y validación de tecnología para la cadena de cada rubro.

Con lo anterior, se busca revertir situaciones de deficiencias en el manejo agronómico de los cultivos, generar capacidades técnicas locales y fortalecer la investigación aplicada para el desarrollo e innovación.

3.3.3.3. Ámbito Mercado/Comercialización

Los lineamientos de innovación en este ámbito se relacionan con la generación de capacidades para insertar adecuadamente la industria agropecuaria en los mercados local, regional y nacional.

- Caracterizar demanda y nichos específicos de mercado para los productos agropecuarios de la Región
- Incorporar criterios y estrategias de producción limpia en los sistemas productivos

- Definir estrategias de promoción y agregación de valor a los productos agropecuarios de la Región

3.3.3.4. Ámbito Gestión/Asociatividad

- Fortalecer la asociatividad entre productores para enfrentar los procesos comerciales
- Fomentar las economías de escala en la actividad productiva

4. Trabajos de terreno

4.1. Trabajos topográficos

4.1.1. Restitución Aerofotogramétrica

4.1.1.1. Aspectos Generales

Se realizó la Red Geodésica Principal del Proyecto Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento del Sistema de Riego, San Pedro Atacama, Región de Antofagasta., solicitado por la Comisión Nacional de Riego (CNR). Los trabajos solicitados requerían realizar la monumentación de veinte monolitos medidos con el sistema de posicionamiento satelital GPS. A continuación se entregan los resultados de la Red Geodésica Principal de las mediciones GPS efectuadas.

Todo esto se efectuó según las normativas vigentes por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) 2011.

4.1.1.2. Objetivo General

Determinar las coordenadas Norte, Este y Cota de los veinte monolitos materializados en terreno para efectos del estudio solicitado. Estas coordenadas se enmarcan dentro de la Red Geodésica GPS para el Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento del Sistema de Riego, San Pedro Atacama, Región de Antofagasta.

4.1.1.3. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del estudio son:

- Monumentar veinte monolitos en terreno a objeto de establecer la Red Geodésica Principal GPS.
- Realizar las mediciones GPS Geodésicas Diferenciales de las líneas bases que definen los vértices, Datum de Origen Geodésico SIRGAS (WGS-84).
- Calcular a través del programa de Postproceso los resultados estadísticos de las líneas bases GPS y posteriormente realizar el cierre o ajuste compensando de las poligonales geodésicas.
- Determinar las Coordenadas Geográficas/UTM de los vértices través del sistema de posicionamiento GPS Diferencial, en la proyección Universal Transversal de Mercator UTM Sur Huso 19.
- Entregar las coordenadas UTM SIRGAS (Norte, Este y Cota) de los vértices involucrados.
- Todos los trabajos se ajustan a las Normativas Técnicas Topográficas ETT-DOH año 2011 según lo solicitado por la Comisión Nacional de Riego (CNR).

El informe completo de la restitución Aerofotogramétrica y sus anexos se encuentran en el Volumen 2 de este Estudio. En los Cuadros 4.1.1.3-1 y 4.1.1.3-2 se muestra un resumen de las coordenadas más importantes.

CUADRO 4.1.1.3-1
COORDENADAS UTM DE RED DE CUADRILATEROS SAN PEDRO

RED VINCULACION IGM SPAT			
Vértice	Norte (m)	Este (m)	Altura Ortométrica (m)
IGM SPAT	7.465.631,154	577.265,590	2.603,667
SPA8	7.475.304,322	581.905,795	2.543,788
SPA12	7.483.114,207	582.078,937	2.697,761

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.1.1.3-2
COORDENADAS UTM DE RED DE CUADRILATEROS SAN PEDRO

Vértice	Norte (m)	Este (m)	Altura Ortométrica (m)
SBAR1	7.487.009,962	580.279,463	2.836,257
SBAR2	7.486.998,762	580.548,510	2.847,526
SBAR3	7.488.142,508	579.152,928	2.992,917

SBAR4	7.488.371,878	579.295,662	2.951,581
SP18	7.461.468,738	584.947,342	2.393,085
SPA1	7.463.714,137	579.101,762	2.413,627
SPA2	7.462.279,345	579.529,430	2.400,405
SPA3	7.466.567,218	581.193,096	2.455,386
SPA4	7.466.982,563	581.777,981	2.452,545
SPA5	7.470.412,585	580.220,777	2.479,504
SPA6	7.470.154,843	580.057,479	2.482,171
SPA7	7.475.145,535	582.077,896	2.544,483
SPA8	7.475.304,322	581.905,795	2.543,788
SPA9	7.478.956,967	581.704,131	2.595,883
SPA10	7.478.903,154	581.802,482	2.601,918
SPA11	7.483.034,247	582.618,236	2.684,487
SPA12	7.483.114,207	582.078,937	2.697,762
SPA13	7.460.986,609	583.427,823	2.392,446
SPA17	7.462.925,667	582.290,838	2.406,004
SPA18	7.464.353,948	583.553,821	2.410,513

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Topografía

Los trabajos topográficos consistieron en lo que se presenta en el Cuadro 4.2.1-1. Para poder realizar las campañas ordenadamente, los trabajos se desarrollaron en tres brigadas. En el Volumen II de este estudio se encuentra el completo informe de topografía y sus anexos correspondientes.

**CUADRO 4.1.2-1
RESUMEN DE TRABAJOS TOPOGRÁFICOS**

#	BRIGADA	TRABAJOS REALIZADOS TOPOGRAFIA
1	Nº 1,Nº2	Construcción de vértices poligonal base cada 6 km. pares intervisibles en 35 km.
2	Nº 1,Nº2	Medición en terreno poligonal base.
3	Nº 1,Nº2	Nivelación de vinculación a red IGM.
4	Nº2	Levantamiento de 160 perfiles transversales en el rio San Pedro.
5	Nº 1,Nº2	Levantamiento portal de entrada y salida túnel trasvasije en San Bartolo.
6	Nº 1,Nº2	Levantamiento 1/1000 trazado de faja de canalización de las aguas salinas del rio Salado.
7	Nº 1,Nº2	Levantamiento 1/1000 trazado de faja de canalización hasta las 6 bocatomas de los canales de riego.
8	Nº 2	Levantamiento de perfiles transversales cada 200 m. mas sus singularidades en 6 canales matrices.
9	Nº 3	Construcción vértices poligonal secundaria (visibles 500 m) 12 km por el río Salado y 35 km río San Pedro
10	Nº 3	Medición en terreno de poligonal secundaria.
11	Nº 3	Cálculo poligonal secundaria.
12	Nº 3	Nivelación de la poligonal secundaria

13	Nº 3	Levantamientos 1/1000 de alternativas de presa mas instalación de 4 PRs
14	Nº 3	Dos levantamientos 1/2000 de yacimientos mas instalación de 4 PRs
15	Nº 3	Levantamiento de 210 perfiles transversales rio Grande y 160 perfiles río San Pedro.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Prospecciones y ensayos

4.2.1. Sondajes

Con el fin de sustentar geotécnicamente la viabilidad del sitio elegido para la implantación de una presa se han realizado tres sondajes a rotación en el eje del muro. Los sondajes se realizaron uno en cada estribo del muro y uno al medio. Se realizaron ensayos tipo Lefranc para infiltración cada 5 m de profundidad y SPT en estratos de suelos finos. En el Anexo 4-1 se pueden encontrar los resultados de estos ensayos y las estratigrafías completas.

4.2.1.1. Sitio 1

En el Sitio 1 se realizaron 4 sondajes cuyas características se presentan en el Cuadro 4.2.1.1-1. En la Figura 4.2.1.1-1 se muestra la ubicación de estos sondajes.

CUADRO 4.2.1.1-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES

Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
S1 Estribo Derecho	7.480.193	582.641	20	0,0
S2 Central	7.480.090	582.696	40	0,0
S3 Estribo Izquierdo	7.480.058	582.703	20	0,0
S4 Estribo Derecho - Arriba	7.480.026	582.626	20	0,0

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 4.2.1.1-1
UBICACIÓN ESPACIAL SONDAJES SITIO 1



Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

4.2.1.2. Sitio 2

En el sitio 2 se realizó un solo sondaje, debido a los problemas que existían y explicados en el Acápite 4.2.1.4. Las características de este sondaje se muestran en el Cuadro 4.2.1.2-1 y su ubicación espacial en la Figura 4.2.1.2-1. A este sondaje se le aplicó ensayos de Lefranc, SPT, y Lugeon, los resultados están en Anexo 4-1 junto con su estratigrafía completa.

**CUADRO 4.2.1.2-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES.**

Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
S5Estribo Derecho Arriba	7.479.421	582.628	50	15,5

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.2.1.2-1
UBICACIÓN ESPACIAL SONDAJES SITIO 2**



Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

4.2.1.3. Ensayes en Terreno

A estos sondajes se le realizaron ensayos Lefranc, SPT, y Lugeon en terreno los cuales son enumerados en el Cuadro 4.2.1.3-1.

CUADRO 4.2.1.3-1
CANTIDAD DE ENSAYES REALIZADOS EN TERRENO

Sondaje	Lefranc	SPT	Lugeon
S1	4	4	-
S2	8	3	-
S3	4	5	-
S4	4	3	-
S5	5	3	2
Total	25	18	2

Fuente: Elaboración Propia.

En total se realizaron 25 ensayos Lefranc, 18 SPT y 2 Lugeon. Los resultados con mayor detalle de estos ensayos pueden ser encontrados en el Anexo 4-1 de este informe.

4.2.1.4. Criterios Adoptados para Ubicación y Profundidad de Exploración Recomendadas.

En general, se procedió a ubicar los sondajes de acuerdo con lo establecido en las Bases del Contrato, que en su numeral 5.2.1 solicitan la ejecución de 3 sondajes a rotación en cada una de las dos alternativas, dos en los empotramientos (1 en cada estribo) y uno en el centro para caracterizar la potencia de los rellenos aluviales presentes en la zona de fundación, el cual debe ser profundizado hasta encontrar la roca basal, penetrando en ella al menos 15 m, de modo de asegurarse que se trata de la roca basal y no de un gran bolón que se está cruzando.

Este criterio se ha estado aplicando en los últimos estudios de presas a nivel de prefactibilidad, y tiene por objetivo básico lograr dimensionar la presa con adecuada precisión, y de modo que quede asegurada su estabilidad estructural. Para verificar esta última, además de resistir con factores de seguridad apropiados las diferentes sollicitaciones a que se ve sometida la estructura. Entre estas últimas, se encuentran eventuales filtraciones que pueden producirse bajo la zona de fundación impermeable. Es por ello que llegar a la roca basal con la fundación de la presa, es el ideal para que no existan estas filtraciones, que por un lado constituyen una sollicitación más a la estructura, y por otro pueden significar pérdidas de agua no deseables.

Si no es posible llegar a la roca basal, porque está muy profunda, o porque no existe, o porque es antieconómico (casos de la presa El Bato y Puclaro, por ejemplo), es posible fundar a profundidades menores, asegurando la estabilidad de la estructura, bajo la condición de la filtración que se producirá. Es importante entonces, disponer de la información necesaria para evaluar estas filtraciones e incorporarlas al análisis. Dos son los factores importantes para ello: la permeabilidad del terreno bajo la fundación y la profundidad, o magnitud, de la “ventana” que existirá bajo el sello de la fundación impermeable y la roca.

Las filtraciones dependerán también de la altura de aguas de la presa, pudiéndose demostrar con modelos numéricos que las filtraciones producidas más o menos a profundidades equivalentes a la altura de aguas normales de la presa, dejan de ser relevantes. Esta condición está basada en el conocimiento que se tiene de las permeabilidades típicas de los rellenos aluviales en los ríos del país, que son conocidas y bastante parecidas.

Ahora bien, si el suelo de fundación es más impermeable, puede no ser necesario fundar a estas profundidades, sino que bastante más arriba (embalse Paloma, por ejemplo).

En el caso del embalse en el río Grande, con fines de control de crecidas, el nivel máximo normal de las aguas no sobrepasará los 20 a 25 m y el máximo eventual será de unos 35 m. Por otra parte, se pudo comprobar que los rellenos aluviales tienen un espesor variable entre unos 10 a 15 m. Bajo ellos y fuera del cauce, se ubica el suelo basal, que está constituido por materiales finos muy cementados, con aspecto de roca, que se pueden observar en ambas laderas y que corresponden a una sola conformación geológica que fue erosionada por las aguas abriendo el estrecho cauce del río en el sector.

Mediante la aplicación de los criterios descritos, en el sitio 1 se logró cumplir con el programa de prospecciones originalmente propuesto, llegándose incluso a 40 m de profundidad con el sondaje central, sin encontrarse la roca, pero confirmando que el suelo basal corresponde a los macizos que se observan en las laderas. En consideración a las permeabilidades encontradas la profundidad de la fundación impermeable no será más allá de unos 15 a 20 m, suponiéndose que bajo ella existirá la permeabilidad del terreno a esa profundidad en forma indefinida hacia abajo. Como situación anecdótica, justo al momento de estar en ejecución el sondaje central, vino la crecida del río, que terminó dando vuelta el camión con la sonda, al erosionar su base.

Por otra parte, el acceso al sitio 2 se complicó en demasía, por cuanto había que desarrollar un camino de acceso de unos 800 m por plena caja estrecha del río, que los operadores de las máquinas se negaron a ejecutar por el gran riesgo de derrumbes con la vibración de las máquinas que existía, que podía significar incluso la muerte de algún operador. Prefirieron llegar al lugar abriendo un camino de 800 m por la parte alta de la ladera derecha y luego abrir un camino de bajada al río. Esto se comenzó a ejecutar y solamente faltó abrir la bajada, es decir, no más de unos 3 a 4 días de trabajo, cuando se encontró la férrea oposición de los propietarios de los terrenos, Comunidad de Catarpe, por cuanto ello significaría un cambio ambiental importante e irreversible al entorno.

Se planteó esta situación de fuerza mayor al mandante, llegándose finalmente a acordar un cambio en el programa de prospecciones con sondajes, consistentes en la ejecución de dos sondajes de mayores profundidades en la parte alta de la ladera derecha, uno frente al sitio 1 y uno frente al sitio 2. La situación es lamentable, pues se pudo comprobar que el sitio 2 es bastante mejor, ya que en él sí aparece la roca, lo que se pudo verificar con el sondaje y con las prospecciones geosísmicas realizadas, así como de simples observaciones visuales. En todo caso, las prospecciones realizadas permitirán elaborar un muy buen perfil del suelo de fundación para lograr lo fines perseguidos de un adecuado prediseño, en ambos sitios.

4.2.2. Perfiles de Refracción Sísmica

Se realizaron perfiles de refracción geosísmica en la zona del muro. El objetivo de la investigación fue determinar la morfología del basamento subterráneo y las características estratigráficas de los suelos yacentes. Para ello se utilizó el método sísmico de refracción. Se realizaron en total 15 perfiles de 100 m cada uno, distribuidos en el sitio 1 y sitio 2.

La ubicación de estos perfiles se realizó según los siguientes criterios

- 1) En el valle, a lo largo de la caja del río de modo de cubrir toda la zona de fundación de la presa y cercanos a los sondajes de manera de eventualmente calibrarlos con posterioridad. En geosísmica, lo que se obtiene son velocidades de ondas, que pueden ser representativas de diferentes materiales, por lo que se utiliza el resultado del sondaje para asimilar al material correcto.
- 2) En las laderas, además de ubicarse al menos uno inmediato a los sondajes, se intentó formar una malla reticulada que proporcionara información global acerca de la continuidad del macizo hacia todos los costados en la zona frente al emplazamiento de la presa. Se debe mencionar también, que para lograr mejores resultados, la ubicación de los perfiles debe realizarse en sectores sin mayores quiebres de pendientes y manteniendo en lo posible una línea recta.

De acuerdo a estos criterios se ha establecido la ubicación de los perfiles tal como la muestran las Figuras 4.2.2.1-1 y 4.2.2.2-1.

El detalle de estos perfiles se encuentra en el Anexo 4-2 de este informe.

4.2.2.1. Sitio 1

Se realizaron 7 perfiles enumerados en el Cuadro 4.2.2.1-1 y se pueden observar en la Figura 4.2.2.1-1.

CUADRO 4.2.2.1-1
COORDENADAS PERFILES SITIO 1

Perfil N°	Punto Inicial		Punto Final	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
p9	582.696	7.480.034	582.670	7.480.131
p10	582.671	7.480.111	582.667	7.480.207
p11	582.681	7.480.040	582.665	7.479.947
p12	582.629	7.480.029	582.535	7.480.001
p13	582.573	7.480.128	582.566	7.480.030
p14	582.567	7.480.039	582.568	7.479.938
p15	582.605	7.479.944	582.623	7.480.039

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 4.2.2.1-1
UBICACIÓN ESPACIAL DE PERFILES SISMICOS SITIO 1



En verde los perfiles sísmicos realizados, en rojo el eje del muro. Las flechas celestes indican el curso del río.

Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

Los resultados de los perfiles se muestran en el Cuadro 4.2.2.1-2.

**CUADRO 4.2.2.1-2
RESULTADOS PERFILES SISMICOS SITIO 1**

	Perfil	E~1 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	E~2 ^{do} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~3 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~4 ^{to} est (m)	Veloc (m/s)
Sitio 1	9	2 - 5	465	10 - 11	1.350	>13 - 15	2.550		
	10	3	525	8 - 12	1.330	>11 - 15	2.450		
	11	3 - 4	500	7	1.715	>10 - 11	2.450		
	12	13 - 16	430	>13 - 16	1.680				
	13	1	340	4	800	5 - 14	1.150	>10 - 19	1.780
	14	1 - 2	400	1 - 2	880	6 - 16	1.100	>10 - 18	1.330
	15	1 - 2	465	3 - 5	760	9 - 11	1.050	>14 - 17	1.750

Fuente: Elaboración Propia.

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información inédita obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 4.2.2.1-3.

CUADRO 4.2.2.1-3
CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUELO

V_p(m/s)	Tipo de Material
250 - 700	Suelo superficial, finos, arcillas y otros
800 - 1.500	Suelos consolidación media, arcillas, rocas muy fracturadas
2.000 - 3.600	Rocas fracturadas a rocas sanas
-----	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: Elaboración Propia.

Las velocidades de rocas y suelos pueden variar en un rango amplio, estas variaciones dependen fundamentalmente del grado de meteorización en la que se encuentren.

Los materiales sedimentarios naturales como gravas, arenas, escombros de falda u otros también presentan un rango de velocidades amplio, los cuales dependerán fundamentalmente de su grado de consolidación, tamaño del grano, contenido de agua y edad geológica. Estos pueden variar aproximadamente entre 300 a 2600 (m/s).

4.2.2.2. Sitio 2

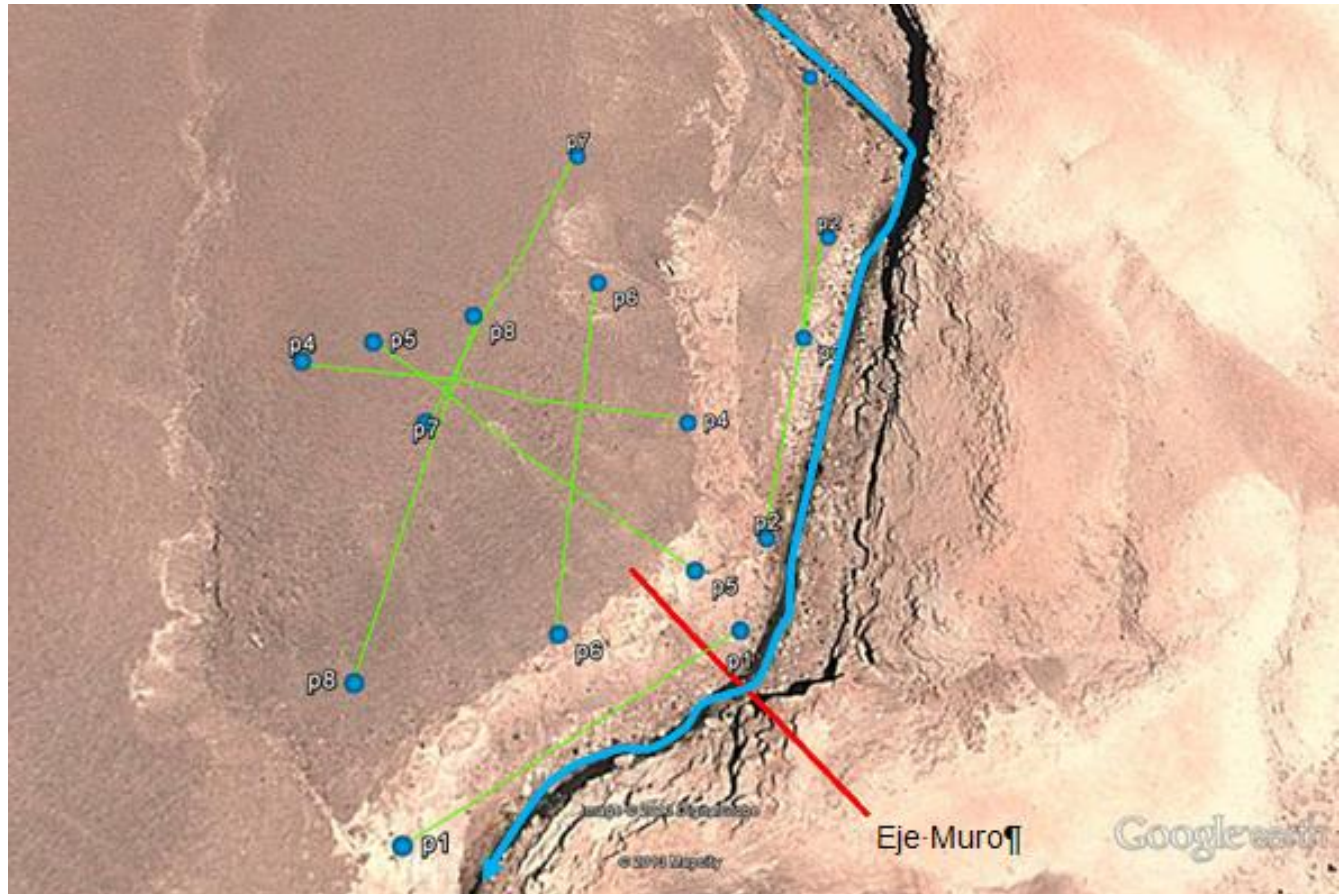
Se realizaron 8 perfiles enumerados en el Cuadro 4.2.2.2-1 y se pueden observar en la Figura 4.2.2.2-1.

CUADRO 4.2.2.2-1
COORDENADAS PERFILES SITIO 2

Perfil N°	Punto Inicial		Punto Final	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
p1	582.706	7.479.359	582.625	7.479.305
p2	582.712	7.479.385	582.734	7.479.476
p3	582.725	7.479.442	582.731	7.479.534
p4	582.591	7.479.420	582.691	7.479.416
p5	582.608	7.479.427	582.691	7.479.376
p6	582.659	7.479.356	582.667	7.479.458
p7	582.658	7.479.494	582.623	7.479.406
p8	582.633	7.479.437	582.611	7.479.342

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 4.2.2.2-1
UBICACIÓN ESPACIAL DE PERFILES SISMICOS SITIO 2



En verde los perfiles sísmicos realizados, en rojo el eje del muro.

Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

Los resultados de los perfiles se muestran en el Cuadro 4.2.2.2-2

CUADRO 4.2.2.2-2
RESULTADOS PERFILES SISMICOS SITIO 2

Sitio 2	Perfil	E~1 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	E~2 ^{do} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~3 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~4 ^{to} est (m)	Veloc (m/s)
	1	4	500	6	1.130	10 - 13	1.870	>20 - 23	3.330

**CUADRO 4.2.2.2-2
RESULTADOS PERFILES SISMICOS SITIO 2**

Sitio 2	Perfil	E~1 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	E~2 ^{do} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~3 ^{er} est (m)	Veloc (m/s)	Prof~4 ^{to} est (m)	Veloc (m/s)
	2	4 - 7	640	7 - 16	1.190	>14 - 20	2.830		
	3	1	300	13 - 15	1.540	>14 - 16	4.350		
	4	2	515	13 - 15	950	>15 - 17	2.560		
	5	1 - 4	590	2 - 7	950	>3 - 11	1.650		
	6	4 - 5	600	6 - 10	1.540	>10 - 15	3.590		
	7	2 - 4	600	7 - 19	100	>11 - 21	2.325		
	8	2 - 3	675	8 - 11	810	>11 - 13	2.490		

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 4.2.2.2-3
CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUELO**

V _p (m/s)	Tipo de Material
250 - 700	Suelo superficial, finos, arcillas y otros
800 - 1500	Suelos consolidación media, arcillas, rocas muy fracturadas
2000 - 3600	Rocas fracturadas a rocas sanas
-----	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.3. Análisis de Resultados Obtenidos

Se realizó una correlación entre los resultados obtenidos en los sondajes y los perfiles geosísmicos realizados en el Proyecto Mejoramiento de Regadío en San Pedro de Atacama y se puede concluir lo siguiente:

En el Sitio 1 se ejecutaron siete perfiles sísmicos, cuatro en el fondo de la quebrada y tres en el sector sur. En dicho sector se ejecutaron cuatro sondajes de rotación explicados ya en el acápite 4.2.1. Estos sondajes muestran una variedad de suelos sedimentarios cuyas características principales son:

- Sondaje 1 arenas limosas con estratos fuertemente cementados

- Sondaje 2 areniscas y gravas cementadas
- Sondaje 3 arena fuertemente cementadas, gravas con cantos redondeados
- Sondaje 4 bolones y gravas arenosas, areniscas fuertemente cementadas

En cuanto a la velocidad de las ondas longitudinales se pueden encasillar de la siguiente forma:

- a. Velocidades mayores de 2000 m/s se pueden asignar a areniscas y gravas cementadas (sedimentarias) en ningún caso es una roca competente > de 2800 m/s
- b. Velocidades menores de 2000 m/s son suelos con una consolidación deficiente (sedimentos de diferentes tipos).

En el Sitio 2 se ejecutaron 8 perfiles sísmicos y un sondaje. Este sondaje muestra diferentes tipos de suelos y de velocidades, $V_p > 2000$ m/s y de areniscas, gravas gruesas, bolones y otros normalmente cementados respectivamente hasta una profundidad cercana a los 40 m. A mayor profundidad muestra rocas de aspecto sedimentario. Son sedimentos consolidados o rocas del tipo ígnea, metamórfico o intrusivo. De todas formas si se correlaciona con las velocidades del sector, perfil sísmico 3, representa un material con buenas características geotécnicas.

En el Sitio 2 las velocidades de rocas con buenas características geotécnicas se muestran en el tercer estrato de los Perfiles 3 y 6.

En los perfiles adicionales en este sector muestran las mismas características geotécnicas que aquellas encontradas en el Sitio 1. En general, es posible inferir que los perfiles geosísmicos entregaron resultados bastante concordantes con los resultados de los sondajes.

4.2.3. Pozos de Exploración

4.2.3.1. Prospecciones en Sitios del Eje del Muro

Para complementar la exploración de los sitios de presa, se realizaron excavaciones de reconocimiento en los ejes de ambos muros. La estratigrafía completa se encuentra en el Anexo 4-3 y el álbum de fotos en Anexo 4-4. En el Cuadro 4.2.3.1-1 se observan las coordenadas y características de estas calicatas.

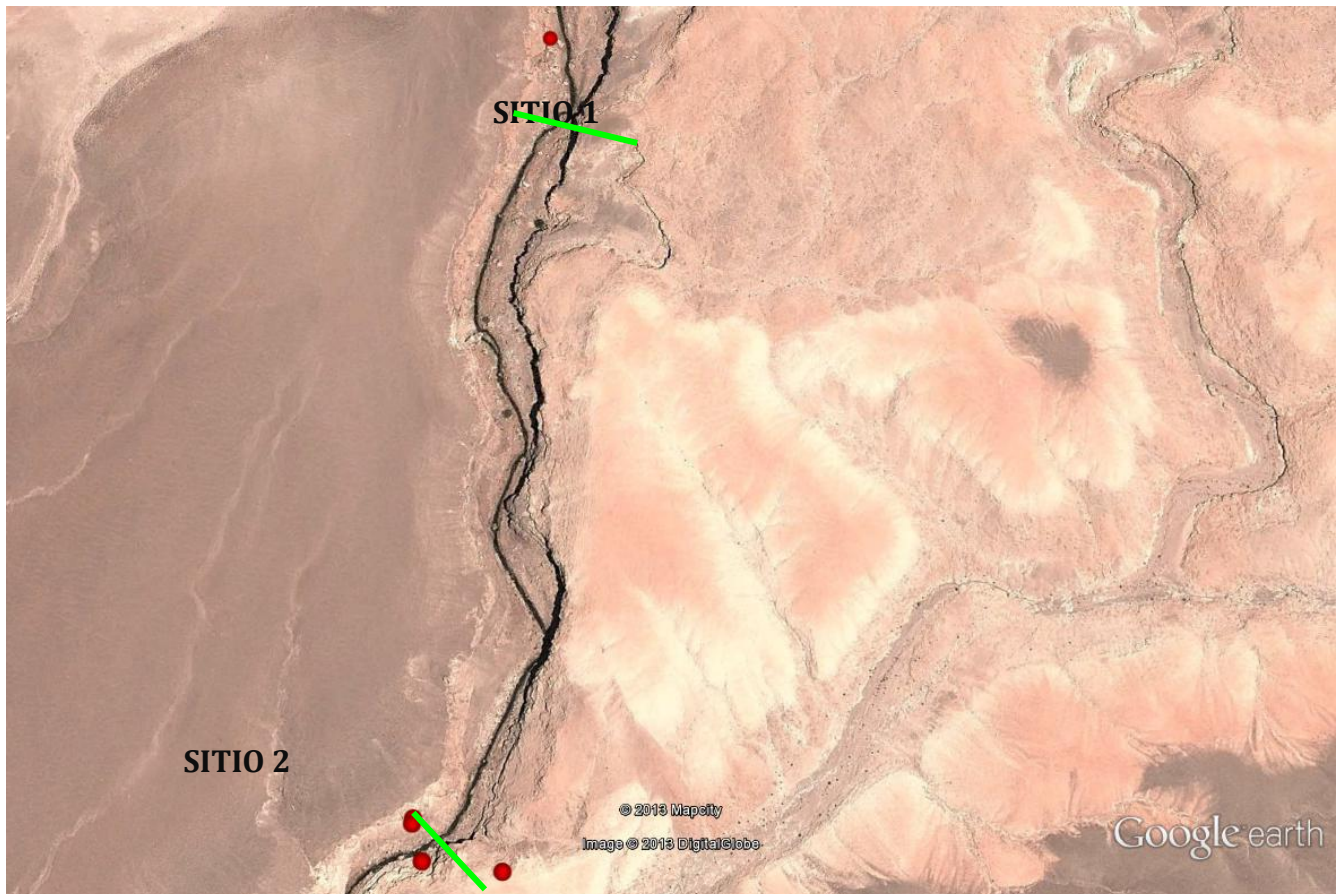
**CUADRO 4.2.3.1-1
PROSPECCIONES EN ZONA PRESA**

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Napa (m)
CM-1	582.757	7.479.324	4,1	-
CM-2	582.668	7.480.068	3,8	-
CM-3	582.694	7.479.323	5,0	-
CM-4	-	-	-	-
CM-5	582.681	7.479.353	2,0	-
CM-6	582.681	7.479.349	4,8	-

*calicata CM-4 no se pudo confeccionar debido a la alta cementación del estrato.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.2.3.1-1
EXCAVACIONES EN SITIOS DE PRESA**



Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

4.2.3.2. Prospecciones en Zona de Canales

Para evaluar el tipo de suelo existente en la zona de canales, para el análisis de filtraciones, sectores de roca y características de esta se excavaron 7 pozos enumerados en el Cuadro 4.2.3.2-1 y ubicados en la Figura 4.2.3.2-1. La estratigrafía completa se encuentra en el Anexo 4-3.

**CUADRO 4.2.3.2-1
PROSPECCIONES EN ZONA DE CANALES**

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Napa (m)
CC-1	582.617	7.478.818	2	1,8
CC-2	581.845	7.477.080	2	1,7
CC-3	582.034	7.475.135	2	1,7
CC-4	581.518	7.473.532	2	-
CC-5	580.233	7.471.953	2	2
CC-6	580.129	7.470.077	2	-
CC-7	580.985	7.468.105	2	-

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 4.2.3.2-1
EXCAVACIONES EN ZONA DE CANALES**



Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

4.2.3.3. Prospecciones en Zona de Yacimientos

Se realizaron pozos de exploración en la zona de yacimientos para el muro. La estratigrafía completa se encuentra en el Anexo 4-3 y el álbum de fotos en Anexo 4-4. En el Cuadro 4.2.3.3-1 y 4.2.3.3-2 se observan las coordenadas de estas calicatas. En la Figura 4.2.3.3-1 se aprecia la ubicación espacial de las excavaciones.

CUADRO 4.2.3.3-1
PROSPECCIONES EN ZONA DE YACIMIENTOS 1ª EXPLORACION

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Napa (m)
CY-1	582.494	7.480.495	5,0	3,0
CY-2	582.511	7.480.460	4,0	-
CY-3	582.511	7.480.466	3,0	-
CY-3A	582.563	7.480.464	3,0	1,8
CY-4	582.597	7.480.445	6,0	1,5
CY-5	582.013	7.480.457	5,0	1,9
CY-6	582.630	7.480.454	4,5	2,0
CY-7	582.665	7.480.428	6,0	3,5
CY-8	582.517	7.480.496	3,0	2,0
CY-9	582.489	7.480.537	2,5	-

CUADRO 4.2.3.3-1
PROSPECCIONES EN ZONA DE YACIMIENTOS 1ª EXPLORACION

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Napa (m)
CY-1	582.494	7.480.495	5,0	3,0
CY-10	582.542	7.480.423	2,2	-

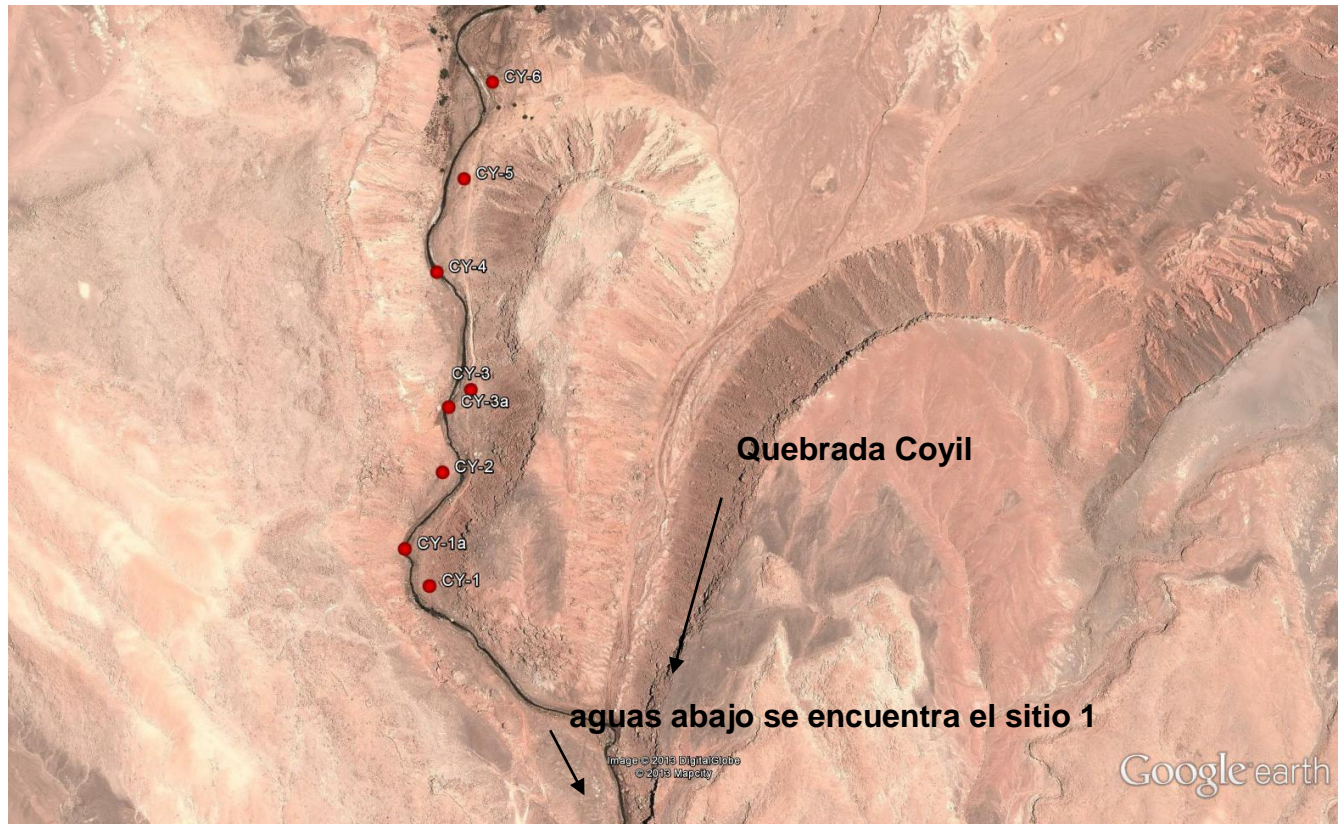
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.2.3.3-2
PROSPECCIONES EN ZONA DE YACIMIENTOS 2ª EXPLORACION

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Napa (m)
CY-1	582.370	7.480.678	3,8	3,5
CY-1a	582.335	7.480.741	2,5	2,0
CY-2	582.401	7.480.863	2,5	2,0
CY-3	582.457	7.480.996	2,4	-
CY-3a	582.418	7.480.970	3,5	3,3
CY-4	582.408	7.481.202	2,8	2,4
CY-5	582.462	7.481.362	3,8	3,5
CY-6	582.519	7.481.533	4,5	3,9

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 4.2.3.3-1
EXCAVACIONES EN ZONA DE CANALES



Fuente: Elaboración Propia a partir de Google Earth.

4.2.3.4. Análisis de Resultados Obtenidos

Las muestras tomadas de calicatas fueron enviadas a los laboratorios competentes para realizar los ensayos que determinarían parámetros como permeabilidad, cantidad de sales solubles, reacciones de alcalinidad agregadas, desgaste de los ángeles, entre otros, establecidos en acápite 4.3.

4.3. Ensayes de laboratorio

Las muestras obtenidas en sondajes y calicatas se sometieron a los siguientes ensayos, enumerados en el Cuadro 4.3-1 y Cuadro 4.3-2, respectivamente.

CUADRO 4.3-1
ENSAYES DE LABORATORIO EN TESTIGOS DE SONDAJES

Nombre	Cantidad
Compresión no confinada	6
Consolidación hasta 4 kg/cm ²	2
Consolidación hasta 8 km/cm ²	2
Hinchamiento libre colapsado	5
Compresión simple en roca	5
Descripción petrográfica por corte transparente	5

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.3-2
ENSAYES DE LABORATORIO A MUESTRAS DE POZOS DE EXPLORACIÓN

Nombre	Cantidad
Granulometría	Todas las muestras
Limites	Todas las muestras
Densidad de partículas solidas	Todas las muestras
Proctor	8
Clasificación	Todas las muestras
Contenido de Sales Solubles	13
Contenido de Cloruros y Sulfatos	13
Reacción de alcálisis agregado	4
Compresión no confinada	1
Permeabilidad	6
Desgaste de los ángeles	4

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de los ensayos se encuentran en el Anexo 4-5.

5. definición DE ALTERNATIVAS

5.1. Generalidades

En este capítulo se presentarán las alternativas de obras propuestas a evaluar, presentando sus características generales antes de dimensionarlas y proceder a generar los presupuestos.

La idea del presente proyecto, sobre la cual se deben definir las alternativas para analizar, es mejorar el riego de San Pedro de Atacama, que hoy en día se efectúa con derechos equivalentes a 870 l/s del río San Pedro. Las formas para el mejoramiento corresponden por un lado a aumentar el recurso con la regulación de un embalse y/o disminuyendo las pérdidas por conducción, tanto en el río como en el sistema de canales, y por otro lado mejorando la calidad de las aguas, que hoy en día son de muy mala calidad.

Junto con mejorar el riego, la idea del proyecto es analizar la conveniencia de construir obras para el control de las crecidas y para generación hidroeléctrica asociadas estas últimas a los caudales de riego y carga que proporcionaría el embalse.

Con respecto al aumento del recurso, la idea de embalse que aparece en las Bases corresponde a dos sitios frontales ubicados en el río Grande, u otro que el Consultor pueda proponer después de analizar las posibilidades que ofrece la cuenca. Al respecto, se conocía de dos sitios previamente analizados, o postulados, uno en la quebrada de Coyil, o Abra Pampa, y el otro en la confluencia de los ríos Jauna y Putana.

Ambos sitios fueron descartados, Coyil por razones geotécnicas y Jauna Putana por razones ambientales. También, se descartaron los sitios 1 y 2 frontales en el río Grande por cuanto almacenarían aguas de crecidas que son de pésima calidad, al extremo que los regantes no riegan con estas aguas, tanto por su salinidad como por el arrastre de sólidos que acarrear. Así, los sitios 1 y 2 podrían ser de utilidad solamente para plantear eventuales obras de control de crecidas. Las prospecciones geotécnicas previstas para el estudio se concentraron en estos sitios.

De esta forma, se descarta cualquier sitio frontal en la zona baja, quedando solamente la posibilidad de un sitio lateral, tal como lo es Coyil, o un sitio frontal en la zona alta, donde las crecidas no son de tan mala calidad.

Revisadas las alternativas en la cuenca, apareció como única posibilidad plantear un embalse en el río Salado a la altura de San Bartolo, que almacenaría aguas que serían trasvasadas desde el río Grande y las propias del río Salado en esa zona. Ambas aguas son de muy buena calidad relativa. Además, el embalse, lateral al río Grande, sería frontal en el río Salado, por lo que almacenaría las crecidas de este río, que en la zona alta de la cuenca no son de tan mala calidad. Esta obra, así concebida, mejoraría tanto la cantidad de agua disponible para riego, como su calidad. Eso sí, la obra tiene mayor sentido en la medida que las aguas que entregue no se contaminen en su paso por la cordillera de la sal.

Todo el análisis de esta alternativa de ubicación de embalse, se realizó sobre la base de los conocimientos de la zona, sin prospecciones de por medio, salvo las inspecciones visuales

de los diferentes especialistas. En consecuencia, el sitio propuesto ha sido analizado a nivel de perfil y debe prospectarse por completo en una próxima etapa del estudio, e incluso debe incluirse un análisis de eventuales sitios alternativos en su entorno. Esta situación obligó a ubicarse un poco por el lado de la seguridad en los costos de las obras, a fin de cubrir una cantidad mayor de imprevistos. Las alternativas de embalse que se mencionan más adelante, 3, 4 y 5, varían solamente en las características del traslado del agua hacia los predios, por lo que con respecto a la presa, todas tienen la precisión de perfil mencionada. Ahora bien, sobre la base del trasvase de aguas al embalse, se definieron diferentes alternativas de entrega al riego, según se describe a continuación, incluyéndose también otras alternativas sin embalse, que serían más bien con fines de mejoramiento de la calidad del agua. En forma separada, se analiza la conveniencia de aumentar el recurso vía disminución de las pérdidas de agua.

El control de crecidas quedó supeditado de esta forma a las obras que puedan postularse en el río Grande, más la regulación propia del embalse de riego en el río Salado. Con respecto a la generación hidroeléctrica, dependiendo de la alternativa, puede ser a pié de presa o con una gran altura de generación si se conducen las aguas por tubería desde el embalse al canal San Pedro. Sin embargo, sería posible desechar a priori las alternativas de generación a pié de presa, por el gran costo que significaría la línea de transmisión desde un lugar tan apartado.

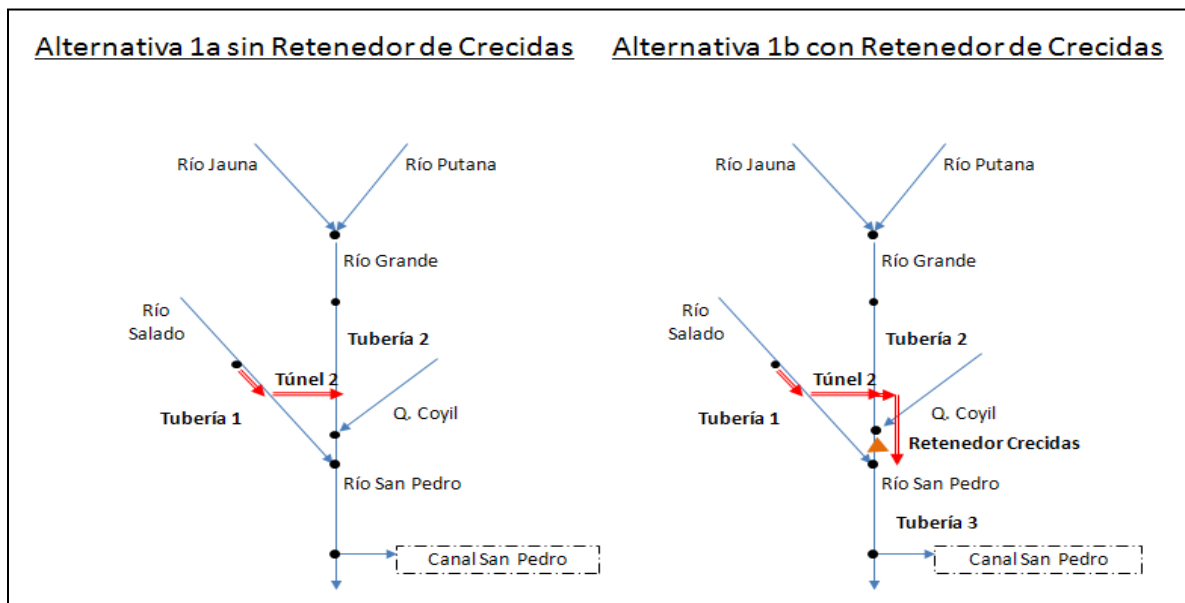
Finalmente, con respecto a la calidad de las aguas, existe un caudal pequeño, pero de muy mala calidad, proveniente de recuperaciones y aportes intermedios al río Salado en el sector Cordillera de la Sal, que no deben mezclarse con el resto de las aguas de riego. Toda alternativa que considere captación de las aguas del río Salado en la zona de San Bartolo y conducción directa al canal San Pedro por tubería, o trasvase al río Grande, se encuentra en esta situación. Para evitar que este pequeño caudal se incorpore al riego al mezclarse con las aguas que vienen por el río Grande, se considera el diseño de una tubería que capte las aguas en el río Salado justo antes de su confluencia con el río Grande, y las transporte al río San Pedro aguas abajo de la última bocatoma de los canales de riego. Se trataría de una pequeña tubería, de una longitud aproximada 13 km si se mantienen las actuales tomas en el río, y de unos 9 km si se unifican todas las tomas, que significaría un costo secundario para el proyecto, que permite mejorar la calidad de las aguas de riego significativamente. Cabe destacar que estas aguas incluirían el caudal ecológico que es necesario dejar pasar por el río Salado, quedando en el río San Pedro como caudal ecológico las aguas que provienen del río Grande. Por tanto, se considera muy conveniente el by pass a las tomas de riego de estas aguas salinas, toda vez que el costo de la obra se abarata si hay control de crecidas en ambos ríos.

5.2. Alternativa 1

La Alternativa 1 consiste en la captación de las aguas del río Salado hasta el Túnel 2 trasvasando el agua al río Grande. Con esta obra, se evita la salación de las aguas, ya que

estas ya no fluirán por la caja del río Salado, sino que por la del río Grande. Luego, esta alternativa contempla dos opciones. La primera es que si no se contempla la construcción de retenedor de crecidas, entonces el agua se deja caer al río Grande una vez terminado el paso por el Túnel 2. Por otro lado, si se considera la construcción de una obra reguladora de crecidas, entonces también contempla un By-Pass (conducción cerrada), para que el agua proveniente del río Salado no se mezcle con el agua del retenedor de crecidas. Se presenta un esquema de la alternativa en la Figura 5.2-1. En la Figura 5.2-2 se muestra una imagen satelital con las obras contempladas en esta alternativa.

FIGURA 5.2-1
ALTERNATIVA 1

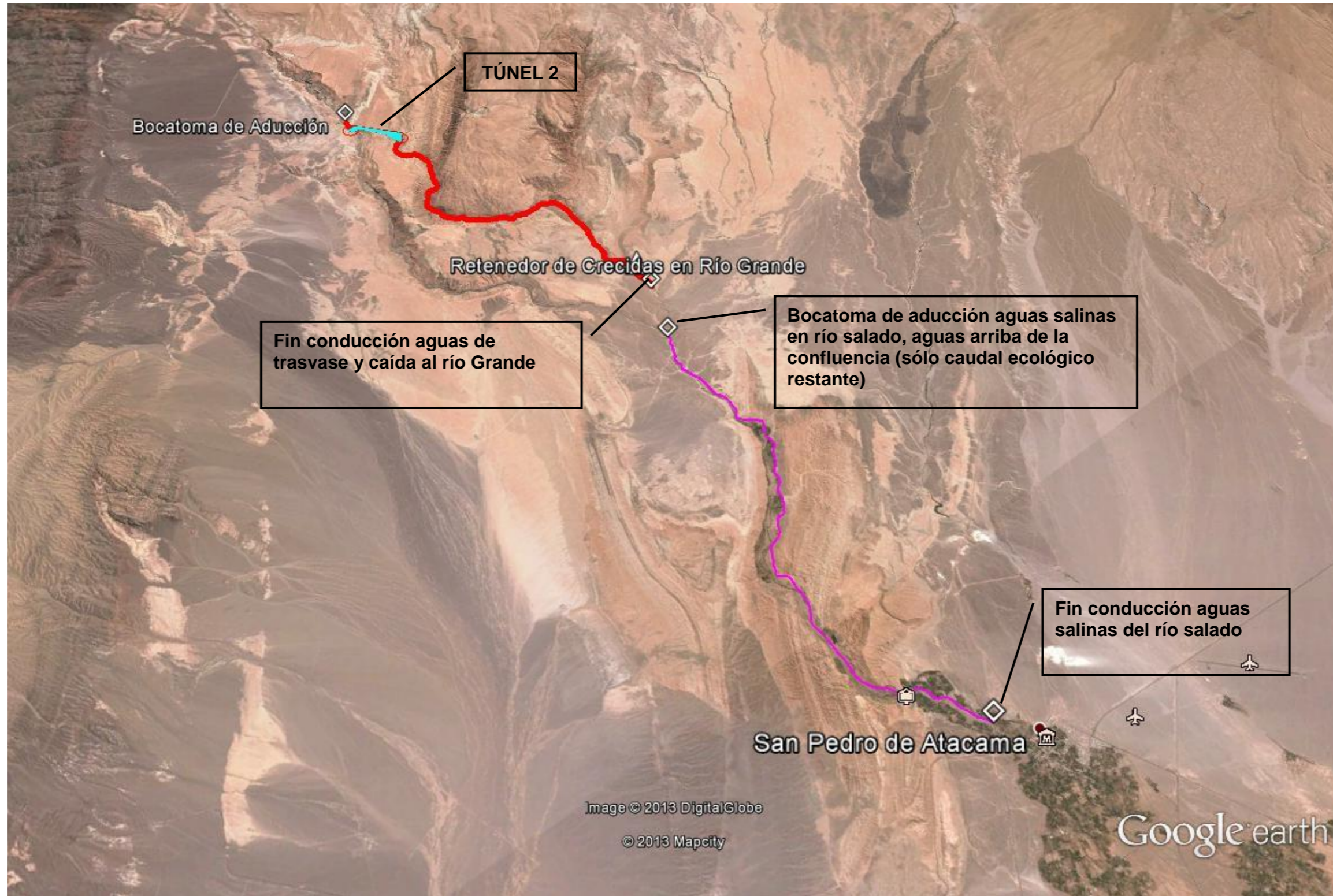


Fuente: Elaboración propia.

Obras Contempladas

- Túnel 2, ó túnel san Bartolo, con una longitud de 1.350 m aproximadamente, este túnel será encargado de desviar las aguas del río Salado hasta la cuenca del río Grande.
- Retenedor de Crecidas
- Bypass ó conducción por el río Grande hasta aguas abajo del retenedor, en dos tipos de conducción; presión y acueducto.

FIGURA 5.2-2
ALTERNATIVA 1

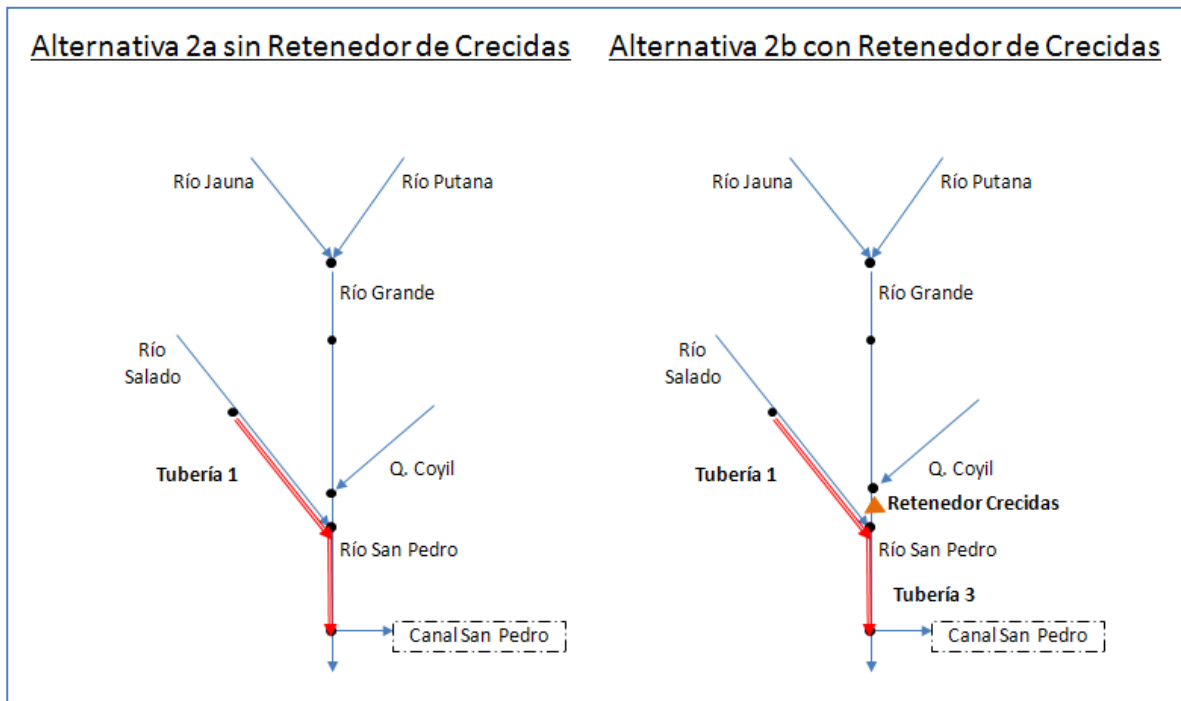


Fuente: Elaboración propia.

5.3. *Alternativa 2*

Similar a la alternativa 1, la Alternativa 2 considera una tubería por el cauce del río Salado que permita evitar el contacto del agua con las fuentes de contaminación naturales presentes en la parte baja de dicho río, desde la quebrada Salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro. La alternativa 2b considera la inclusión de un retenedor de crecidas en el río Grande. Se presenta un esquema de la alternativa en la Figura 5.3-1. En la Figura 5.3-2 se muestra una imagen satelital con las obras contempladas en esta alternativa.

**FIGURA 5.3-1
ALTERNATIVA 2**

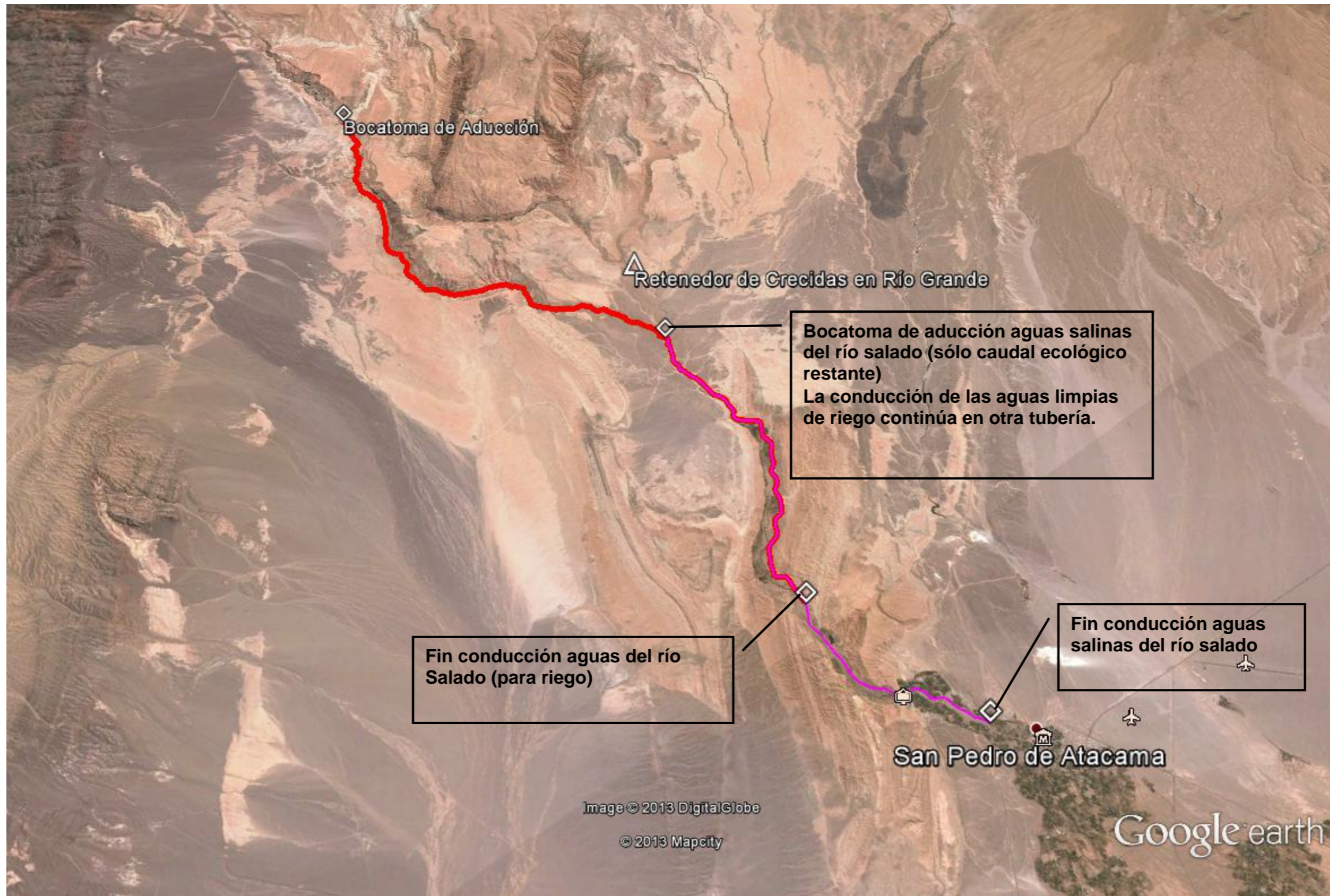


Fuente: Elaboración propia.

Obras Contempladas

- Conducción de aguas fuera del cauce natural del río, por la cuenca del río Salado en tres tipos; canal abierto, tubería en presión y acueducto (sin presión)
- Retenedor de Crecidas.

FIGURA 5.3-2
ALTERNATIVA 2

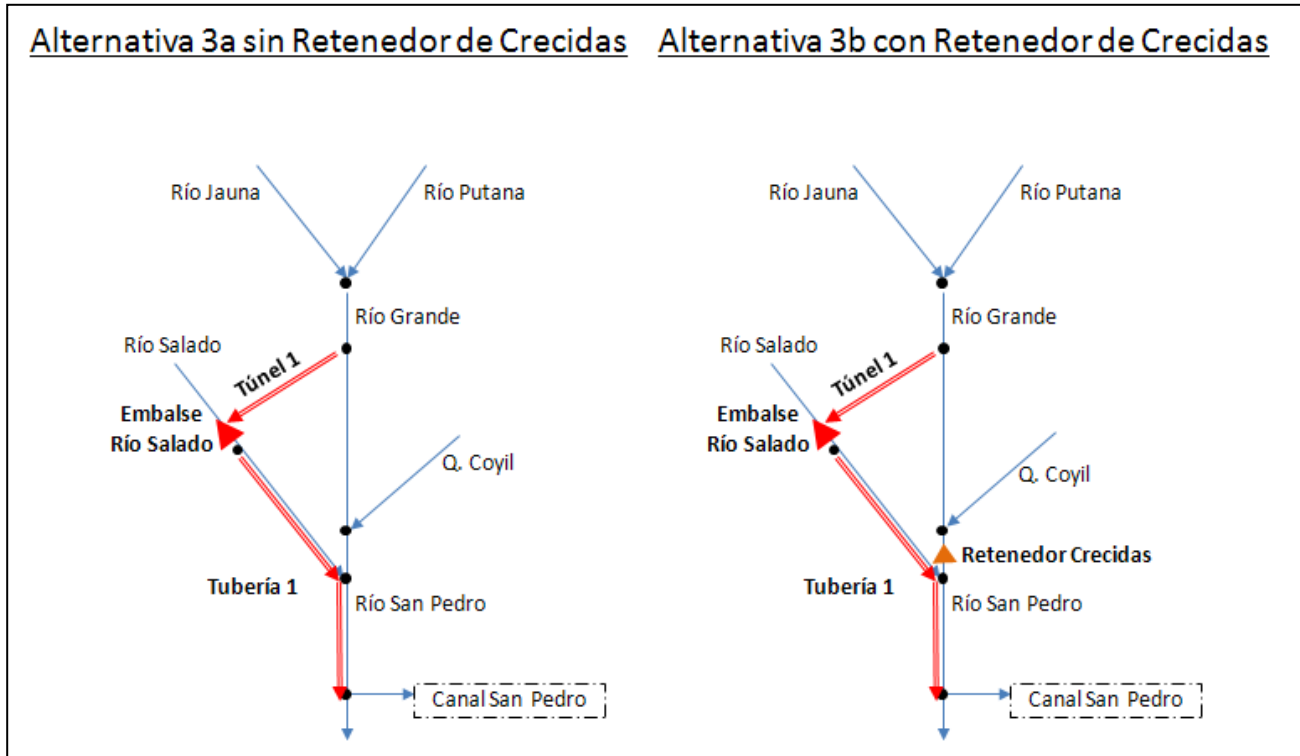


Fuente: Elaboración propia.

5.4. Alternativa 3

La Alternativa 3 considera la captación y trasvase de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1 para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza a través de una conducción en canal revestido y entubado en zonas de cruce de quebrada hasta la bocatoma del Canal San Pedro por el río Salado y luego por el río San Pedro. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas, por lo que se generan los dos sub escenarios, Alternativa N° 3a y Alternativa N° 3b. Se presenta un esquema de la alternativa en la Figura 5.4-1. En la Figura 5.4-2 se muestra una imagen satelital con las obras contempladas en esta alternativa.

**FIGURA 5.4-1
ALTERNATIVA 3**

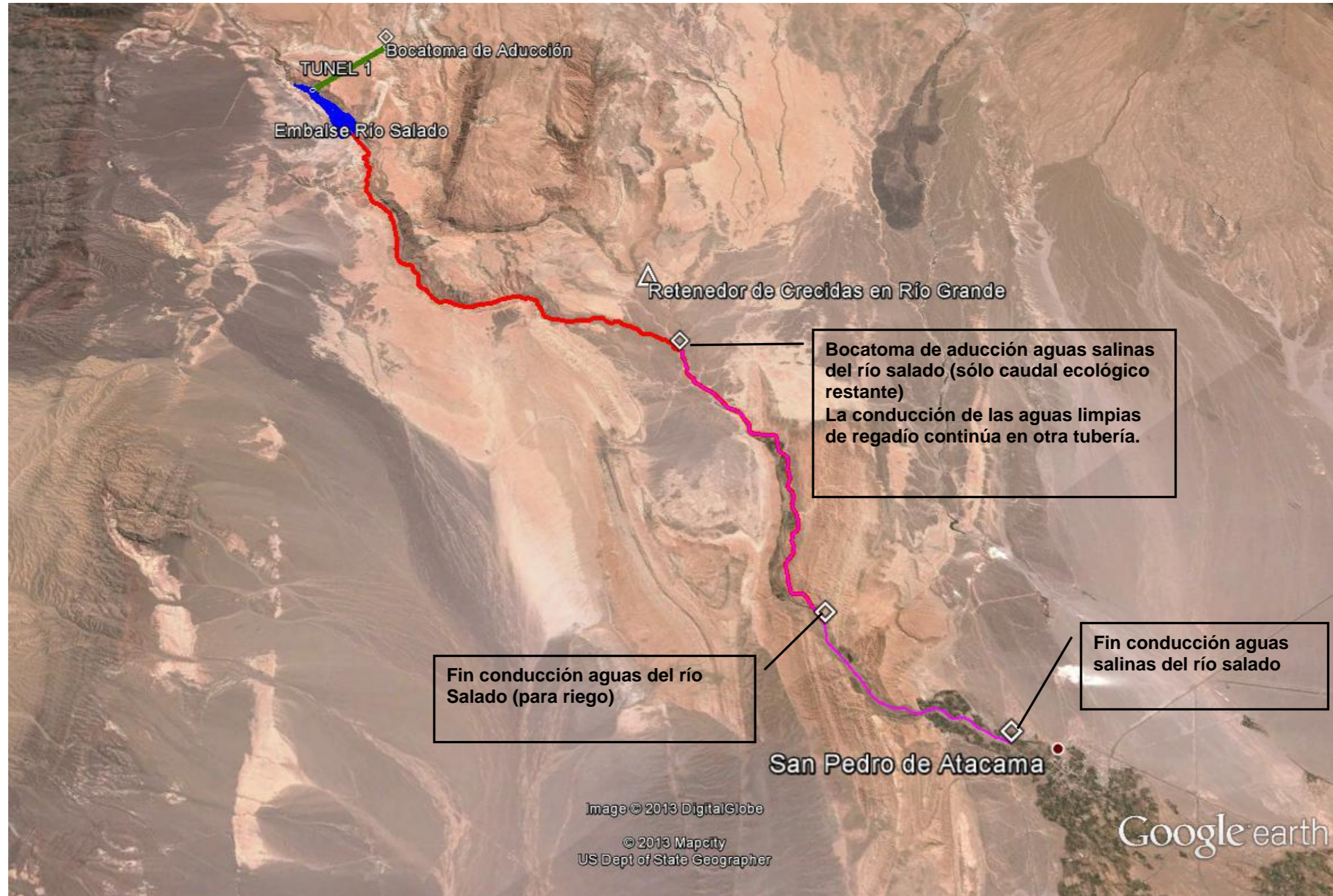


Fuente: Elaboración propia.

Obras Contempladas

- Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado.
- Embalse regulador para riego en el río Salado.
- Conducción aguas fuera del cauce río Salado hasta la bocatoma del canal San Pedro. (en presión, acueducto y canal abierto)

FIGURA 5.4-2
ALTERNATIVA 3

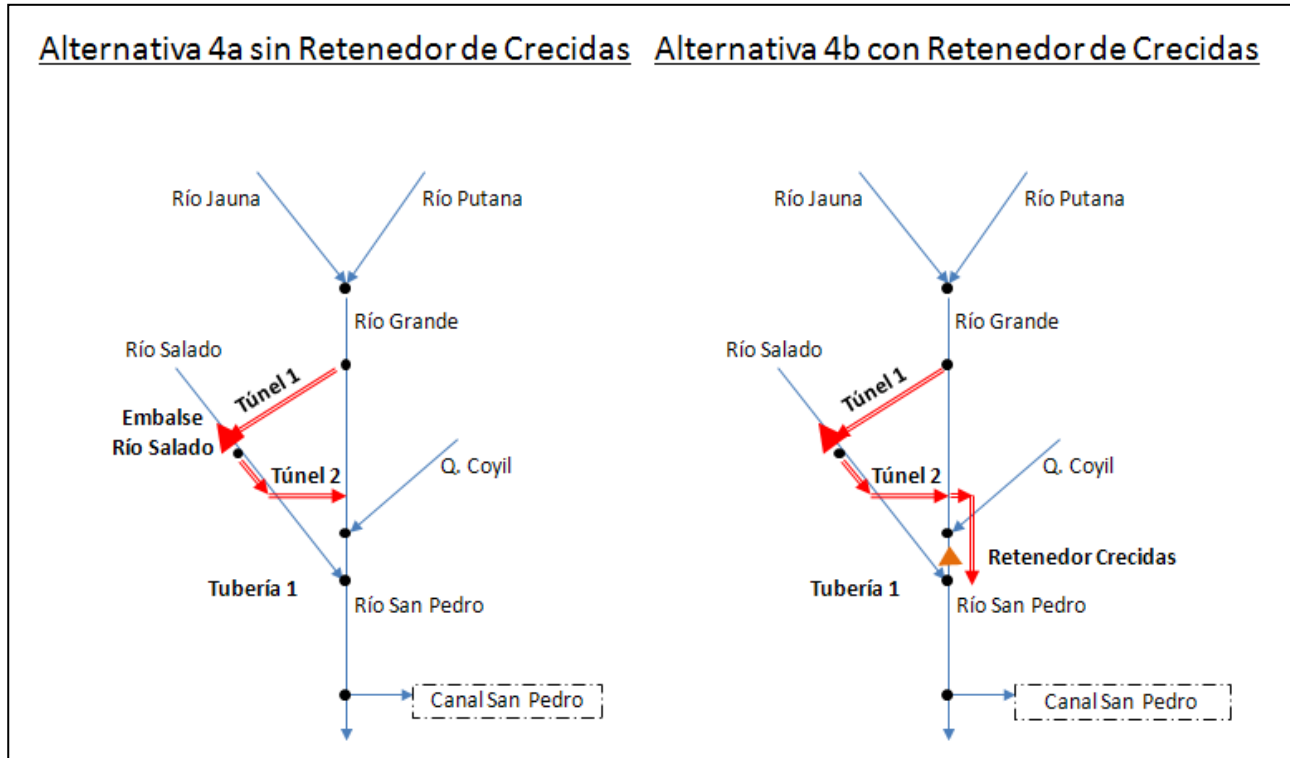


Fuente: Elaboración propia.

5.5. Alternativa 4

Considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La Entrega se realiza a través de una conducción entubada hasta el Túnel 2, que retorna las aguas al Río Grande. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas, por lo que se generan los dos subescenarios Alternativa N° 4a y Alternativa N° 4b. En la Alternativa N° 4b se considera el By Pass de la obra de control de crecidas, para evitar la mezcla entre las aguas de riego y las aguas de crecidas. Se presenta un esquema de la alternativa en la Figura 5.5-1. En la Figura 5.5-2 se muestra una imagen satelital con las obras contempladas en esta alternativa.

FIGURA 5.5-1
ALTERNATIVA 4

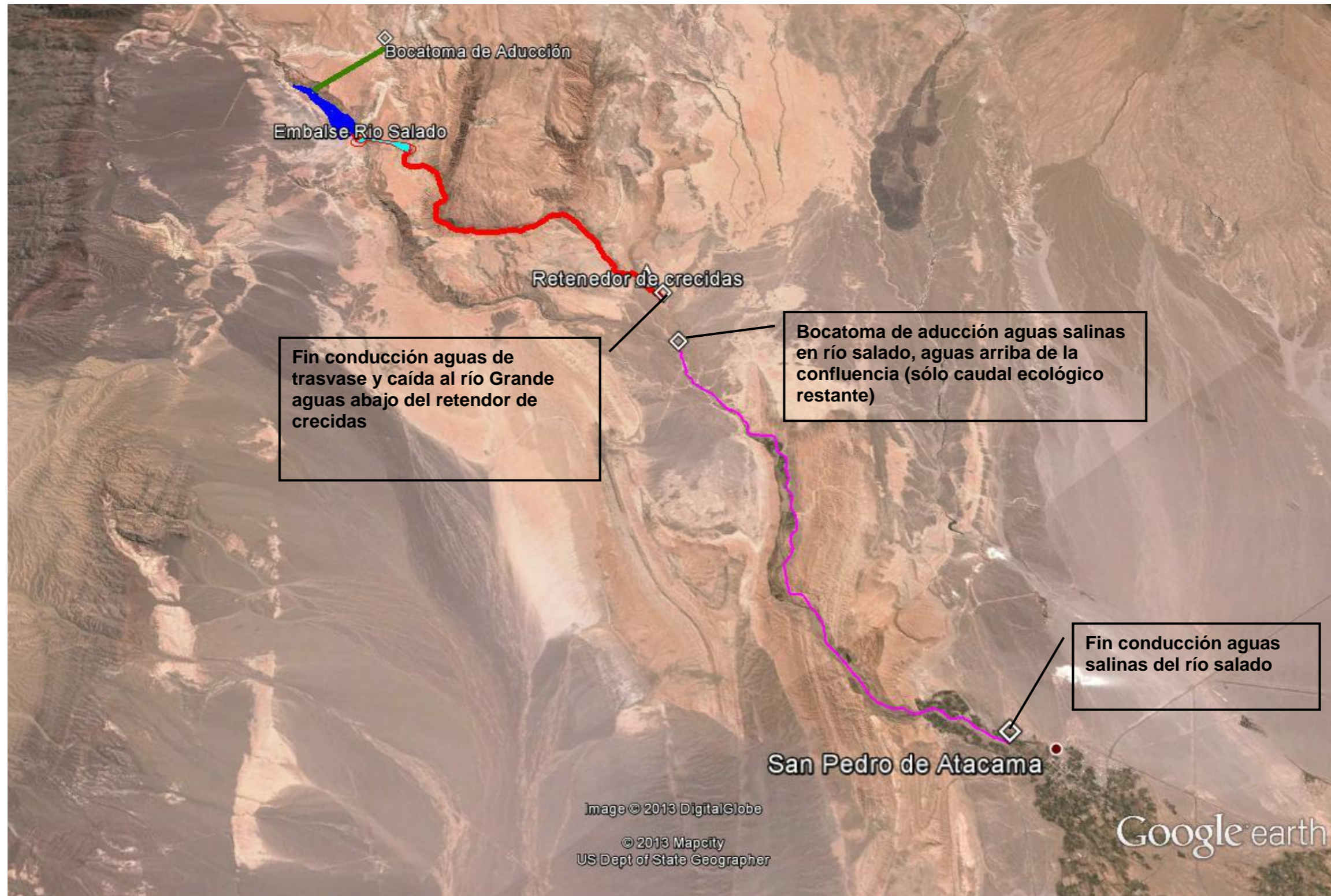


Fuente: Elaboración propia.

Obras Contempladas

- Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado.
- Túnel 2, trasvase desde el río Salado al río Grande
- Embalse regulador para riego en el río Salado.
- Conducción aguas fuera del cauce río Grande hasta aguas abajo del retenedor de crecidas. (acueducto y presión)

FIGURA 5.5-2
ALTERNATIVA 4



Fuente: Elaboración propia.

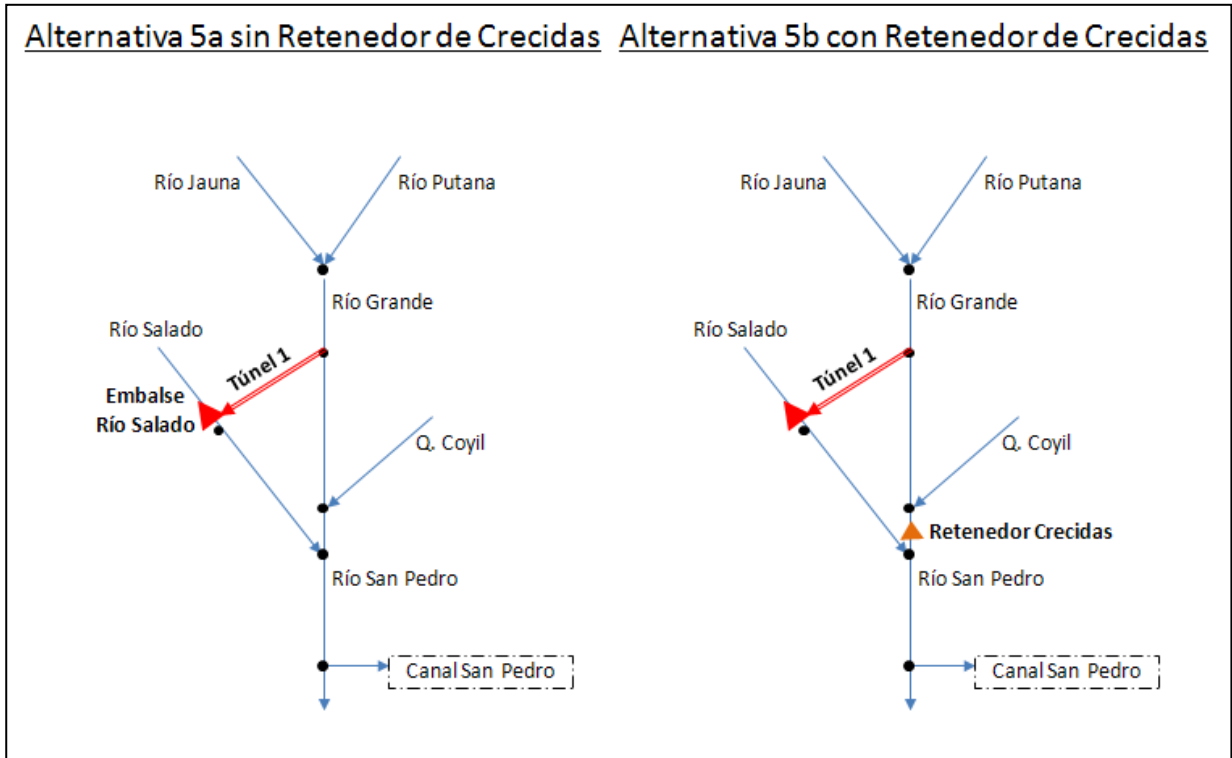
5.6. *Alternativa 5*

Considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza en forma directa al Río Salado. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas en el río Grande, por lo que se generan los dos subescenarios Alternativa N° 5a y Alternativa N° 5b.

Esta alternativa, quedó descartada en el Capítulo de Estudios Básicos de este Proyecto, ya que la alternativa no mejora la calidad de las aguas, sino que la empeora. De esta forma, esta alternativa queda completamente descartada para los próximos análisis y evaluaciones.

De todas formas se presenta un esquema de la alternativa en la Figura 5.6-1. En la Figura 5.6-2 se muestra una imagen satelital con las obras contempladas en esta alternativa.

**FIGURA 5.6-1
ALTERNATIVA 5**

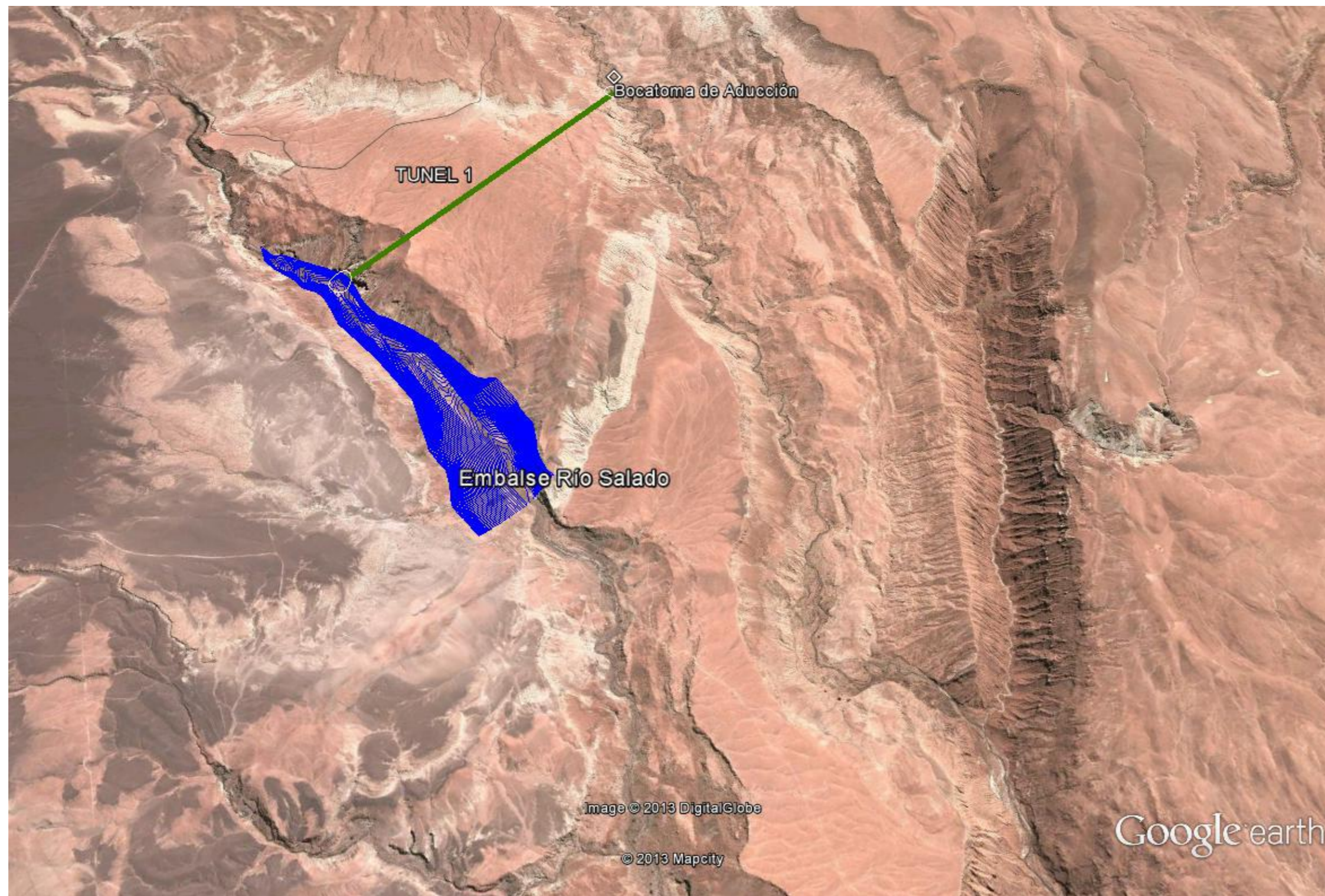


Fuente: Elaboración propia.

Obras Contempladas

- Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado.
- Embalse regulador para riego en el río Salado.
- Conducción aguas fuera del cauce río Salado hasta la bocatoma del canal San Pedro.

FIGURA 5.6-2
ALTERNATIVA 5



Fuente: Elaboración propia.

6. ESTUDIOS BÁSICOS

6.1. INTRODUCCIÓN

Este Capítulo corresponde a los Estudios Básicos del proyecto. En él se presentaran las distintas alternativas de mejoramiento del sistema de riego de San Pedro y el análisis de cada una de ellas considerando los Objetivos del Estudio.

Los Estudios Básicos presentados son los siguientes:

- Estudios Geológico – Geotécnico
- Estudios Geotécnico
- Estudio Hidrológico
- Estudio Sedimentológico
- Evaluación de Crecidas en los Canales
- Estudio Básico del Mejoramiento de la Infraestructura de Riego en San Pedro de Atacama
- Estudio de Optimización del Traspase de Aguas desde el Río Salado al Río Grande (Túnel San Bartolo)
- Estudio de Canalización de las Aguas del Río Grande
- Estudio Red de Canales de Distribución
- Estudio Hidráulico del Cauce de los Ríos Grande y San Pedro (Situación Sin Embalse)
- Análisis del Efecto Regulador del Embalse
- Estudio Hidráulico de los Cauces de los Ríos Grande, Salado y San Pedro (Situación Con Embalse)
- Evaluación de Daños Provocados por Crecidas Aluvionales
- Derechos de Aguas y Organizaciones de Usuarios

Se hace notar que los estudios básicos relacionados con calidad de aguas se presentan en el Capítulo 9.

6.2. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

6.2.1. Antecedentes Generales

El presente documento, contiene la información geológica generada a partir de un breve reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en el emplazamiento de las obras del “Estudio de prefactibilidad mejoramiento sistema de riego río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta” (*en adelante: PMRSP*), cuyo Mandante es la Comisión Nacional de Riego del Ministerio de Agricultura, (*en adelante: CNR*).

Referida a las materias de nuestra competencia, los objetivos y alcances de la información demandada se vinculan con:

- *Seleccionar la mejor alternativa de mejoramiento del riego, ya sea a través del emplazamiento de un embalse y sus correspondientes obras anexas u otras solución y desarrollar sus diseños a nivel preliminar, para el caso de un embalse o diseño definitivo en caso de solución de otro tipo y,*
- *Diseñar a nivel preliminar las obras de control de crecidas en el caso de que la solución no sea un embalse.*

Conviene señalar que, en situación de crecidas, los flujo torrenciales originados en ambientes altiplánicos incrementan substancialmente sus aptitudes o capacidades de erosión. Las “cargas” incorporadas a los flujos aumentan los riesgos impuestos sobre obras o estructuras públicas y privadas.

El objetivo principal del Proyecto, se sustenta en la necesidad de generar una efectiva solución a los recurrentes daños que las crecidas incontroladas crecidas del río San Pedro provocan a su paso en torno al casco urbano de la ciudad de San Pedro de Atacama; se concentran tanto en obras de infraestructura pública de tipo vial: caminos y puentes, como privados: aducciones de aguas industriales y potables, canales de riego, tendidos eléctricos y telecomunicaciones, viviendas, terrenos de cultivos, etc.

Históricamente, las crecidas del río San Pedro son gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema, concentrados en las cabeceras francamente altiplánicas de su hoya hidrográfica, en conexión con el denominado “*invierno boliviano*” (meses de diciembre a marzo). El último episodio de desastrosas crecidas e inundaciones ocurrió el mes de marzo del año 2010.

Los reconocimientos se efectuaron los días 19 y 20 de junio del año 2013; esencialmente, incluyeron recorridos en camioneta y de a pie, a lo largo de caminos, huellas y senderos, desarrollados en torno a los márgenes y borde superiores y respectivas secciones basales o llaneras de inundación del río Salado, correspondientes a terrenos comprometidos en los

sitios de emplazamientos de los ejes de las estructuras propuestas para ser analizados en el PMRSP, objeto del presente estudio.

Al único sitio que no se pudo acceder durante la visita al terreno, correspondió a zona donde se proyecta la instalación de la estructura de bocatoma sobre el cauce del río Grande y al correspondiente portal de entrada del túnel de trasvase río Grande – río Salado.

El presente estudio tiene los alcances que corresponden a un reconocimiento geológico - geotécnico preliminar de superficie, para la selección final de uno de los sitios disponibles para el emplazamiento del eje definitivo de la estructura de control y regulación de crecidas, en el marco del PMRSP, objeto del presente estudio, sustentado en un aceptable grado de definición conceptual.

Atendidas las condiciones que anteceden, el presente informe tiene como principal objetivo aportar criterios básicos de carácter morfológico, geológico, estructural, geotécnico, hidrogeológico y de riesgos geológicos de los terrenos analizados, para la selección más adecuada de sitios destinados al seguro emplazamiento de estructuras de control y regulación de crecidas extremas, en el río San Pedro.

Ello, supone la identificación y caracterización de los principales problemas geotécnicos que puedan presentarse en las soluciones vigentes, para los sitios más apropiados o favorables, con indicación, además de un programa de futuras prospecciones a base de calicatas y sondajes, acompañadas de eventuales perfiles geosísmicos, que sería necesario realizar en una posterior etapa, propia de la decisión de continuar, en el próximo futuro, con su respectivo desarrollo.

Importa consignar que las actividades de reconocimientos se hicieron extensivas a la identificación y caracterización de eventuales sitios favorables para la extracción de materiales empréstimo (suelos y rocas), a ser empleados en la construcción de estructuras de control y regulación de crecidas y sus respectivas obras anexas.

La base referencial que proporciona el marco geológico de los terrenos que participan del entorno inmediato de la zona objeto del presente estudio, correspondió a **Guest** (1968); **SERNAGEOMIN** (2001), escala 1:1.000.000 y **Marinovic** y **Lahsen**, escala 1:250.000; (1984), **Ramírez** (1979) y **Digman**, escalas 1:50.000 (1963 y 1965).

Para la preparación del presente documento se utilizó la información geológica y estructural de los terrenos objeto de reconocimiento contenida en **Marinovic** y **Lahsen**, (1984), convenientemente ampliada, y la base cartográfica del IGM escala 1:50.000, representada en el **plano GEO RSP-1**.

6.2.2. Marco Morfológico

Los terrenos objeto de estudio, concordantes con las hoyas hidrográficas de los ríos Salado, Grande y Vilama y sus correspondientes afluentes, ocupan una elongada franja norte – sur con marcada inclinación hacia el oeste y sur, integrada muy principalmente por potentes secuencias de flujos ignimbríticos, con edades en el rango mioceno – plioleistoceno, genéticamente asociadas a fases eruptivas explosivas; las señaladas estructuras se anteponen al margen occidental de la cordillera andina, cuyo segmento más elevado

culmina en una serie de centros eruptivos, (estrato volcanes, lava – domo y domos), con alturas medias de 4.500 a 4.700 m.s.n.m. Entre los volcanes con predominio de rocas andesíticas y dacíticas, se disponen una serie de pequeñas planicies y cuencas intermontanas.

El desarrollo del sistema local de drenaje responde a un diseño de dinámica construccional de tipo aluvial a fluvioaluvial de gran competencia, favorable al desarrollo de intensa actividad erosiva y el consiguiente transporte de sus respectivos productos detríticos, hacia zonas depresionarias ubicadas a grandes distancias; al momento, la existencia de potentes coberturas ignimbríticas, poco permeables, habría condicionado el escurrimiento de acuerdo a trayectorias lineales.

Conforme a ello, los sistemas locales de drenaje vierten sus aguas hacia el sur, concordante con la zona depresionaria endorréica, que alberga el segmento norte del Salar de Atacama, que se extiende hacia el sur por aproximadamente 4.000 km², fuera de la zona objeto de estudio.

De acuerdo al alcance de la base geológica referencial, tomada de **Marinovic y Lahsen** (1984), **plano GEO-RSP 1**, la zona sometida a estudio comprende, predominantemente, ambientes geológicos de origen sedimentario, volcánico y volcanoclástico, que albergan el actual cauce de los ríos perennes San Pedro y sus afluentes principales Grande y Salado, cuyas cabeceras se ubican en torno al flanco occidental de la cordillera andina, concordante con el sitio de emplazamiento de los volcanes Tatio, La Torta, Tocorpuri, Putana, Escalante y Sairecabur.

La hoya hidrográfica del río Salado tiene una superficie de aproximadamente 5.600 km²; sus respectivas cabeceras se concentran en torno a una serie de elongados cordones montañosos de tipo volcánico que, con alturas medias de 4.700 a 4.900 ms.n.m, jalonan la cordillera andina, (concordante con el límite fronterizo con la República de Bolivia); los mayores aportes de aguas a las hoyas de los ríos Salado y Grande se generan durante el denominado “*invierno boliviano*” (meses de diciembre a marzo).

Las aguas de escurrimiento acceden a los respectivos cauces principales, a través de numerosas quebradas de segundo o tercer orden, provistas de corto desarrollo y ejes hidráulicos con gran pendiente.

La alineación submeridional de los principales elementos orográficos de la zona, refleja el control de la tectónica sobre el relieve local; hacia el oriente crece paulatina y gradualmente, concordante con la participación de las rocas volcánicas.

A lo largo del segmento de aproximadamente 45 km de los valles de los ríos Salado y Grande, concordante con terrenos directamente involucrados en el emplazamiento de las principales obras del Proyecto, sus respectivos cauces escurren de acuerdo a una trayectoria rectilínea a semisinuosa, cercanamente norte – sur, pobremente enmarcados en el fondo de llanuras de inundación que, en la medida del avance hacia la zona depresionaria del Salar de Atacama, pasa de una profunda, estrecha y elevada estructura, labrada en rocas volcánicas a volcanoclásticas, a un elemento morfológico más amplio y menor altura, labrado en rocas sedimentarias, lacustres a fluvioacustres. El normal intenso

fracturamiento que afecta al basamento rocoso que participa de las empinadas paredes marginales de los principales valles locales, favorece el recurrente desarrollo de procesos de remociones en masa, representados por activos acopios gravitacionales sueltos e inestables, producto de desprendimientos, deslizamientos avalanchas de rocas. En todos los casos, los mecanismos desencadenantes corresponden a solicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de intensidad extrema (“invierno boliviano”).

6.2.3. Marco Geológico

6.2.3.1. Aspectos Generales

El marco geológico de los terrenos involucrados en el emplazamiento de las obras del PMRSP, incluye una serie de unidades rocosas, englobadas en la categorización de Basamento Rocosos cuyas edades, mayoritariamente, se sitúan en el rango Terciario medio a superior, discontinuamente enmantadas, con espesores muy variables, por suelos o depósitos no consolidados, francamente cuaternarios.

Conforme a las consideraciones que anteceden, a la disposición espacial de obras vigentes y escala de la representación cartográfica adoptada, los terrenos que participan de los emplazamientos de las principales obras del Proyecto, incluyen materiales englobados en las categorizaciones de “Suelos o Depósitos no Consolidados” y “Basamento Rocosos”.

6.2.3.2. Depósitos No Consolidados ó Suelos

a) Consideraciones Previas

Los suelos o sedimentos no consolidados incluyen todos aquellos materiales originados durante el Cuaternario que, discontinuamente, como cubiertas granulares sueltas, inconsolidadas y variados espesores, sobreyacen al basamento rocoso.

Esencialmente, a esta categorización se asignan sedimentos granulares de tipo fluvial, fluvioaluvial, aluvial, corrientes de barro y detritus y escombreras de laderas de cerro.

Importa establecer que, en relación con el conocimiento de los terrenos involucrados en variados proyectos ingenieriles, la aplicación de criterios morfológicos y litológicos (tipo de los materiales, compacidad, espesor y pendiente), permite identificar, delimitar y caracterizar “*unidades geológicas*” de suelos o depósitos no consolidados; se asume que cada “*unidad*” corresponde a una entidad areal bien marcada, que condiciona una cierta homogeneidad, tanto en relación con sus respectivos atributos geológicos, como en sus respectivas propiedades y comportamientos geotécnicos. Básicamente se trata de materiales cuya remoción es posible mediante el simple empleo de equipo mecanizado: cargadores frontales, motoniveladoras, bulldozers.

En el presente documento, conforme a la disposición de obras vigentes del Proyecto objeto de estudio, la caracterización de las unidades de suelos o depósitos no consolidados y basamento rocoso se limita, exclusivamente, a materiales que de acuerdo a **Marinovic** y

Lahsen (1984), participan directamente de la constitución de los terrenos involucrados en sus emplazamientos y respectivos entornos inmediatos.

En lo que sigue se entrega una descripción pormenorizada de cada una de ellas:

b) Depósitos aluviales, Qa/ (Plano GEO-RSP 1)

Se trata de materiales transportados y depositados por el agua. Gran parte del casco urbano de San Pedro de Atacama y su entorno inmediato, concordante con el extremo norte del Salar de Atacama, compromete una compleja secuencia granular de tipo aluvial, Propia de avenidas torrenciales en ambientes desérticos; esencialmente, consisten en alternancias macizas a pobremente estratificadas de gravas mal seleccionadas, arenas, limos y arcillas de composición polimíctica, en zonas bastante bien cementadas por fracciones arcillosas y sales. Los elementos clásticos son subangulares a subredondeados y, al igual que en los conglomerados de la sección basal de la formación San Pedro, corresponderían a fragmentos derivados de los conglomerados de la formación Purilactis, (fuera de la cobertura del **plano GEO-RSP 1**).

En torno a la desembocadura de las mayores quebradas afluentes de los ríos Salado y Grande, los sedimentos aluviales entremezclados con depósitos granulares coluviales, configuran rasgos en abanico, provistos de frentes lobulares.

Se trata de suelos ripables, anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas muy variables, estrechamente vinculadas con sus respectivas granulometrías.

Cuando exentos de sustancias salinas y materia orgánica, constituyen potenciales fuentes para el efectivo suministro de materiales de empréstito: ripios, gravas y arenas.

En sectores, la cobertura de los depósitos aluviales suele incorporar tanto elevados contenidos de arcillas y limos inconsolidados, pulverulentos, conocidos como “*chusca*”, como costras salinas genéticamente asociadas a persistentes pérdidas de humedad por evaporación superficial; en este último caso, se trata de materiales erosionables, agresivos, susceptibles de experimentar expansiones o hinchamientos y desarrollar colapsos por disolución y densificación.

c) Depósitos Eólicos, Qe (Plano GEO-RSP 1)

Consisten en dunas, mayoritariamente estacionarias, constituidas por arenas de grano medio a fino que, en discontinuos sectores del extremo norte y noreste de Salar de Atacama participan, con espesores muy variables, de la cobertura superficial de los depósitos aluviales y escombreras de laderas de cerro.

Localmente, incluyen activos depósitos sueltos, sujetos a permanentes removilizaciones por actividad eólica; los elementos clásticos de las fracciones arenosas son mayoritariamente cuarcíferos con diámetros medio de 1 a 2 cm.

d) Depósitos de Escombreras de Laderas de Cerro y Coluvios Indiferenciados, Qe (Plano GEO-RSP 1)

Esencialmente, se trata de materiales sueltos, transportados por gravedad y/o agua. Incluyen secuencias granulares locales, macizas, sueltas del tipo gravas, con escasa selección; los elementos clásticos heterocomposicionales son angulosos a subangulosos,

cuya composición depende de la roca de la cual provienen, con predominio de tobas soldadas. En sectores, las secuencias incorporan delgados niveles lenticulares de flujos de barro o *cenuglomerados*.

Cuando participan de relieves con fuerte empinamiento local, configuran masas sueltas, muy inestables, susceptibles de desarrollar activos flujos detríticos, gatillados por episodios pluviales de intensidad extrema.

6.2.3.3. Basamento Rocoso

Atendidos los objetivos y alcances específicos del presente estudio, la categorización de “*basamento rocoso*” se aplicó a agregados o masas formadas naturalmente, densas, consolidadas, coherentes y compactas de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que, habitualmente, se consideran sistemas continuos, en términos de sus propiedades, comportamientos geotécnicos y respuestas ante la acción de fuerzas aplicadas en sus respectivos entornos.

La baja a nula ripabilidad de los materiales que participan del basamento local, determina que su remoción sólo es posible recurriendo a procedimientos de tronaduras controladas.

Conforme a antecedentes referenciales tomados directamente de **Marinovic** y **Lahsen** (1984), la franja de terrenos directamente involucrada en el emplazamiento de las obras del Proyecto objeto de estudio, incluye las siguientes unidades de basamento rocoso, en **plano GEO-RSP 1**.

a) Ignimbrita Sifón, *Mss* (Plano GEO-RSP 1)

Guest (1969) denominó Ignimbrita Sifón, a los flujos ignimbríticos que se extienden desde los ríos Toconce y Salado, (afluentes del río Loa) hasta aproximadamente 10 km al norte de San Pedro de Atacama. Su lugar típico se ubica en torno al sitio de emplazamiento del sifón Aiquina.

Incluye materiales de amplia distribución territorial a lo largo de la franja preandina de la Segunda Región; conforme a ello, la unidad se extiende continuamente, desde el sector de Toconce por el norte, hasta una amplia zona de terrenos llanos que participan del “interfluvio” entre los ríos Salado y Grande, afluentes prealtiplánicos del río San Pedro.

En torno al sector de San Bartolo, **Ramirez** (1979), consigna que la unidad infrayace a materiales de la unidad Ignimbrita Yerba Buena y sobreyace a la Ignimbrita Artola, ambas, fuera de la cobertura del plano **GEO-RSP 1**,

La unidad incluye una potente secuencia de flujos de tobas de composición dacítica, de color gris y pardo, bien soldadas y cristalizadas. En sectores, su sección basal incorpora zonas vítreas extremadamente resistentes, provistas de fractura concoidal.

La sección superficial de la unidad, normalmente muy bien estratificada incorpora abundantes diaclasas hexagonales, genéticamente vinculadas al enfriamiento de los flujos.

De acuerdo a dos dataciones radiométricas efectuadas a muestras tomadas en el sector de El Tatio, la edad de esta unidad correspondería a la parte media del Mioceno superior, (9 a 8,5 millones de años antes del presente), (**Marinovic y Lahsen** 1984).

b) Ignimbrita Yerba Buena, *Msyb* (Plano GEO-RSP 1)

Ramírez, (1979) incluyó en esta unidad a materiales tobáceos escasamente soldados de color blanco, pobres en biotita y con abundantes fragmentos líticos, a los cuales asignó una edad Mioceno superior.

Los materiales de esta unidad se disponen discordantemente sobre la Ignimbrita Sifón y bajo la Ignimbrita Pelón, del Mioceno superior alto; situación que permite ubicar a la Ignimbrita Yerba Buena en la parte alta del Mioceno superior, 5,3 a 11 millones de años, (**Marinovic y Lahsen**, 1984).

c) Ignimbrita Pelón, *Msp* (Plano GEO-RSP 1)

Los materiales asignados a esta unidad están muy bien representados en afloramientos que a aproximadamente 12 km al norte de San Pedro de Atacama participan del Llano Pelón, extremo nororiental del Llano de la Paciencia y en torno al segmento distal de la quebrada que alberga el actual cauce del río Salado.

Ramírez (1979) incluye en esta unidad materiales tobáceos, con leve estratificación cruzada, de color gris claro, fuertemente soldados, integrados por cristales de biotita de hasta 4 mm, bien orientados; cuarzo (en parte amatista) y algunos fragmentos líticos menores de 2 cm de largo.

Los depósitos de esta unidad han sido asignados al Mioceno superior (7 millones de años antes del presente). **Marinovic y Lahsen**, 1984.

d) Ignimbrita Puripicar, *Plp* (Plano GEO-RSP 1)

De acuerdo a **Marinovic y Lahsen** (1984) la formación Puripicar, está constituida por una potente y extensa secuencia de flujos de tobas de color generalmente rosado, bastante soldadas, con abundante contenido de cristales. Incluye fragmentos menores que 5 cm de pómez de color gris claro pardo, comúnmente lenticulares, y en menor proporción clastos de andesitas.

Su sección basal incorpora tobas brechosas, escasamente soldadas de color blanco – grisáceo, junto a abundante pómez fibrosa. En sectores, como al sur de los cerros Machuca y Jorquencial, los materiales de esta unidad sobreyacen a una secuencia de aproximadamente 10 m de espesor, integrada por gravas y arenas gruesas pobremente estratificadas.

El espesor de la unidad fluctúa entre 20 y 100 m.

Dataciones radiométricas a partir de materiales extraídos desde sondajes efectuados en la zona de los Geysers de El Tatio, han permitido asignarle a esta unidad una edad Plioceno inferior (4,5 millones de años antes del presente).

e) Formación San Pedro, *Tsp* (Plano GEO-RSP 1)

De acuerdo a **Marinovic y Lahsen** (1984) los materiales que participan de esta unidad totalizan un espesor de aproximadamente 2.100 m.

La sección superior de la formación San Pedro, está integrada por una secuencia alternante de limolitas, lutitas fisibles, areniscas, conglomerados y escasos niveles tobáceos, dispuestas en capas de 0,10 a 0,30 m. de espesor. Las fracciones de lutitas y limolitas tienen tonalidades pardo claras a pardo rojizas, bastante bien cementadas; en sectores puntuales, la secuencia incorpora delgados niveles lenticulares de sal, escaso carbonato y yeso, tanto en capas de hasta 2 cm, como en vetillas.

Las areniscas son de color pardo claro – rojizo, con grano fino a grueso, con estratificación cruzada, que incluyen delgadas capas de yeso. Las fracciones conglomerádicas corresponden a rocas gris a pardo claro – rojizas, bastante mal estratificados y clasificados, integrados por clastos líticos angulares a subredondeados de 20 a 25 cm dispuestos en una matriz de arena arcillosa con cemento salino y yesífero.

Mientras tanto, la sección basal de la formación está integrada por una secuencia de conglomerados brechosos, dispuestos en bancos macizos a escasamente estratificados de 0,1 a 25 cm de espesor, con clastos subangulosos y redondeados, inmersos en una matriz arenosa de color rojizo; los elementos clásticos corresponden, esencialmente, a andesitas y rocas sedimentarias genéticamente derivadas de la formación infrayacente.

En la sección media de la formación San Pedro, predominan areniscas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos y limolitas, además de escasos delgados niveles de yeso, acompañados de guías de calcita.

Finalmente, los niveles superiores de la formación corresponden, predominantemente, a limolitas y arcillolitas rojizas, con intercalaciones de 5 a 20 cm de espesor de areniscas y conglomerados brechosos, con matriz generalmente tobácea.

El actual conocimiento de la formación San Pedro, permite asignar su origen a un ambiente geográfico, climático, morfológico y depositacional afín al actualmente imperante en nuestros extensos salares, en una cuenca de aguas salobres, sometida a importantes aportes de material detrítico, en forma de sucesivas avalanchas. Se estima que gran aparte de los señalados materiales habrían provenidos de actividad erosiva de la formación Purilactis que contiene abundantes depósitos evaporíticos, sal y yeso; ello explicaría la presencia de estos materiales en la formación San Pedro, (*Digman*, (1963) y *Ramirez y Gardewg* (1982).

Las substancias salinas habrían comenzado a depositarse en respuesta a paulatinos descensos en los niveles freáticos y progresivos incrementos en la aridez regional, en un medio morfoclimático propio de un “desierto de altura”.

Para los materiales de la formación San Pedro, se asigna una edad Oligoceno – Mioceno inferior (24 a 17 millones de años).

f) Formación Vilama, Qvi (Plano GEO-RSP 1)

Esta unidad de aproximadamente 60 m de espesor, incluye una secuencia de areniscas y limolitas con intercalaciones de tobas de cristales, ceniza, kieselgur y conglomerados no consolidados, junto a depósitos de pié de monte y terrazas aluviales que, en su conjunto afloran en torno al sector de Vilama, al norte de San Pedro de Atacama.

Se trata de una secuencia propia de un ambiente depositacional lacustre, en aguas de poca profundidad, tranquilas y limpias, inicialmente próximas a un área de actividad volcánica, representada por cenizas y areniscas tobáceas, depositadas como “lluvias piroclásticas”, en un medio subacuático de baja energía; contemporáneamente el medio lacustre, recibía importantes aportes de materiales en suspensión correspondientes a arcillas y arenas, provenientes de sectores distales o frontales de corrientes de barro y flujos aluviales, representados por fracciones de ripios y gravas.

A los materiales de esta unidad se le asigna una edad pleistocena, (12.000 a 1,8 millones de años), (*Marinovic y Lahsen*, 1984).

6.2.4. Marco Estructural

La revisión de información referencial disponible, complementada con el análisis de imágenes satelitales de la zona objeto del estudio, permitió establecer que los terrenos de origen volcanoclástico, correspondientes a extensos flujos ignimbríticos, correspondientes a las denominadas Ignimbritas Artola, Sifón, Yervas Buenas, Pelón y Puripicar y sedimentarios, formaciones San Pedro y Vilama, se observan recorridas por un discontinuo patrón de estructuras del tipo fallas y fotolineamientos que, en general, se disponen paralelos o en continuidad con rumbos preferenciales norte a norte 35 a 40° E; esencialmente, se trata de fallas normales y de rumbo con escasos desplazamientos o rechazos que, en sectores, ejercen un determinante control respecto de los sistemas locales de drenaje. Los pequeños movimientos se expresan en la ausencia de abruptos y penetrativos contactos planares, entre materiales litológicamente diferentes.

En los terrenos correspondientes al interfluvio entre los ríos Salado y Grande los materiales volcanoclásticos, especialmente tobas e ignimbritas de la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, con moderado a alto grado de litificación y competencia geomecánica, habrían respondido a los esfuerzos de campo mediante el desarrollo de complejos sistemas de discontinuidades del tipo fracturas y fallas de escasa continuidad. Sea como fuere, se trata de elementos estructurales que, en las empinadas paredes rocosas de ambas vertientes de los ríos Salado, Grande y San Pedro ejercen decisivo control respecto del desarrollo de recurrentes procesos de remociones en masa: desprendimientos, deslizamientos, avalanchas de rocas y coluvios que, en su conjunto, normalmente crean ambientes inestables.

Mientras tanto, en las secuencias francamente sedimentarias semiconsolidadas, poco competentes de las formaciones San Pedro y Vilama, *Tsp* y *Qvi*, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**, tales acciones habrían condicionado el desarrollo local de deformaciones, representadas por plegamientos de variada intensidad: sinclinales y anticlinales;

Los mayores rasgos deformativos locales, correspondientes a estructuras anticlinales, afectando a materiales de la formación San Pedro, *Tsp*, se ubican al torno al margen sureste de la quebrada Abra Pampa.

Se estima que, en la zona objeto de estudio, la ausencia de cuerpos intrusivos de gran extensión areal, habría contribuido decisivamente a atenuar el desarrollo de rasgos deformativos.

6.2.5. Riesgos Geológicos

6.2.5.1. Aspectos Generales

El concepto riesgo geológico debe ser entendido como:..."*todo proceso, situación o suceso, en el medio geológico natural, inducido o mixto, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos...*" (Ayala – Carcedo, p. 5; 1987).

Para cada uno de los riegos identificados se analizan sus características, causas, efectos y probabilidad cualitativa de ocurrencia.

6.2.5.2. Diagnóstico de Riesgos Geológicos

En la zona directamente comprometida en el estudio y su entorno inmediato, la presente evaluación se centró en los riesgos impuestos por los siguientes procesos geológicos: volcánicos, remociones en masa, sísmicos, reactivación de fallas

En relación con esta materia, interesa consignar que las técnicas de evaluación de riesgos asociados a procesos geológicos, se sustenta en el principio del "actualismo" que establece: "...*el estudio y conocimiento del pasado y el presente, proporciona la clave de lo que puede ocurrir en el futuro...*" Ello significa que las roturas e inestabilidades que puedan ocurrir en el futuro, es probable que lo hagan en las mismas condiciones, mecanismos y espacios, que eventos o procesos pasados o antiguos y/o actuales.

El análisis del riesgo geológico en torno a la zona objeto de estudio permite asumir que, en el próximo futuro, los procesos geológicos naturales que con mayor frecuencia podrían afectar las obras e instalaciones del PMRSP, corresponderían a aquellos vinculados a procesos de remociones en masa.

En el marco de los intereses del presente estudio, se considera que los principales riesgos geológicos impuestos sobre los terrenos sometidos a análisis, corresponderían: remociones y actividad volcánica y sísmica, cada uno de ellos será objeto de un breve un análisis pormenorizado:

a) Remociones en Masa

El concepto remociones en masa consigna..."*procesos de movilización de lenta o rápida de determinados volúmenes de suelos, rocas fragmentadas o sus mezclas, en variadas proporciones, generados por una serie de factores condicionantes y gatillantes o activadores...*". Hauser (2002).

A lo largo de ambas empinadas laderas del estrecho y profundo valle del río San Pedro y sus respectivos afluentes, concordante con los terrenos comprometidos con el emplazamiento de obras involucradas en el PMRSP, objeto de estudio, el reciente

reconocimiento permitió la identificación, delimitación y caracterización de voluminosos acopios de materiales fragmentarios genéticamente asociados a remociones en masa, enmarcados en las tipologías de:

- Flujos e barro o detritos (“aluviones”),
- Avalanchas de bloques,
- Desprendimientos de bloques,
- Deslizamientos de bloques,
- Derrames, escombreras de laderas de cerro y coluvios, indiferenciados.

Esencialmente, se trata de activas remociones gravitacionales que, mayoritariamente, involucran potentes secuencias sedimentarias, volcánicas y volcanoclásticas de las formaciones San Pedro, *Tsp*, e Ignimbrita Sifón, *Mss*, en **plano GEO-RSP 1**, que participan de extensos segmentos de ambas empinadas vertientes de los ríos San Pedro y Grande, comprometidos en los emplazamientos directos de varias estructuras del PMRS, objeto de estudio.

Los flujo de barro o detritos se concentran en vertientes provistas de fuerte empinamiento, conformadas por niveles macizos a pobremente estratificadas de depósitos aluviales granulares rojizos, con abundantes porcentajes de finos semicohesivos y materiales salinos; se trata de materiales semiconsolidados que demuestran gran sensibilidad a la erosión hídrica, gatillada por recurrentes episodios pluviales de intensidad extrema, durante el denominado “invierno boliviano”.

Los desprendimientos y avalanchas de bloques rocosos se concentran en ambas empinadas vertientes de los ríos San Pedro y Grande, concordantes con el predominio de potentes bancos subhorizontales a levemente deformadas constituidos por rocas tobáceas e ignimbríticas, bastante consolidadas, densas, con moderada a alta resistencia; en todos los casos, los factores contribuyentes se vinculan al desarrollo y alcance de persistentes sistemas de penetrativos sistemas ortogonales de fracturas rectas, subverticales, genéticamente asociadas a procesos de enfriamiento o actividad tectónica, en situación de desarrollar planos de rupturas lisos, poco friccionantes, dispuestos a intervalos medios de 2,5 a 3,0 m; mayoritariamente, las zonas de “despegue o arranque”, se concuerdan con los coronamientos de las empinadas laderas de los valles locales. En la medida del avance gravitacional ladera abajo los bloques movilizados experimentan graduales reducciones en tamaño, producto de sucesivos impactos; en sectores, los frentes lobulares de los materiales fragmentales movilizados hacia las zonas marginales de las respectivas llanuras de inundación, incluyendo bloques con tamaños máximos de 3,5 a 6,5 m de diámetro, suelen provocar recurrentes obstrucciones temporales en los cauces de los ríos San Pedro y Salado. Ejemplos representativos de recientes de procesos de remoción en masa, se

registraron en torno a uno de los sitios de emplazamientos del apoyo derecho de la presa de captación y regulación sobre el río Salado y presa para el control y regulación de crecidas sobre el río Grande, **PCR 1** y **PCR 2**, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**.

En ambos casos, los bloques comprometidos en las remociones, (con tamaños máximos de 6,5 a 7,0 m de diámetro), aparecen vinculados a mecanismos de “cuñas”, controlados por penetrativas fracturas rectas que conforman planos de rupturas lisos, poco friccionantes.

Las remociones enmarcadas en la categorización de derrames, escombreras de laderas de cerro y coluvios, indiferenciados, se desarrollan a lo largo de discontinuos segmentos de las empinadas laderas de los valles de los ríos San Pedro y Salado; en todos los casos, los materiales fragmentales, con tamaños medios de 3,5 a 10 cm, en sus respectivas secciones basales, se originan a partir de sectores con predominio de rocas volcanoclásticas, tobáceas e ígimbríticas y volcánicas (bancos de andesitas y andesitas – basálticas); estas últimas incluyen rocas bastante densas, inalteradas y muy resistentes, que se disponen de acuerdo estructuras laminares del tipo filones manto, con potencias medias de 1.5 a 2,0 m, recorridos por complejas y densas redes de fracturamiento superficial, intercaladas en diversos niveles de las formaciones San Pedro, *Tsp*, e Ignimbrita Sifón, *Mss*, en **plano GEO-RSP 1**. A partir de las respectivas zonas de “despegue o arranque” los materiales fragmentarios se desplazan ladera abajo con gran energía, hasta acceder a las respectivas estrechas llanuras de inundación.

El carácter granular suelto y normal condición inestable de los abanicos coluviales configurados por remociones antecesoras, suele favorecer el desarrollo de recurrentes removilizaciones, gatilladas por episodios pluviales extremos durante el denominado “invierno boliviano”. En sectores, la reactivación de la lóbulos frontales integrados por materiales clásticos polimícticos, suele provocar tanto represamientos instantáneos en el escurrimiento de las aguas de los ríos San Pedro y Grande, como la destrucción de importantes segmentos de caminos (terraplenes, carpetas de rodado, alcantarillas y badenes) y senderos peatonales, sin desatender la producción de daños en los sistemas locales de riego: deflectores, bocatomas, defensas fluviales, canales y consiguientes anegamientos puntuales en terrenos cultivados.

Finalmente, en relación con los riegos asociados al desarrollo de procesos de remoción en masa, en el próximo futuro, (vida útil del Proyecto), importa señalar que la condición morfológica, unido al carácter geológico y comportamiento geotécnico de los terrenos objeto de estudio configuran un medio físico, particularmente susceptible al desarrollo de removilizaciones; los principales factores condicionantes corresponden a la presencia de discontinuos y potentes mantos de depósitos sedimentarios granulares y volcanoclásticos semi-consolidados, con importante contenido salino, que participan de empinadas laderas de valles locales, desprovistos de cobertura vegetal protectora, comprometiendo ambientes morfogeológicos, tipologías, mecanismos desencadenantes, volúmenes, energías y alcances y afines a episodios ocurridos en el pasado histórico en la zona.

Atendidas las consideraciones que anteceden, referidas a los riesgos por remoción en masa, se estima que en torno a estos verdaderos “puntos críticos”, es donde el diseño de las

estructuras de aducción en canales o tuberías, deberá prestar particular atención a la incorporación de efectivas obras de refuerzo y protección, destinadas a garantizar sus respectivas seguridades operacionales.

Complementariamente, se asume que, independiente de los taludes finales adoptados, la totalidad de las excavaciones involucradas en la preparación de las fundaciones de las estructuras del Proyecto y sus correspondientes obras anexas, presentarán condiciones de dudosa estabilidad; por tanto, demandarán la instalación de muros de contención a base de gaviones y/o aplicación de complejos procedimientos de estabilización temporal o permanente, mediante la colocación de muros de contención, instalación de mallas metálicas colgadas o afianzadas a substrato geomecánicamente competentes, mediante pernos de anclaje, con o sin capas de hormigón proyectado.

Experiencias prácticas en el estudio de remociones en masa a partir de empinadas laderas de valles prealtiplánicos, como ríos Salado y Grande, objeto de estudio, constituidos por complejas secuencias integradas por estratos alternantes de rocas volcánicas, (andesitas y andesitas - basálticas), volcanoclásticas (igmimbritas y tobas) y sedimentarias (areniscas, limolitas y calizas), favorecen el recurrente desarrollo de desprendimientos, deslizamientos y avalanchas de bloques. Mayoritariamente, los factores condicionantes se vinculan a marcadas diferencias de propiedades y comportamientos mecánicos intrínsecos de los medios rocosos: densidad, deformabilidad y resistencia; de acuerdo a ello, los bancos densos y resistentes subyacentes a materiales de menor densidad y resistencia y mayor plasticidad, responden a las deformaciones por falla frágil, expresados en el desarrollo de fracturas y bloques de diversa forma y tamaño; en función de sus respectivas macroestructuras, durante el posterior movimiento gravitacional ladera abajo, los bloques mantienen sus integridades o experimentan gradual desintegración.

La progresivas transferencias de cargas desde los niveles superiores de las rocas densas y resistentes, hacia las basales menos densas y plásticas, susceptibles al desarrollo de deformaciones irreversibles, es función de los espesores de aquellos.

Se asume que, en todos los casos, los factores desencadenantes de las remociones, responderían a solicitaciones impuestas por movimientos sísmicos asociados tanto a sismos de focos profundos y gran cobertura areal del tipo interplacas y superficiales locales del tipo intraplacas, radicados en torno al borde litoral y zona prealtiplánica, respectivamente, de la Segunda Región.

Los recientes reconocimientos directos efectuados a la zona del Proyecto, permitieron detectar numerosas expresiones morfológicas, conformadas por voluminosos (conos o abanicos) de materiales fragmentales sueltos, movilizados por remociones de reciente ocurrencia; en estos casos, los mayores problemas se vinculan a obstrucciones temporales de caminos y canales.

La actual condición inestable de los algunos productos detríticos movilizados por remociones recientes, favorecerían el desarrollo de reactivaciones.

Las consideraciones que anteceden, permiten establecer que *los segmentos de los empinados valles de los ríos Salado y Grande, involucrados tanto en el emplazamiento directo*

como en el actual entorno inmediato a algunas obras del PRSP, participan de terrenos con altos niveles de riesgos por remociones en masa: desprendimientos, deslizamientos y avalanchas de bloques.

b) Riesgos Volcánicos

Generalmente, las evaluaciones de los peligros volcánicos toman como premisa el asumir que las mismas áreas en los alrededores del volcán, serían afectadas por similares episodios eruptivos en el próximo futuro, a una frecuencia promedio igual que en el pasado.

La revisión de documentos referenciales involucrados en el conocimiento volcánico de la cordillera andina de la Primera Región, permitió establecer que, en torno a las cabeceras de la hoya hidrográfica del río San Pedro, se emplazan una serie de centros emisores; gran parte de la actividad de tipo explosivo, (representadas por voluminosas emisiones de material particulado al espacio), se produjo durante el Terciario superior, (1,8 a 16,0 millones de años antes del presente). Conforme a ello, la mayor parte de dichas estructuras volcánicas, distantes de la zona objeto de estudio, permanecen actualmente apagadas o “quietas”.

Los centros eruptivos más próximos a la zona objeto de estudio corresponden a:

Putana: 5.890 ms.n.m. Se ubica 94 km al norte de la zona objeto de estudio. Su estructura del tipo estrato - volcán, se dispone sobre un complejo y extenso campo de lavas domos de tipo dacítico. Los flujos de lavas recientes son gruesos y cortos. Su cumbre alberga un cráter muy bien conservado, con activos campos fumarólicos permanentes, visibles a grandes distancias, (**González**, 2001; p .156). No hay registro de actividad histórica. En torno a su cima presenta abundante depósitos de azufre, objeto de explotación durante el siglo XX, (**Amigo** et al, en edición)

Cordón Escalante o Apagado - Sairecabur: 5.800 ms.n.m. Se ubica a aproximadamente 35 km al norte de la zona objeto de estudio. Incluye una cadena volcánica de 22 km de largo, edificada sobre un conjunto de lavas - domo dacíticas, preholocénicas. El cordón incluye, al menos, 10 centros eruptivos, cuyas cimas incorporan relictos glaciales de escaso desarrollo areal, (**Amigo** et al, 2012, en edición).

Un cono pre - holoceno de este centro eruptivo emitió una colada de lava que se extiende por casi 30 km hacia el noroeste del cordón. La actividad más reciente de este centro eruptivo produjo algunos flujos de “lavas de flanco”.

González, (2002, p. 158), consigna la ausencia de registros históricos de actividad, en el volcán Escalante o Apagado.

Mientras tanto, el volcán Sairecabu se emplaza al norte de una caldera pre - holocénica de 4,2 km de diámetro, cuya actividad más reciente produjo un flujo de lava que derramó hacia el noroeste y se extendió por casi 3 km. La presencia de un flujo de lava “fresca”, en un sector de sus laderas, indica la ocurrencia de una erupción en tiempos probablemente prehistóricos.

Volcán Licancabur: 5.916 ms.n.m. Se ubica a 35 km al este de la zona objeto de estudio. Corresponde a un típico volcán cónico cuyos flujos de lavas andesíticas escurren

radialmente desde su cráter central, intercaladas con materiales piroclásticos de similar composición. Algunos flujos de lavas han avanzado hasta 12 km hacia el oeste a partir de su cráter. No hay registros de actividad histórica. La presencia de ruinas incaicas en torno a su cima, permite asumir la ausencia de actividad volcánica mayor durante, al menos, los últimos 600 a 1.000 años. (**González**, 2002; p.168)

Volcán Lascar: 5.592 ms.n.m. Se ubica a aproximadamente 75 km al sureste de la zona objeto de estudio. Se trata de un macizo volcánico compuesto por dos estrato - volcanes maclados, cuyos centros de eyección se encuentran separados en 1,6 km, en un rumbo N 66° E. Está constituido por lavas andesíticas y dacíticas que alcanzan más de 10 km de longitud y potentes lavas dacíticas de 5 km de largo. Se observan 6 cráteres, algunos anidados, encontrándose el central de éstos activo, en tiempos históricos. El principal episodio eruptivo corresponde a la ignimbrita Soncor de 27 mil años antes del presente, compuesta por depósitos piroclásticos de caída, acompañados de flujos que rellenan parcialmente el fondo de quebradas desarrolladas hacia el oeste del edificio del volcán. Para el señalado episodio se estima un volumen de 10 km³.

La actividad eruptiva histórica (desde el siglo XIX) se ha caracterizado por erupciones de tipo vulcanianas⁷, con restringida emisión de ceniza y proyecciones balísticas en un radio de 5 km.

Los días 19 y 20 de abril del año 1993, una erupción de tipo subpliniana⁸, produjo un depósito de caída de fino (<1 cm), reconocido en el noreste argentino y múltiples flujos piroclásticos pumíceos que se extendieron hasta 10 km hacia el norte, noreste y noroeste. La última emisión de lavas habría ocurrido en el Holoceno (7.000 años antes del presente). El último episodio de este tipo, ocurrió entre los años 2005 y 2006.

La actividad actual se caracteriza por la persistente emisión de gases de origen magmático desde el cráter central, (**Amigo** et al, 2012; en edición).

El análisis de la información referencial disponible respecto del carácter, comportamiento y eventuales efectos por actividad volcánica en torno a la zona de influencia del Proyecto, *permite asignar a esta componente de riesgo, un nivel moderado a bajo.*

c) Reactivación de Fallas

La complementación de los información morfoestructural y geológica de la zona objeto de estudio y su entorno inmediato, sustentada en análisis de documentos referenciales e imágenes satelitales, complementados con registros obtenidos durante el breve reconocimiento directo del terreno local, permitió establecer la ausencia de elementos estructurales del tipo lineamientos y fallas, en situación imponer riesgos por reactivaciones, durante la vida operativa del Proyecto.

De acuerdo a **Marinovic** y **Lahsen** (1984) en los terrenos directamente involucrados en el emplazamiento de obras del proyecto objeto de estudio, el mayor compromiso de elementos estructurales del tipo fallas afectaría a materiales incluidos en las formaciones

⁷ El termino vulcaniano se aplica a fases explosivas con magmas ácidos, muy viscosos y elevadas proporciones de volátiles, que destruyen los tapones que obturan los conductos de emisión.

⁸ El término subpliniano se aplica a fases explosivas a través de conductos abiertos.

Puripicar, Ignimbrita Sifón y San Pedro, *Plp*, *Mss* y *Tsp* respectivamente en **plano GEO - RSP - 1**, que participan del “interfluvio” entre el río San Pedro y Grande y quebrada Pampa Abra (incluyendo la quebrada Palicaye) y sus correspondientes entornos inmediatos. En el señalado sector, el sistema de drenaje demuestra una clara vinculación genética con el patrón estructural local, asociado tanto a fallas normales como a plegamientos en las secuencias sedimentarias, cuyos ejes se disponen de acuerdo a rumbo dominantes N 40 a 45° E. En el sector, en términos de desarrollo y continuidad, los principales elementos estructurales incluyen la traza de fallas

En terrenos enmarcados entre las quebradas Palicaye y Abra Pampa, se desarrolla un sistema transversal de fallas de corto desarrollo y rumbo N 45° O, que afecta a depósitos incluidos en la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, en **plano GEO-RSP 1**.

Se asume que la interacción de estos dos sistemas sería el resultado de la aparente segmentación en bloques y estructura imperante en el señalado sector.

El reciente reconocimiento directo de terrenos involucrados en el emplazamiento de las obras del Proyecto, afectados por fallas, permitió establecer tanto la ausencia de escarpes cortando depósitos aluviales cuaternarios y recientes atribuibles a actividad muy joven, histórica o reciente, como desplazamientos orográficos laterales en los ejes de ríos o quebradas locales.

Los señalados registros *dan cuenta de un ambiente morfoestructural bastante estable, con un bajo a nulo riesgo impuesto por procesos de reactivación de fallas, durante la vida operativa del Proyecto, (vida útil de 50 años), como resultado de actividad tectónica, localmente magnificada por procesos de reacomodo o colapso gravitacional secundario, por disolución de sustancias salinas albergadas en la matriz del propio relleno aluvial.*

d) Riesgo Sísmico

El término riesgo sísmico debe ser entendido como *las pérdidas esperadas que sufren las obras civiles o elementos expuestos a sus solicitaciones, durante sus respectivas vidas útiles proyectadas.*

A nivel regional, el entorno de la zona objeto del estudio ha experimentado en repetidas oportunidades movimientos sísmicos de moderada a alta magnitud, provocados por terremotos vinculados a activas zonas focales ubicadas en torno al borde litoral, en directa relación con mecanismos de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. La zona objeto del estudio, se ubica a aproximadamente 330 km al oriente del borde litoral.

Atendidas las consideraciones que anteceden y de acuerdo a la “Norma Chilena para el Diseño y Construcción de Obras Civiles, los terrenos comprometidos en el Proyecto objeto de estudio, se ubicarían en la denominada “Zona Sísmica 1”, correspondiéndole una aceleración de gravedad (g) = 0,20 g ; interesa consignar que la señalada normativa se aplica, exclusivamente, a sismos vinculados a mecanismos interplaca.

La disponibilidad de registros históricos de actividad sísmica superficial y escaso compromiso areal, genéticamente asociada a focos de baja profundidad, radicados en torno a las estribaciones prealtiplánicas de Segunda Región de Antofagasta, genéticamente

asociados a mecanismos intraplaca, *demandaría su incorporación y análisis en los estudios de riesgos sísmico de los terrenos involucrados en el presente estudio.*

6.2.6. Hidrogeología

En un ambiente subaltiplánico, semiárido, las características y comportamiento hidrogeológico del basamento rocoso local, involucrando rocas macizas a bien estratificadas de origen volcanoclástico y sedimentario, resultan poco importantes en cuanto a la generación de problemas constructivos.

La moderada a fuerte pendiente de los terrenos locales, unida a la presencia de una serie de quebradas afluentes provistas de extensas hoyas hidrográficas desarrolladas en ambos flancos de los valles de los ríos Grande y Salado, favorecerían la expedita evacuación de las aguas lluvias asociadas al “invierno boliviano”, en detrimento de la infiltración.

En los macizos rocosos locales integrados, mayoritariamente, por secuencias alternantes de tobas, ignimbritas y areniscas, tanto los bien desarrollados planos de estratificación como las fracturas verticales abiertas, (asociadas a procesos de enfriamiento y/o mecanismos tectónicos) constituyen efectivas vías favorables para el flujo de aguas subterráneas, (permeabilidad secundaria).

Las rocas volcanoclásticas de amplio alcance y desarrollo en la zona objeto de estudio, son intrínsecamente poco permeables; la baja permeabilidad global, es notablemente anisotrópica, dependiendo de la magnitud, densidad, continuidad y abertura de los respectivos patrones de fracturamiento. Normalmente, las fracturas tienden gradual y persistentemente a cerrarse en la medida de la profundización, en directa relación con un atenuamiento en la intensidad de la intemperización superficial.

Para las rocas estratificadas volcánicas o volcano - clásticas, se estiman bajas tasas de infiltración, atendido el hecho de que la fuerte pendiente del terreno local y la naturaleza estratificada de los materiales, limitarían el efectivo flujo del agua infiltrada desde una hacia otra capa, a favor del rápido escurrimiento superficial de las aguas lluvia, vinculadas al “invierno boliviano”.

La aridez de la zona, determina que en los señalados ambientes rocosos la presencia de aguas subterráneas se concentre, exclusivamente, en torno al segmento basal de los valles locales; en ellos, la recarga de los potenciales sistemas acuíferos se asociaría a infiltraciones estacionales a partir del escurrimiento superficial de los propios ríos; en este tipo de ambientes el agua subsuperficial aparecería en condiciones no confinadas, pero a mayor profundidad la presencia y desarrollo de bancos o estratos impermeables podría constituir barreras que limiten el tránsito del agua, condicionando del desarrollo de acuíferos confinados a semiconfinados.

6.2.7. Materiales de Empréstito: Agregados, Áridos, y Enrocados

6.2.7.1. Agregados y Áridos

En un primer examen, las disponibilidades de materiales granulares para satisfacer eventuales futuras demandas asociadas a la materialización del Proyecto objeto de análisis, se deberán concentrar en prospecciones comprometiendo tanto depósitos aluviales, fluviales a fluvioaluviales, como escombreras de laderas de cerro y coluvios indiferenciados, *Qfa* y *Qe*, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**; esencialmente, se trata de materiales granulares, heterométricos, sueltos a semiconsolidados que, discontinuamente y con espesores muy variables, participan del relleno del fondo de los valles de los ríos Grande, Salado y San Pedro. A nivel superficial, en sectores focalizados de dichos profundos y estrechos valles prealtiplánicos, los señalados materiales granulares configuración remanentes mal conservados de terrazas marginales bajas o modernas, sueltas, y/o altas o “antiguas”, semiconsolidadas integradas, mayoritariamente, por depósitos granulares, constituidos por bancos alternantes de ripios, gravas, arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos, acompañadas por abundantes bloques rocosos, aportados por recurrentes flujos torrenciales.

En todos los casos, parte mayoritaria de las fracciones clásticas, incluyen elementos heterocomposicionales, redondeados a subredondeados, densos, inalterados, muy resistentes. Se asume que, de acuerdo a sus respectivas características granulométricas y comportamiento físico y químico estarían en condiciones de satisfacer demandas de materiales de empréstito, para la configuración de rellenos de fundaciones, dosificaciones de estructuras de tierra, construcción de terraplenes, plataformas de caminos y sus respectivas carpetas de rodado) y/o áridos para la preparación de hormigones de diversas resistencias.

Durante nuestro reciente breve reconocimiento directo del terreno, se identificaron los siguientes potenciales sitios para el suministro de agregados y áridos; cada uno de ellos está indicado en el **plano GEO-RSP 1**.

a) Sitios de Yacimiento 1 y 2

Coordenadas Sitio 1: E 578.471 N 7.488.088. Figura 6.2.7.1-1 y 6.2.7.1-2.

Coordenadas Sitio 2: E 578.115 N 7.488.575. Figura 6.2.7.1-3 y 6.2.7.1-4.

Un breve reconocimiento efectuado en torno a una elongada planicie aluvial alta que, en torno al sitio de emplazamiento de las dos alternativas para el emplazamiento de la presa de acumulación – regulación sobre un segmento del fondo del valle del río Salado, **PAR**, en **plano GEO-RSP 1**, participa de su vertiente derecha, permitió la identificación de un extenso depósito de materiales granulares de tipo aluvial, en situación de satisfacer eventuales demandas para la construcción de dichas estructuras.

En el sector, los depósitos en cuestión, enmantan con espesores muy variables a basamento rocoso ignimbrítico perteneciente a la formación Ignimbrita Sifón, **Mss**, en plano **GEO-RSP 1**.

FIGURA 6.2.7.1-1 SITIO YACIMIENTO 1



Panorámica de amplia franja de llanura aluvial que participa del margen superior de la vertiente occidental o derecha del valle del río Salado. Corresponde al Sitio 2, en **plano GEO-RSP 1**, apropiada para el eventual desarrollo de un futuro pozo de empesititos para la extracción y suministro de materiales granulares para las obras de construcción de la presa de acumulación – regulación sobre dicho río, **PAR**. En el sector, los depósitos presentan gran continuidad y uniformidad granulométrica.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.7.1-2
SITIO YACIMIENTO 1



Detalle de materiales de empréstito en Sitio 1, en **plano GEO-RSP 1**, para la construcción de presa de acumulación – regulación captación sobre segmentos del río Salado, **PAR**. Depósitos granulares aluviales, sueltos, constituidos por gravas y arenas muy gruesas, acompañadas de clastos subangulosos a subredondeados, heterocomposicionales, (andesíticos, tobáceos, brechosos), densos, resistentes, con escaso contenido de finos cohesivos y sin materia orgánica. Escala. Martillo de 32 cm de largo.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.2.7.1-3
SITIO YACIMIENTO 2**



Vista general de extensa llanura aluvial, sobre el margen occidental o derecho del valle del río Salado, correspondiente al Sitio 2, de empréstitos, conformada por depósitos granulares aluviales, aptos para la extracción y suministro de agregados y áridos para la construcción de la presa de acumulación regulación sobre el río Salado, **PRS**, en **plano GEO-RSP 1**.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.7.1-4 SITIO YACIMIENTO 2



Detalle de materiales granulares aluviales, representativos de Sitio 2, indicado en Figura 6.2.7.2-3. Incluye gravas y gravas muy gruesas, algo arenosas, con escasos finos cohesivos y abundantes clastos angulosos a subredondeados de tipo andesítico, tobáceo e ignimbrítico, densos, inalterados, muy resistentes. Conjunto bastante suelto, inconsolidado.

Fuente: Elaboración Propia.

Básicamente, incluyen secuencias macizas a pobremente estratificadas correspondientes ripios, gravas, gravillas y arenas gruesas, con escasos finos cohesivos y ausencia de materia orgánica. Los elementos clásticos, con moderado redondeamiento, heterocomposicionales, con predominio de andesitas, andesitas – basálticas, junto a brechas, escasas variedades tobáceas, se presentan bastante densos, alterados, muy resistentes, Figura 6.2.7.1-1 y Figura 6.2.7.1-2.

Esencialmente, se trata de depósitos sueltos, muy ripables (removibles con equipo mecanizado).

Se estima que, convenientemente dosificados, podrían satisfacer a cabalidad futuras demandas de materiales, tanto para la construcción de presas y estructuras de bocatoma

del tipo CFGD, como para la construcción rellenos, terraplenes, preparación de fundaciones y áridos para la preparación de hormigones de variadas calidades.

b) Sitio de Yacimientos 3

Coordenada Sitio 3: E 575.874. N 7.490.767. Figura 6.2.7.1-5 y 6.2.7.1-6.

A aproximadamente 3,6 km al norte de los sitios precedentemente descritos, se identificó un pozo de empréstito, cuyos materiales fueron utilizados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, para la Recuperación y Conservación de la Ruta B-207, Provincia de El Loa. Segunda Región.

En el sector, las recientes faenas de escarpe, extracción, selección y dosificación de los materiales objeto de aprovechamiento, incluyeron la intervención de aproximadamente 2,2 ha. Las excavaciones exponen una compleja secuencia granular de tipo aluvial, que participa de la configuración del remanente de una elongada llanura alta del margen derecho del valle del río Salado; destaca una secuencia granular de gravas, gravillas y gravas arenosas, con esporádicos niveles lenticulares, integrada por clastos angulosos volcánicos a volcanoclásticos, densos, inalterados, muy resistentes, con tamaños medios de 17 a 20 cm, inmersos en una escasa matriz cohesiva, sin restos orgánicos. El conjunto demuestra un moderado a bajo grado de consolidación, muy ripable, Figura 6.2.7.1-6.

Se trata de un pozo en actual explotación, en el cual se realizan extracciones focalizadas de materiales granulares, para el mejoramiento de obras viales locales; las características granulométricas y el favorable comportamiento físico – químico de los elementos clásticos de los depósitos, satisfacen a plenitud variadas especificaciones técnicas.

FIGURA 6.2.7.1-5 SITIO YACIMIENTO 3



Vista general de Sitio 3, para la extracción de materiales granulares de empréstito para la presa de acumulación – regulación sobre el río Salado, PAR, en plano GEO-RSP 1. En el sector, la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, ha realizado voluminosas extracciones de materiales para la conservación, reparación, mejoramiento y construcción de importantes segmentos del camino B – 207. En la actualidad, las señaladas actividades han configurado una extensa zona de extracción, “pozo de empréstito”.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.7.1-6
SITIO YACIMIENTO 3



Detalle de un sector de la pared del pozo de empréstito. Expone bancos alterantes bastante bien estratificados de gravas y gravas arenosas, con escasos finos cohesivos y moderado grado de cementación, acompañados de algunos niveles lenticulares de clastos angulosos de 3,5 a 4,0 cm, densos, inalterados, muy resistentes. Escala: Martillo de 32 cm de largo.

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.7.2. Enrocados

En primera instancia se estima que, tanto en torno a los segmentos de los valles de los ríos Salado y Grande, preliminarmente involucrados en el emplazamiento de las presas de acumulación - regulación de aguas y control y regulación de crecidas, respectivamente, existirían en calidad y cantidad, materiales rocosos adecuados para satisfacer a plenitud eventuales demandas de enrocados.

La confiable cuantificación del señalado potencial y determinación del sitio más apropiado para el emplazamiento de una cantera, estará condicionada a los resultados de posteriores reconocimientos locales, centrados tanto en el efectivo conocimiento del carácter petrográfico y continuidad (en profundidad y sentido lateral), como del comportamiento geomecánico del basamento rocoso objeto de aprovechamiento.

En un primer examen, se considera que parte de los materiales rocosos objeto de extracción, podrían provenir tanto del dimensionamiento de megabloques sueltos, (con tamaños máximos de 3,5 a 5,0 m), recientemente desprendidos desde las empinadas paredes rocosas de los valles, como de las propias excavaciones controladas involucradas en la preparación de las principales fundaciones de las respectivas fundaciones.

Complementariamente, referido a la presa sobre el río Salado, (independiente de la localización final seleccionada para su emplazamiento), se estima que su diseño muy bien podría considerar una estructura a base de enrocado, provisto de un paramento impermeable (losa de hormigón) aguas arriba. El atractivo de esta formulación, se relaciona con la presencia en un segmento de la vertiente derecha del valle de voluminosas masas de bloques rocosos sueltos de diversa forma y tamaño, originados a partir de una avalancha de rocas de reciente ocurrencia, Figuras 6.2.7.2-1, 6.2.7.2-2 y 6.2.7.2-3.

Parte mayoritaria los bloques corresponden a tobas e ignimbritas, de composición dacítica y andesítica, bien soldados y cristalizados, densos, inalterados, resistentes; normalmente, las fracciones vítreas más duras, desarrollan llamativas estructuras concoidales. En general, los minerales constituyentes de las rocas, muestran buen desarrollo y aspecto "fresco", Figura 6.2.7.2-3; condición que, cuando utilizados como enrocados en obras, garantizarían sus durabilidades o resistencias a la degradación por agentes físicos, químicos y climáticos.

En el sector, el carácter macizo, ausencia de fisuras y potenciales planos de debilidad, favorece la integridad de los bloques semi tabulares o cúbicos. Cuando puestos en contacto, la angulosidad y las asperezas superficiales de los bloques, limitan su rotación y desplazamiento, contribuyendo decisivamente a incrementar la traba mecánica y consiguiente estabilidad de los acopios sueltos.

FIGURA 6.2.7.2-1
VISTA AGUAS ARRIBA RÍO SALADO ALTERNATIVA 1 EMBALSE RIEGO

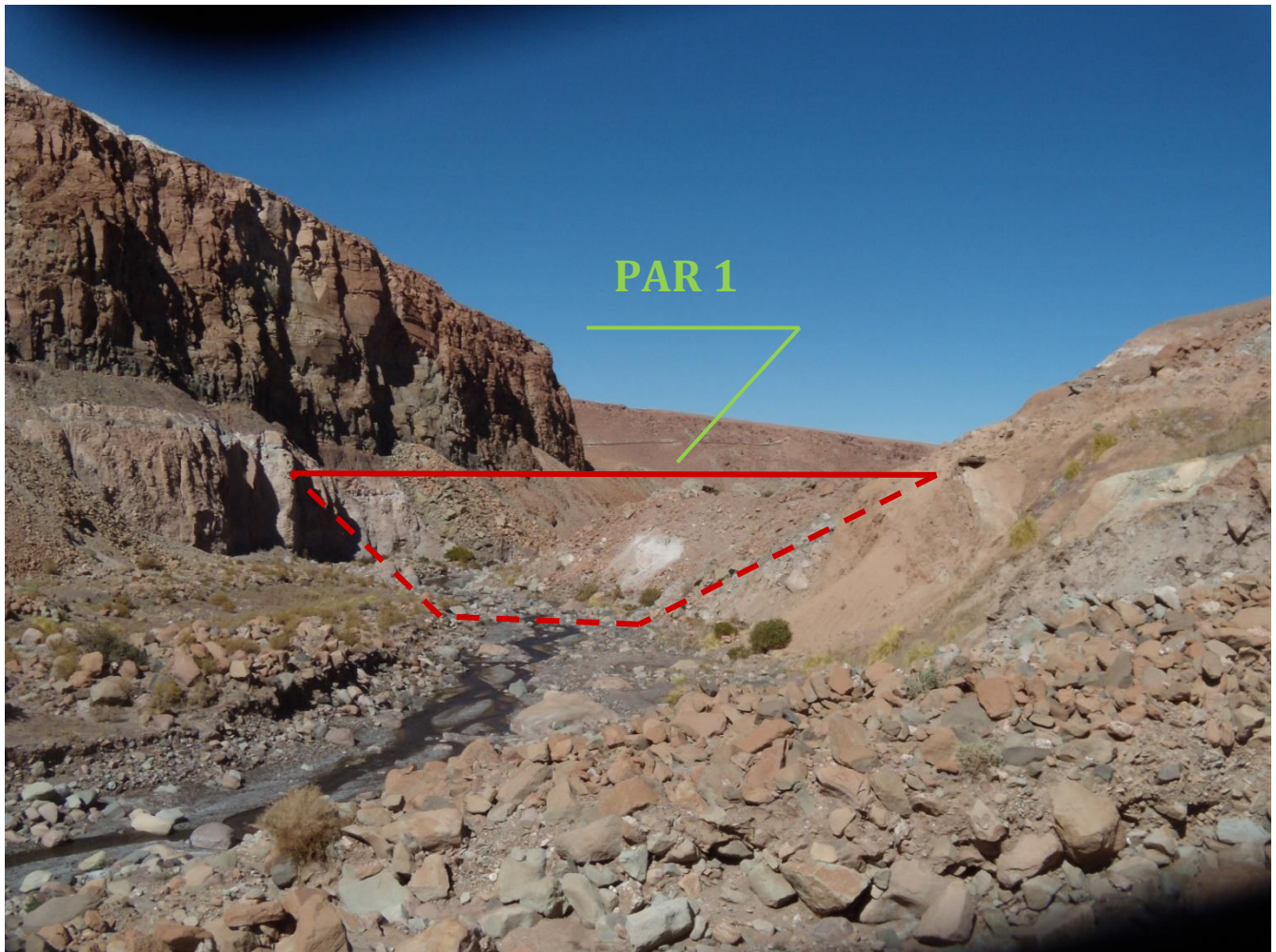


Vista hacia aguas arriba por valle del río Salado. Sitio de emplazamiento del eje de la alternativa 1 de la presa de acumulación – regulación sobre el río Salado, PAR 1, en plano GEO-RSP 1. Apoyo izquierdo constituido por rocas muy bien estratificadas, dispuestas subhorizontalmente, incluidas en la unidad Ignimbrita Sifón, Mss. En una ladera de fuerte empinamiento, el intenso fracturamiento superficial de las rocas, favorece el desarrollo de un ambiente bastante inestable, representado activos derrames coluviales.

En el sector, el apoyo derecho de la presa compromete, mayoritariamente, el remanente del frente lobular de una voluminosa remoción en masa del tipo avalancha de rocas, integrada por una compleja masa de bloques rocosos sueltos, de diversa composición, forma y tamaños, bastante densos y resistentes.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.7.2-2
VISTA AGUAS ABAJO RÍO SALADO ALTERNATIVA 1 EMBALSE RIEGO



Vista hacia aguas abajo por valle del río Salado. Sitio de emplazamiento del eje de la alternativa 1, de la presa de acumulación – regulación sobre el río Salado, PAR 1, en plano GEO-RSP 1. Apoyo izquierdo o este, compromete una secuencia bastante bien estratificada, dispuesta horizontalmente, integrada por

bancos alternantes tobáceos e ignimbríticos de la unidad Ignimbrita Sifón, Mss. En apoyo derecho, remanente del frente lobular de avalancha de bloques rocosos, sueltos, con diversas formas y tamaños.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.2.7.2-3
DETALLE AVALANCHA DE ROCAS**



Detalle de frente lobular de avalancha de rocas comprometido en el emplazamiento del apoyo derecho de la alternativa 1 de la presa de acumulación – regulación captación sobre el río Salado, PAR 1, en plano GEO-RSP 1. Masa de bloques sueltos de areniscas a areniscas tobáceas, rojizas y grises, angulosos, densos, inalterados y resistentes con tamaños medios de 0,4 a 0,7 m; en zonas, los bloques desarrollan superficies concoidales de ruptura. La angulosidad y consiguiente efectiva traba mecánica, contribuye decisivamente a la actual estabilidad de la voluminosa de bloques movilizados.

Fuente: Elaboración Propia.

Las demandas de enrocados para la construcción de defensas fluviales, protecciones de cauces, instalaciones de deflectores, ataguías y protección de paramentos de estructuras de bocatomas y presas del Proyecto, podrían ser satisfechas a partir de rocas tobáceas soldadas, densas, resistentes, incluidas en la unidad Ignimbrita Sifón, **Mss**.

En todos los casos, las potenciales fuentes alternativas para el efectivo suministro en calidad y cantidad de enrocados incluirían:

- Extracciones controladas a partir de la apertura de pequeñas canteras, involucrando bancos tobáceos e ignimbríticos, que participan del pié de empinadas paredes rocosas locales y,
- Extracciones selectivas o simples reducciones, (“cachorro” o tronaduras secundarias) de bloques rocosos sueltos que, en el entorno inmediato a algunas obras del Proyecto, se disponen sobre discontinuos segmentos de las respectivas llanuras locales de inundación; habitualmente, se trata de materiales desprendidos o deslizados gravitacionalmente, desde las empinadas paredes fracturadas de ambas vertientes de los valles de los ríos Grande y Salado, Figura 6.2.7.2-3.

6.2.8. Análisis Geotécnico, Conclusiones y Recomendaciones Respecto de los Terrenos Comprometidos en el Emplazamiento de Obras del Proyecto

6.2.8.1. Introducción

En este acápite, se entrega una descripción de las características morfológicas, geológicas y estructurales de los terrenos, junto a una evaluación del comportamiento geotécnico de materiales (suelos y rocas), comprometidas en los desarrollos y emplazamientos de las principales estructuras incluidas en la actual disposición conceptual del Proyecto objeto de estudio.

6.2.8.2. Túneles de Trasvase (Características de los túneles y Marco Morfogeológico de los Terrenos Comprometidos en sus Desarrollos)

Como se ha consignado en capítulos precedentes, la conceptualización espacial vigente de las obras del PMRSP, contempla la incorporación de dos túneles destinados al trasvase secuencial de aguas, con buena aptitud de riego (bajas concentraciones salinas), desde su captación inicial mediante una bocatoma ubicada sobre un segmento del río Grande y su posterior conducción en un túnel de trasvase y vertido al cauce de río Salado; desde éste, las aguas serán conducidas por una segunda aducción en túnel, para su posterior vertido directo controlado en un punto del propio cauce del río Grande.

De acuerdo a la señalada configuración de las obras, el túnel de trasvase de aguas desde el río Grande al río Salado tendría una longitud de 1.250 m, mientras que el túnel de trasvase de aguas del río Salado al río Grande, una longitud de 750 m, denominados **TRG** y **TRS**, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**.

Para las referidas estructuras de trasvase en túneles, se consideran secciones de arco de medio punto mínimas de construcción, a saber, 2,5 m de alto por 2,0 m de ancho; para los segmentos iniciales de 40 m, en torno a los respectivos portales, se han contemplado leves incrementos en la sección transversal básica, destinada a albergar la forzada instalación de elementos a base de hormigón y marcos (puntuales o sistemáticos), involucrados en el eventual reforzamiento localizado de macizos rocosos, geomecánicamente incompetentes, producto de intemperización y/o fracturamiento superficial.

Con el objeto de evitar el eventual adverso contacto directo de las aguas conducidas a lo largo de los dos túneles de trasvase, con terrenos salinos y consiguientes riesgos de contaminación, el diseño preliminar de las obras considera la incorporación de revestimiento continuo de hormigón de la sección mojada de las canaletas de conducción.

Atendido el desnivel de aproximadamente 53 m entre las cotas de ambos portales del túnel de trasvase río Salado – río Grande, **TRS**, en torno a la estructura de salida (concordante punto de vertido directo de aguas al cauce del río Grande), se contempla la instalación de una obra de caída y disipación de energía.

Los terrenos comprometidos en el desarrollo de los dos túneles de trasvase del PMRSP, participan de la configuración de una elongada franja interfluvial enmarcada entre los valles de los ríos Grande y Salado; esencialmente, se trata de una superficie regular bastante plana con una persistente y suave inclinación hacia el Sur, cuya superficie culmina a alturas que se sitúan en el rango de 2.900 a 3.100 m.s.n.m.

De acuerdo a la disposición espacial vigente de las obras, los sitios preliminarmente establecidos para instalar los portales de los respectivos túneles, consignan segmentos puntuales de las abruptas laderas de los valles de los ríos Grande y Salado.

De acuerdo a la información geológica disponible de la zona objeto de estudio, complementada con los resultados de nuestro reciente breve reconocimiento directo, los terrenos involucrados en el emplazamiento de ambos túneles de trasvase consignan,

mayoritariamente, materiales rocosos de la unidad Ignimbrita Sifon, **Mss**, en **plano GEO-RSP 1**.

Incluye flujos ignimbríticos que entre el río Toconce y aproximadamente 10 km al norte de la localidad de San Pedro de Atacama, participan de la configuración de extensas morfologías llanas del sector prealtiplánico de la Segunda Región.

En la zona objeto de estudio, el alcance y espesor de la unidad, está controlado por una topografía abrupta, modelada a partir rocas mesozoicas y estratovolcanes miocénicos.

Los materiales tobáceos que, mayoritariamente, participan de la unidad, poseen composiciones dacíticas, con tonalidades grises y pardo claro, bastante bien litificadas o “soldadas” y cristalizadas, muy resistentes que favorecen el desarrollo de fracturas concoidales, propias de materiales frágiles; en sectores, las secuencias tobáceas incorporan abundantes clastos subredondeados de pómez, blanquecina.

En torno a la zona objeto de estudio, las rocas de la unidad **Mss**, cuando expuestas tanto en las laderas de los valles de los ríos Grande y Salado, como en discontinuos segmentos de su extensa planicie “interfluvial”, las rocas de la unidad se observan recorridas por un complejo patrón ortogonal de fracturas rectas, abiertas y corto desarrollo, genéticamente atribuidas a procesos de enfriamiento de flujos ignimbríticos.

En valles provistos de laderas rocosas con fuerte inclinación, el señalado ambiente estructural, condiciona el recurrente desarrollo de activos procesos de remociones en masa, representados por desprendimientos, deslizamiento y avalanchas de rocas.

Los materiales clásticos y bloques rocosos movilizados gravitacionalmente ladera abajo, a partir de sus respectivas zonas de “arranque o despegue”, se acopian al pié de las laderas, donde configuran estructuras alargadas, (verdaderas “lenguas”) provistas de frentes lobulares, discontinuos conos o abanicos coluviales sueltos e inestables que, en sectores estrechos de las llanuras de inundación, suelen provocar obstrucciones temporales en los cauces de ríos Grande y Salado.

En sectores puntuales, la actividad erosiva ejercida sobre los frentes lobulares de los conos o abanicos coluviales, inestables, por recurrentes flujos torrenciales de ambos ríos, vinculados a episodios pluviales de intensidad extrema, durante el “invierno boliviano”) suele provocar reactivaciones de los señalados acarreos; se trata de procesos que, junto con forzar el desarrollo de activas divagaciones en los cauces, condicionan importantes incrementos en las cargas de arrastre de fondo y suspensión en los aguas de los ríos.

a) Consideraciones Geotécnicas de los Túneles de Trasvase

En los terrenos involucrados en el desarrollo de ambos túneles de trasvase, **TRS** y **TRG**, en **plano GEO RSP- 1**, las secuencias volcanoclásticas y sedimentarias de las unidades Ignimbrita Sifón y formación San Pedro, **Mss** y **Tsp**, respectivamente, se disponen horizontalmente, de acuerdo a bancos alternantes sistemáticamente bien estratificados, Figura 6.2.8.2-1 y 6.2.8.2-2; se asume que esta singularidad estructural les otorgaría a los materiales un carácter global anisotrópico, donde las propiedades y comportamientos geomecánicos cambiarían según la dirección considerada.

Preliminarmente, para los dos túneles de trasvase se estiman techos o “sobrecargas”, con espesores en el rango de 50 a 60 m, integrados por basamento rocoso, discontinuamente enmantado, con espesores muy variables, por depósitos granulares sueltos de tipo aluvial y seudonario.

Considerando el dominio de esfuerzos verticales impuestos por cargas litoestáticas, los potenciales riesgos de sobreexcavaciones y consiguientes demandas de fortificación en los túneles, se deberían concentrar en las respectivas claves de los segmentos iniciales, primeros 30 a 35 m, de los túneles. No obstante ello, habida consideración del escaso galibo de las estructuras, se estima que las inestabilidades asociadas al desarrollo de adversas sobreexcavaciones, podrían ser eficientemente controladas por la oportuna instalación puntual o sistemática de pernos de anclaje, afianzados a rocas geomecánicamente competentes; situaciones extremas, demandarían la colocación, complementaría, de mallas metálicas.

La revisión de imágenes satelitales de la “planicie interfluvial”, involucrada en el desarrollo de ambos túneles de trasvase, permitió establecer la ausencia de rasgos morfológicos lineales, atribuibles a fallas de importancia. Al respecto, interesa consignar que, en las faenas de construcción de túneles, la intercepción de este tipo de estructuras y correspondiente presencia de materiales fracturados y/o meteorizados, blandos, plásticos, expansivos y deformables, favorecen el desarrollo de complejas inestabilidades puntuales, asociadas al desarrollo de importantes presiones desestabilizantes y consiguientes sobreexcavaciones.

Interesa consignar que la complejidad geológica y estructural de los terrenos es uno de los factores que más influye en la estabilidad final de las excavaciones subterráneas. Normalmente, en rocas plegadas y estratificadas, la orientación de los estratos condiciona diferentes modalidades de comportamientos frente a la estabilidad en un túnel, incluyendo el buzamiento o inclinación de las secuencias con respecto a la orientación del túnel, dirección de la estratificación con respecto al eje del túnel y tipos de plegamientos. En general, las orientaciones paralelas a la dirección del eje de los túneles son las más desfavorables.

En ambientes rocosos integrados por secuencias alternantes de bancos muy bien estratificados, dispuestos horizontalmente, las faenas de excavaciones de túneles suelen favorecer el desarrollo de hastiales o costados muy bien perfilados y estables.

Complementariamente, durante las recientes reconocimientos directos de los terrenos involucrados en el emplazamiento de las diversas obras del PMRSP, se aprovechó de realizar una breve visita al antiguo túnel Catarpe, (parte integrante del trazado del antiguo camino Calama – San Pedro de Atacama, construido en 1930 y actualmente inoperable), Figura 6.2.8.2-3 y 6.2.8.2-4, ubicado a aproximadamente 12 km al noroeste de la localidad de San Pedro de Atacama; se trata de una obra de 305 m de largo, sección de medio punto de 3,0 m de ancho por 3,2 m de alto.

Sólo los primeros 5 m en torno a sus portales, incorporan una bóveda de hormigón, Figura 6.2.8.2-1.

Un recorrido a lo largo del señalado túnel, permitió establecer la presencia de una sección transversal bastante regular, estable, exenta de revestimiento; sólo en un corto tramo central, la clave del túnel registra el desarrollo de un pequeño desprendimiento de material rocoso, totalizando aproximadamente 2,0 a 2,5 m³.

FIGURA 6.2.8.2-1
PARAPENTO TÚNEL DE TRASVASE RÍO GRANDE - RÍO SALADO

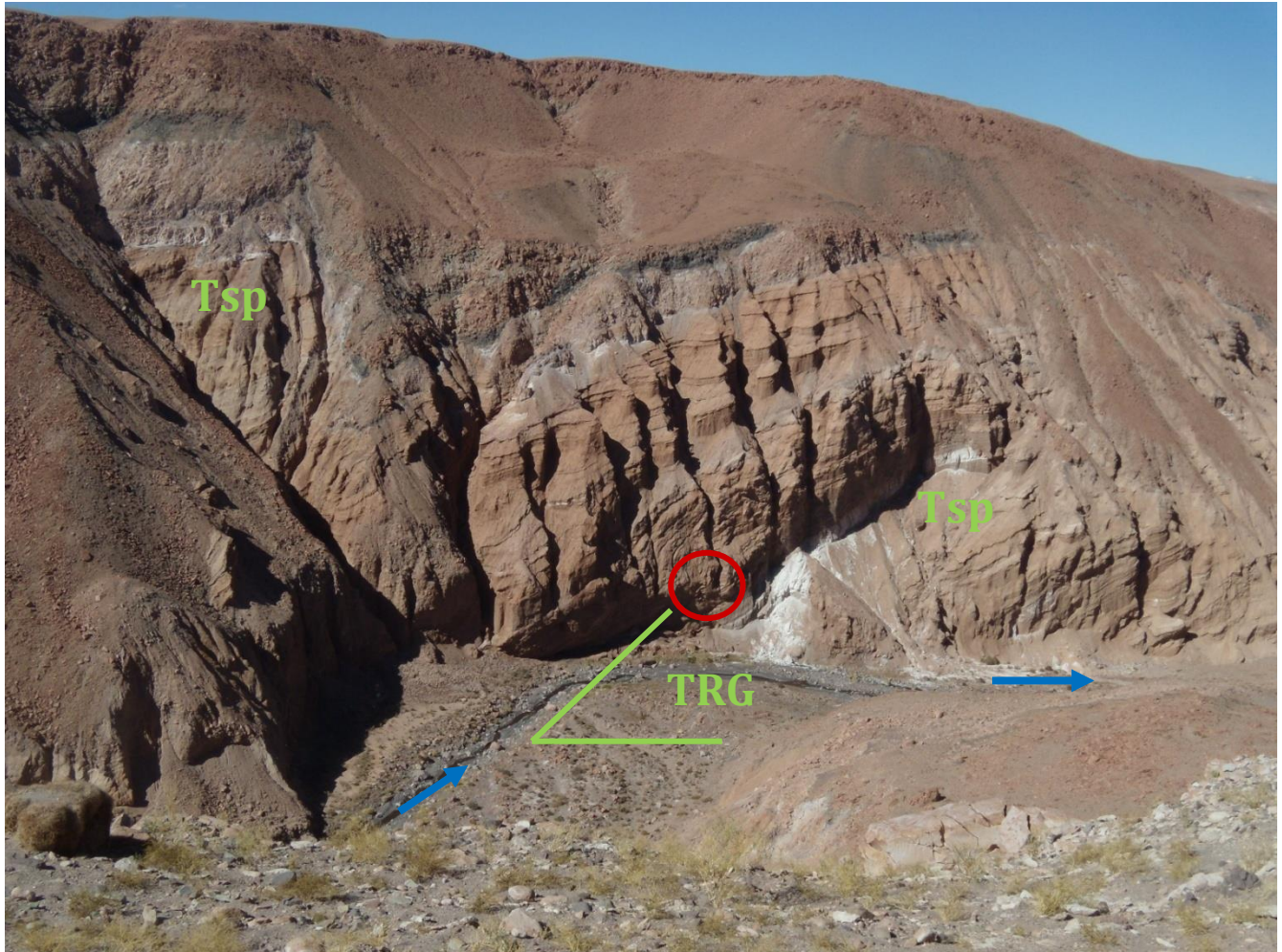


Vertiente derecha del valle del río Salado, aproximadamente 2,5 km aguas abajo del portal de entrada de túnel de trasvase río Grande – río Salado, TRG, en plano GEO-RSP 1. En este sector las empinadas paredes del valle comprometen, exclusivamente, una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de areniscas, areniscas limosas y limolitas de color rojizo, con altas concentraciones salinas, semi – consolidadas, incluidas en la formación San Pedro, Tsp.

Se trata de materiales sedimentarios cuya alta susceptibilidad a la erosión hídrica, asociadas a episodios pluviales de intensidad extrema durante el “invierno boliviano”, ha condicionado el desarrollo de densas, estrechas y profundas incisiones, representadas por cárcavas lineales que culminan en agudas crestas o pináculos; en su conjunto, configuran un paisaje muy irregular e inestable, favorable al desarrollo de activos desprendimientos y flujos de barro o detritos.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.8.2-2
PORTAL DE SALIDA TÚNEL TRASVASE RÍO GRANDE - RÍO SALADO



Vertiente izquierda o este de valle del río Salado. Se indica sitio de emplazamiento del portal de salida del túnel de trasvase río Grande – río Salado, TRG, en plano GEO-RSP 1. Se observa potente secuencia bastante bien estratificada, horizontalmente, de bancos alternantes de areniscas, areniscas limolíticas y limolitas arcillosas finamente laminadas color rojizo, moderadamente cementadas que, puntualmente incorporan niveles lenticulares mantos salinos y yesíferos, con tonalidades blanquecinas, incluidos en la formación San Pedro, Tsp; las repetidas incisiones verticales rectilíneas, labradas en la pared rocosa, responden a intensos procesos de erosión por derrames de aguas de escurrimiento superficial, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema (“invierno boliviano”).

En el sector, las claras deformaciones y desplazamientos por fallas en la secuencia incompetente de la formación San Pedro, responderían a un ambiente estructural tectonizado que, puntualmente, altera su regular estilo monoclin. En primera instancia, el señalado carácter daría cuenta de la presencia de terrenos con moderado a bajo carácter geotécnico.

Fuente: Elaboración Propia.

Las faenas de excavación del túnel Catarpe comprometieron terrenos incluidos en la formación San Pedro, **Msp**, en **plano GEO RSP - 1**, integrada por arcillas y limolitas rojas, junto a bancos alternantes de areniscas, niveles yesíferos, tobas de cristales, ceniza, kieselgur y conglomerados no consolidados, con tonalidades grisáceas.

En su conjunto, desarrollan estructuras macizas a bien estratificadas, dispuestas subhorizontalmente, Figura 6.2.8.2-3; en zonas, desarrollan claros rasgos deformativos acompañadas de abundantes guías centimétricas de yeso y/o calcita, Figura 6.2.8.2-4.

Se estima que, en su momento, las faenas de excavación se habrían sustentado en rudimentarios procedimientos manuales de perforación y voladuras (incluyendo el denominado tiro “*coyote*”⁹). Normalmente, la aplicación de la señalada técnica, junto con provocar el “arranque” de volúmenes de rocas superiores a los supuestos, para la efectiva configuración de las respectivas secciones transversales preestablecidas para los túneles, favorecía el desarrollo de condiciones inestables, (sobreexcavaciones) en las claves, producto del desarrollo de densas redes de fisuras y fracturas periféricas inducidas.

Las consideraciones que anteceden, permiten establecer que los terrenos involucrados en el desarrollo del antiguo túnel Catarpe, comprometerían materiales (suelos, depósitos semi consolidados y basamento rocoso) genética, geológica y estructuralmente afines a aquellos que participarían de los terrenos comprometidos en el desarrollo de los túneles de trasvase entre los ríos Grande y Salado; adicionalmente, se trata de obras con similares galibos o secciones transversales.

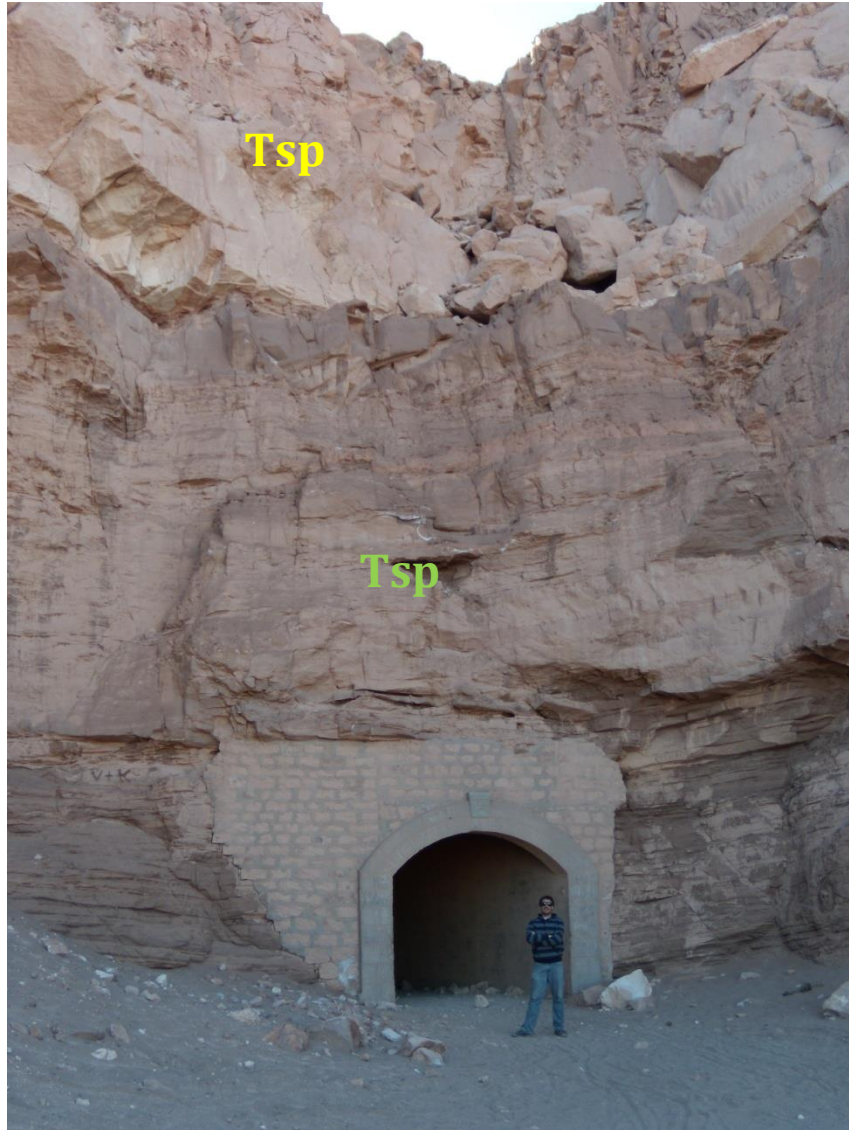
La razonable extensión de las señaladas afinidades geológicas, estructurales y geotécnicas a los materiales involucrados en las excavaciones de los túneles de trasvase del Proyecto objeto de estudio, supondría el compromiso de un medio físico geomecánicamente competente, estable, por tanto, favorable a la materialización de los túneles.

Sea como fuere, no debería ser desatendido el hecho de que, en torno al portal de salida del túnel de trasvase río Grande – río Salado, **TRG**, en **plano GEO-RSP 1**, la presencia de importantes coberturas de depósitos coluviales sueltos, sobreyacentes a basamento rocoso de la formación San Pedro, semi consolidado y muy erosionable por escurrimiento superficial de aguas lluvia, asociadas a episodios pluviales de intensidad extrema, (“invierno boliviano”), concurren para generar un potencial ambiente de dudoso comportamiento estable, Figuras 6.2.8.2-1 y 6.2.8.2-2. Conforme a este carácter, los eventuales riesgos impuestos por el desarrollo de complejas remociones en masa del tipo flujo de barro o detritos, demandarían la ejecución previa de rigurosos procedimientos de “acuñamiento” o “desquinche”, destinados a la forzada remoción manual o mecanizada de los materiales (suelos y rocas sueltas), en actual situación de equilibrio límite, complementadas con la instalación de efectivos sistemas de intercepción y conducción controlada de aguas lluvia. Situaciones críticas, exigirían la colocación puntual o sistemática

⁹ Básicamente, el procedimiento incluía el relleno con pólvora granular de una cavidad excavada manualmente, sellada o bloqueada por la colocación de una capa de arcilla compactada. La voladura era activada mediante el encendido de una mecha.

de pernos de anclaje afianzados a basamento rocoso geomecánicamente competente, eventualmente complementadas con la incorporación de mallas metálicas y/o colocación de capas de hormigón proyectado, *shotcrete*.

FIGURA 6.2.8.2-3
PORTAL TÚNEL CATARPE



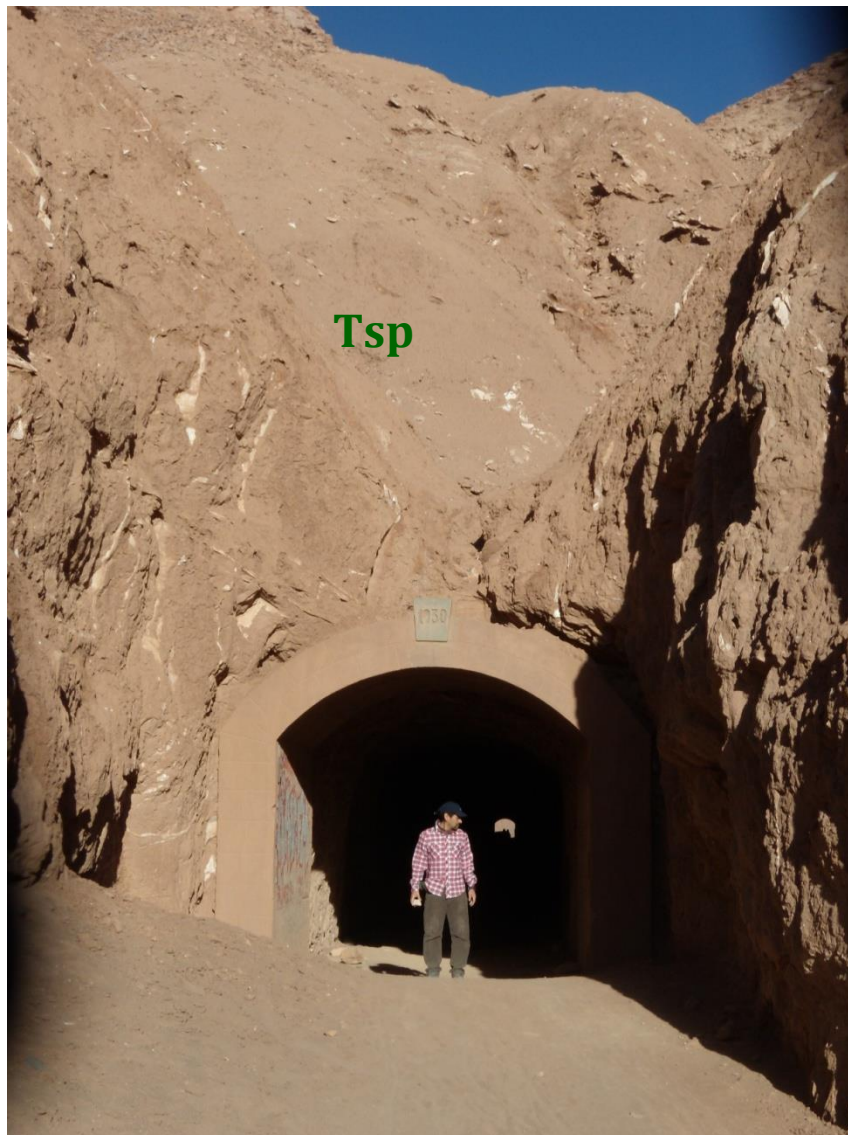
Portal NE de antiguo túnel vial Catarpe, construido el año 1930, actualmente inoperativo; posee un largo de 300 m, con sección de medio punto de 3,0 m de ancho y 3,5 m de alto; los 5.0 metros iniciales en torno a los respectivos portales, están fortificados mediante una bóveda a base de mampostería y hormigón; el restante tramo del túnel no posee ningún tipo de fortificación o revestimiento. Sólo en su

sección media se registra una leve sobreexcavación representada por un desprendimiento puntual a partir de la clave de aproximadamente 2,0 a 2,0 m³

En este portal, el túnel tiene un “techo” a sobrecarga de 11,5 a 12 m, comprometiendo una secuencia de bancos alternantes de areniscas y arenisca levemente tobáceas, macizas a bien estratificadas, blanquecinas, bastante litificadas, junto a areniscas y limolitas de color gris y arcillolitas finamente laminadas de color rojizo, incluidas en la formación San Pedro, Tsp.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.2.8.2-4
PORTAL TÚNEL CATARPE**



Portal SO de túnel Catarpe. En el sector, la totalidad de la sección transversal del túnel compromete una secuencia finamente estratificada de areniscas y areniscas limosas, rojizas junto a abundantes intercalaciones de capas salinas y yesíferas, blanquecinas; en el sector la secuencia semi consolidada de la formación San Pedro, Tsp, desarrolla complejas estructuras de deformación, expresada en una sistemática disposición vertical.

Fuente: Elaboración Propia.

En ambientes áridos, como el objeto de estudio, se estima que la normal presencia de intercalaciones lenticulares arcillosas, con elevadas concentraciones salinas y alta solubilidad, podría favorecer el potencial desarrollo de complejos cambios volumétricos e inestabilidades asociadas a comportamientos expansivos, al interior de los túneles. No cabe atribuir a las arcillas con propiedades expansivas una presencia general en los dos túneles, aunque si, una probabilidad alta que pueda aparecer en cualquier sector.

En nuestro caso, los mecanismos desencadenantes podrían responder a simples variaciones en sus contenidos de agua, con el consiguiente desarrollo de deformaciones, movimientos diferenciales y daños estructurales puntuales, (derrumbes), al interior de las secciones no revestidas de los túneles de transvase. Los aportes de aguas podrían provenir de infiltraciones directas asociadas a episodios pluviales de intensidad extrema durante el “invierno boliviano” o condensación directa de flujos de aire húmedo, al interior de los propios túneles.

Este adverso comportamiento estructural, podría ser efectivamente controlado, mediante la incorporación de sellos perimetrales en los túnel, a base de una continua capa de hormigón proyectado, “*shotcrete*”.

6.2.8.3. Obras de Bocatoma sobre río Grande y Alternativas de Presas de Almacenamiento y Regulación sobre el río Salado

a) Descripción de Obras

Atendidos los resultados de estudios previos, asociados a la problemática del mejoramiento del sistema de riego del río San Pedro, la conceptualización vigente del Proyecto incluye la incorporación de una disposición espacial de obras tendientes a garantizar la calidad química de las aguas objeto de aprovechamiento. Básicamente, se sustenta en la necesidad de ejercer un efectivo control respecto del riesgo de contaminación de las aguas, durante su paso por el sector denominado “Vertiente de Salmueras”, del río Salado, ubicado aguas arriba del punto de confluencia con el río Grande. Conforme a ello, en el actual estado de avance del Proyecto objeto de estudio, para el emplazamiento de la estructuras de bocatoma sobre el río Grande, **BRG**, en plano **GEO-RSP 1**, se consigna un sitio, mientras que para la presa de acumulación - regulación sobre el río Salado se contemplan dos sitios alternativos, denominados **PAR 1** y **PAR 2**, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**.

En el caso de la **BRG** se considera una estructura de bocatoma de aproximadamente **26 m** de largo y **5 m** de alto. Ubicada **13,2 km** aguas arriba de su confluencia con el río Salado, mientras que para la presas de acumulación – regulación sobre el río Salado, **PRS 1** y **PRS**

2, respectivamente, se contemplan dos sitios alternativos ubicados 4,2 y 4,7 km, aguas abajo del punto donde el camino B - 207 que conduce hacia San Bartolo, sobrepasa el cauce del río Salado; para esta estructura se consideran capacidades de almacenamiento de 1,5 a 2,0 millones de m³.

Preliminarmente, para las señaladas obras de bocatoma y acumulación - se consideran estructuras a base de gravas compactadas y/o enrocados, provistas de paramentos impermeables de hormigón en sus respectivos paramentos de aguas arriba.

Las decisiones aprobatorias, tanto respecto de las disposiciones finales de las obras como de sus respectivas tipologías constructivas, estarán supeditadas a la efectiva disponibilidad de confiables apoyos topográficos y resultados de una futura campaña de prospecciones geotécnicas de los terrenos involucrados en los respectivos emplazamientos.

Cada uno de los sitios será objeto de un análisis morfológico, geológico y geotécnico.

b) Características Geológicas y Estructurales de los Terrenos

De acuerdo a *Marinovic y Lahsen* (1984), los segmentos de los valles de los ríos Grande y Salado, involucrados en el emplazamiento de los apoyos de la estructura de bocatoma y dos alternativas vigentes de presa de acumulación - regulación, respectivamente, comprometerán la sección basal de empinadas y activas laderas de valles; esencialmente, están constituidas por rocas de la unidad Ignimbrita Sifón y formación San Pedro, *Mss* y *Tsp*, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**.

Incluyen potentes secuencias bastante bien estratificadas dispuestas subhorizontalmente, integradas por bancos alternantes de ignimbritas y tobas dacíticas y riolíticas de cristales, grises, densas, bastante litificadas y alternancias finamente estratificadas de capas de areniscas, areniscas levemente tobáceas, arcillolitas y limolitas arcillosas finamente laminadas de color rojizo, semi consolidadas.

A nivel superficial, cuando expuestas en ambas vertientes de los señalados valles, las rocas se observan recorridas por un penetrativo patrón ortogonal de fracturas verticales, rectas, abiertas, con largos observables de 10 a 15 m, genéticamente atribuido a la acción de esfuerzos tectónicos regionales y/o rápidos procesos de enfriamiento superficial de flujos ignimbríticos, originados a partir de centros eruptivos explosivos radicados en torno a las cabeceras de las hoyas de los ríos Salado y Grande, correspondientes a los volcanes: Putana, Tatio, La Torta, Tocarpori, Sairecabur y Escalante.

Mientras tanto, el relleno del fondo de los valles de los ríos Salado y Grande, está integrado, predominantemente, por una secuencia maciza a pobremente estratificada de depósitos granulares, (ripios, gravas, gravas arenosas y arenas, con escasos finos cohesivos), sueltos a semiconsolidados de tipo aluvial, fluvial y fluvioaluvial; se trata de materiales genéticamente asociados a mecanismos de erosión, transporte y depositación de cauces precursores de los actuales ríos.

Prácticamente se encuentran en este tipo de suelos todos los grupos de clasificaciones posibles, aunque los más representativos corresponderían a GP y SW.

En su estado natural, estos materiales granulares presentan una consistencia suelta, con densidades relativas medias a bajas, muy porosos y permeables.

c) Características y Comportamientos Geotécnicos Esperados de los Terrenos

A nivel local, el normal importante grado de cristalización y litificación de los materiales rocosos locales de la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, involucrados en los apoyos de las estructuras de bocatoma y presas de captación - regulación, les otorgan elevada densidad, fragilidad y resistencia, concordante con moderadas a altas competencias geomecánicas.

Mientras tanto, el normal intenso, sistemático y penetrativo fracturamiento que afecta al basamento rocoso local, favorece el desarrollo de inestabilidades focalizadas, representadas por el recurrentes activos procesos de remociones en masa: conos y abanicos coluviales, avalanchas, desprendimientos y deslizamientos de bloques rocosos.

En primera instancia, el compromiso de terrenos inestables sometidos a riesgos de remociones en masa, supone la necesaria realización, en torno a los puntos de apoyo de la estructura de bocatoma y alternativas de presas, de complejas faenas de “desquinche o acuñamiento” manual o mecanizado, destinadas al retiro previo de la totalidad de los materiales (suelos y rocas fracturadas), en actual situación de equilibrio inestable. Situaciones extremas podrían exigir su complementación mediante la colocación puntual o sistemática de pernos de anclaje, afianzados a basamento rocoso geomecánicamente competente, con o sin mallas metálicas de refuerzo.

Se estima que la capacidad de carga de los depósitos fluviales a fluvioaluviales es moderada a alta y los asientos muy bajos. Debido a la normal complejidad litológica que concurre en la zona, las características y comportamientos geotécnicos de los terrenos pueden variar notablemente respecto de las condiciones globales asignadas a estos materiales.

Las decisiones involucradas en el tratamiento de estanqueidad y consolidación de los respectivos cimientos de las estructuras de bocatoma y alternativas de presas dispuestas sobre los ríos Grande y Salado, respectivamente, involucrando depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, con moderada a alta porosidad y permeabilidad, estarán supeditadas a los resultados de futuras exploraciones mediante sondajes; las señaladas actividades deberán incluir el confiable conocimiento de las características litológicas y granulométricas y su continuidad en sentido lateral y profundidad, densidad y permeabilidad de las secuencias sedimentarias que participan del actual relleno del fondo de ambos los valles.

d) Bocatoma Río Grande, *BRG*, en plano GEO-RSP 1

El sitio de emplazamiento de la estructura de bocatoma sobre el río Grande, se ubica a aproximadamente 13,2 km aguas arriba del punto de confluencia con el río Salado. A partir de este sitio, las aguas captadas, (con buena aptitud de riego) serán posteriormente trasvasadas al valle del río Salado, mediante un túnel de 2.300 m de largo.

Preliminarmente, para esta bocatoma se considera una estructura de hormigón armado, con un largo de aproximadamente **26 m** y alto de 5 m.

En el sector, el profundo valle del río Grande, presenta una sección transversal bastante simétrica, cuyas empinadas laderas han sido modeladas en rocas sedimentarias de la

formación San Pedro, *Tp*, (*Marinovic y Lahsen*, 1984), en **plano GEO-RSP 1**, por una prolongada actividad erosiva de tipo fluvial a fluvioaluvial de cauces antecesores del actual río.

En el fondo del valle del río Grande, su cauce desarrolla una trayectoria semi sinuosa, pobremente establecida sobre una estrecha llanura de inundación, integrada por una secuencia maciza a escasamente estratificada de depósitos granulares semi consolidados del tipo ripios, gravas y arenas muy gruesas, acompañadas de ocasionales lentes de finos cohesivos.

El normal predominio de fracciones granulares asociadas a flujos torrenciales de gran energía y cortas trayectorias de escurrimiento, le otorgan al relleno sedimentario del valle, en el sector, bajas consistencias o densidades y elevadas porosidades y permeabilidades.

En el actual estado de avance del Proyecto y con la información técnica disponible de los terrenos involucrados en el emplazamiento de esta estructura, no se han detectado mayores problemas en cuanto a las condiciones geotécnicas, que determinen la necesidad de realizar importantes desplazamientos o relocalizaciones a terrenos alternativos disponibles; conforme a ello, preliminarmente, se estima que el sitio preestablecido para el emplazamiento y fundación de esta estructura de bocatoma se presenta como técnicamente factible. En el sector, el necesario confiable conocimiento de las características geológicas y permeabilidad del relleno sedimentario granular del fondo del valle, estará condicionado a la ejecución de una futura campaña de sondajes de exploración. Los parámetros geotécnicos e hidráulicos obtenidos de los terrenos de fundación, sustentarán la elección final del tipo de estructura y correspondientes procedimientos de impermeabilización o sello.

e) Presa de Acumulación – Regulación Sobre Río Salado, PAR 1

El eje dispuesto para el emplazamiento de la **PAR 1**, se ha dispuesto inmediatamente aguas arriba del punto donde el antiguo camino que conduce al sector de San Bartolo, sobrepasa mediante un vado, el actual cauce del río Salado (ver **plano GEO-RSP 1**).

Preliminarmente, se ha considerado a presa de 240 m de largo y 30 m de alto, con una capacidad de almacenamiento de 1,5 millones de m³.

En el sector, el valle del río Salado desarrolla una sección transversal muy asimétrica. Conforme a este carácter, el margen derecho del valle, está integrado por un voluminoso “acopio” de bloques rocosos de diversa composición, forma y tamaño, correspondientes al cuerpo de una remoción en masa del tipo “avalancha de bloques”, originada a partir de un segmento la empinada pared rocosa, integrada por materiales sedimentarios y volcanoclásticos de la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, Figuras 6.2.8.3-1 y 6.2.8.3-2.

En torno al coronamiento y “zona de despegue o arranque” de la remoción, la unidad Ignimbrita Sifón, está integrada por una potente secuencia de bancos alternantes, dispuestos subhorizontalmente, constituida, predominantemente, por tobas dacíticas de color gris, claro, muy bien soldadas y cristalizadas que, a menudo, incorporan niveles vítreos, densos y resistentes, que favorecen el desarrollo de planos concoidales de fracturas; localmente, la secuencia incorpora delgadas intercalaciones de areniscas medias a gruesas,

bastante bien estratificadas, levemente friables o desagregables, (*Marinovic y Lahsen*, 1984); en este sector, la Ignimbrita Sifón, sobreyace concordantemente a materiales de formación San Pedro, *Mss* y *Tsp*, respectivamente, en **plano GEO-RSP 1**.

En su momento, el progresivo avance ladera abajo del activo frente lobular de la masa de bloques sueltos movilizados, derramó y ocupó un importante segmento del fondo del valle del río Salado, desplazando su cauce hacia el pié de su margen izquierdo, ubicación que aún prevalece, Figuras 6.2.8.3-1 y 6.2.8.3-2.

El cuerpo de la masa movilizada incluye, predominantemente, bloques tobáceos, angulosos, densos, inalterados, muy resistentes, con tamaños máximos de 3,5 a 4,0 m y medios de 0,5 a 0,7 m; en el sector, la resistencia y angulosidad de los bloques, favorece la traba mecánica y estabilidad del conjunto, Figura 6.2.8.3-3.

f) Presa Acumulación - Regulación Sobre Río Salado 2, PAR – 2

El eje alternativo para el emplazamiento de esta presa de acumulación – regulación sobre el río Salado, ocupa un segmento del valle ubicado a aproximadamente 470 m aguas abajo del anterior, Figuras 6.2.8.3-1, 6.2.8.3-2 y 6.2.8.3-3.

En este sector, el valle de río Salado desarrolla una sección transversal bastante asimétrica, en **plano GEO-RSP 1**, La vertiente derecha del valle incluye un plano inclinado bastante regular, conformado por una secuencia maciza a escasamente estratificada correspondientes a depósitos sedimentarios integrados por intercalaciones de arcillas rojas yesíferas, areniscas grises y rojas, bancos conglomerádicos grises y potentes mantos de sal y yeso, incluidos en la formación San Pedro *Tsp*; estos materiales subyacen concordantemente a la Ignimbrita Sifón, *Mss*, Figuras 6.2.8.3-1.

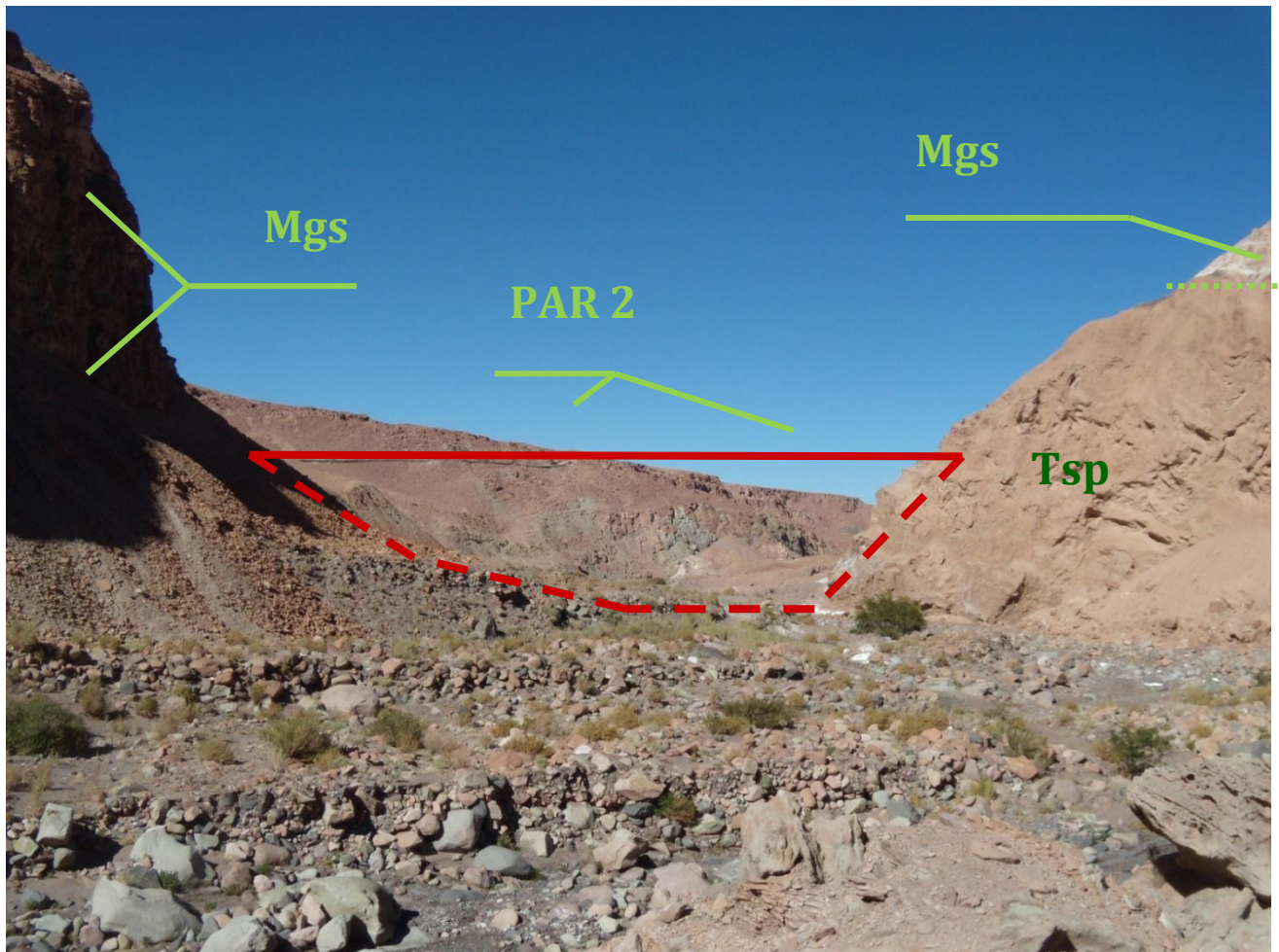
En torno al sitio de emplazamiento del apoyo derecho de esta alternativa, las mayores concentraciones salinas en los niveles basales de la formación San Pedro, *Tsp*, les otorgan a los depósitos un aparente aceptable grado de cementación (por precipitación química de sales y desarrollo de costras superficiales), compacidad y estabilidad al conjunto. En desmedro de este carácter, el escurrimiento concentrado de aguas superficiales, inducido por recurrentes episodios pluviales de corta duración y gran intensidad, asociados al “invierno boliviano” (meses de diciembre a marzo), favorece el desarrollo de activos procesos de disolución salina, representados por recurrentes flujos de barro rojizos, cuyos frentes lobulares, al acceder al cauce del río Salado, contribuyen decisivamente a incrementar sus contenidos de sólidos en suspensión y arrastre; días posteriores a la ocurrencia de los señalados episodios, por efecto de evaporación solar, la superficie de los terrenos locales, adquiere una característica tonalidad blanquecina, representada por llamativas “*manchas*” de eflorescencias salinas, Figura 6.2.8.3-3.

Las consideraciones que anteceden, permiten asignar a los terrenos que participarían del apoyo derecho de este sitio alternativo para el emplazamiento de la presa, un dudoso carácter y comportamiento geotécnico; esta condición se vincula con:

- Desarrollo de costras superficiales salinas,
- Elevada erosionabilidad y capacidad de disolución hídrica,

- Potenciales adversas reacciones químicas con los hormigones, que podrían ocasionar deterioros y/o destrucciones y,
- Riesgos impuestos por hundimiento y colapso por procesos de disolución y densificación diferencial.

FIGURA 6.2.8.3-1
EJE ALTERNATIVA 2 EMBALSE RIEGO RÍO SALADO

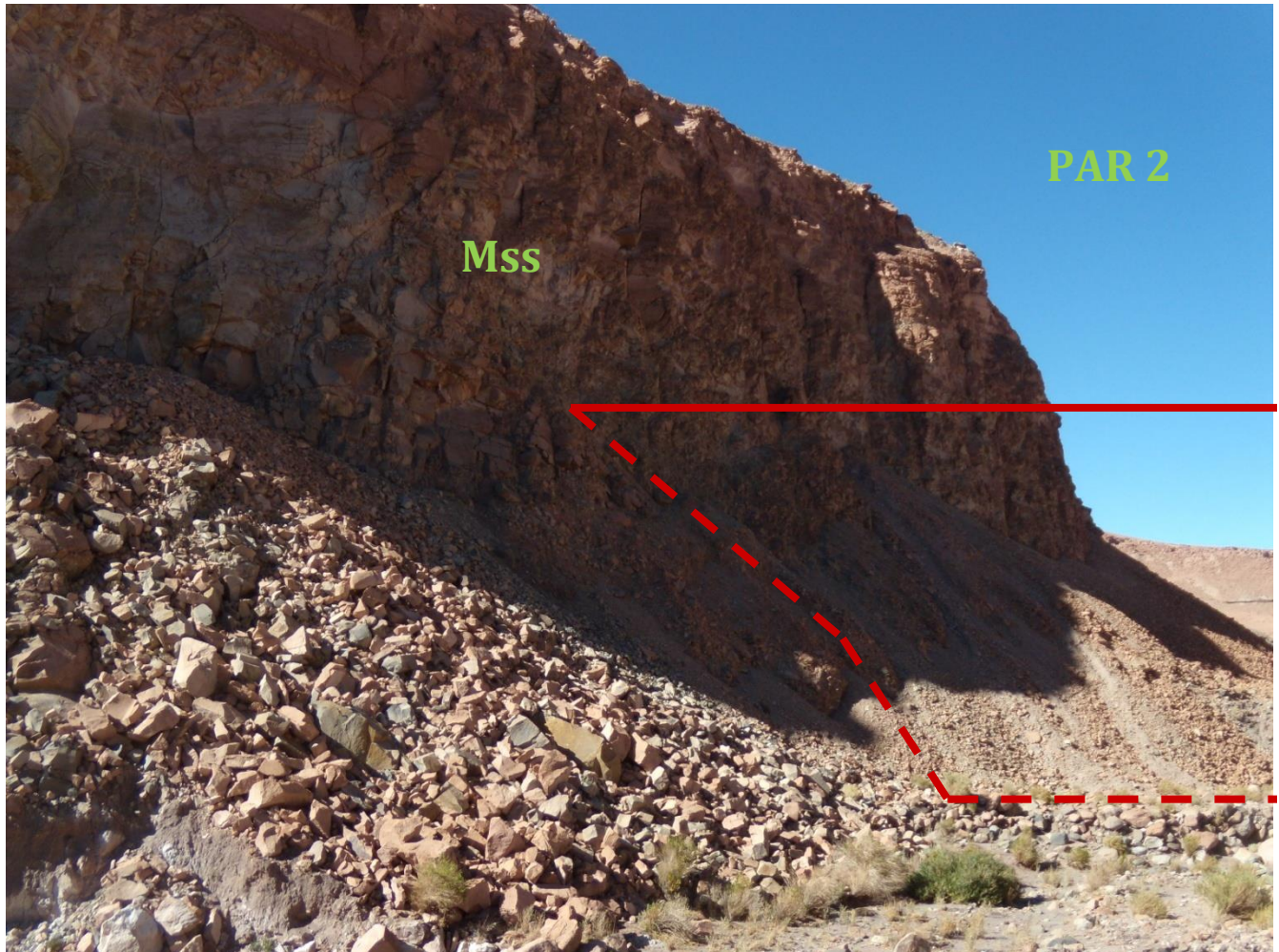


Vista hacia aguas abajo por valle del río Salado. Sección transversal asimétrica, comprometida en el emplazamiento del eje de la alternativa 2, de la presa de acumulación y regulación sobre el río Salado, PAR 2. En el sector, el apoyo izquierdo incluye una empinada pared rocosa, constituida por una secuencia maciza a pobremente estratificada de rocas ignimbríticas, incluidas en la formación Ignimbrita Sifón, Mss, en plano GEO-RSP 1; se trata de materiales bastante litificados y densos, recorridos por un complejo patrón de fracturamiento semi ortogonal que favorece el desarrollo focalizado de activos desprendimientos que, al acceder al pié de la ladera configuran activos conos o abanicos coluviales, Qe. En el sector, el apoyo derecho de la estructura comprometería una secuencia maciza de areniscas, areniscas tobáceas, areniscas limosas y limolitas arcillosas rojizas, con abundante contenido salino, correspondiente a la sección basal de la formación San Pedro, Tsp. En su conjunto, los materiales se aprecian bastante densos y cementados, superficialmente estables. En el extremo superior derecho de la foto, se observa un banco ignimbrítico, blanquecino de la unidad Ignimbrita Sifón, Mss, que yace concordante sobre la formación San Pedro.

En el sector, la sección basal del valle de río Salado incluye rellenos granulares macizos a pobremente estratificados de tipo fluvial a fluvioaluvial, con predominio de ripios, gravas y gravas arenosas, escasos finos cohesivos, acompañados por abundantes bloques sueltos de 70 a 90 cm, vinculados a episodios torrenciales; esencialmente, se trata de materiales inconsolidados, muy porosos y permeables.

Fuente: Elaboración Propia.

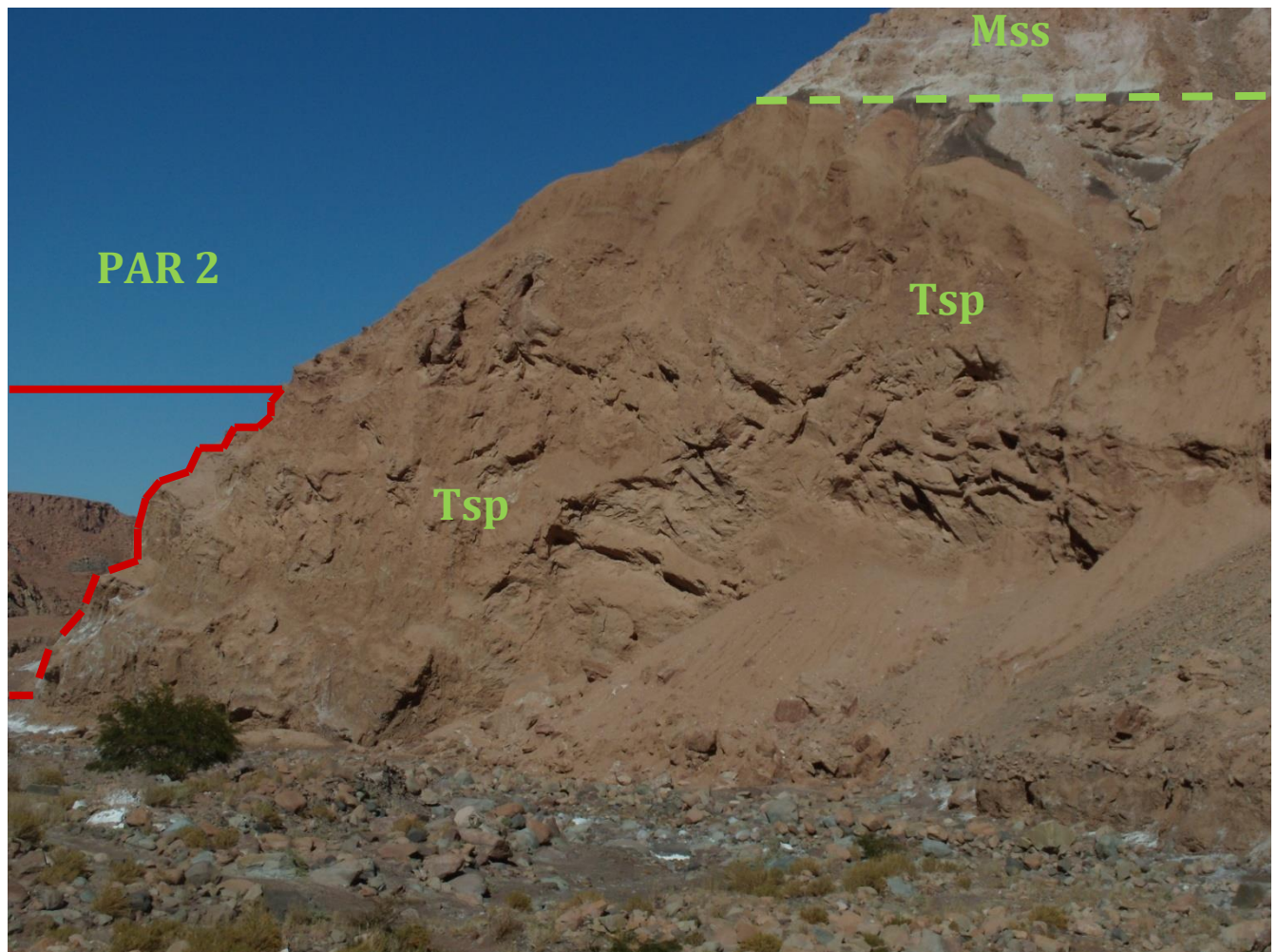
FIGURA 6.2.8.3-2
ESTRIBO IZQUIERDO ALTERNATIVA 2



Detalle de apoyo izquierdo o este de la alternativa 2 de presa de acumulación – regulación sobre río Salado, PAR 2, en plano GE – RSP 1. En el sector la empinada pared rocosa ignimbrítica de la unidad Ignimbrita Sifón, Mss, se observa recorrida por un denso y regular patrón ortogonal de penetrativas fracturas rectas y cortas, que favorecen el desarrollo de activos desprendimientos de bloques cúbicos que se acumulan a su pie, Qe.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.8.3-3
ESTRIBO DERECHO ALTERNATIVA 2



Detalle de apoyo derecho u oeste de la alternativa de la presa de acumulación – regulación sobre río Salado PAR 2, en plano GEO-RSP 1. Secuencia maciza a pobremente estatificada de depósitos sedimentarios de la formación San Pedro, Tsp, constituida por alternancias macizas a pobremente estratificadas de areniscas, areniscas tobáceas, y limolitas arcillosas rojizas, acompañadas por frecuentes mantos lenticulares de sal. En el sector, los materiales se aprecian bastante densos y cementados, superficialmente estables. Se destacan tonalidades blanquecinas en la sección basal de la secuencia, genéticamente asociadas a procesos de cristalización por evaporación de aguas de recientes episodios pluviales de intensidad extrema, “invierno boliviano”. Las elevadas concentraciones salinas en los señalados depósitos, se constituyen en efectivos agentes cementantes.

La formación San Pedro, subyace concordantemente a un llamativo manto de ignimbrítico de la unidad Ignimbrita Sifón, Mss.

Fuente: Elaboración Propia.

Mientras tanto, la vertiente izquierda del valle del río Salado, incluye en su sección media a superior una empinada pared rocosa inestable, constituida por materiales volcanoclásticos englobados en la unidad Ignimbrita Sifón, **Mss**; en el sector, las rocas expuestas se observan recorrida por un penetrativo patrón ortogonal de fracturas rectas y cortas, favorables al desarrollo de activos derrames coluviales; están representados por activos derrames integrados por bloques rectangulares equidimensionales sueltos, inestables, densos, resistentes que, en el sector, participan de la configuración de la sección basal de la vertiente izquierda del valle.

g) Consideraciones Geotécnicas de Sitios para el Emplazamiento de la Presa de Acumulación - Regulación sobre el río Salado

La información morfológica, geológica, estructural, geotécnica y de riesgos geológicos obtenida a partir del análisis de imágenes satelitales, complementada con antecedentes registrados durante la reciente breve visita a los sitios preseleccionados, involucrados en el emplazamiento de la estructura de bocatoma sobre el río Grande y dos sitios alternativos para la presa sobre el río Salado y sus respectivos entornos inmediatos, permitieron establecer:

h) Sitios Presa Acumulación – Regulación Sobre el Río Salado, PAR 1

- Dudoso comportamiento geotécnico, hidráulico y estable de la voluminosa masa de bloques rocosos sueltos, genéticamente asociados a una remoción en masa del tipo avalancha de rocas que, en su conjunto, participarían de gran parte del apoyo derecho de la estructura , Figuras 6.2.8.3-1 y 6.2.8.3-2.
- Activa inestabilidad de la pared de basamento rocoso, involucrada en el apoyo izquierdo de la estructura.
- No obstante podría ser factible la construcción de una presa homogénea con taludes tendidos, debidamente impermeabilizada.

i) Sitio Alternativo– Regulación Sobre Río Salado, PRS 2

- Evidente condición inestable en ladera izquierda con fuerte pendiente local, constituida por basamento rocoso intensamente fracturado en su sección media y superior, discontinuamente cubierto por activos derrames coluviales de bloques rocosos equidimensionales, sueltos; se trata de terrenos que participarían de gran parte del apoyo izquierdo de la presa.
- Alto contenido salino en los materiales sedimentarios de la formación San Pedro que, en el sector, participarían de gran parte del apoyo derecho de la presa. Se trataría de un medio físico con elevado riesgo de desarrollar

colapso por disolución, al entrar en contacto con aguas provenientes del régimen pluvial local (“invierno boliviano”) y/o infiltración directa a partir de aguas acumuladas en la Propia cubeta de la presa.

Preliminarmente, se asume que si bien la eventual aplicación de procedimientos destinados, tanto a la corrección o control de filtraciones en las cimentaciones y apoyos laterales de las presas, como en el tratamiento de inestabilidades registradas en sus respectivos entornos, serían técnicamente válidas, involucrarían complejas modalidades de diseños y elevados costos.

Atendidas las consideraciones que anteceden, la determinación y correspondientes actividades de prospección involucradas en la futura confiable localización de un sitio alternativo definitivo para la presa de captación – regulación sobre el río Salado, deberían concentrarse en secciones transversales del valle, ubicadas inmediatamente aguas arriba y/o abajo del actual eje la presa **PAR 1**, Figuras 6.2.8.3-1 y 6.2.8.3-2, en **plano GEO-RSR 1**. En ambos casos, el apoyo izquierdo de la presa mantendría el compromiso mayoritario de basamento rocoso con cobertura de depósitos coluviales, sueltos e inestables; condición que demandaría la necesaria realización de faenas de preparación previa de la zona de apoyo, incluyendo “desquinches o acuñamientos” manuales o mecanizados, destinados a inducir la remoción de bloques rocosos y materiales coluviales de cobertura, en actual situación de equilibrio crítico.

Por su parte, el apoyo derecho evitaría, de seguro, el compromiso de terrenos de dudoso comportamiento geotécnico, hidrogeológico y estable, propios de materiales que participan de la masa de una voluminosa de avalancha de rocas.

6.2.8.4. Obras de Conducción en Tubería Presa río Salado – Portal de Entrada Túnel río Salado – río Grande

a) Características de la Obra

A partir de la estructura de bocatoma sobre el río Salado, la disposición espacial vigente de las obras del Proyecto, contempla que la totalidad de las aguas captadas, junto a los consiguientes caudales provenientes del trasvase de aguas mediante túnel, desde el río Grande, serán conducidas a lo largo del pie de la ladera izquierda del valle, mediante una tubería spiroplecc¹⁰) de unos 325 m de largo, soterrada a una profundidad media de 2 m.

En torno al extremo sureste de la tubería de aducción, previa a su entrega al portal de entrada del túnel de trasvase río Salado, – río Grande, **TRS**, en **plano GEO-RSP 1**, la tubería de aducción incorporará una cámara de recepción y enlace.

b) Características Morfogeológicas de los Terrenos

Conforme a la disposición de obras vigente, el eje del trazado de esta aducción en tubería comprometería, predominantemente, terrenos coluviales de origen local, correspondientes a una compleja mezcla granular, suelta, inestable, integrada por fragmentos rocosos de

¹⁰ Tubería corrugada a base de HDPE, (polietileno de alta densidad).

diversa forma (dominantemente angulares) y tamaño medios de 10 a 15 cm, originados a partir de continuos segmentos de la ladera izquierda del valle del río Salado en el sector; la composición de los elementos clásticos depende del carácter petrográfico de las empinadas paredes rocosas, intensamente fracturados de los cuales, primariamente, proceden.

Básicamente, se trata de depósitos granulométricamente muy heterogéneos, ripables, (removibles con equipo mecanizado); en el sector, la normal ausencia de matriz aglomerante fina, le otorga a los suelos coluviales un carácter muy inestable; producto de ello, tanto el simple escurrimiento concentrado de aguas lluvia, generadas durante el “invierno boliviano”, como solicitaciones (vibraciones) impuestas por actividad sísmica local (asociada a desplazamientos de planos de ruptura intraplaca), son suficientes para condicionar recurrentes removilizaciones de la sección superficial de los materiales que participan de la configuración de los lóbulos frontales coluviales, Figuras 6.2.8.3-1 y 6.2.8.3-2, y **plano GEO-RSP 1**.

Se trata de suelos granulares anisotrópicos en su distribución, con propiedades y comportamientos geotécnicos muy variables, tanto en sentido lateral como en profundidad, estrechamente vinculadas al carácter granulométrico de los depósitos.

En sectores focalizados, donde las excavaciones lineales, (zanjas o trincheras) destinadas a albergar la tubería de conducción de aguas, comprometa suelos coluviales granulares, con abundantes bloques rocosos, sueltos, con bajas capacidades de carga, deformables y muy inestables, los riesgos asociados al desarrollo de inestabilidades (desprendimientos, deslizamientos, flujos secos) desde sus paredes, demandarán la oportuna instalación de continuas entibaciones, destinadas a garantizar la seguridad de las faenas constructivas.

Atendido el dudoso carácter geotécnico y comportamiento inestable de los suelos granulares comprometidos en el desarrollo de esta aducción en tubería, la determinación final del tipo, desarrollo y modalidades constructivas, estará supeditada a los resultados de posteriores estudios de mecánica de suelos.

6.2.8.5. Alternativa de Conducción Única de Aguas Mediante Tubería Spiropecc Soterrada

La conceptualización de la disposición espacial vigente de obras del PMRSP, incluye la alternativa de incorporar una aducción única en tubería, destinada a la conducción directa de las aguas objeto de aprovechamiento, a partir de los sitios de emplazamiento alternativos consignados para la presa de acumulación – regulación sobre el río Salado, **PAR 1** y **2**, tanto de sus propias aguas como de aquellas provenientes de la captación mediante una bocatoma sobre el río Grande, **BRG**, y posterior trasvase en túnel, **TRG**, hasta un punto de vertido, al cauce del río San Pedro, ubicado aguas abajo de su confluencia con el río Grande, en **plano GEO-RSP 1**.

Preliminarmente, para la señalada aducción única se ha considerado una tubería corrugada de 13,2 km de largo y 1,2 m de diámetro del tipo *spiropecc* a base de HDPE, soterrada a una profundidad de 2,0 m.

Comparativamente, respecto de otras modalidades con mayores complejidades de diseño, dudoso comportamiento operacional y elevados costos constructivos, el hecho de que el desarrollo de esta alternativa de aducción sobrepase en tubería el segmento basal del valle del río Salado, conocido como “Vertiente Salmuera” (por las elevadas concentraciones salinas del terreno) limitaría los adversos riesgos de contaminación de las aguas objeto de captación y conducción.

La revisión de imágenes satelitales correspondientes a terrenos directamente comprometidos en el desarrollo de la señalada alternativa de aducción directa y única mediante tubería, permitió establecer que en el tramo objeto de intervención, las empinadas laderas de los valles de los ríos Salado y San Pedro, están constituidas por una *...“secuencia de arcillas rojas yesíferas, areniscas grises y rojas, conglomerados grises y potentes mantos de sal...”* (Marinovic y Lahsen, 1984; p. 77), incluidas en la formación San Pedro, *Tsp*, en **plano GEO-RSP 1**.

Cuando expuestos en las empinadas laderas de los valles de los ríos Salado y San Pedro, el actual grado de consolidación de los terrenos salinos de la formación San Pedro, ejerce un efectivo control respecto de la estabilidad natural; ésta, sólo se ve afectada temporalmente por procesos de disolución de gran parte de la matriz salina, provocados por el escurriendo superficial de aguas, asociadas al “invierno boliviano”; los efectos de esta acción sólo se extienden a profundidades de 1,5 a 2,0 m. Habitualmente, los productos residuales se expresan en el desarrollo de llamativos flujos cordados de barros rojizos, muy plásticos y deformables.

Característica de los terrenos integrados por depósitos sedimentarios de la formación San Pedro, es la mejora constante en profundidad de sus principales parámetros geotécnicos: densidad, capacidad de carga, ángulo de fricción interna y compresibilidad.

En el tramo de 13.2 km de los señalados valles y tal como ocurre con los restantes sistemas fluviales regionales, sus laderas se observan discontinuamente enmantadas, con espesores muy variables, por materiales fragmentarios sueltos e inestables, genéticamente asociados a flujos gravitacionales que, en torno a sus respectivas secciones basales, configuran activos conos o abanicos coluviales, coalescentes; en todos los casos, los mecanismos desencadenantes corresponde a sollicitaciones sísmicas y/o episodios pluviales de intensidad extrema, (“invierno boliviano”); habitualmente, el acceso de los respectivos frentes lobulares de los flujos a las llanuras de inundación, suelen provocar obstrucciones y divagaciones temporales de los cauces.

6.2.8.6. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de imágenes satelitales, complementado con los resultados del reciente breve reconocimiento directo de los terrenos involucrados en el desarrollo de esta extensa alternativa única de aducción en tubería, permitió establecer que gran parte del desarrollo vigente comprometería, mayoritariamente, suelos granulares, sueltos e inestables asignados, indiferenciadamente, a la tipología de coluvios, derrubios, escombreras de

laderas o faldeos de cerro, conos o abanicos de deyección; en su constitución participa una compleja mezcla maciza de fragmentos rocosos de diversas formas y tamaños; un porcentaje mayoritario de los elementos clásticos angulosos, corresponde a materiales tobáceos e ignimbríticos, en directa relación con la fuente que los suministró; incluyen elementos angulosos, densos e inalterados, con moderadas a altas resistencias.

El carácter inconsolidado de los depósitos, determina elevadas deformabilidades, bajas capacidades de soporte y propensión al desarrollo de remociones en masa del tipo corrimientos, reptación o verdaderos flujos detríticos (secos y/o húmedos); están representados por activas remociones locales, difíciles de predecir y corregir, desarrolladas a favor de la pendiente de los conos o abanicos coluviales.

Con frecuencia, en estos depósitos, los agentes erosivos tallan cárcavas cuyas paredes desarrollan inclinaciones mayores a los niveles que estos materiales pueden soportar, de acuerdo a su Propia naturaleza mecánica. El resultado es una inestabilidad natural que se resuelve en plazo breve, con remociones (deslizamientos) o movimientos (reptaciones) en busca de posiciones más tendidas.

En partir de las respectivas zonas apicales de estas estructuras, es frecuente la caída de bloques rocosos de diversa forma y tamaño, gravitacionalmente “liberados” desde empinadas paredes naturales rocosas muy inestables, recorridas por penetrativos sistemas de fracturamiento, provistos de gran continuidad en sentido lateral y profundidad.

Las consideraciones geomecánicas que anteceden, permiten asumir que la materialización de gran parte de las excavaciones destinadas a albergar la tubería *spiropecc* de la aducción, podrían ser ejecutadas mediante el simple empleo de equipo mecanizado (retroexcavadoras, bulldozers).

En sectores puntuales, la ocurrencia y compromiso en profundidad de bloques rocosos de gran tamaño y/o basamento rocoso resistente, forzarían la aplicación de complejas técnicas de demolición, mediante el empleo de elementos punzantes vibratorios, “picotón” y/o tronaduras secundarias, “cachorro”.

El eventual compromiso a lo largo del eje de la tubería de aducción de terrenos con suaves pendientes superficiales, integrados por secuencias estratificadas subhorizontalmente de la formación San Pedro, junto con minimizar las excavaciones involucradas en la preparación de las fundaciones, favorecería el tallado de taludes verticales estables. En estos casos, la favorable estabilidad temporal de los taludes verticales resultantes del tallado de las zanjas o “trincheras” para albergar la tubería *spiropecc* soterrada, dará tiempo suficiente para garantizar las faenas de instalación. Esta condición minimizaría la aplicación de procedimientos de refuerzo o entibación.

Sólo puntualmente, producto del compromiso y encuentro materiales rocosos tobáceos e ignimbríticos soldados y andesíticos densos, inalterados y resistentes, sus respectivas remociones demandarán la aplicación de tronaduras controladas.

Con la escasa información disponible referida, muy principalmente, al confiable conocimiento del carácter geológico y comportamiento geotécnico de los terrenos comprometidos en el emplazamiento de esta modalidad única de aducción, surgen

numerosas incógnitas que limitan la determinación de su factibilidad técnica y/o evaluación de procedimientos y desarrollos alternativos. Conforme a ello, las decisiones aprobatorias, estarán condicionadas a los resultados de una necesaria futura campaña de reconocimientos geológico a escala de detalle, complementada con exploraciones de mecánica de suelos, incluyendo la realización de calicatas y sondajes.

6.2.8.7. Presas de Control y Regulación de Crecidas en Río San Pedro

a) Consideraciones Previas. Ambientes, causas, comportamientos y efectos de los flujos aluviales en río San Pedro, PCR

El inesperado, rápido y recurrente desarrollo de catastróficas crecidas del río San Pedro, a lo largo de su recorrido por extensos segmentos ubicados tanto aguas arriba de la localidad de San Pedro de Atacama, como en torno a su propio casco urbano, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema, durante el denominado “invierno boliviano”, (meses de diciembre a marzo), condicionó la incorporación de esta problemática al Proyecto objeto de estudio. Ello, tanto más, cuanto que un reciente estudio especializado sobre la materia, centrado en la instalación de un estructura de regulación y control de crecidas, emplazada sobre un segmento de valle del río Coyil, afluente noreste del río Grande, fue descartado¹¹.

La determinación se sustentó en el hecho de que los estudios efectuados demostraron que los terrenos involucrados en el emplazamiento de dicha estructura de regulación y control de crecidas, presentaban adversas características y comportamientos geomecánicos (suelos con elevados contenidos salinos, susceptibles de desarrollar disolución y desagregación).

En su momento, atendidas las señaladas consideraciones, el criterio que sustentó la realización de prospecciones orientativas para la localización de sitios destinados al emplazamiento alternativo de una estructura de regulación y control de crecidas concentradas en un segmento del cauce del río Grande, tuvo relación con el hecho de que su principal afluente noreste, la quebrada Abra Pampa, corresponde al sistema de drenaje que, históricamente, registra el mayor número de episodios históricos de flujos aluviales hiperconcentrados.

La señalada singularidad tiene relación con el hecho de que, sus cabeceras, comprometen terrenos volcánicos correspondientes a flujos lávicos y piroclásticos, superficialmente alterados e intensamente fracturados, por tanto desagregables e inestables, muy sensibles a la erosión hídrica. La incorporación de agua, induce la pérdida instantánea de resistencia de los terrenos granulares sueltos y permeables y acelera de fluidificación de los materiales superficiales, por sucesivas reducciones instantáneas de los esfuerzos de cortantes.

Básicamente, se trata de medios físicos que participan de la configuración morfológica de amplias superficiales llanas, provistas de fuerte inclinación hacia el sureste, concordantes

¹¹ Las obras de control y regulación de crecidas de la presa del proyecto Coyil, se ubicaban sobre un segmento de una quebrada afluente de río Grande, al cual vierten en torno a un situado inmediatamente aguas arriba de su confluencia con el río Salado, para conformar el río San Pedro, **plano GEO – RSP 1**.

con las estribaciones occidentales de una elongada cadena volcánica Norte – Sur, que culmina a alturas medias de 4800 a 5.000 ms.n.m; en el sector, la recurrente ocurrencia de episodios pluviales de intensidad extrema, durante el denominado “invierno boliviano”, (meses de Diciembre a Marzo), son suficientes para gatillar sucesivos voluminosos flujos locales y de corta duración de barro o detritos, (conocidos como “aluviones”, en la terminología geológica chilena). En la medida del avance ladera abajo, incrementan gradual y persistentemente sus respectivas masas viscosas, integradas por complejas mezclas de materiales rocosos fragmentarios, provistos de diversas formas, tamaños y composiciones, inmersos en un abundante matriz de gravillas y gravillas arenosas, junto a ocasionales bloques y rodados que, en su conjunto, suelen experimentar considerables pérdidas de resistencia con el movimiento. Los materiales involucrados actúan, temporalmente, como verdaderos flujos, desarrollando continuas deformaciones, sin presentar superficies definidas de rotura.

La normal escasa diferencia de densidad existente entre la masa pastosa semi plástica de flujos aluviales y los bloques rocosos allí inmersos, favorece su activo transporte.

En su rápido avance ladera abajo, tras abandonar los ambientes francamente altiplánicos, los flujos hiperconcentrados vierten sus contenidos a una serie de quebradas de segundo y tercer orden, que participan de la configuración de las cabeceras de la hoya hidrográfica del río Grande, afluente noreste del río San Pedro. Al acceder a éste, los flujos detríticos originados en la zona altiplánica, contribuyen decisivamente a incrementar la carga sólida de arrastre y suspensión del río San Pedro, representados por verdaderos aluviones de gran volumen y poder destructivo; a su paso por el casco urbano de la localidad de San Pedro de Atacama, los flujos en situación de crecida, suelen provocar severos desbordes, inundaciones de viviendas y terrenos agrícolas, destrozos en caminos, calles, sistemas de drenaje de aguas lluvia e infraestructura de riego.

En sectores puntuales, el poder destructivo de los flujos aluvionales suele incrementarse notablemente por represamientos de corta duración, desarrollados a lo largo de ciertos sectores críticos del cauce del río San Pedro.

Las ondas de crecidas generadas, junto con provocar sobreelevaciones instantáneas de los flujos, incrementan noblemente sus respectivas energías.

En su momento, atendidas las consideraciones que anteceden, un nuevo estudio previo, orientados a la identificación de sitios para el emplazamientos de una estructura destinada a la regulación y control de crecidas en el río San Pedro, se concentró en un segmento del propio río Grande, ubicado 1,5 a 2,1 km aguas arriba de su confluencia con el río Salado, para conformar el río San Pedro.

Las actividades de prospección de sitios para el confiable futuro emplazamiento de una estructura destinada a la regulación y control de crecidas del río Grande, derivaron en la ubicación preliminar de 2 sitios alternativos, denominados **PCR 1** y **PCR 2**, en **plano GEO NSP - 1**.

Cada una de las señaladas alternativas será objeto de un análisis pormenorizado.

b) Características Morfogeológicas de los Sitios Alternativos

En el tramo seleccionado de aproximadamente 300 m del valle del río Grande, para el emplazamiento preliminar de los 2 ejes propuestos para el emplazamiento de una presa destinada a la efectiva regulación y control de crecidas o torrentes, concurren secciones transversales bastante simétricas. La parte superior y media de las laderas, participan de empinadas paredes rocosas subverticales, recorridas por un penetrativo patrón pseudo ortogonal de fracturas rectas, con corridas medias de 15 a 20 m, abiertas, con desarrollo de planos regulares bastante lisos, moderadamente friccionantes.

En los señalados ambientes, el patrón local de fracturamiento favorece el recurrente desarrollo de desprendimientos y deslizamientos de voluminosos bloques rocosos, con tamaños medios de 1,5 a 1,8 m y máximos de 5,0 a 6,5 m.

Mayoritariamente, las remociones involucran bloques con forma de “cuñas”; en estos casos, los desplazamientos ocurren cuando la traza de intercepción de al menos dos planos principales de fracturamientos, se proyectan hacia ladera afuera, (cara libre o desconfinada), de acuerdo a un ángulo que supera el ángulo de fricción interna de los respectivos planos.

Se asume que, en la mayoría de los casos, los mecanismos desencadenantes responderían a sollicitaciones asociadas a episodios de actividad sísmica, vinculados a temblores intraplacas, provistos de focos de escasa profundidad, radicados en torno a la zona prealtiplánica.

En el sector, los productos sueltos de las remociones, correspondientes a complejos acopios de bloques rocosos de diversa forma, tamaño y composición, de acopian sobre los respectivos márgenes de la estrecha llanura de inundación del valle del río Grande, concentrados al pie de ambas empinadas laderas del segmento objeto de análisis; puntualmente, algunos bloques movilizados suelen alcanzar el propio cauce del río, provocando obstrucciones temporales en su escurrimiento.

En torno a los respectivos coronamientos de las activas remociones, concordantes con zonas de “despegue o arranque”, los materiales rocosos incorporan numerosas grietas abiertas (3,5 a 4,0 cm); la sola presencia de estos elementos estructurales, da cuenta de un ambiente inestable.

En el sector, el río Grande escurre de acuerdo a un desarrollo divagante y sinuoso, pobremente encauzado, labrado en una estrecha llanura de inundación, constituida por depósitos granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial.

b) Marco Geológico y Comportamiento Geotécnico de Sitios Propuestos

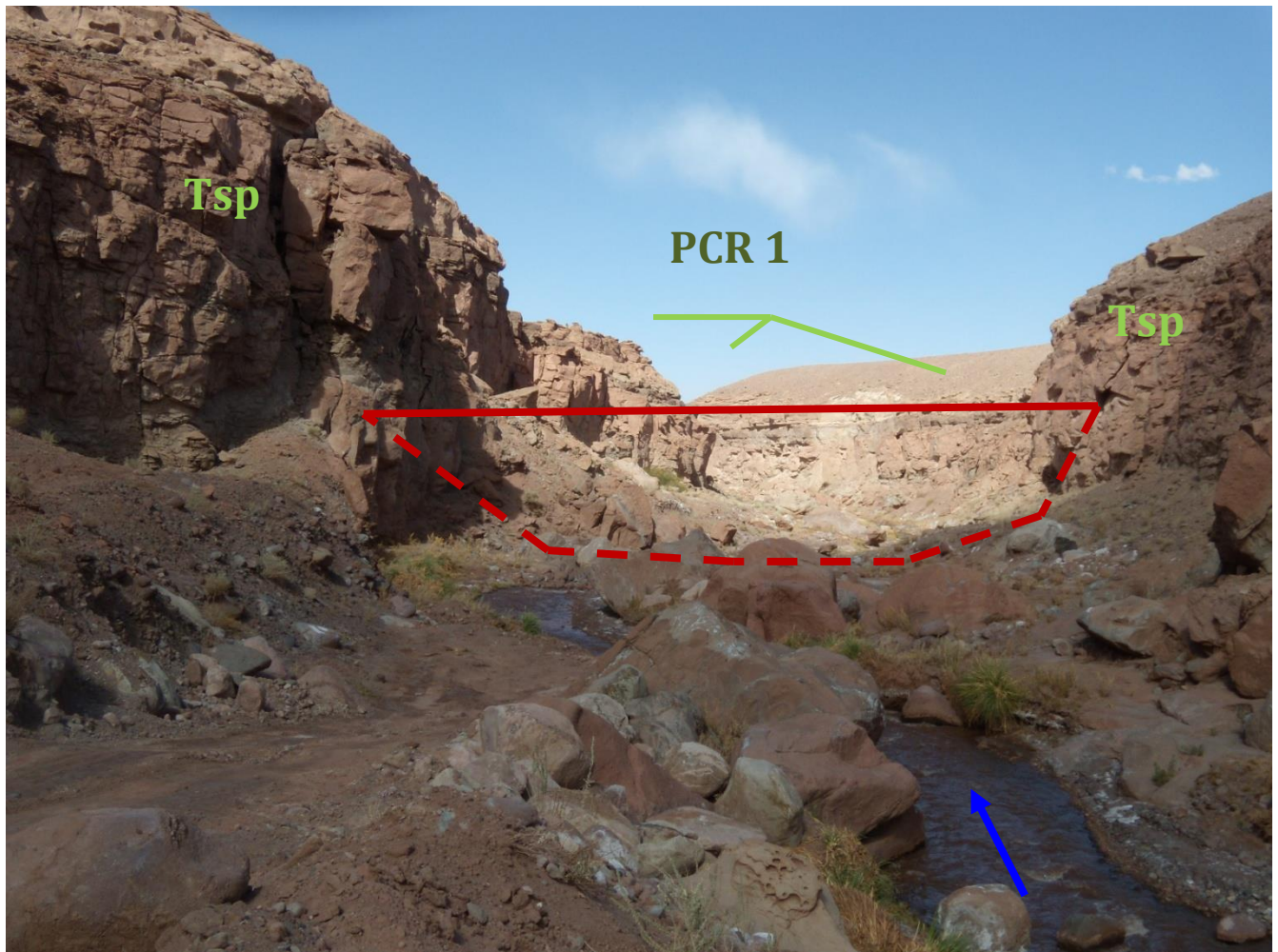
De acuerdo a **Marinovic y Lahsen** (1984), el segmento del valle del río Grande, involucrado en los dos sitios alternativos propuestos para el emplazamiento de la presa destinada a la regulación y control de crecidas comprometería, a nivel superficial, materiales incluidos en la Formación Vilama de edad Pleistoceno, **Qvi**, en **plano 1**; básicamente, está constituida por una secuencia alternante de bancos dispuestos subhorizontalmente de gravas, arcillolitas, areniscas, areniscas calcáreas y calizas, con intercalaciones de diatomeas y cenizas volcánicas, Figuras 6.2.8.7-1 a 6.2.8.7-6.

El carácter geológico y comportamiento geomecánico de los materiales, posibilitaría el tallado de cortes provistos de taludes estables del tipo 1:3 a 1:5 (H:V).

En un primer análisis, se trataría de materiales rocosos en condiciones de satisfacer a plenitud, en cantidad y calidad, eventuales demandas de enrocados para la construcción de la presa control y de regulación de crecidas, enmarcada en las tipologías CFRD, (enrocado con paramento rígido de hormigón) y/o eventual protección de sus respectivos paramentos y CFGD, (gravas compactadas con paramento de pantalla rígida de hormigón).

En torno a la sección basal de las empinadas paredes que enmarcan la llanura de inundación del valle en el sector, las rocas precedentemente descritas se apoyan concordantemente, sobre una secuencia finamente laminada integrada por limolitas, limolitas arenosas y arcillolitas francas, con tonalidades ocre a pardo rojizo; las características litológicas de estos materiales sedimentarios, responderían a un ambiente de depositaron lacustre.

FIGURA 6.2.8.7-1
VISTA AGUAS ABAJO ALTERNATIVA 1 RETENEDOR DE CRECIDAS



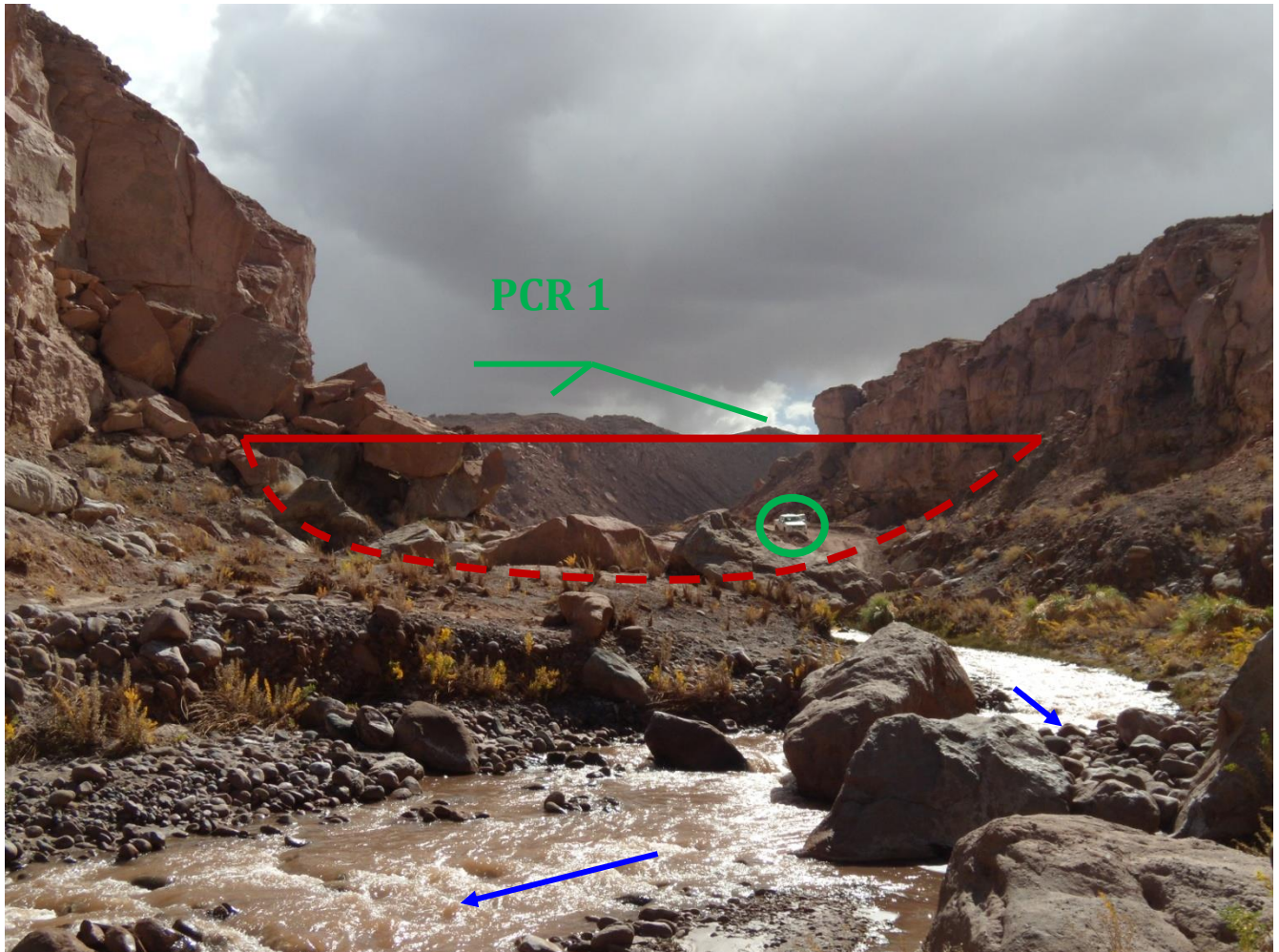
Vista general hacia aguas abajo de sitio de emplazamiento del eje de alternativa 1, de presa control y regulación de crecidas, sobre un segmento del río Grande, PCR 1. Incluye una sección transversal bastante simétrica, constituida en sus respectivos apoyos por una secuencia transversal bastante simétrica, integrada por depósitos ignimbríticos blanquecinos a grisáceos, bien “soldados” o consolidados, densos, inalterados, resistentes, incluidos en la formación San Pedro, Tsp, en plano GEO-PRSP-1; en torno a este segmento del valle, la formación San Pedro, subyace concordantemente a depósitos de la formación Vilama, Qvi, en plano GE – RSP 1; ambas, comprometen sedimentos genéticamente atribuidos a ambientes lacustres a fluviolacustres.

Las rocas de ambos márgenes del valle se observan recorridas por un complejo patrón ortogonal de penetrativas fracturas rectas, verticales a subverticales, provistas de planos de rupturas lisos, poco friccionantes, favorables al activo desarrollo de desprendimientos y deslizamientos de bloques rocosos de gran tamaño (25 a 30 m³) controlados por mecanismos de “cuñas”, muchos de los cuales se acopian al pie de las empinadas paredes del valle. En el sector, el río Grande, escurre a lo largo de un estrecho y sinuoso cauce, marginalmente enmarcado por abundantes bloques rocosos movilizados

gravitacionalmente, desde las empinadas laderas marginales. Se indica ubicación de sondaje de exploración SR - 1.

Fuente: Elaboración Propia.

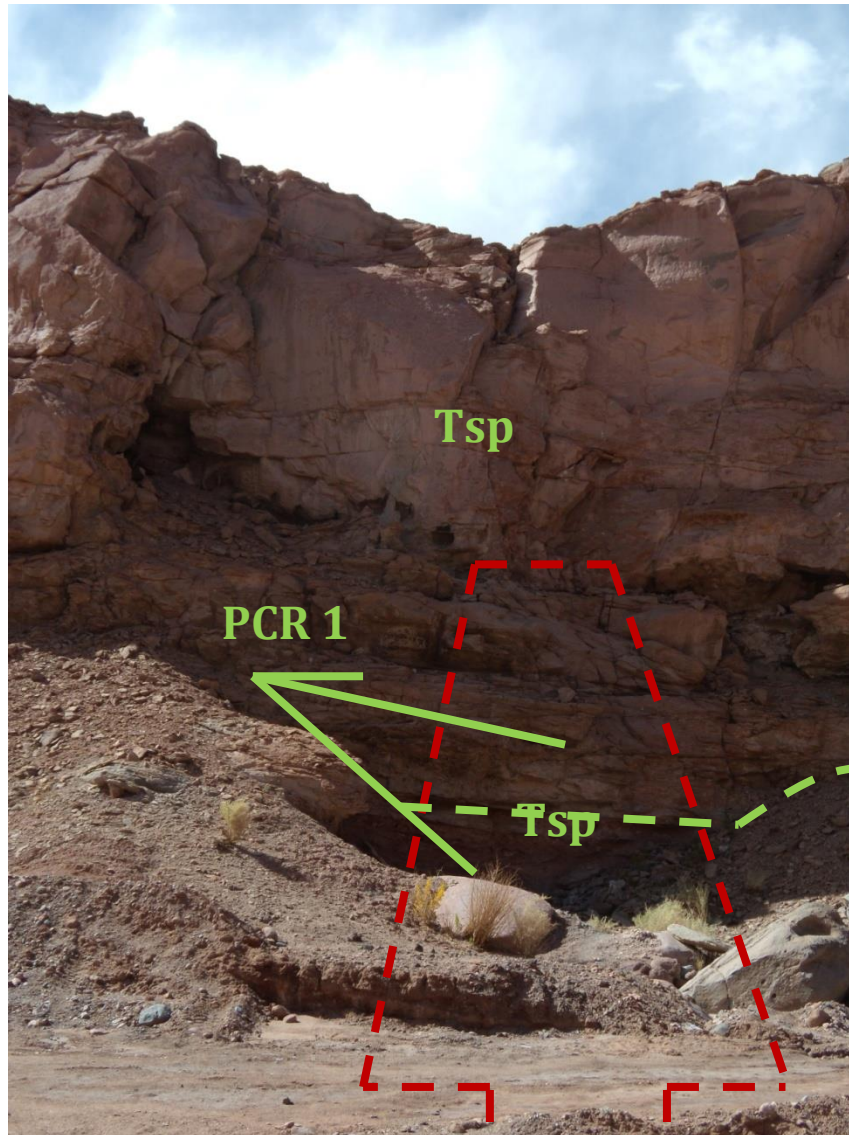
FIGURA 6.2.8.7-2
VISTA AGUAS ARRIBA ALTERNATIVA 1 RETENEDOR DE CRECIDAS



Similar a foto anterior. Vista hacia aguas arriba de eje alternativa 1, para el emplazamiento de la alternativa 1 de la presa de control y regulación de crecidas sobre el río Grande, PCR 1. En este sector, el relleno granular de tipo fluvial a fluvioaluvial del fondo del valle, incorpora gran cantidad de bloques rocosos, tanto transportados por episodios torrenciales como removidos por desprendimiento y deslizamientos desde las empinadas paredes marginales. Camioneta blanca proporciona escala.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.8.7-3
APOYO IZQUIERDO RETENEDOR DE CRECIDAS ALTERNATIVA 1

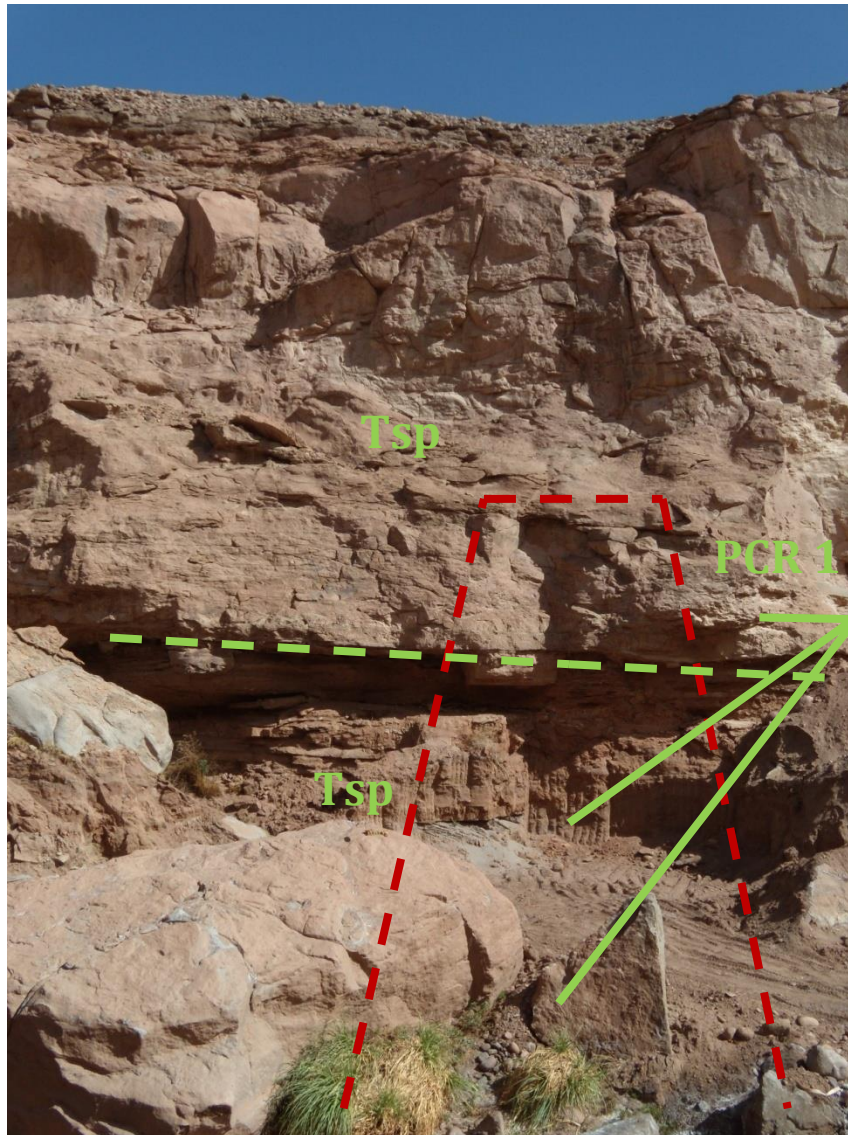


Detalle de apoyo izquierdo de alternativa 1, para el emplazamiento del muro de control y regulación de crecidas en segmento del río Grande, PCR 1, en plano GEO-RSP 1. Empinada pared rocosa formada

por bancos horizontales de areniscas y areniscas levemente tobácea, de la formación San Pedro, Tsp, bastante cementadas. Se observan recorridas por penetrativas fracturas subverticales, abiertas; el fracturamiento se intensifica en los 1,0 a 1,2 m basales de la secuencia, concordante con el compromiso de capas finamente laminadas de arcillolitas y limolitas arcillosas, rojizas, semiconsolidadas.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.2.8.7-4
APOYO DERECHO RETENEDOR DE CRECIDAS ALTERNATIVA 1**



Detalle de apoyo derecho de alternativa 1, para el emplazamiento del muro control y regulación de crecidas sobre segmento del río Grande, PCR 1, en plano GEO-RSP 1. En este sector, la potente secuencia grisácea, maciza a pobremente estratificada de areniscas y areniscas levemente tobáceas, densas, consolidada, sobreyace concordantemente a depósitos finamente laminados de color rojizo, correspondientes a alternancias de areniscas limosas y limolitas francas, rojizas, semi – consolidadas, desagregables y erosionables, asignados a la formación San Pedro, Tsp.

Fuente: Elaboración Propia.

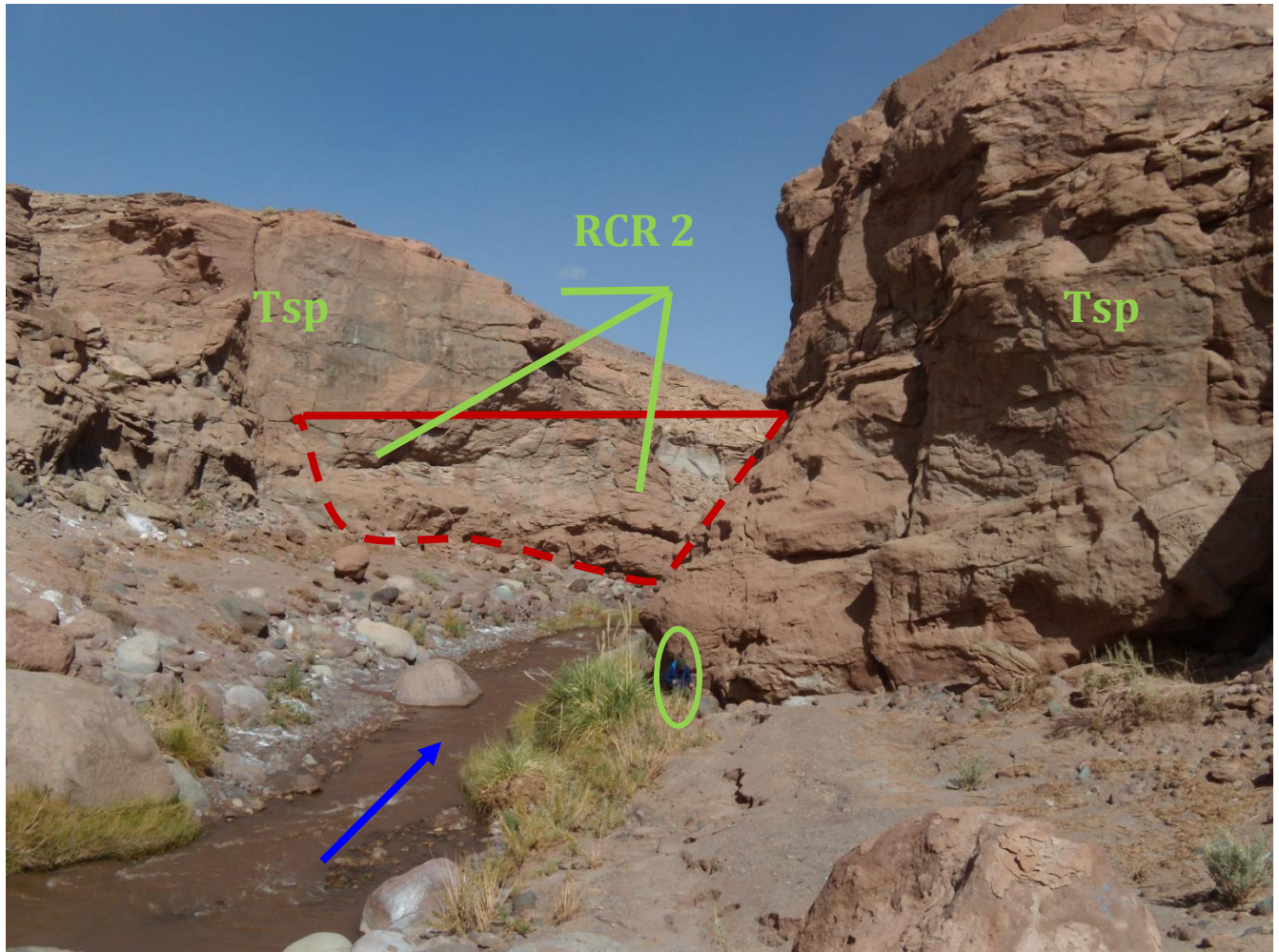
FIGURA 6.2.8.7-5
APOYO DERECHO RETENEDOR DE CRECIDAS ALTERNATIVA 1



Mayor detalle de apoyo derecho consignado en foto anterior. Se observan voluminosos bloques deslizados y desprendidos, controlados por mecanismos de “cuñas”.

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.2.8.7-6
VISTA AGUAS ABAJO ALTERNATIVA 2 RETENEDOR DE CRECIDAS



Vista hacia aguas abajo por eje alternativa 2, para el emplazamiento del muro control y regulación de crecidas de río Grande, PCR 2, en plano GEO-RSP 1. Ambos estribos o apoyos incluyen empinadas paredes rocosas, bastante estables, integradas por una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de areniscas y areniscas levemente tobáceas, grises, bastante litificadas incluidas en la formación San Pedro, Msp. Escala: Persona de 1.85 m.

Fuente: Elaboración Propia.

En el sector, las fracciones de areniscas y areniscas calcáreas, participan de la sección superior y media de las empinadas paredes rocosas de ambas vertientes del valle del río

Grande; se disponen de acuerdo a bancos que, si bien desarrollan un carácter macizo, en su conjunto se disponen de acuerdo a un arreglo general subhorizontal. Se trata de rocas bastante densas, inalteradas, resistentes, geomecánicamente competentes; carácter que determina que su remoción controlada, sólo es posible efectuarla mediante la aplicación de procedimientos de tronaduras o “voladuras”.

Esencialmente, se trata de depósitos con moderado a bajo grado de litificación; puntualmente, la presencia de un complejo patrón de fracturas rectas, subverticales, de escasa desarrollo o corrida, facilita su desagregación superficial en trozos angulosos desagregables, blandos, con aspecto terroso. Conforme a ello, se trataría de terrenos que admiten ser enmarcados en la categorización de “rocas blandas”, *soft rocks*”, cuya remoción puede ser efectuada recurriendo al simple empleo de equipo mecanizado: bulldozers, retroexcavadoras.

Finalmente, el relleno sedimentario del fondo del valle del río Grande, incluye una potente secuencia maciza a pobremente estratificada de depósitos granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial, con predominio de gravas, gravillas y gravillas arenosas, junto a gran cantidad de bloques, inmersos a una escasa matriz fina, levemente cohesiva; los elementos clásticos, subangulosos a subredondeados son heterocomposicionales, bastante densos, inalterados, resistentes; se trata de depósitos sueltos, porosos y permeables, por tanto, muy ripables.

Dos sondajes de reciente ejecución perforados a lo largo del eje de la alternativa 1, **PCR 1**, en **plano GEO – RS 1**, permitieron reconocer espesores máximos de **15 m**, para el relleno sedimentario granular, sobreyacente a basamento rocoso, geomecánicamente competente.

6.2.9. Referencias

Amigo, R., A; Bertín, U., D. y Orozco, L., G. 2012. Peligros volcánicos de la zona norte de Chile. Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama. Carta Geológica de Chile; Serie Geología Ambiental; escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. En edición.

DINGMAN, R., J. 1963. Cuadrángulo Tulo. Instituto de Investigaciones Geológicas; Carta Geológica de Chile; N°11; 35 p.

MARINOVIC, N y LAHSEN, A, A, 1984. Hoja Calama. Carta geológica de Chile. Escala 1:250.000. N° 58; 140 p.

Ramírez C.F. 1979. Georgia del Cuadrángulo río Grande y sector suroriental del Cuadrángulo Barros Arana. Provincia El Loa. II Región. Memoria de título. Universidad de Chile. Departamento de Geología; 139 p. (Inédito).

Ramírez, C., F. y Gardeweg, P., M. 1982. Hoja Toconao. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile; N° 54; 122 p.

6.3. Estudio Geotécnico

6.3.1. Introducción

El proyecto contempla la ejecución de dos tipos de muros o presas, una de acumulación en el Río Salado y el otro de regulación de crecidas en el río Grande. Los resultados y conclusiones en el Río Salado, se basan casi exclusivamente de las observaciones efectuadas en la visita a terreno. En cuanto al Río Grande, se tiene adicionalmente del apoyo de los resultados de los ensayos de laboratorio y sondajes ejecutados.

6.3.2. Presa de Acumulación

6.3.2.1. Aspectos Generales

El presente informe se refiere a la visita realizada por el que suscribe, a 2 alternativas de sitios de presa sobre la garganta río Salada, en el marco del Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego Río San Pedro (en adelante: PMRSP). La visita al terreno se realizó los días lunes 17 al jueves 20 de junio de 2013. Los sitios visitados fueron los denominados N°1 y 2 sobre el Río Salado, desde aguas abajo hacia aguas arriba. Las coordenadas UTM aproximadas (sistema WGS84) de cada sitio son las siguientes:

6.3.2.2. Antecedentes de la Zona del Proyecto

Se estima que, en la zona objeto de estudio, la ausencia de cuerpos intrusivos de gran extensión areal, habría contribuido decisivamente a atenuar el desarrollo de rasgos deformativos.

6.3.2.3. Sitio de Presa N°1

La presa se desarrollaría en una garganta estrecha de roca de aproximadamente 250 m de ancho a nivel del fondo de quebrada.

En la ladera izquierda se observa roca, altamente alterada, con una pendiente cercana a los 80° aproximadamente. Se observa también que está fracturada y diaclasada, con evidencia de desprendimientos hacia el río; por lo que, durante la posible construcción de la presa, se deben considerar las obras de estabilización de esta ladera. A los pies del paramente, se detectan coluvios inestables desde el punto de vista geotécnico.

En la ladera derecha se aprecia un coluvio a corriente barro cementada, con presencia de grandes bloques angulosos de hasta 4 m de diámetro, con una pendiente cercana a los 45° respecto de la horizontal. En el fondo de este angostamiento se observan lentes de sal y yeso, además de llamativas “manchas” de eflorescencias salinas. El estribo derecho, se aprecia compacto y cementado, producto, seguramente el alto contenido de sal en matriz.

Aun así, independientemente de las características de las laderas (estribos) del muro, dada la disponibilidad de materiales en los sitios de empréstito; se puede respaldar la factibilidad de la construcción de una presa del tipo homogénea o una presa del tipo CFRD, presa de enrocado, si se confirma que en el fondo de la quebrada existe roca a poca profundidad. En el caso de la presa CFRD, los materiales para la construcción se pueden obtener de la caja del río, en una zona de mayor ancho ubicada a unos 500 m aguas arriba del eje de presa, en donde se estima preliminarmente que existe material en cantidad suficiente. Este material también presenta características para ser utilizado como agregado para hormigones con la correspondiente selección de tamaños. Estos yacimientos deben ser estudiados considerando su doble objetivo mencionado.

Para la construcción de la presa homogénea, se ha podido detectar durante la visita una amplia explanada de material granular (tamaño máximo 6”), en una matriz areno limosa, la cual es subyacida por la roca a una profundidad media estimada de 2 m.

Para la construcción del muro, parece más atractivo ubicar el túnel de desviación y el vertedero de crecidas en la ladera derecha, por la forma que tiene la angostura y material detectado.

Se observan laderas inestables, por ambos estribos de la presa, en su mismo sitio, lo que podría colocar en riesgo la integridad del muro. Asimismo, en las laderas del valle (estribo derecho) aguas arriba del sitio de presa se observan deslizamientos antiguos y su aspecto es muy similar al que se observa en el eje mismo de la presa.

6.3.2.4. Sitio de Presa N°2

La ladera derecha del sitio N°2 presenta una pendiente relativamente suave de aproximadamente 30° de inclinación, de un suelo cementado con presencia de grandes bloques frescos; se observa la existencia de deslizamientos antiguos y aportes del río mismo.

La ladera izquierda se inicia con una suave pendiente de suelo al costado del río (coluvio a escombros de falda), para continuar con una pendiente de roca más abrupta. Se detectan lentes de yeso y la sal desaparece a simple vista. En el lecho del río se aprecia vegetación de baja altura, además de bloques en una matriz fluvial de cantos redondeados a subredondeados. Hacia aguas arriba del sitio de presa, el valle se ensancha con vegetación característica.

El sitio de presa N°2, desde el punto de vista estructural, se estima que es apto para la construcción de una presa CFRD u homogénea dada la disponibilidad de material de empréstito, pero en el primer caso se deberá contemplar una pared moldeada, para la impermeabilización del suelo de fundación, que será de mayor longitud y mayor profundidad que en el sitio N°1.

Tanto el túnel de desviación como el vertedero de crecidas parece más conveniente ubicarlos en la ladera derecha, debido a la menor longitud que se lograría y suponiendo

que la roca de este costado no presenta ningún inconveniente, lo que debe ser verificado con exploración y con el informe geológico.

El material para conformar el muro de una presa CFRD, se podrá obtener del lecho mismo del río, tanto aguas abajo como aguas arriba del sitio de presa, estimándose una distancia máxima de transporte del orden de 2 km. Asimismo, se podrán obtener áridos para hormigones desde el lecho del río, previa selección de tamaños. Las partículas de gravas del lecho del río se observan sanas y duras, provenientes de roca ígnea.

6.3.2.5. Conclusiones

Independiente del sitio que se seleccione, por criterios distintos al geotécnico, se puede establecer lo siguiente respecto de la visita realizada:

- Existe abundante presencia de material como para la construcción de una presa del tipo CFRD u homogénea;
- Preliminarmente, ambos sitios no son aptos para la construcción de una presa de hormigón rodillado, debido a los grandes volúmenes de suelo que se debe remover para alcanzar la roca de apoyo, si es que ella es detectada, salvo que en los sitios se detecte roca a poca profundidad.
- La ladera derecha del valle, en general se muestra inestable, principalmente ante la presencia de agua, debido a la presencia de sal en la matriz de suelo presente en el sector;
- La ladera izquierda está constituida, por sobre los 20 m desde el fondo de la quebrada, por una roca altamente fracturada, inestable, en taludes casi verticales y difíciles de trabajar en cualquier aspecto.
- Se requiere de la ejecución de sondajes en el fondo del valle para determinar la profundidad a la que se encuentra el suelo impermeable y la conductividad hidráulica del suelo existente.
- Ambas laderas se presentan inestables, lo que implicará altos riesgos durante el movimiento de tierras para la preparación del sitio del embalse. Adicionalmente, estas laderas pueden colocar en riesgo la integridad del muro;
- Los taludes estimados para una presa del tipo CFRD son de 1,5 : 1,0 (H : V), para ambos taludes;

- Los taludes estimados para una presa del tipo homogénea es de 3,0: 1,0 (H:V), para el talud de aguas arriba y de 2,5 : 1.0 (H:V) para el talud de aguas abajo.

6.3.3. Presas de Control y Regulación de Crecidas en Río Grande

6.3.3.1. Introducción

Para el control de las crecidas originadas en el invierno Boliviano, se contempla la construcción de obras de control y regulación.

Conviene señalar que, en situación de crecidas, los flujo torrenciales originados en ambientes altiplánicos, incrementan substancialmente sus aptitudes o capacidades de erosión. Las “cargas” incorporadas a los flujos aumentan los riesgos impuestos sobre obras o estructuras públicas y privadas.

El objetivo principal de este aspecto del Proyecto, se sustenta en la necesidad de generar una efectiva solución a los recurrentes daños que las crecidas del río San Pedro provocan a su paso en torno al casco urbano de la ciudad de San Pedro de Atacama; se concentran tanto en obras de infraestructura pública de tipo vial: caminos y puentes, como privados: aducciones de agua potable, canales de riego, tendidos eléctricos y telecomunicaciones, viviendas, terrenos de cultivos, etc.

6.3.3.2. Sitio Muro

Ambos estribos, en un primer análisis, se trataría de materiales rocosos en condiciones de satisfacer a plenitud, en cantidad y calidad, eventuales demandas de enrocados para la construcción de la presa control y de regulación de crecidas.

En torno a la sección basal de las empinadas paredes que enmarcan la llanura de inundación del valle en el sector, las rocas se apoyan concordantemente, sobre una secuencia finamente laminada integrada por limolitas, limolitas arenosas y arcillolitas francas, con tonalidades ocre a pardo rojizo.

El sitio del muro, se estima que es apto para la construcción de una presa de regulación y control de crecidas, dada la disponibilidad y calidad de material de empréstito; pero producto de lo empinado de los estribos, se prevé la ejecución de trabajos preliminares para el retiro de materiales sueltos, adecuación y preparación de las superficies, antes de la colocación de los rellenos.

6.3.3.3. Conclusiones Campaña de Exploración

A partir de los resultados de la exploración ejecutada, ensayos de infiltración in-situ y estratigrafías de los pozos de exploración y sondajes, se pueden establecer las siguientes conclusiones, independiente del sitio que se seleccione para la construcción del muro:

- Existe abundante presencia de material rocoso sano y fresco, como para definir áreas de empréstito para la construcción de la presa permeable;
- El coeficiente de permeabilidad del suelo de fundación es en promedio igual $k = 2 \cdot 10^{-5}$ cm/s
- Los taludes de la presa serán aproximadamente de 2,5:1 = H:V, para el talud de aguas arriba y para el talud de aguas abajo
- Ambos estribos deben ser preparados antes de la construcción del muro. Se deben retirar la roca fracturada y suelta;
- La pendiente temporal de los taludes de corte es de 70° máximo y de relleno es de 30° respecto de la horizontal.
- En el diseño del muro se deben incluir filtros para evitar el arrastre de finos;
- La matriz del suelo existente, arena fina limosa, es altamente erosiva;
- Se requieren resultados ensayos de laboratorio de la roca, requerida por diseño;
- Finalmente se recomienda la protección de los estribos, estratos de roca blanda y muy fracturada, ante el escurrimiento de agua. Inyecciones e impermeabilización local superficial de las unidades más débiles.

6.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

6.4.1. Introducción

En el siguiente Acápite se presentan los resultados del estudio para determinar el caudal de diseño de las obras de evacuación y el volumen de sedimentación para las distintas alternativas. Para ello, se realizó un análisis de las estadísticas existentes y de todos aquellos antecedentes relacionados con los aportes hídricos en las crecidas del Río San Pedro y sus principales afluentes. Este estudio caracteriza los recursos hidrológicos disponibles identificando la potencialidad de recursos a embalsar a partir de las estadísticas medias mensuales de caudales.

La hidrografía del Río San Pedro se genera de la confluencia de los ríos Grande y Salado. Dentro de los principales afluentes en la zona alta del Río Grande se ubican los ríos Jauna y Putana. El Río San Pedro es considerado como el principal aporte al área de riego del

pueblo San Pedro, que se ubica unos 12 km aguas abajo de la Junta del Río San Pedro y Salado.

El comportamiento hidrológico está directamente relacionado con las precipitaciones de origen estival características del invierno altiplánico. Las precipitaciones y los caudales se comportan como valores extremos, con una alta variabilidad anual, por ejemplo gran parte de las precipitaciones se concentra entre los meses de Diciembre-Marzo, lo que genera que la escorrentía directa se concentre también durante estos meses.

En este estudio se abordan principalmente los siguientes aspectos:

- En primer lugar, se caracterizan las precipitaciones en la zona de estudio, tanto desde el punto de vista de distribución espacial como temporal en las cuencas delimitadas por los sitios de interés, en el que se incluye la precipitación máxima de diseño asociada a distintos periodos de retorno.
- En segundo lugar, se procedió a determinar los caudales medios mensuales y de crecida asociado a las diferentes alternativas, con tal de cuantificar tanto la disponibilidad media del recurso así como los caudales máximos instantáneos. Como resultado de este análisis fue posible obtener los caudales medios mensuales y los hidrogramas de crecida asociados a distintos periodos de retorno en todos los puntos de interés.
- En tercer y último lugar se procedió a determinar el gasto sólido producido, en el que se consideran los gastos producto del lavado de cuenca, conocido como gasto sólido suspendido, y el gasto producto de la erosión del cauce, conocido como gasto sólido de fondo.

6.4.2. Objetivos

Los principales objetivos del estudio corresponden a:

- a) Determinar los recursos de agua disponibles en varios puntos de la cuenca. Estos recursos se expresan en una serie estadística de caudales medios mensuales.
- b) Hidrología de crecidas, mediante la determinación de los caudales extremos para diferentes períodos de retorno. Para las zonas de crecidas que afectan con mayor frecuencia, para ello se determinan los periodos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años. Para las obras de evacuación de embalse se determinaron las crecidas asociadas a 1.000 y 10.000 años. También se determinó la Precipitación Máxima Probable (PMP), con el fin de obtener la Crecida Máxima Probable (CMP) asociada a cada zona de ubicación de embalse.
- c) Estudio de la sedimentación, orientado a determinar el volumen muerto del embalse. Se realizó un análisis del sedimento en suspensión, y estimación del sedimento de arrastre de fondo como un porcentaje del arrastre en suspensión utilizando tasas regionales cercanas al área de estudio.

Las componentes del estudio hidrológico se presentan en los siguientes acápite:

- Pluviometría
- Fluviometría

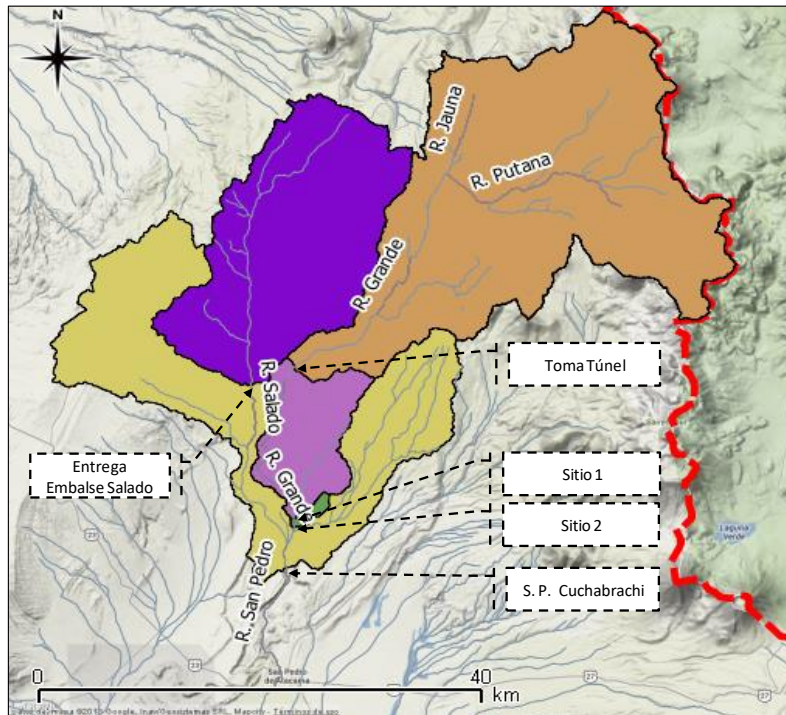
6.4.3. Antecedentes y Área de Estudio

6.4.3.1. Aspectos Generales

El área de estudio se ubica en la Comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Río Loa, Región de Antofagasta. El Río San Pedro se sitúa en la zona norte de la Cuenca del Salar de Atacama y se forma de la confluencia del Río Grande y Río Salado.

Para caracterizar cada sitio de interés desde el punto de vista geomorfológico se consideró la información proporcionada por el modelo de elevación digital GDEM- ASTER, con 90 m de resolución. El modelo de elevación digital (DEM) fue obtenido en la página de la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) denominado ASTER-GDEM, dichas mediciones fueron recogidas por el instrumento radiométrico ASTER (Japón), que se encuentra a bordo del satélite TERRA (NASA), y se puede descargar libremente de la página <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>. Esta información se procesó la plataforma SIG GRASS-GIS con tal de delimitar cada cuenca y obtener los principales parámetros geomorfológicos. En el Cuadro 6.4.3.1-1 se muestra las características geomorfológicas de cada sitio. En la Figura 6.4.3.1-1 aparecen las cuencas delimitadas en cada sitio de interés, también se muestra el Río San Pedro y sus principales afluentes. En el Anexo 6-1 se presentan los archivos SIG en formatos shape, kml y dxf que fueron generados con el Programa GRASS-GIS.

FIGURA 6.4.3.1-1
CAUCES Y CUENCAS DE INTERÉS



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.3.1-1

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE CADA SITIO DE INTERES

Nombre	Cauce	Área km ²	Altura Mínima msnm	Altura Máxima msnm	Largo Cauce km
Sitio 1	Río Grande	653	2.621	5.851	52,4
Sitio 2	Río Grande	657	2.613	5.851	53,1
Toma Túnel	Río Grande	570	3.109	5.851	41,6
Entrega Embalse Salado	Río Salado	302	3.026	4.604	26,8
San Pedro Cuchabrachi	Río San Pedro	1.270	2.547	5.851	56,2

Fuente: Elaboración Propia.

Para el desarrollo del siguiente informe también se consideró la información proporcionada por los estudios anteriores:

- Manejo experimental de la Cuenca del Río San Pedro de Atacama, II Región, R&Q. Dirección de Riego, 1995.
- Estudio y Obras Preliminares para el trasvase de aguas entre las cuencas de los Ríos Jauna y Putana y el Río Salado. Tesis Universidad de Chile, 1975, Rodolfo Muñoz Briceño.
- Aprovechamiento Integral de Los Recursos de Agua de San Pedro de Atacama. 1960.

- Mejoramiento del regadío de San Pedro de Atacama, realizado por el Ingeniero Sr. Fernando Dávila Izquierdo, 1960.
- Proyecto CHI-69/535. Desarrollo de los recursos de agua en el norte grande, Chile. CORFO, Comisión de Riego, HARZA, 1978.

6.4.3.2. Antecedentes Hidrometeorológicos

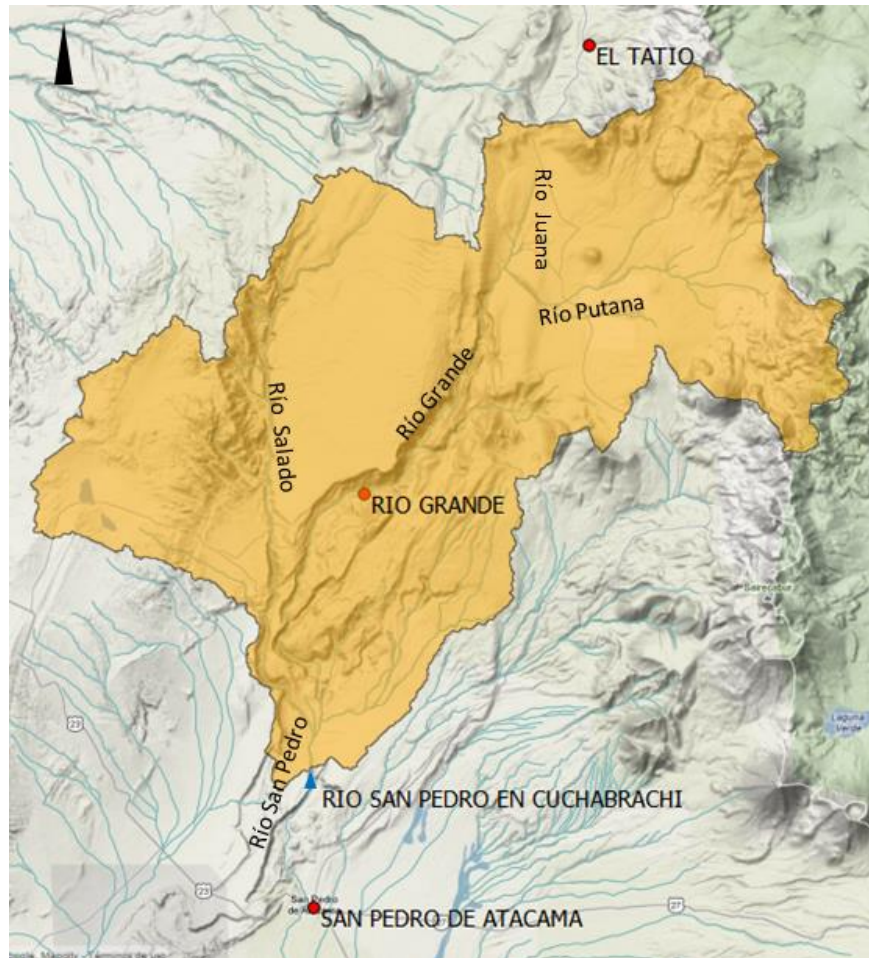
El principal registro de caudales corresponde a los registros de la Estación Río San Pedro en Cuchabrachi perteneciente a la DGA, además de la información de aforos puntuales de estudios anteriores o realizados por la Dirección de Riego. También se consideró la información de registros pluviométricos proporcionados por las estaciones El Tatio, Río Grande y San Pedro de Atacama, que poseen registros de precipitaciones diarias.

En la Figura 6.4.3.2-1 se muestra la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas y la Cuenca delimitada por la estación Río San Pedro en Cuchabrachi.

La estación fluviométrica Río San Pedro en Cuchabrachi se ubica sobre la cabecera de gran parte de la zona de Riego, sobre un 90 % de la superficie total de riego. Las estaciones pluviométricas San Pedro de Atacama y Río Grande se encuentran al interior de la cuenca San Pedro, aunque la estación El Tatio se ubica en la cuenca vecina del Río Salado se puede considerar como representativa de las precipitaciones en la zona alta, al no existir otra estación en la zona superior. En el Cuadro 6.4.3.2-1 se muestra el nombre y la ubicación de las estaciones consideradas en la generación de caudales.

FIGURA 6.4.3.2-1

UBICACIÓN ESTACIÓN FLUVIOMETRICA Y PLUVIOMETRICAS



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.3.2-1
ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS SAN PEDRO ATACAMA

Código BNA	Nombre	UTM Este	UTM Norte	Altitud	Registro
02510001-8	San Pedro Cuchabrachi	582.080	7.475.508	2.585	Fluviométrica
02105022-9	El Tatio	601.540	7.525.794	4.370	Pluviométrico
02510006-9	San Pedro	582.009	7.466.155	2.450	Pluviométrico / Evaporación
02510007-7	Río Grande	585.645	7.494.752	3.250	Pluviométrico

Fuente: BNA-DGA.

6.4.4. Análisis de Estadística Hidro-meteorológica

6.4.4.1. Pluviometría

La precipitación media representativa de la cuenca se realizó mediante los registros de estaciones pluviométricas y la evaporación representativa de la cuenca. En la Cuadro 6.4.4.1-1 se muestran el diagrama de barras de la información disponible en las cuencas San Pedro y cuencas vecinas.

CUADRO 6.4.4.1-1
DIAGRAMA DE BARRAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS
MESES CON INFORMACIÓN ORIGINAL

Estación	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
El Tatio																			Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ
Linzor														0	X	X	X	X	π	Δ	X	X	X	X	X	π	X	X	X	Δ	
Río Grande																			X	Δ	X	π	X	X	X	X	X	X	X	X	
San Pedro	π	X	π	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	0
Toconao Exp																0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caspana											X	X	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ

Leyenda Meses con Información	
X = 12	π > 10
Δ > 7	0 < 7

Estación	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
El Tatio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	Δ	X		π	π	X	π	π	0
Linzor	X	Δ	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	X	π	π	0	0	π	0	
Río Grande	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X	Δ	0	
San Pedro																						π	0	
Toconao Exp	π	0	X	X	X	X	π	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0				
Caspana	X	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0					

Fuente: Elaboración Propia.

Las series de precipitación mensual incompletas se rellenaron y extendieron con el objeto de lograr una mejor estimación de los valores característicos de largo plazo registrados en cada estación. Para la transferencia de información hidrometeorológica se utilizó la metodología de relleno presentada en detalle en la Revista SOCHID Vol. 10, Fernández B. y Salas J., 1995, que ha sido ampliamente utilizada en estudios (DICTUC, 2008). La ventaja de este método es que preserva la variabilidad natural que existe originalmente entre ambas series, y no ve afectado su coeficiente de determinación inicial al utilizar directamente el relleno mediante correlación lineal simple. El modelo de regresión se corrige con una variable aleatoria que permite preservar los parámetros estadísticos de cada serie, según la expresión:

$$Y_1 = \alpha \cdot Y_2 + \beta + \sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon \cdot S_Y$$

Donde:

Y₁: corresponde a la variable que se desea rellenar

Y₂: corresponde a la variable que se utilizará para rellenar la estadística de Y₁

α: pendiente de la regresión entre la variable Y₁ e Y₂

β: coeficiente de intersección de la regresión entre la variable Y₁ e Y₂

R^2 : coeficiente de determinación de la regresión entre la variable Y_1 e Y_2

ε : error aleatorio asociado a una distribución normal con media 0 y desviación estándar igual a 1

S_y : desviación estándar de la serie Y_1 original

La metodología se puede utilizar para rellenar directamente las series de precipitación, o bien utilizar variables transformadas para aquellas series que poseen asimetría negativa o positiva, o una alta variabilidad de valores extremos. La naturaleza de las precipitaciones en la zona corresponde a valores con tendencias extremas, esto significa, años con muy secos y años muy húmedos respecto al valor medio de las precipitaciones.

Generalmente cuando se tienen variables con distribuciones de frecuencias con asimetría negativa (frecuencias altas hacia el lado derecho de la distribución) para valores muy altos o muy bajos, es conveniente aplicar una transformación de variable. Las transformaciones más clásicas corresponden a \sqrt{x} , $\ln(x)$ y $1/x$, que comprimen los valores altos y expanden los pequeños. En este caso en particular, el relleno se aplicó en la variable transformada con la raíz cuadrada de la serie original.

$$Y_1 = V. \text{ Transformada} = \sqrt{Pp_1}$$

Donde Y_1 corresponde a la variable transformada a rellenar y Pp_1 al valor de la precipitación registrada por la estación 1. Posteriormente, se rellenó la serie estadística Y_1 y luego se transformó en la serie original. En el Cuadro 6.4.4.1-2 se muestra el resumen de la serie de precipitación, tanto en su forma original como rellenada.

CUADRO 6.4.4.1-2

RESUMEN DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y DESVIACIÓN MENSUAL

Estación	PP. Media		Desviación		Coeficiente	
	(mm)		(mm)		de Determinación	
	Orig.	Rell.	Orig.	Rell.	Orig.	Rell.
El Tatio	12,4	13,6	32,4	33,5	0,888	0,899
Linzor	12,4	13,9	32,4	34,5	0,888	0,888
Río Grande	6,2	7,1	18,5	21,6	0,824	0,868
San Pedro	3,1	2,3	10,5	7,0	0,819	0,821
Toconao	2,8	2,8	10,4	10,0	0,708	0,663
Caspana	5,8	6,9	20,2	22,3	0,824	0,811

Fuente: Elaboración Propia.

En la Cuadro 6.4.4.1-3 se muestra un resumen de la serie rellenada. En el Anexo 6-1 (Precipitación Mensual San Pedro) se muestra en detalle el relleno de las precipitaciones mensuales.

CUADRO 6.4.4.1-3
DIAGRAMA DE BARRAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS
MESES CON INFORMACIÓN RELLENADA

Estación	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89		
El Tatio														0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Linzor														0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Río Grande											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
San Pedro	π	X	π	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X	X	X	X
Toconao Exp															0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caspana											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Leyenda: Rojo: Año con Relleno, Negro: Original
X = 12 π > 10 Δ > 7 0 < 7

Estación	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
El Tatio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	π	0
Linzor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	π	0
Río Grande	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	0
San Pedro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π	X	X	X	X	0
Toconao Exp	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	0
Caspana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	0

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.4.4.1-4 se muestra el resumen de la precipitación media anual y la desviación de la serie temporal entre 1975 - 2010.

CUADRO 6.4.4.1-4
PRECIPITACIÓN MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (mm)

Estadígrafo	El Tatio	Linzor	Río Grande	San Pedro	Toconao	Caspana
Media	155	159	71	28	31	68
Desviación	108	110	58	16	30	64

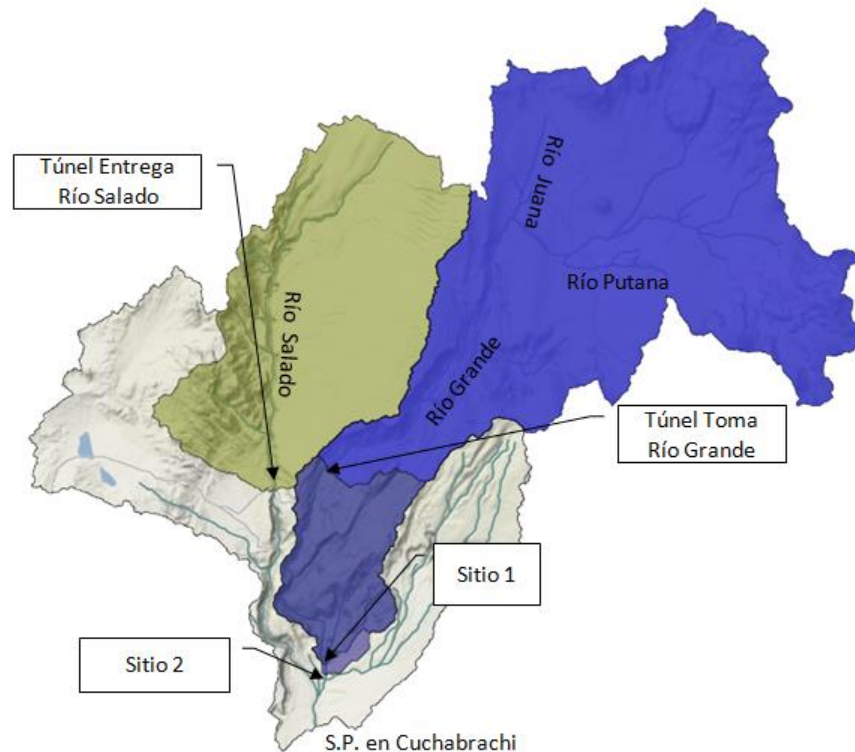
Fuente: Elaboración Propia.

Para estimar la precipitación media espacial de cada cuenca se trazaron los polígonos de Thiessen, con tal de obtener los porcentajes de influencia en las cuencas de interés para el proyecto:

- Cuenca San Pedro en Cuchabrachi
- Sitio de embalse 1 y 2
- Túnel de toma en Río Grande
- Túnel de descarga en Río Salado

En la Figura 6.4.4.1-1 se muestran las cuencas asociadas a distintas alternativas de embalse.

FIGURA 6.4.4.1-1
CUENCAS DE ESTUDIO SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.4.4.1-5 se muestran los porcentajes de influencia de cada estación, obtenidos mediante los polígonos de Thiessen, método descrito y recomendado en Elementos de Hidrología (Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile, Basilio Espíldora, 1975):

CUADRO 6.4.4.1-5
ÁREA DE INFLUENCIA PARA CADA ESTACIÓN
EN DISTINTAS CUENCAS SAN PEDRO (km²)

Cuencas	Tatio	Río Grande	San Pedro	Caspana	Área Total
San Pedro en Cuchabrachi	29%	68%	3%	0%	1.270
Sitio 1/2	56%	44%	0%	0%	652
Túnel de toma en R. Grande	65%	35%	0%	0%	570
Túnel entrega en R. Salado	3%	87%	0%	10%	302

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante estos porcentajes y la serie temporal de precipitación de cada estación es posible estimar la precipitación media anual, tal como se muestra en el Cuadro 6.4.4.1-6.

CUADRO 6.4.4.1-6

PRECIPITACIÓN Y DESVIACIÓN ANUAL SITIOS DE INTERES SAN PEDRO (mm)

Estadígrafo	S.P. Cuchabrachi	Sitio 1/2	Túnel Toma	Túnel Entrega
Media	94	118	124	74
Desviación	66	81	85	58

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.4.2. Registros Evaporación

Para estimar la evaporación en la zona de estudio se consideraron los valores entregados por las siguientes estaciones:

San Pedro de Atacama, BNA 02510006-9, Registros entre 1963-1989.

Toconao Experimental, BNA 02500016-1, Registros entre 1975-2009.

En el Anexo 6-1 (Evaporación San Pedro) se muestran los registros BNA, mientras que en el Cuadro 6.4.4.2-1 se muestra el resumen de la evaporación media diaria para cada estación.

CUADRO 6.4.4.2-1

EVAPORACIÓN MEDIA DIARIA ESTACIÓN SAN PEDRO Y TOCONAO (mm/día)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Toconao	9,3	11,1	12,5	16,5	12,6	12,2	10,8	9,3	7,3	5,8	5,9	7,5
San Pedro	8,4	10,1	11,3	16,5	10,9	10,1	9,1	7,1	5,4	4,6	4,9	6,3

Fuente: BNA-DGA.

Para extender los registros de la estación San Pedro de Atacama se utilizó el siguiente coeficiente:

$$F. C. = \frac{E_i^{S.P.A.}}{E_i^{Toconao}}$$

Donde:

F.C.=Factor de corrección

$E_i^{S.P.A.}$ =Evaporación mes i en San Pedro de Atacama (mm)

$E_i^{Toconao}$ =Evaporación mes i en Toconao (mm)

En el Cuadro 6.4.4.2-2 se muestra la estimación de la evaporación anual para San Pedro de Atacama, con registros extendidos a partir de la estación Toconao Experimental.

CUADRO 6.4.4.2-2

EVAPORACIÓN ANUAL SAN PEDRO DE ATACAMA

Año Hidrológico	EP (mm)	Año Hidrológico	EP (mm)
1964	3.081	1988	2.671

1965	3.330	1989	3.292
1966	3.127	1990	3.032
1967	2.890	1991	3.052
1968	3.255	1992	3.123
1969	2.662	1993	3.197
1970	2.010	1994	3.062
1971	3.006	1995	3.001
1972	3.033	1996	2.997
1973	3.573	1997	3.157
1974	3.078	1998	3.299
1975	3.055	1999	3.006
1976	3.174	2000	2.984
1977	2.976	2001	3.227
1978	3.175	2002	3.144
1979	2.744	2003	3.097
1980	2.885	2004	3.146
1981	2.752	2005	3.305
1982	2.975	2006	3.263
1983	2.918	2007	3.220
1984	2.828	2008	3.136
1985	2.935	2009	3.180
1986	3.186	2010	3.180
1987	2.361	2011	3.185

Fuente: Elaboración Propia.

La estimación media anual en San Pedro de Atacama del Cuadro 6.4.4.2-2 entrega un valor anual medio de 3.041 mm, mientras que el Balance Hídrico (BHCH, 1987) estima un valor de 3.000 mm para la zona de estudio.

6.4.4.3. Precipitación Máxima San Pedro de Atacama

En el Cuadro 6.4.4.3-1 se muestran los registros de precipitaciones máximas de las estaciones Río Grande, San Pedro y El Tatio. En el Anexo 6-1 se muestran los registros y valores considerados para las estaciones relevantes.

Mediante el uso de los porcentajes de influencia y las series de cada alternativa se estimaron los valores de precipitación asociados a cada alternativa. En el Cuadro 6.4.4.3-2 se muestran los valores para cada alternativa. En el Anexo 6-1 se muestran los ajustes de frecuencia de cada alternativa. La distribución de mejor ajuste seleccionada corresponde a la Tipo Gumbel.

CUADRO 6.4.4.3-1
REGISTROS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 h (mm)

Fecha	Pp San Pedro	Fecha	Pp Río Grande	Fecha	Pp El Tatio
1959/06/03	9,50	1977/20/02	52,00	1977	s/i

CUADRO 6.4.4.3-1
REGISTROS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 h (mm)

Fecha	Pp San Pedro	Fecha	Pp Río Grande	Fecha	Pp El Tatio
1960/31/01	0,00	1978/03/02	24,50	1978/01/01	20,00
1961/26/01	13,30	1979/18/01	19,20	1979/27/03	13,00
1962/31/01	0,00	1980/18/02	10,10	1980/23/03	14,00
1963/31/05	0,00	1981/21/02	42,30	1981/26/02	17,00
1964/31/01	0,00	1982/22/09	5,00	1982/26/09	12,00
1965/15/10	5,00	1983/10/06	12,00	1983/30/12	21,00
1966/05/10	5,00	1984/04/01	27,20	1984/03/01	20,00
1967/02/02	15,00	1985/07/03	19,60	1985/17/02	32,00
1968/16/05	14,00	1986/28/01	55,30	1986/05/02	24,50
1969/10/03	3,00	1987/22/01	22,90	1987/04/01	56,00
1970/17/02	6,50	1988/19/01	4,50	1988/19/01	20,50
1971/27/12	0,60	1989/06/02	12,90	1989/09/02	14,50
1972/10/02	19,00	1990/24/12	14,10	1990/30/12	21,00
1973/31/01	20,00	1991/03/01	3,60	1991/22/01	20,00
1974/26/01	2,50	1992/05/01	4,70	1992/06/01	16,00
1975/20/02	9,00	1993/20/01	7,90	1993/29/03	12,50
1976/27/01	17,00	1994/08/03	11,20	1994/09/03	12,50
1977/20/02	16,00	1995/29/01	39,90	1995/29/01	46,00
1978/03/02	18,00	1996/29/08	8,00	1996/20/03	9,00
1979/16/06	8,50	1997/03/03	17,50	1997/23/02	27,00
1980/18/02	5,00	1998/19/01	13,50	1998/20/01	38,00
1981/21/02	11,50	1999/11/02	29,10	1999/05/02	50,00
1982/25/09	3,00	2000/08/03	17,80	2000/20/01	34,00
1983/11/06	7,00	2001/01/03	28,40	2001/03/03	21,00
1984/07/06	5,50	2002/09/03	29,50	2002/08/03	17,00
1985/04/03	9,50	2003/14/05	5,50	2003/15/05	10,00
1986/28/01	22,50	2004/05/02	24,10	2004/23/08	3,60
1987/11/03	12,50	2005/10/03	12,50	2005/13/01	15,40
1988/31/01	0,00	2006/13/02	2,50	2007/14/01	9,50
1989/06/02	11,00	2007/31/01	0,00	2008/17/01	17,60
2011/08/07	2,00	2008/14/01	10,10	2009/14/03	7,00
2012/09/02	12,90	2009/11/03	5,90	2010/25/02	8,70
		2010/24/02	6,10	2011/01/02	31,60
		2011/01/02	11,40	2012/10/02	30,10
		2012/09/02	55,90		

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.4.4.3-1
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 h (mm)**

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	27	36	44	54	62	69	87	113
Sitio 1	25	33	41	51	58	65	82	107
Sitio 2	25	33	41	51	58	65	82	107
Toma Río Grande	25	33	40	50	57	65	82	106
Embalse Río Salado	31	41	50	62	72	81	101	131

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.5. Fluviometría

6.4.5.1. Caudales Medios Mensuales

Los registros de la estación San Pedro en Cuchabrachi corresponde a una serie incompleta en la que se deben completar periodos sin información. La transferencia de información hidrológica generalmente se realiza mediante correlaciones, simples o múltiples, con otras estaciones. Sin embargo la estación San Pedro en Cuchabrachi es la única estación con registros fluviométricos de gran extensión al interior de la cuenca y no es posible correlacionar con estaciones de cuencas vecinas, como la Subcuenca del Río Salado en el Río Loa o el Río Vilama, debido a que el caudal del año depende en gran parte de la dinámica de afloramientos e infiltración Propia de la cuenca. En el Cuadro 6.4.5.1-1 se muestra el diagrama de barras de meses con información para cada año que se cuenta con registros en la estación San Pedro en Cuchabrachi.

**CUADRO 6.4.5.1-1
DIAGRAMA DE BARRAS MESES CON INFORMACIÓN
SAN PEDRO CUCHABRACHI**

78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													
Δ	X	X	Δ	0	Δ	X	X	Δ	X	X	X	X	Δ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Δ	X	X	X	X	π	X	0	X	X	0														
Legenda Meses con Información																																															
X = 12												π > 10												Δ > 7												0 < 7											

Fuente: Elaboración Propia.

En el estudio “Manejo Experimental de la Cuenca del Río San Pedro de Atacama, II Región”, R&Q, Dirección de Riego, 1995, se procedió a correlacionar la escorrentía anual con la precipitación anual, en aquellos años que se cuenta con información completa. Posteriormente se procedió a distribuir la escorrentía anual según la distribución mensual de los caudales, de esta manera se ajustó un modelo del siguiente tipo:

$$E.S._t = f(Pp_t, Pp_{t-1})$$

Donde la escorrentía superficial, E.S., depende de la precipitación en el tiempo t y de la precipitación en el año t-1. En el presente estudio se cuenta con mayores registros

fluviométricos y se procederá a ajustar diferentes modelos de generación de escorrentía con tal de reconstituir la serie continua a partir de los registros pluviométricos. El modelo de Mouelhi (2003) y Perrin (2006), GR1A, considera un modelo del siguiente tipo:

$$E.S._t = f(Pp_t, Pp_{t-1}, EP)$$

Para el presente estudio se propone la evaluación un modelo que considere las siguientes dependencias:

$$E.S._t = f(Pp_t, Pp_{t-1}, Pp_{t-2})$$

$$E.S._t = f(Pp_t, EP)$$

$$E.S._t = f(Pp_t, Pp_{t-1}, Pp_{t-2}, EP)$$

En el Cuadro 6.4.5.1-2 se muestra el resumen de precipitación y evaporación media de la Cuenca San Pedro en Cuchabrachi. La evaporación estimada en el centro de gravedad de la cuenca según el Balance Hídrico Nacional 1987, corresponde a 2.500 mm, por lo que para estimar la serie anual representativa de la cuenca se corrigió la evaporación registrada en la estación San Pedro de Atacama según el siguiente factor:

$$F.C. = E^{C.G.S.P.C.} / E^{Estación San Pedro Atacama}$$

Donde:

F.C. = Factor de corrección

$E^{C.G.S.P.C.}$ = Evaporación Centro Gravedad Cuenca San Pedro en Cuchabrachi (mm)

$E^{Estación San Pedro Atacama}$ = Evaporación Anual Estación San Pedro Atacama (mm)

CUADRO 6.4.5.1-2 **ESCORRENTÍA, PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN** **EN SAN PEDRO EN CUCHABRACHI (mm)**

Año	Pp	Pp-1	Pp-2	EP	ES	Año	Pp	Pp-1	Pp-2	EP	ES
1978	93,0	51,6	206,3	2604	17,6	1995	20,5	111,1	61,7	2461	14,8
1979	36,7	93,0	51,6	2250	17,7	1996	143,2	20,5	111,1	2458	18,3
1983	262,8	79,9	18,9	2393	19,7	1997	43,7	143,2	20,5	2589	15,3
1984	137,9	262,8	79,9	2319	18,9	1998	120,3	43,7	143,2	2706	15,6
1986	210,4	117,6	137,9	2613	19,0	1999	148,7	120,3	43,7	2465	15,9
1987	27,9	210,4	117,6	1936	17,9	2001	90,5	256,8	148,7	2647	16,0
1988	102,2	27,9	210,4	2190	19,8	2002	25,8	90,5	256,8	2579	16,4
1989	34,8	102,2	27,9	2700	15,9	2003	69,8	25,8	90,5	2540	18,6
1991	17,0	78,2	34,8	2503	16,3	2004	78,8	69,8	25,8	2580	15,5
1992	63,5	17,0	78,2	2562	15,7	2006	16,7	65,1	78,8	2676	14,4
1993	61,7	63,5	17,0	2622	14,5	2008	28,7	60,4	16,7	2572	15,0
1994	111,1	61,7	63,5	2511	16,2	2009	11,9	28,7	60,4	2608	16,1

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 6-1 (Generación Caudales Mensuales San Pedro Atacama) se muestra en detalle los cálculos y el ajuste de diferentes modelos de generación anual.

Modelo 1: $ES = \alpha + \beta_1 * Pp + \beta_2 * Pp_{-1} + \beta_3 * Pp_{-2}$

Modelo 2: $ES = \alpha + \beta_1 * Pp + \beta_2 * EP$

Modelo 3: $ES = \alpha + \beta_1 * Pp + \beta_2 * Pp_{-1} + \beta_3 * Pp_{-2} + \beta_4 * EP$

Donde:

ES : Representa la escorrentía anual (mm)

Ppi : corresponde a la precipitación del año i (mm)

EP : corresponde a la evaporación potencial anual (mm)

α y β_i : corresponden a los coeficientes de correlación múltiple.

El ajuste de los diferentes modelos se muestra en el Cuadro 6.4.5.1-3, en el que se muestra el coeficiente R² asociado a cada ajuste.

CUADRO 6.4.5.1-3
RESULTADO DE AJUSTE DE MODELO PP-ES
CUENCA SAN PEDRO ATACAMA

Modelo		R ²
1	$E.S._t = f(Pp, Pp_{-1}, Pp_{-2})$	0,416
2	$E.S._t = f(Pp, EP)$	0,594
3	$E.S._t = f(Pp, Pp_{-1}, Pp_{-2}, EP)$	0,622

Fuente: Elaboración Propia.

El Modelo 1 planteado en el estudio de R&Q, 1995, presenta un coeficiente de ajuste similar al obtenido con una estadística de menor extensión. El modelo mejora al incluir la evaporación potencial de la cuenca, mostrando un mejor ajuste en el Modelo 3 al incluir la precipitación ocurrida hasta dos años anteriores. Estos resultados destacan la importancia de la evaporación en los procesos que se desarrollan en la cuenca. También destacan de manera importante el almacenamiento subterráneo, en el que zonas de infiltración y afloramiento en formas de vertientes se ven claramente influenciada por la precipitación ocurrida uno y hasta dos años antes. El Cuadro 6.4.5.1-4 muestra los coeficientes de cada variable.

CUADRO 6.4.5.1-4
COEFICIENTE ASOCIADO A CADA VARIABLE EN MODELO 3 (R² = 0,622)

α		27,437
β_3	Pp-2	0,007
β_2	Pp-1	-0,003
β_1	Pp	0,014
β_4	EP	-0,005

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.4.5.1-1 se muestra la serie temporal de caudal medio anual observado y simulado.

La distribución mensual en aquellos años sin información se realizó mediante la distribución mensual de la escorrentía anual en los años que se cuenta con información en San Pedro en Cuchabrachi. El Cuadro 6.4.5.1-5 se muestra la distribución de escorrentía anual según el tipo de año, en el que se observa que para años húmedos mayores caudales se registran entre Enero y Febrero, mientras que para años secos la distribución mensual se presenta relativamente pareja, sin variaciones significativas.

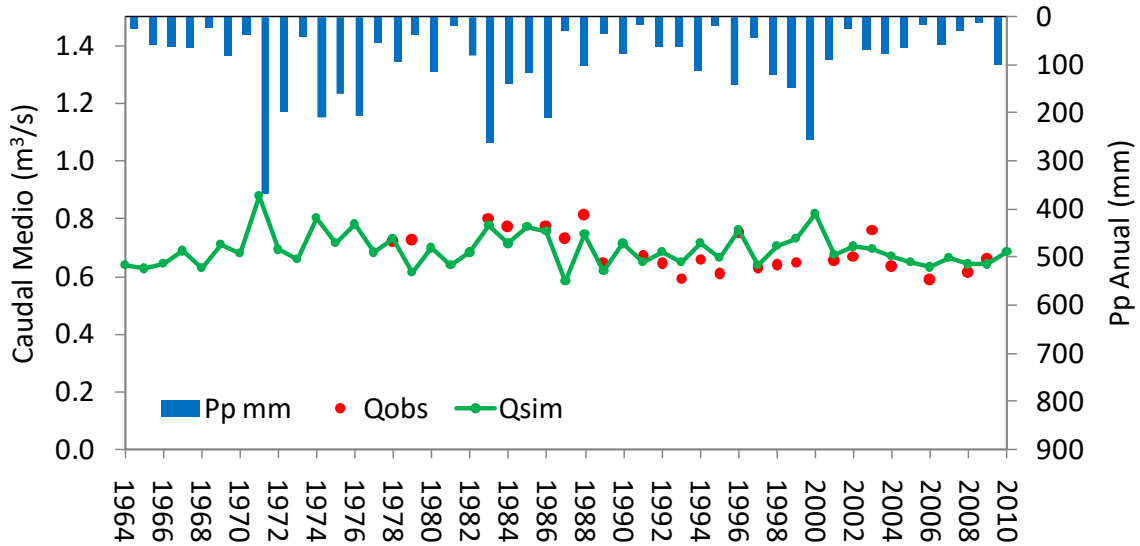
CUADRO 6.4.5.1-5
DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ESCORRENTÍA ANUAL

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Muy Húmedo	6,7%	6,5%	6,6%	12,3%	8,6%	7,2%	6,8%	7,6%	8,2%	9,2%	11,0%	9,1%
Húmedo	7,0%	7,2%	7,5%	8,3%	9,3%	10,2%	7,8%	8,4%	8,8%	8,8%	8,5%	8,1%
Normal	7,6%	7,4%	7,1%	9,1%	7,6%	8,7%	8,1%	9,0%	9,7%	9,2%	8,8%	7,8%
Seco	7,5%	7,2%	7,1%	8,6%	8,3%	8,0%	8,5%	9,0%	9,3%	8,9%	8,3%	9,2%
Muy Seco	7,5%	7,7%	7,6%	8,3%	8,4%	8,2%	8,2%	8,6%	9,3%	9,0%	8,8%	8,6%

Fuente: Elaboración Propia.

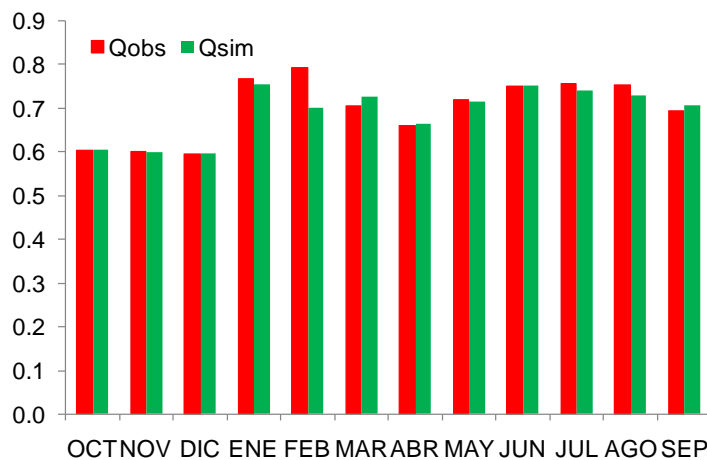
En la Figura 6.4.5.1-2 se muestra la variación mensual del caudal, mientras que en la Figura 6.4.5.1-3 se muestra la serie temporal de caudales medios mensuales distribuidos según la escorrentía anual simulada.

FIGURA 6.4.5.1-1
SERIE DE CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS
SAN PEDRO EN CUCHABRACHI



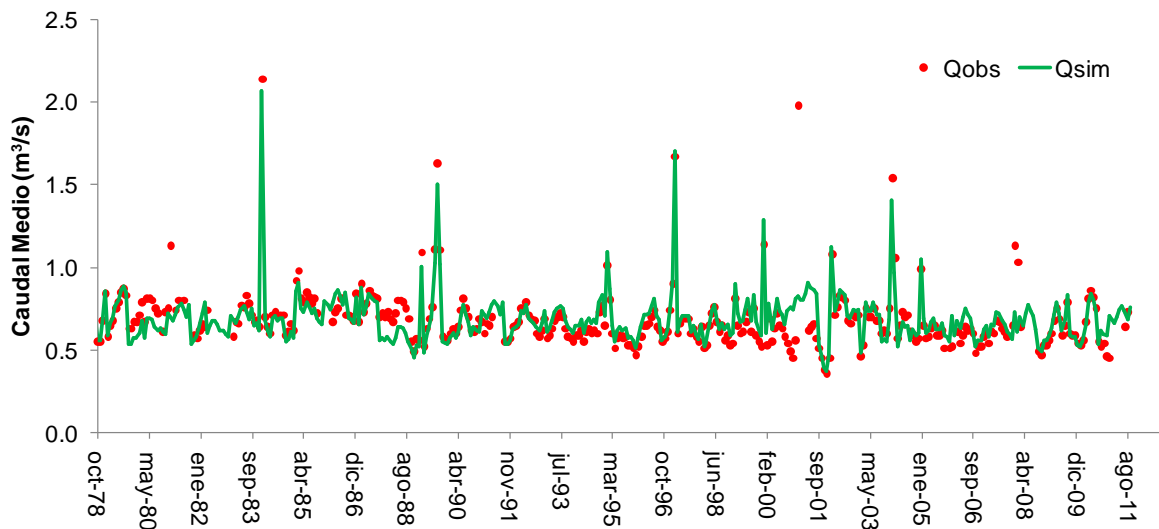
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.4.5.1-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³/s)
OBSERVADOS Y SIMULADOS



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.4.5.1-2
SERIE TEMPORAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES
OBSERVADOS Y SIMULADOS



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que la distribución se ajusta a los caudales medios mensuales, en los que el caudal observado $0,682 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el caudal simulado es $0,690 \text{ m}^3/\text{s}$. Es importante considerar que los caudales simulados no incorporan las extracciones realizadas aguas arriba del Río Grande y que subestiman la producción real de la cuenca, por lo que procede a corregir la serie de la siguiente forma:

$$Q_{S.P.C.R.N.} = Q_{S.P.C.} + Q_{D.R.}$$

Donde:

$Q_{S.P.C.R.N.}$ = Caudal San Pedro Cuchabrachi en Régimen Natural (m^3/s)

$Q_{S.P.C.}$ = Caudal San Pedro en Cuchabrachi en estado intervenido (m^3/s)

$Q_{D.R.}$ = Caudal Demandado de Riego (m^3/s)

El caudal demandado de riego aguas arriba de San Pedro, principalmente en el Río Grande se estima mediante la siguiente expresión:

$$Q_{D.R. \text{ Río Grande}} = F.P. * Q_{D.R.S.P.A}$$

Donde:

Q_{D.R. Río Grande} = Caudal Demandado Riego extraído en Río Grande (m³/s)

F.P. = Factor de Corrección proporcional a los derechos

Q_{D.R.S.P.A.} = Caudal de Riego en San Pedro de Atacama (m³/s)

De esta manera se puede estimar un caudal extraído aguas arriba de San Pedro en Cuchabrachi en forma proporcional a los derechos consuntivos otorgados, considerando que en Río Grande existen 125 L/s y en San Pedro de Atacama 870 L/s, se estima una razón de $F.P. = (125 \text{ L/s}) / (870 \text{ L/s}) = 0,14$. Debido a la dificultad que existe para determinar con certeza caudales de riego extraídos, y con tal de no sobreestimar la producción de escorrentía de la cuenca se adopta de forma segura un $F.P. \approx 0,10$.

En el Cuadro 6.4.5.1-6 se muestran los valores de Caudal de Riego estimados para la situación actual en San Pedro de Atacama, en base a los que se estiman el Caudal de Riego extraído aguas arriba de S.P. en Cuchabrachi en la Zona del Río Grande (Cuadro 6.4.5.1-7).

CUADRO 6.4.5.1-6
CAUDAL DE RIEGO SAN PEDRO ATACAMA (L/s)

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Q _{D.R.S.P.A.}	742	998	1.260	1.397	1.473	1.039	688	408	297	246	294	507	779

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.5.1-7
CAUDAL DE RIEGO ESTIMADO AGUAS ARRIBA
SAN PEDRO EN RÍO GRANDE (L/s)

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Q _{D.R. Río Grande}	74	100	126	140	147	104	69	41	30	25	29	51	78

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante estos valores se obtiene la serie de caudal representativa de la cuenca San Pedro en Cuchabrachi, asociada a los caudales en régimen natural. En el Cuadro 6.4.5.1-8 se muestra la serie de caudales medios mensuales en San Pedro en Cuchabrachi.

CUADRO 6.4.5.1-8
SERIE DE CAUDAL MENSUAL SAN PEDRO CUCHABRACHI (m³/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1947	1,240	1,170	1,130	1,040	1,280	0,942	0,828	1,240	1,270	1,180	1,110	1,160	1,133
1948	1,040	0,954	0,967	1,170	2,290	1,020	1,020	1,200	1,260	1,330	1,220	1,210	1,223
1949	1,170	1,000	1,010	1,150	1,200	1,320	1,260	1,360	1,490	1,350	1,010	1,000	1,193
1950	1,050	1,000	1,880	0,901	0,783	0,854	1,190	1,260	1,320	1,450	1,350	1,250	1,191
1951	1,220	1,180	1,450	2,140	1,000	0,990	0,929	0,988	0,980	0,951	0,930	0,933	1,141

CUADRO 6.4.5.1-8

SERIE DE CAUDAL MENSUAL SAN PEDRO CUCHABRACHI (m³/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1952	0,883	0,860	0,874	1,160	5,970	7,310	1,170	1,180	1,120	1,100	1,080	1,040	1,979
1953	0,940	1,040	1,090	1,240	2,170	1,290	1,050	1,020	1,030	0,949	0,990	1,000	1,151
1954	0,982	0,949	1,410	2,300	1,810	1,290	1,100	1,090	1,040	0,920	0,948	0,959	1,233
1955	0,969	0,942	0,944	0,965	1,230	1,110	1,180	1,260	1,260	1,120	1,090	1,140	1,101
1956	1,040	1,050	1,050	1,090	1,230	0,947	1,020	1,130	1,140	1,050	1,210	1,190	1,096
1957	1,120	1,040	1,110	0,596	0,570	0,680	0,693	0,791	0,823	0,759	0,707	0,718	0,801
1958	0,695	0,752	0,808	0,737	0,876	5,970	1,140	1,110	1,070	1,050	0,887	0,896	1,333
1959	0,896	0,854	0,856	0,887	0,807	0,860	0,878	0,942	0,944	0,936	0,955	0,947	0,897
1960	0,938	0,940	0,911	3,580	1,130	0,962	1,310	1,570	0,961	1,000	0,954	0,960	1,268
1961	0,936	0,943	0,904	0,865	0,966	0,988	1,010	1,030	1,010	1,020	0,966	0,979	0,968
1962	0,984	0,978	1,093	1,321	1,554	1,769	1,052	1,145	1,115	0,950	0,969	1,010	1,162
1963	0,758	0,753	0,540	0,255	0,944	0,767	0,812	0,850	0,868	0,854	0,830	0,734	0,747
1964	0,784	0,883	0,937	0,947	0,890	0,911	0,857	0,899	0,932	0,928	0,886	0,924	0,898
1965	0,872	0,845	0,890	0,894	0,844	0,867	0,863	0,899	0,879	0,686	0,669	0,655	0,822
1966	0,660	0,672	0,674	0,940	0,734	0,923	0,899	0,899	0,777	1,055	0,713	0,653	0,800
1967	0,692	0,695	0,711	0,849	0,833	0,767	0,767	0,977	0,947	1,055	0,935	0,808	0,836
1968	0,601	0,870	0,896	0,860	0,786	0,876	0,660	0,750	0,766	0,689	0,904	0,811	0,789
1969	0,804	0,810	0,846	0,860	0,917	0,734	0,936	0,937	0,990	1,105	0,999	0,833	0,898
1970	0,684	0,790	0,846	0,870	0,824	0,759	0,759	0,777	0,787	0,749	0,706	0,799	0,779
1971	0,863	0,680	0,606	2,360	2,177	0,967	0,932	0,941	1,005	0,970	0,960	0,951	1,118
1972	0,696	0,699	0,715	1,010	1,027	0,844	0,809	0,851	0,860	0,855	0,909	0,971	0,854
1973	0,674	0,685	0,687	0,858	0,748	0,795	0,712	0,752	0,794	0,752	0,729	0,667	0,738
1974	0,793	0,840	0,852	0,934	0,955	0,891	0,856	0,862	0,919	0,887	0,878	0,872	0,878
1975	0,716	0,719	0,734	0,877	0,860	0,793	0,795	0,815	0,826	0,787	0,741	0,838	0,792
1976	0,954	0,890	0,833	0,913	0,934	0,870	0,836	0,840	0,896	0,864	0,855	0,850	0,878
1977	0,687	0,691	0,706	0,850	0,857	0,734	0,729	0,751	0,790	0,815	0,819	0,781	0,767
1978	0,624	0,650	0,806	0,980	0,727	0,754	0,749	0,791	0,820	0,875	0,899	0,881	0,796
1979	0,704	0,730	0,796	0,810	0,857	0,894	0,739	0,851	0,840	0,825	0,779	0,771	0,800
1980	0,702	0,710	0,856	0,890	1,277	0,777	0,809	0,841	0,808	0,825	0,725	0,820	0,837
1981	0,611	0,690	0,696	0,760	0,807	0,744	0,809	0,687	0,701	0,701	0,684	0,669	0,713
1982	0,688	0,691	0,707	0,844	0,727	0,774	0,729	0,811	0,790	0,855	0,809	0,761	0,765
1983	0,744	0,780	0,766	2,280	0,847	0,744	0,669	0,751	0,760	0,725	0,739	0,761	0,880
1984	0,664	0,710	0,786	0,760	1,067	1,084	0,879	0,831	0,880	0,845	0,809	0,861	0,848
1985	0,794	0,768	0,782	0,935	0,916	0,847	0,739	0,771	0,780	0,835	0,839	0,761	0,814
1986	0,784	0,800	0,806	0,980	0,817	1,004	0,799	0,821	0,890	0,855	0,849	0,861	0,855
1987	0,774	0,820	0,826	0,870	0,837	0,774	0,789	0,841	0,830	0,815	0,779	0,741	0,808
1988	0,624	0,590	0,696	0,700	1,237	0,624	0,699	0,731	0,790	1,135	1,659	1,156	0,887
1989	0,654	0,670	0,686	0,740	0,777	0,704	0,709	0,781	0,840	0,775	0,729	0,671	0,728
1990	0,684	0,730	0,816	0,810	0,747	0,764	0,719	0,741	0,825	0,786	0,740	0,837	0,767
1991	0,624	0,650	0,696	0,780	0,797	0,774	0,819	0,781	0,820	0,735	0,719	0,731	0,744

CUADRO 6.4.5.1-8

SERIE DE CAUDAL MENSUAL SAN PEDRO CUCHABRACHI (m³/s)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1992	0,674	0,680	0,746	0,830	0,717	0,694	0,699	0,721	0,730	0,745	0,729	0,681	0,720
1993	0,654	0,670	0,676	0,730	0,737	0,724	0,619	0,651	0,660	0,625	0,649	0,651	0,670
1994	0,804	0,870	0,776	1,150	0,952	0,704	0,579	0,611	0,620	0,595	0,609	0,581	0,737
1995	0,604	0,610	0,596	0,660	0,727	0,754	0,719	0,701	0,730	0,765	0,669	0,671	0,684
1996	0,624	0,670	0,736	0,880	1,047	1,774	0,669	0,701	0,720	0,715	0,719	0,651	0,825
1997	0,704	0,680	0,676	0,780	0,657	0,634	0,719	0,761	0,790	0,695	0,639	0,701	0,703
1998	0,634	0,690	0,656	0,680	0,957	0,754	0,669	0,651	0,700	0,755	0,639	0,801	0,715
1999	0,664	0,650	0,646	1,280	0,677	0,794	0,619	0,671	0,750	0,675	0,659	0,631	0,726
2000	0,614	0,590	0,576	0,700	2,127	0,906	0,871	0,878	0,650	0,665	0,689	0,621	0,824
2001	0,584	0,550	0,506	0,500	0,597	1,184	0,779	0,801	0,860	0,845	0,829	0,731	0,730
2002	0,734	0,810	0,826	0,850	0,607	0,634	0,819	0,741	0,730	0,775	0,709	0,731	0,747
2003	0,674	0,720	0,726	0,890	1,687	1,159	0,639	0,691	0,760	0,725	0,739	0,661	0,839
2004	0,664	0,650	0,696	1,130	0,797	0,674	0,649	0,671	0,680	0,615	0,619	0,671	0,710
2005	0,584	0,675	0,636	0,660	0,737	0,714	0,609	0,631	0,670	0,645	0,659	0,651	0,656
2006	0,554	0,620	0,646	0,720	0,747	0,644	0,679	0,641	0,710	0,695	0,659	0,661	0,665
2007	0,654	0,690	0,776	1,270	1,177	0,744	0,717	0,757	0,800	0,757	0,735	0,671	0,812
2008	0,564	0,570	0,656	0,670	0,707	0,704	0,749	0,791	0,720	0,615	0,679	0,841	0,689
2009	0,674	0,690	0,716	0,680	0,677	0,664	0,739	0,851	0,890	0,845	0,779	0,601	0,734
2010	0,594	0,640	0,586	0,590	0,831	0,765	0,765	0,783	0,794	0,665	0,759	0,806	0,715
Q_{Medio}	0,770	0,779	0,821	1,003	1,075	1,058	0,828	0,873	0,878	0,862	0,841	0,825	0,884

Fuente: Elaboración Propia.

Para extrapolar la información de caudales medios al resto de la cuenca se analizaron todos los registros de aforos puntuales disponibles en San Pedro de Atacama, tanto en el Río Salado como en el Río Grande y sus afluentes (R. Jauna y R. Putana). En el Anexo 6-1 se adjunta la información con la recopilación de aforos y la campaña realizada en Junio 2013 para el presente estudio.

6.4.5.2. Campañas de Aforos CHI-535, DGA 1978

En el Cuadros 5.4.5.2-1 a 5.4.5.2-3 y Figuras 5.4.5.2-1 a 5.4.5.2-3 se muestran los resultados de los aforos realizados en terreno por el Proyecto CHI 535, DGA 1978.

Dicha información de Aforos Puntuales realizados por la Dirección de Riego 1966 y los efectuados por el proyecto CHI-535, fueron informados en el trabajo Estudio y Obras Preliminares para el trasvase de aguas entre las cuencas de los Ríos Jauna y Putana y el Río Salado. Tesis Universidad de Chile, 1975, Rodolfo Muñoz Briceño. Mientras que para la misma fecha la estación San Pedro en Cuchabrachi registra del orden.

CUADRO 6.4.5.2-1
CAUDALES AFORADOS (m³/s)
08/04/1966-01/06/1966

Fecha	Jauna a. Putana	Putana a. Jauna	Jauna d. Putana	S. P. Cuchabrachi
08-04-1966	0,320	0,390	0,710	0,763
15-03-1966	0,310	0,331	0,641	0,763
22-03-1966	0,309	0,304	0,613	0,763
04-05-1966	0,297	0,684	0,981	0,858
10-05-1966	0,319	0,396	0,715	0,858
01-06-1966	0,292	0,614	0,906	0,849
Caudal Promedio	0,308	0,453	0,761	0,809

Fuente: CHI 535, Dirección de Riego -1978

CUADRO 6.4.5.2-2
CAUDALES AFORADOS (m³/s)
12/11/1976-15/11/1976

Fecha	Jauna a. Putana	Putana a. Jauna	Jauna d. Putana	S. P. Cuchabrachi
12-11-1976	0,680	0,856	0,567	s/i
13-11-1976	0,253	0,639	0,479	s/i
14-11-1976	0,266	0,649	0,643	s/i
15-11-1976	0,262	0,862	0,605	s/i
Caudal Promedio	0,365	0,752	0,574	s/i

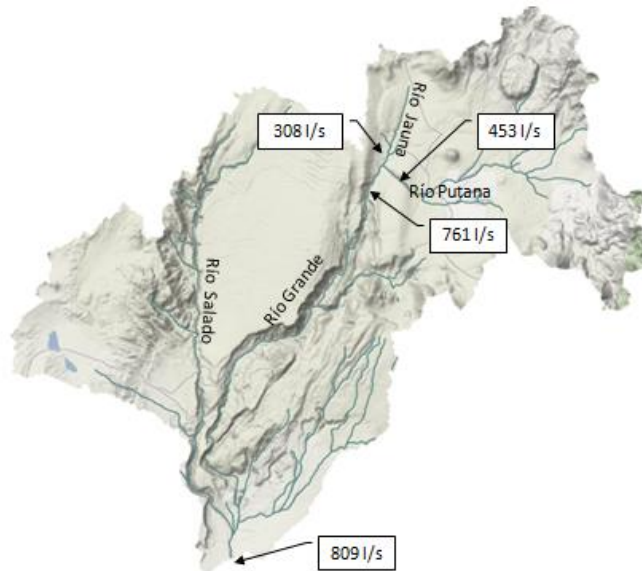
Fuente: CHI 535, Dirección de Riego -1978

CUADRO 6.4.5.2-3
CAUDALES AFORADOS (m³/s)
19/11/1976-22/11/1976

Fecha	R.G. a. Zona Riego	R.G. a. Bartolo	R.G. a. Salado	S. P. Cuchabrachi
19-11-1976	0,843	0,546	0,520	0,643
20-11-1976	0,615	0,570	0,661	0,724
21-11-1976	0,657	0,669	0,618	0,720
22-11-1976	0,623	0,658	0,635	0,741
Caudal Promedio	0,685	0,611	0,609	0,707

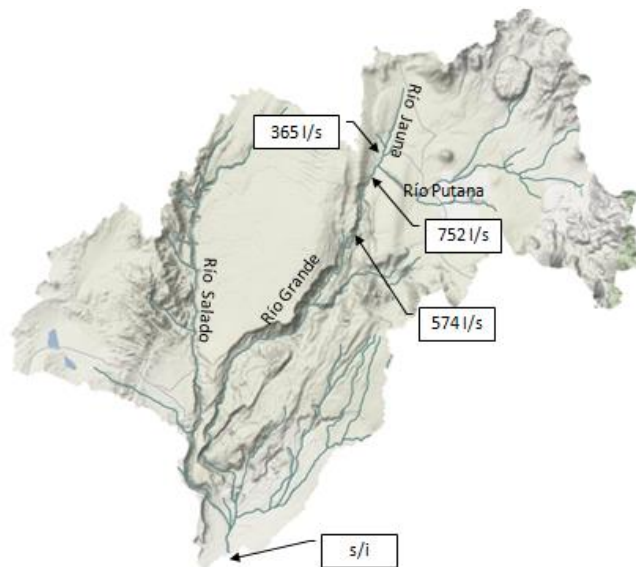
Fuente: CHI 535, Dirección de Riego -1978

FIGURA 6.4.5.2-1
CAUDALES AFORADOS (L/s)
08/04/1966-01/06/1966



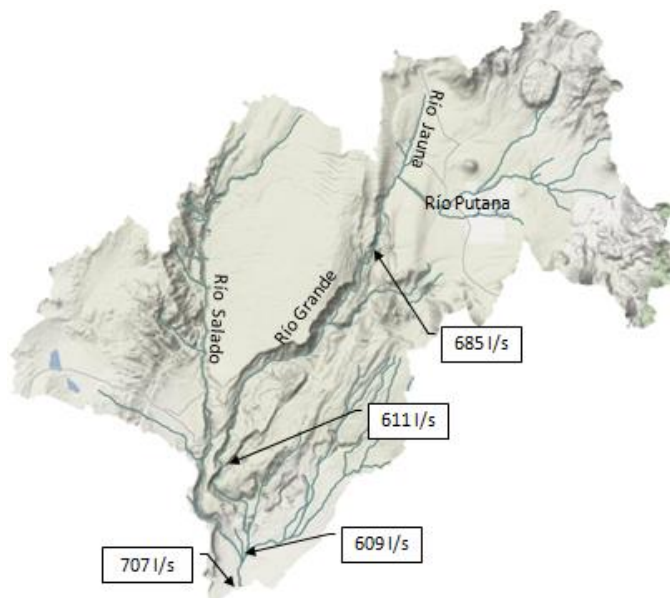
Fuente: CHI 535, Dirección de Riego -1978. Elaboración Propia.

FIGURA 6.4.5.2-2
CAUDALES AFORADOS (L/s)
12/11/1976-15/11/1976



Fuente: CHI 535, Dirección de Riego -1978. Elaboración Propia.

FIGURA 6.4.5.2-3
CAUDALES AFORADOS (L/s)
19/11/1976-22/11/1976



Fuente: CHI 535, Dirección de Riego-1978. Elaboración Propia.

6.4.5.3. Campaña Aforos 1995

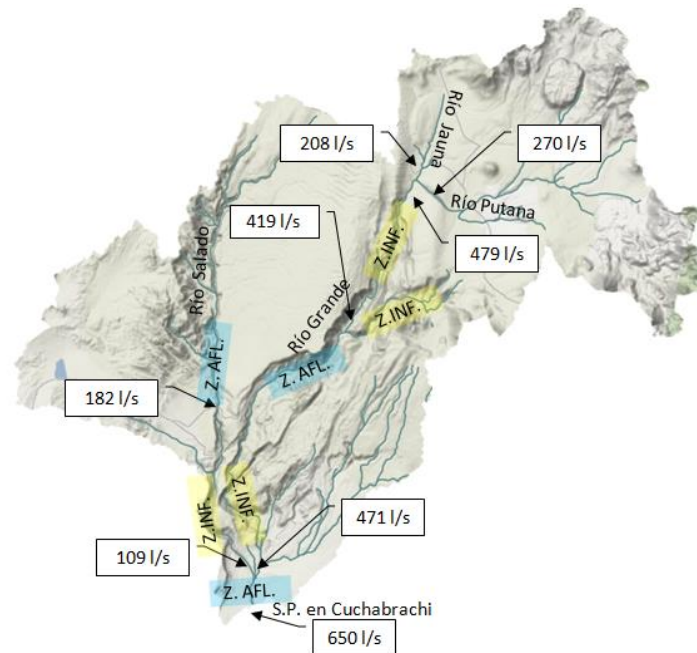
Según el estudio de Embalse Coyil, CNR - Arrau 2000, se llevó a cabo una campaña de aforos simultáneos que permitió identificar las zonas de infiltración y afloramiento, tal como se muestran en el Cuadro 6.4.5.3-1 y la Figura 6.4.5.3-1.

CUADRO 6.4.5.3-1
CAUDALES AFORADOS (m³/s)
19/11/1995

Sitio	Caudal	R.G. a. Bartolo	R.G. a. Salado
Jauna a. Putana	0,208	Salado A. R. Grande	0,109
Putana a. Jauna	0,270	R.G. a. Salado	0,471
R. Salado cruce San Bartolo	0,182	S. P. Cuchabrachi	0,670

Fuente: Embalse Coyil, CNR - Arrau 2000

FIGURA 6.4.5.3-1
CAUDALES AFORADOS (L/s)
27/09/1997 Y 28/09/1997



Z.INF.=Zona de Infiltración Z.AFL.: Zona de Afloramiento

Fuente: Elaboración Propia. a partir de Coyil, CNR-Arrau, 2000.

6.4.5.4. Campaña Aforos 2013

Entre los días 15 y 16 de Junio de 2013 se realizaron aforos con tal de registrar la variación del caudal en distintas zonas de interés en la cuenca del Río San Pedro. En el Cuadro 6.4.5.4-1 se muestran los puntos aforados durante la campaña.

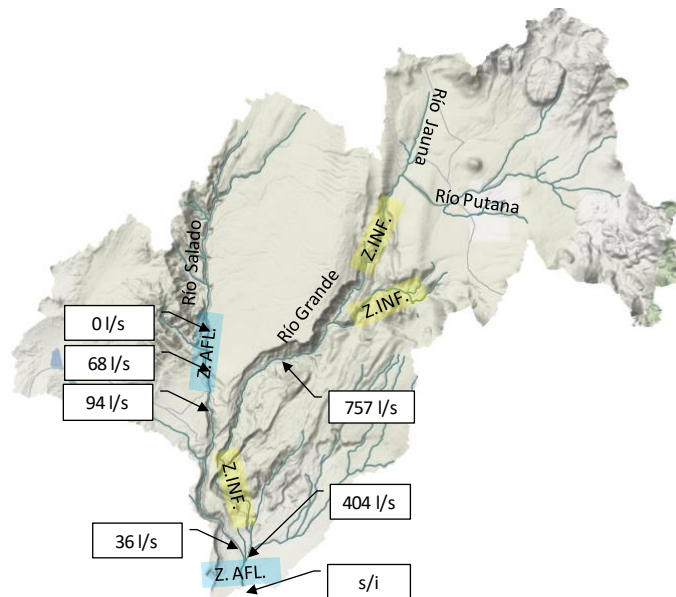
CUADRO 6.4.5.4-1
CAUDALES AFORADOS (m³/s)
15/06/2013

Aforo	Descripción	Caudal
1	Río en condición seca.	0,000
2	Realizado aguas debajo de afloramientos.	0,067
3	Realizado en Toma Túnel 2	0,094
4	Realizado en cruce con San Bartolo.	0,036
5	Aguas arriba del puente de Río grande	0,757

7	Realizado aguas abajo de Coyil	0,588
8	Realizado antes de la junta del Rio Grande con Rio Salado	0,404

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.4.5.4-1
CAUDALES AFORADOS (L/s)
27/09/1997 Y 28/09/1997



Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento de los caudales del Río San Pedro impide que se puedan aplicar relaciones clásicas del tipo precipitación escorrentía, tal como se observa en los aforos realizados en diferentes estudios (CHI 535, Dirección de Riego 1978; Embalse Coyil, DOH-Arrau 1997), así como en los aforos realizados durante la presente consultoría. Es por ello que se deben tener en cuenta los aportes y las pérdidas por infiltración propias de la cuenca de estudio.

6.4.5.5. Coeficientes de Trasposición y Caudales Medios Adoptados

Para llevar a cabo la trasposición de caudal en base a los aforos actuales y de informes anteriores se adoptaron coeficientes de trasposición que representen de forma realista los distintos caudales medios mensuales en cada punto de la Cuenca San Pedro de Atacama. Para ello se adoptó la siguiente expresión:

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_c}$$

Donde:

K_i = Coeficiente para estimar el caudal en el punto i.

Q_i = caudal en el punto sin información i

Q_C = Caudal en San Pedro en Cuchabrachi

Para las diferentes alternativas se consideró los siguientes factores:

$K_{\text{Sitio 1 y 2}} = 0,90$

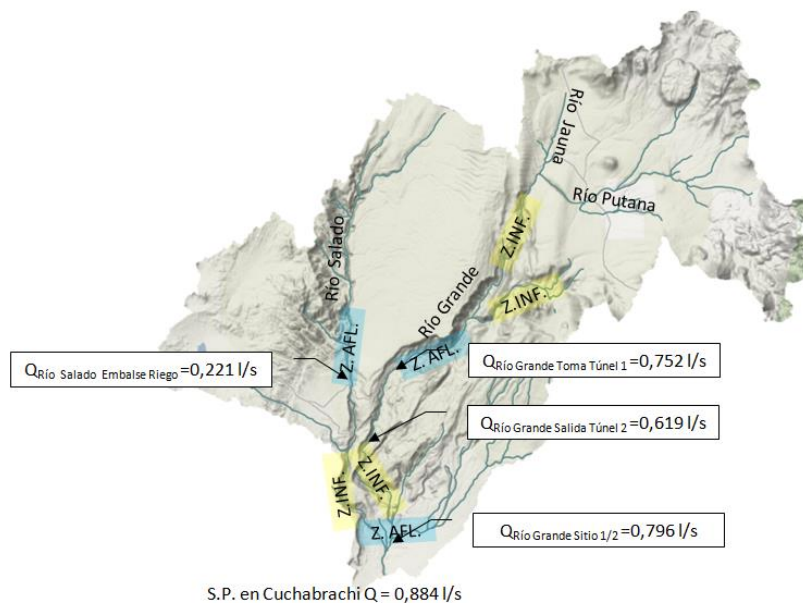
$K_{\text{Río Grande Toma Túnel 1}} = 0,80$

$K_{\text{Río Grande Salida Túnel 2}} = 0,70$

$K_{\text{Río Salado Embalse Riego}} = 0,25$

En la Figura 6.4.5.5-1 se muestran los caudales medios mensuales estimados en cada punto de la Cuenca San Pedro de Atacama, estimados a partir de los caudales presentados en el Cuadro 6.4.5.1-7.

FIGURA 6.4.5.5-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES CUENCA SAN PEDRO

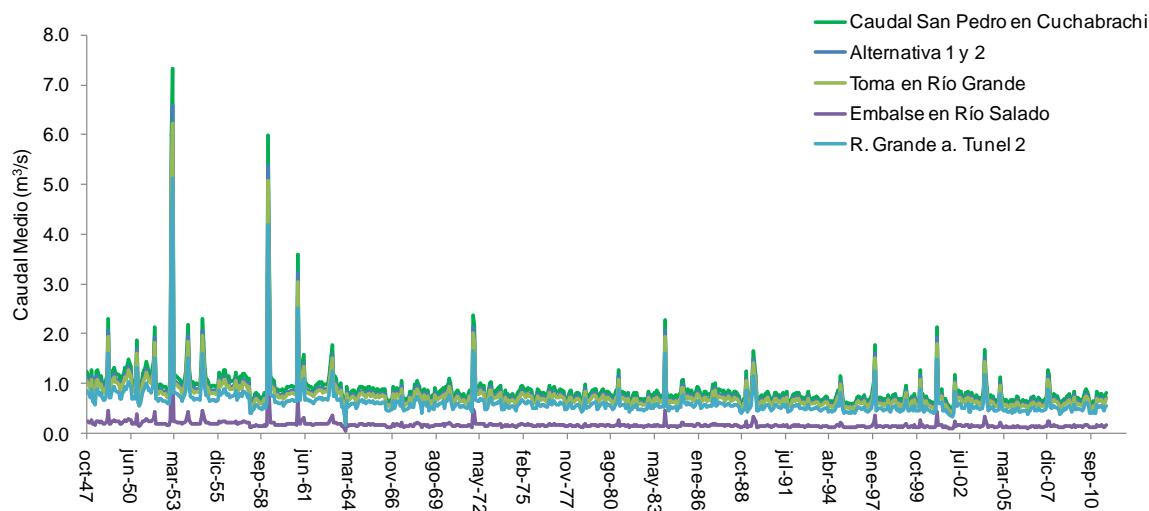


Z.INF. = Zona de Infiltración Z.AFL. = Zona de Afloramiento

Fuente: Elaboración Propia. a partir de Arrau, 2000.

En la Figura 6.4.5.5-2 se muestra la serie de caudales generadas en cada punto de interés, que sirve de entrada al modelo de simulación de San Pedro de Atacama.

FIGURA 6.4.5.5-2
SERIE DE CAUDALES EN DISTINTOS PUNTOS DE ÍNTERES
SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.5.5-1
CAUDALES MEDIOS ADOPTADOS PARA CADA SITIO (m³/s)

Sitio	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Anual
Sitio 1/2	0,693	0,701	0,739	0,903	0,968	0,952	0,745	0,785	0,790	0,776	0,757	0,743	0,796
R. Grande a. Túnel 1	0,654	0,662	0,698	0,853	0,914	0,899	0,704	0,742	0,746	0,733	0,715	0,702	0,752
R. Salado Embalse	0,154	0,156	0,164	0,201	0,215	0,212	0,166	0,175	0,176	0,172	0,168	0,165	0,177
R. Grande a. Túnel 2	0,539	0,546	0,575	0,702	0,753	0,740	0,580	0,611	0,615	0,603	0,589	0,578	0,619

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.6. Caudales Máximos

6.4.6.1. Ajuste de Frecuencia

La única estación con registros de caudales máximos instantáneos corresponde a la estación de San Pedro en Cuchabrachi, dicha estación ha sufrido en reiteradas crecidas daños por socavación a lo largo de su periodo de registros (1947/48-2011/12).

Los problemas con los registros de la estación San Pedro en Cuchabrachi han sido informados en forma recurrente, a continuación en el Cuadro 6.4.6.1-1 se extraen algunos

párrafos de la bitácora proporcionada por personal de la DGA de la zona (en la Figura 6.4.6.1-1 se muestra una imagen de la situación actual de la estación):

CUADRO 6.4.6.1-1

BITACORA ESTACIÓN SAN PEDRO CUCHABRACHI

<ul style="list-style-type: none">• Con fecha 12-12-2012 el Sr. Carlos Contreras visito la estación.• El muro izquierdo de la estación fue totalmente devastado por las crecidas.• El canal presenta un embancamiento de 10 cm en su lecho.
<ol style="list-style-type: none">1. Existen estaciones fluviométricas claramente deterioradas por el paso del tiempo y afectadas por las distintas crecidas que han ocurrido históricamente, como es el caso de la Estación de Río San Pedro en Cuchabrachi en la cuenca del Salar de Atacama.2. Para comenzar con las mejoras en las estaciones fluviométricas que la Región lo requiere es necesario realizar la topografía de las estaciones mencionadas en punto N°1.3. Durante la primera semana de Diciembre fueron desembancadas totalmente las siguientes estaciones: Río Salado en Sifón Ayquina, Río loa en Vado Santa Barbará, Río San Pedro de Cuchabrachi, Río Loa en Escorial, Río loa antes Represa Lequena y Río Loa en Finca.4. El punto anterior tuvo como finalidad de poder tener un mejor registro durante los eventos de crecidas producidas por el Invierno Altiplánico.
<ul style="list-style-type: none">• Con fecha 25-04-2012 el Sr. Felipe Núñez González visito la estación.• Debido a que no se había podido llegar a la estación durante los meses de febrero y marzo de 2012 se perdió la estadística de dichos meses.• Se recuerda que no se encontraba operativo el LG debido a que este se encontraba malo.• Se tuvo que realizar el aforo en el cauce natural 15 m aguas arriba del limnómetro exterior.• El muro izquierdo de la estación fue totalmente devastado por las crecidas.• El canal presentaba un embancamiento de 10 cm en su lecho. Además la cámara limnográfica se encontraba totalmente embancada.
<ol style="list-style-type: none">5. Obviamente la red fluviométrica regional no está en condiciones de registrar consistentemente las crecidas que se producen en los principales ríos de la Región, debido a que en muchas estaciones cuando aumento el nivel del cauce, la sección de las estaciones no era la adecuada y el río formaba como mínimo dos brazos y en algunas estaciones el muro guía se veía sobrepasado por el cauce.6. Sería importante rehabilitar en la red hidrométrica regional una estación aguas arriba de la estación de Río San Pedro en Cuchabrachi.7. A nivel regional es importante tener una estación fluviométrica satelital en la cuenca del Salar de Atacama, principalmente en el Río San Pedro, debido a que no es imposible monitorear y estimar el caudal que puede afectar a las localidades de dicha cuenca.8. Es necesario construir secciones de crecidas para registrar en forma consistente estos sucesos que ocurren prácticamente en el invierno altiplánico.

Fuente: BNA-DGA

FIGURA 6.4.6.1-1
ESTACIÓN SAN PEDRO CUCHABRACHI



Fuente: Archivo Fotográfico DGA,

Debido a las inconsistencias que existen en los registros se procedió a calibrar una curva de descarga teórica para caudales altos con tal de estimar los caudales máximos representativos de los años 2001, 2011 y 2012, debido a que se consideran de gran magnitud y no se ven reflejados en la estadística original de la DGA-BNA. En el Estudio de Oyarzun R., UCH 2002 se realizó una visita en terreno a la Cuenca del Río San Pedro y se estimó la siguiente altura como representativa de las crecidas ocurridas durante ese periodo estival.

2001 => 1,910 m

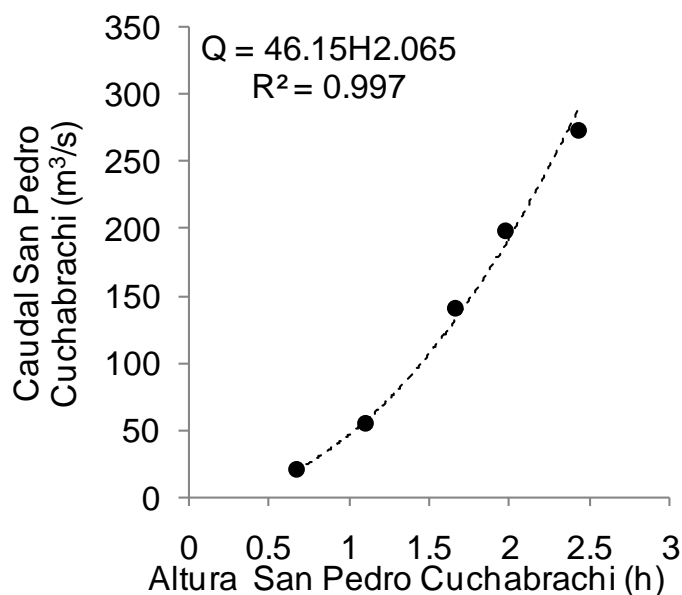
Según información proporcionada por el Data Logger de la estación se registraron las siguientes alturas para el año 2011 y 2012:

2011/02/02 => 1,634 m

2012/02/10 => 1,630 m

En la Figura 6.4.6.1-2 se muestran la curva de descarga para caudales de gran magnitud en San Pedro en Cuchabrachi, dicha curva se generó en base al perfil 135 del modelo HEC-RAS.

FIGURA 6.4.6.1-2
CURVA DE DESCARGA SAN PEDRO CUCHABRACHI



Fuente: BNA-DGA,

De esta manera mediante la Curva de la Figura 6.4.5.5-2 y los valores estimados para las diferentes crecidas se procedió a corregir los valores para los años 2001, 2011 y 2012.

Por otro lado el caudal máximo estimado para el año 1976 fue obtenido de análisis en terreno realizado por el estudio CHI 535, Dirección Riego 1978, este valor fue calculado considerando la altura máxima en base a la sección transversal de la estación en aquel periodo. En el Anexo 6-1 (Caudal Máximo San Pedro en Cuchabrachi) se muestran los registros originales del BNA-DGA. En el Cuadro 6.4.6.1-2 se muestran la serie corregida de Caudales Máximos Instantáneos registrados por la estación con valores modificados debido a la inconsistencia de los registros de esta estación.

En el Anexo 6-1 se muestra el ajuste de frecuencia realizado a la serie de caudales máximos. Los mejores ajustes corresponden a los estimados mediante la expresión Log-Normal, tal como se observa en la Figura 6.4.6.1-2.

En el Cuadro 6.4.6.2-3 se muestran los caudales máximos estimados mediante los distintos ajustes de distribución. La distribución Log-Normal fue seleccionada como la más representativa para los caudales máximos de San Pedro de Atacama.

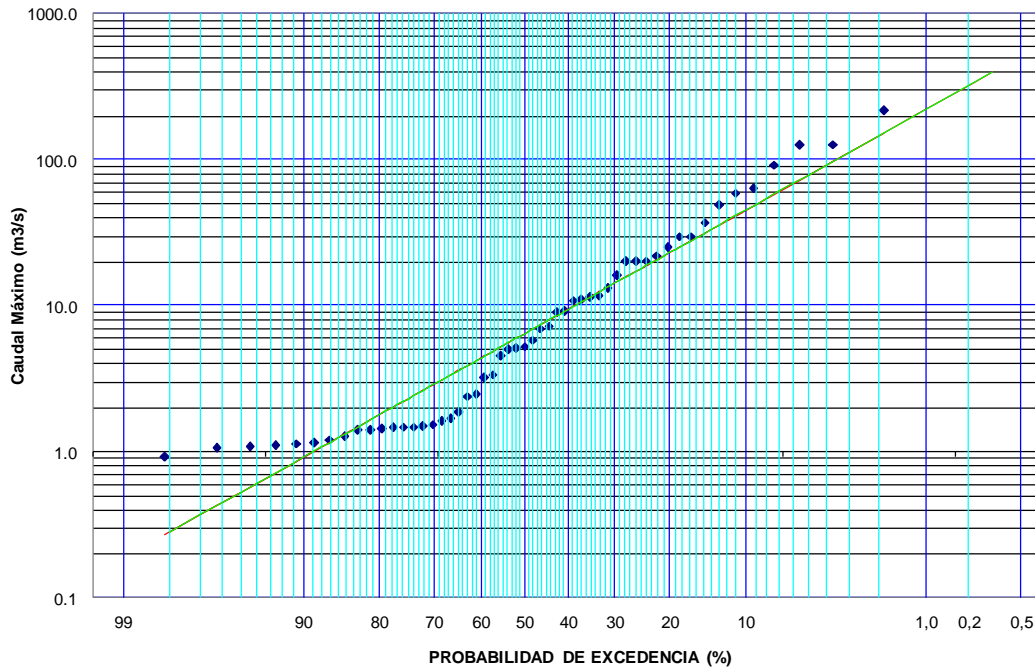
CUADRO 6.4.6.1-2
CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO SAN PEDRO CUCHABRACHI

Año	Qmáx (m³/s)	Año	Qmáx (m³/s)	Año	Qmáx (m³/s)	Año	Qmáx (m³/s)	Año	Qmáx (m³/s)
1947/48	1,5	1968/69	1,5	1982/83	1,5	1993/94	5,0	2004/05	20,3
1948/49	5,1	1969/70	1,1	1983/84	22,1	1994/95	30,0	2005/06	25,2
1949/50	49,2	1970/71	7,0	1984/85	2,4	1995/96	1,1	2006/07	0,9
1950/51	3,2	1971/75	59,5	1985/86	1,4	1996/97	11,0	2007/08	11,8
1951/52	1,9	1975/76	63,3	1986/87	7,3	1997/98	9,2	2008/09	1,5
1961/62	1,6	1976/77	218,0*	1987/88	1,5	1998/99	13,2	2009/10	1,1
1962/63	1,4	1977/78	5,9	1988/89	29,9	1999/00	11,4	2010/11	127,2
1963/64	1,2	1978/79	5,3	1989/90	3,4	2000/01	177,5	2011/12	126,6
1964/65	1,3	1979/80	9,0	1990/91	2,5	2001/02	20,2		
1965/66	1,4	1980/81	20,5	1991/92	1,1	2002/03	10,9		
1966/67	1,2	1981/82	1,7	1992/93	4,5	2003/04	16,2		

*: Valor Obtenido de CHI 535 Comisión Riego 1978; ** 92,4: corresponden a 42,4 Río Grande, más 50 m³/s estimados del Río Salado según Oyarzun 2002, UCH- 2002.

Fuente: BNA-DGA.

FIGURA 6.4.6.1-3
CAUDALES MÁXIMOS AJUSTE CON DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL (m³/s)



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.6.1-3
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS S.P. CUCHABRACHI (m³/s)

T (años)	Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
5	59,7	24,0	40,5	22,5	58,6
10	79,1	47,3	72,5	50,6	87,1
20	95,1	82,8	108,1	103,3	114,4
50	113,2	155,7	159,6	243,4	149,7
100	125,2	237,1	201,5	444,9	176,2
200	136,2	348,5	245,6	790,3	202,5
1,000	158,9	770,8	355,4	2773,8	263,7
10,000	186,6	2.033,5	528,2	14715,6	351,0
$\chi^2_{\text{Calc.}}$	272,8	2,8	3,9	1,4	11,6
$\chi^2_{\text{Teor.}}$	6,0	6,0	3,8	3,8	6,0
Test	Rechazado	Aceptado	Rechazado	Aceptado	Rechazado

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.6.2. Fórmula Racional

Para la determinación el caudal máximo de crecida se utilizó una forma modificada del Método Racional, en el que se considera un coeficiente C (T)_{F.R.} empírico de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C_{F.R.}(T) * i * A}{3,6}$$

Donde:

- Q = Caudal máximo para un periodo determinado (m³/s).
- C_{F.R.}(T) = Coeficiente empírico ajustado Fórmula Racional.
- A = Área de la cuenca aportante (km²).
- i = Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h).

El valor C_{F.R.}(T) corrige los valores de la formula racional considerando los caudales estimados a través del análisis de frecuencia en San Pedro en Cuchabrachi, de esta manera la formula racional se ajusta a valores medidos en la zona. Este coeficiente empírico se extrapola al resto de la cuenca y permite aplicar esta expresión tanto a crecidas del Río Salado como a crecidas del Río Grande.

La intensidad de lluvia de diseño se adopta como la intensidad asociada al tiempo de concentración y se obtiene de la relación Grunsky:

$$I_{tc} = \frac{P_{24}^T}{24} * \frac{\sqrt{24}}{\sqrt{t_c}}$$

Donde:

- I_{tc} = Intensidad media máxima para el periodo (mm/h).

P_{24}^T = Precipitación máxima en 24 horas para el periodo de retorno de T.
 t_c = Tiempo de concentración (h)

El tiempo de concentración (t_c) de la cuenca aportante se define como el tiempo necesario para que la partícula de agua, hidráulicamente más alejada, alcance el punto de salida de la cuenca, este se puede determinar mediante la fórmula de "California Highways and Public Works":

$$t_c = 0,95 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración en horas.
L = Longitud del cauce principal, en km
H = Diferencia de elevación en m entre el comienzo del cauce principal y el punto estudiado.

En el Cuadro 6.4.6.2-1 se muestra el área y caudal asociado a las distintas alternativas en estudio. Debido a la naturaleza de la precipitaciones (convectivas y concentradas solo en un área de la cuenca).

En el Cuadro 6.4.6.2-2 se muestra la precipitación máxima en 24 h asociada a cada alternativa de estudio.

En el Cuadro 6.4.6.2-3 se muestra la intensidad máxima asociada al tiempo de concentración para cada alternativa estimada mediante la expresión de Grunsky.

CUADRO 6.4.6.2-1
ÁREA Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ADOPTADOS POR ALTERNATIVA

Sitio de Interés	Área _{Total}	% Área _{Pp >0}	Área _{Pp >0}	Altura Mínima	Altura Máxima	Largo Cauce	Tc
	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	(km)	(h)
S.P. Cuchabrachi	1.270	50%	635	2.547	5.851	56,2	4,4
Sitio 1	653	75%	490	2.621	5.851	52,4	4,1
Sitio 2	657	75%	493	2.613	5.851	53,1	4,2
Toma Río Grande	570	75%	428	3.109	5.851	41,6	3,3
Embalse Río Salado	302	100%	302	3.026	4.604	26,8	2,5

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.6.2-2
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 h (mm)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	27	36	44	54	62	69	87	113
Sitio 1	25	33	41	51	58	65	82	107
Sitio 2	25	33	41	51	58	65	82	107
Toma Río Grande	25	33	40	50	57	65	82	106
Embalse Río Salado	31	41	50	62	72	81	101	131

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.6.2-3
INTENSIDAD MÁXIMA ASOCIADA AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (mm/h)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	2,7	3,5	4,2	5,2	6,0	6,7	8,5	11,0
Sitio 1	2,6	3,4	4,1	5,1	5,9	6,6	8,3	10,8
Sitio 2	2,6	3,3	4,1	5,1	5,8	6,6	8,3	10,8
Toma Río Grande	2,8	3,6	4,5	5,6	6,4	7,2	9,1	11,8
Embalse Río Salado	4,1	5,3	6,5	8,1	9,3	10,4	13,1	17,0

Fuente: Elaboración Propia.

El coeficiente de escurrimiento se adoptó como un coeficiente empírico de manera que tal que se ajustó a los valores de caudal máximo estimados mediante el análisis de frecuencia en la estación San Pedro en Cuchabrachi. De esta manera este coeficiente permite estimar valores representativos del comportamiento de los caudales instantáneos máximos observados en la zona de estudio. En el Cuadro 6.4.6.2-4 se muestran los valores empíricos de la formula racional.

CUADRO 6.4.6.2-4
COEFICIENTE “C(T)” RACIONAL EMPÍRICO AJUSTADO

	5	10	20	50	100	200	1000	10000
C(T) Racional Ajustado	0,05	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,47	0,95

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.4.6.2-5 se muestran los caudales estimados mediante el método racional con coeficiente C(T) empírico ajustado para las diferentes zonas de alternativas y sitio de Interés, se observa que el caudal máximo coincide con el obtenido mediante el análisis de frecuencia. En el Anexo 6-1, Fórmulas Empíricas se presentan los cálculos.

CUADRO 6.4.6.2-5
CAUDAL MÁXIMO ESTIMADO MEDIANTE FÓRMULA RACIONAL (m³/s)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	23	45	79	146	221	323	706	1.834
Sitio 1	17	34	59	110	167	244	534	1.391
Sitio 2	17	34	59	109	166	242	530	1.381
Toma Río Grande	16	32	56	105	159	233	511	1.331
Embalse Río Salado	13	25	43	80	122	178	390	1015

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.6.3. Verni King

Al igual que la formula racional, la expresión de Verni-King se modificó mediante un coeficiente empírico C(T). La expresión de la Fórmula de Verni-King tiene la siguiente forma:

$$Q = C_{V.K.}(T) * 0,00615 * P^{1,24} * A^{0,88}$$

Donde:

- Q : Gasto máximo en m³/s
- P : Precipitación máxima en 24 horas, en mm.
- A : Superficie de la cuenca, en km².

$C_{V.K.}(T)$ = Coeficiente empírico ajustado Fórmula Verni-King.

El área adoptada para cada sitio de interés corresponde a la presentada en el Cuadro 6.4.6.2-1, y el valor de precipitación máxima corresponde a los valores del Cuadro 6.4.6.2-2. El coeficiente empírico se ajustó según los caudales máximos de San Pedro en Cuchabrachi. En el Cuadro 6.4.6.3-1 se muestra el valor de los coeficientes empíricos ajustados para la expresión de Verni-King.

CUADRO 6.4.6.3-1
COEFICIENTE EMPÍRICO VERNI-KING

	5	10	20	50	100	200	1000	10000
Coef. Empírico V.K.	0,21	0,30	0,40	0,58	0,74	0,94	1,54	2,91

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.4.6.3-2 se muestra el valor del caudal máximo estimado mediante la expresión de Verni-King y el coeficiente empírico ajustado.

CUADRO 6.4.6.3-2
CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO VERNI-KING (m³/s)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	23	45	79	146	221	323	706	1.834
Sitio 1	17	33	58	108	164	240	525	1.366
Sitio 2	17	33	58	109	165	241	528	1.374
Toma Río Grande	15	29	50	94	143	209	459	1.198
Embalse Río Salado	11	22	38	71	108	157	344	896

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.6.4. Hidrograma Unitario Sintético

Para estimar el caudal máximo y los volúmenes asociados a crecidas de diferentes periodos de retorno se utilizó el Hidrograma Unitario Sintético. En primer lugar se realizó una revisión de parámetros y calibración del valor de Curva Número, considerando los datos de la estación Río Salado antes de la Junta Río Curti.

Para aplicar esta metodología se considera un hidrograma unitario adimensional y posteriormente se distribuye la precipitación para distintos periodos de retorno de acuerdo a los hietogramas propuestos por Espíldora y Echavarría, 1979. La precipitación de diseño corresponde a la precipitación máxima asociado a una determinada duración para distintos períodos de retorno. Se utilizó el hidrograma unitario sintético de Linsley estándar, donde se consideran las siguientes expresiones, para una duración de exceso de lluvia dada:

Tiempo al peak:

$$t_p = C_t \left(\frac{L_c * L_G}{\sqrt{S}} \right)^{nt}$$

Tiempo precipitación unitaria:

$$t_u = \frac{t_p}{5,5}$$

Caudal Peak:

$$q_p = C_p t_p^{n_p}$$

Tiempo Base:

$$T_B = C_B t_p^{n_b}$$

Tiempo al Peak corregido:

$$t_p' = t_p + \frac{t_r - t_u}{4}$$

Donde:

t_r = duración de la lluvia unitaria (h)

t_p =Tiempo de retardo o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa (h)

T_B =Tiempo base del hidrograma (h)

q_p =Caudal peak del hidrograma (L/s/km²)

Los parámetros que definen el hidrograma han sido considerados en base al estudio de Arteaga y Benítez (1986). En el Cuadro 6.4.6.4-1 se muestran los valores más representativos de la zona de estudio.

CUADRO 6.4.6.4-1

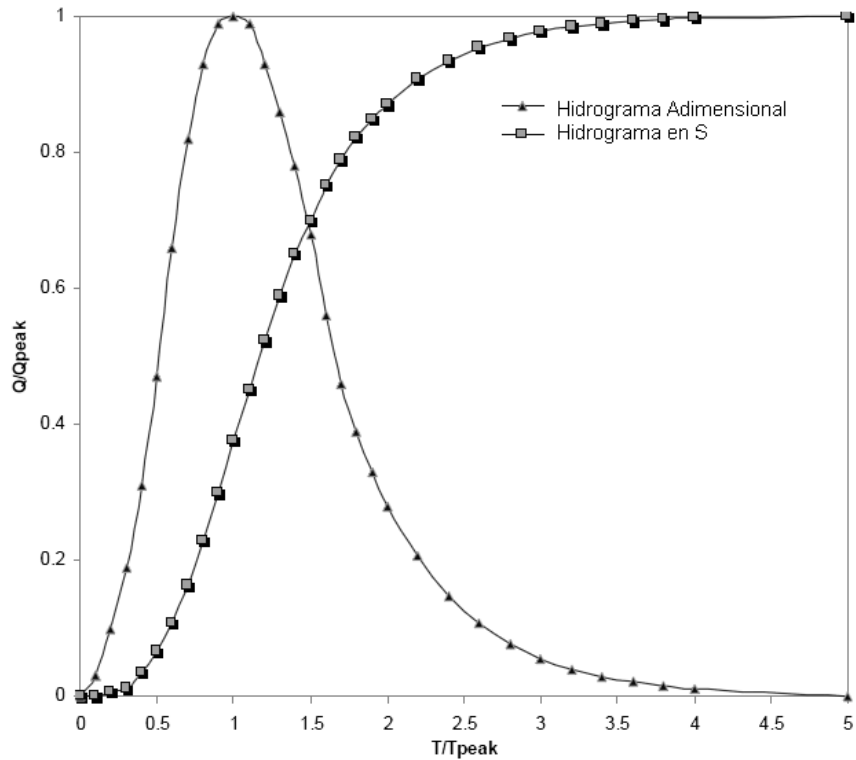
COEFICIENTES PARA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Parámetro	Valores	Parámetro	Valores
C_t	0,3240	n_p	-0,7840
n_t	0,4210	C_B	5,0430
C_p	140,0	n_B	0,8442

Fuente: Arteaga y Benítez (1986)

La Figura 6.4.6.4-1 presenta el hidrograma unitario adimensional definido para una cuenca ideal según el SCS.

FIGURA 6.4.6.4-1
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SCS



Fuente: SCS, 1979.

La distribución de la precipitación se realizó mediante las curvas propuestas por Espíldora y Echavarría (1979), en las que se analizaron lluvias para distintas duraciones y se obtuvieron 3 distribuciones tipo (adelantada, centrada y atrasada), de las que se seleccionó la distribución centrada. Si bien los coeficientes presentados en el Cuadro 6.4.6.4-1 se consideran representativos para obtener los parámetros del hidrograma unitario sintético de la zona de estudio, el tiempo al peak fue ajustado según valores observados en la zona. Este valor se ajustó en 2,4 h considerando el estudio del Embalse Livilcar, desarrollado por MN Ingenieros, DOH 2012. En el Cuadro 6.4.6.4-2 se muestran los parámetros de ajuste del Hidrograma Unitario.

CUADRO 6.4.6.4-2
PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO

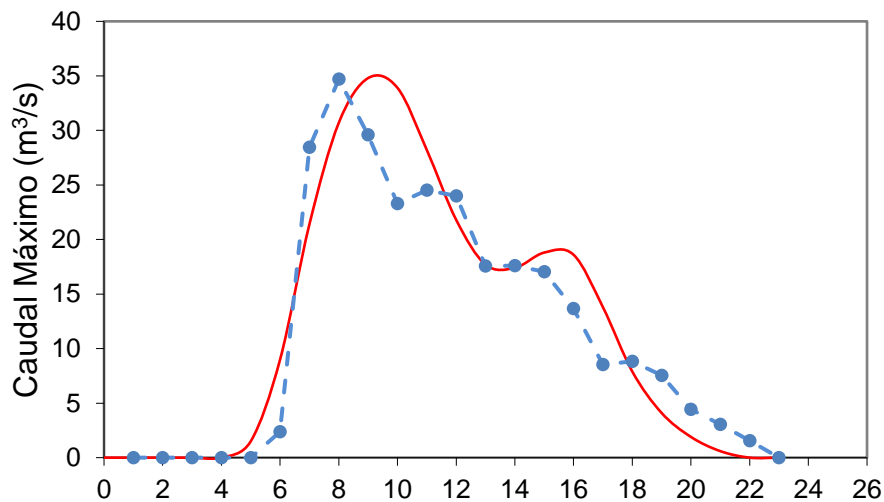
tp (h)	2,4	Tb (h)	7,3
qp (L/s/km²/mm)	118,4	Tu	0,44

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando los parámetros anteriores se procedió a realizar una calibración de la Curva Numero en una tormenta registrada en Febrero-2012 en la Cuenca Vecina delimitada por la Estación Río Salado antes de junta con Río Curti. En la Figura 6.4.6.4-2 se muestra el hidrograma observado y calibrado para la cuenca Río Salado en Junta Curti.

FIGURA 6.4.6.4-2

HIDROGRAMA UNITARIO AJUSTADO PARA RÍO SALADO EN JUNTA CURTI



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de Curva Numero III calibrado corresponde a 83,5. También se chequeó que el valor de 2,4 h permitió generar valores representativos del tipo de crecidas en la zona, en el que las crecidas son de origen repentino y con un tiempo al peak de corta magnitud. Según el estudio de Eventos Hidrometeorológicos Extremos Máximos, DGA-AC 1995, la Cuenca del Río Salado afluente al Río Loa y la Cuenca San Pedro de Atacama corresponden a zonas de similitud hidrológica, pertenecientes a la Zona Homogénea Fp, por lo que se considera válido adoptar los valores calibrados para dicha crecida como representativos del área de estudio.

Para determinar el caudal máximo asociado a distintos periodos de retorno se consideró una duración de 30 h, considerando que este valor maximiza el peak de la crecida. Sin embargo para estimar el valor del volumen de cada crecida se procedió a utilizar una duración de 3 días, considerando que una tormenta de esta duración permite estimar valores más realistas desde el punto de vista de volúmenes de crecida, debido a la duración de las tormentas en la zona de estudio.

En el Anexo 6-1 (HUS) se muestra el caudal y volumen máximo para diferentes periodos de retorno. En el Cuadro 6.4.6.4-3 se muestra el caudal máximo obtenido mediante HUS para los distintos periodos de retorno.

CUADRO 6.4.6.4-3
CAUDAL MÁXIMO INSTANTANEO SEGÚN HUS (m³/s)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	69	120	175	251	316	375	530	762
Sitio 1	47	81	118	175	221	268	381	548
Sitio 2	47	81	118	175	221	268	381	548
Embalse Río Salado	43	73	105	150	190	227	311	439

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.6.5. Caudales Adoptados

La estimación del caudal máximo se realizó mediante Análisis de Frecuencia, Formula Racional, Verni-King e Hidrograma Unitario Sintético. Los valores obtenidos mediante las expresiones empíricas Racional y Verni King se ajustaron mediante un coeficiente empírico que permitió su aplicación en la zona de estudio. Finalmente se adoptaron los caudales provenientes de la Formula Racional Ajustados como los más adecuados para el diseño, ya que esta presenta valores con cierto rango de seguridad para los distintos puntos de estudio.

En el Cuadro 6.4.6.5-1 se muestra los caudales máximos adoptados para cada sitio de interés.

CUADRO 6.4.6.5-1
CAUDALES MÁXIMOS POR ALTERNATIVA (m³/s)

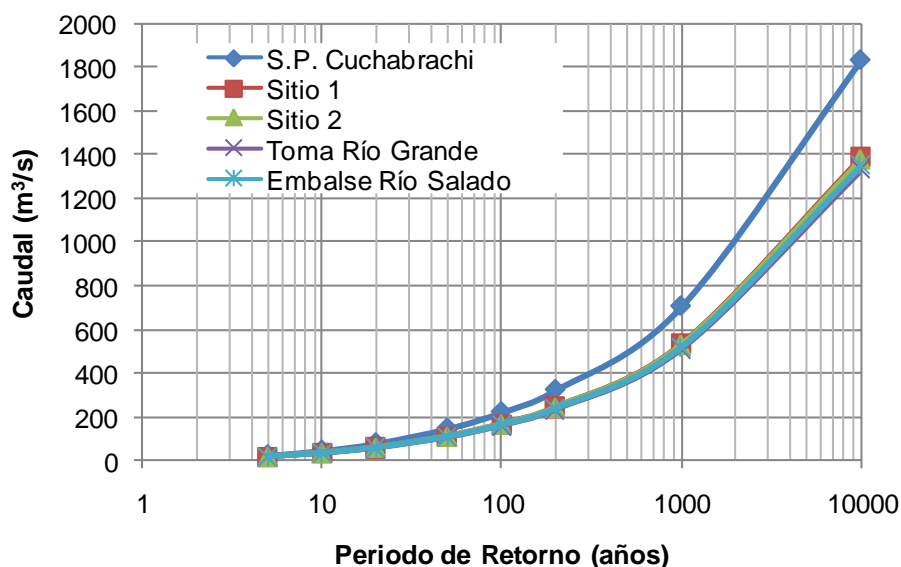
Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	23	45	79	146	221	323	706	1.834
Sitio 1 / 2	17	34	59	110	167	244	534	1.391
Toma Río Grande	17	34	59	109	166	242	530	1.381
Embalse Río Salado	13	25	43	80	122	178	390	1015

Fuente: Elaboración Propia.

Según los valores adoptados para la Estación San Pedro en Cuchabrachi para la crecida del año 1976 (218 m³/s) se asocia un periodo de retorno asociado a 100 años aproximadamente. Para la crecida del año 2001 (178 m³/s) se estima un periodo de retorno alrededor de 60 años. Mientras que para las crecida del año 2011 (127 m³/s) y 2012 (126 m³/s) se estima un valor de periodo de retorno de 40 años.

La Figura 6.4.6.5-1 se muestra los caudales máximos adoptados para cada sitio de interés.

FIGURA 6.4.6.5-1
CAUDALES MÁXIMOS PARA CADA ALTERNATIVA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración Propia.

El Cuadro 6.4.6.5-1 muestra los caudales máximos para tormentas independientes que pueden ocurrir en la cuenca del Río Salado y Río Grande, sin embargo los caudales registrados en la estación San Pedro en Cuchabrachi provienen de fenómenos que ocurren en forma conjunta, es por ello que no las crecidas de ambos ríos para obtener el caudal máximo en San Pedro en Cuchabrachi. Según los antecedentes recopilados de estudios anteriores (Proyecto CHI-535, CORFO 1975; R. Oyarzun, UCH 2002), se estimaron los caudales de crecidas mostrados en el Cuadro 6.4.6.5-2.

Cuadro 6.4.6.5-2
Caudales Máximos por Alternativa (m³/s)

Sitio de Interés	Mayo 1977	Febrero 2001
S.P. Cuchabrachi	292 ^a	178 ^b
Río Grande	212 ^a	128 [*]
Río Salado	80 [*]	50 ^b

Fuente: ^a dato obtenido de CHI 535, CORFO 1975 ; ^b dato obtenido de R. Oyarzun, UCH 2002; ^{*} dato obtenido por diferencia.

Según el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Calama, 2004. El evento de crecida del año 2001 corresponde a un evento excepcional en el que toda la cuenca del Río Salado Afluente al Río Loa aportó en forma conjunta. Dado las características homogéneas de la Cuenca del Río Salado y del Río San Pedro se puede considerar que también en el Río San Pedro ambos afluentes, Río Grande y Río Salado aportaron en forma conjunta, que corresponde a un evento desfavorable.

Según los datos del Cuadro 6.4.6.5-2 se puede estimar que cuando ocurren eventos de crecida en forma conjunta ambos ríos aportan de la siguiente forma:

R. Salado: 30 % Caudal Máximo Registrado en San Pedro en Cuchabrachi.

R. Grande: 70 % Caudal Máximo Registrado en San Pedro en Cuchabrachi.

Considerando estos porcentajes se adoptaron para el diseño de obras los caudales máximos para eventos de crecida conjunta tal como se muestra en el Cuadro 6.4.6.5-3.

CUADRO 6.4.6.5-3
CAUDALES MÁXIMOS DE CRECIDAS CONJUNTAS PARA
CUENCA SAN PEDRO (m³/s)

Sitio de Interés	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
S.P. Cuchabrachi	23	45	79	146	221	323	706	1.834
Sitio 1 / 2	16	32	55	102	155	226	494	1.284
Embalse Río Salado	7	14	24	44	66	97	212	550

Fuente: Elaboración Propia.

Los caudales recomendados en el Cuadro 6.4.6.5-3 corresponden a valores recomendados para evaluar eventos de crecida conjunta, mientras que los caudales adoptados en el Cuadro 6.4.6.5-1 corresponden a eventos de crecida independientes, en las cuencas del Río Salado y Río Grande. En el Anexo 6-1 HUS se muestran los hidrogramas adoptados para crecidas conjuntas.

6.4.6.6. Precipitación Máxima Probable y Crecida Máxima Probable

La precipitación máxima probable (PMP) según la Organización Meteorológica Mundial (1983) se define como “la cantidad de precipitación cercana al límite físico superior para una duración dada sobre una cuenca”. Se procede a estimar este valor para la zona de ubicación de Embalse en el Río Salado y para la zona de posible obra de retención de Crecidas Sitio 1/2.

Existen dos metodologías para obtener la PMP: Método Hidrometeorológico y Método Estadístico. La primera considera la maximización de las variables meteorológicas dentro de lo físicamente razonable, este método es altamente laborioso, ya que depende de factores complejos e inciertos, lo que puede llevar a obtener crecidas de diseño muy sobreestimadas o subestimadas (King H. y Tapia R., 2009). Entre los denominados métodos estadísticos, el más aceptado es el de Herschfield que propone la siguiente ecuación:

$$PMP = P_{pc} + S_{pc} * K_m$$

Donde:

PMP : Precipitación Máxima Probable (mm)

P_{pc}: Precipitación Media Ajustada (mm)

S_{pc} : Desviación estándar Ajustada

K₀ : Factor de Frecuencia Máximo

El valor de frecuencia máximo, K_0 , se obtiene la Figura 6.4.6.6-1 propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (Geneva, 1973):

El ajuste de la Precipitación Media y la desviación estándar se obtiene de la siguiente forma:

$$P_{pc} = F_{X1} \cdot F_{X2} \cdot P ; S_{pc} = F_{\sigma1} \cdot F_{\sigma2} \cdot S$$

Donde:

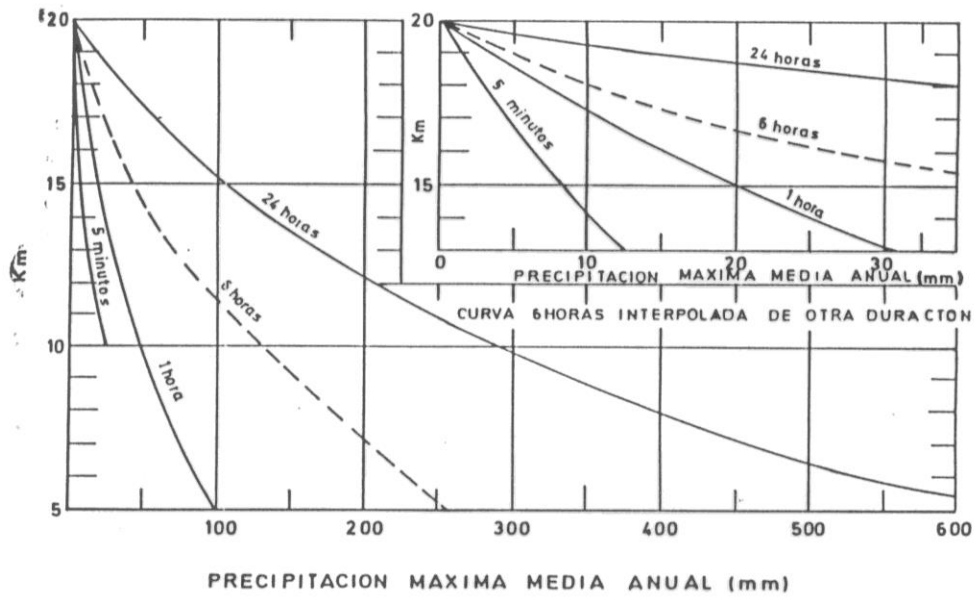
P: Valor medio de precipitación de la serie original (mm)

S: Desviación estándar de la serie original.

F_{X1} : Factor de Ajuste asociado a la relación de $P_{p\text{mediaSinValorMaximo}}/P_{p\text{mediaCompleta}}$ según la Figura 6.4.6.6-1.

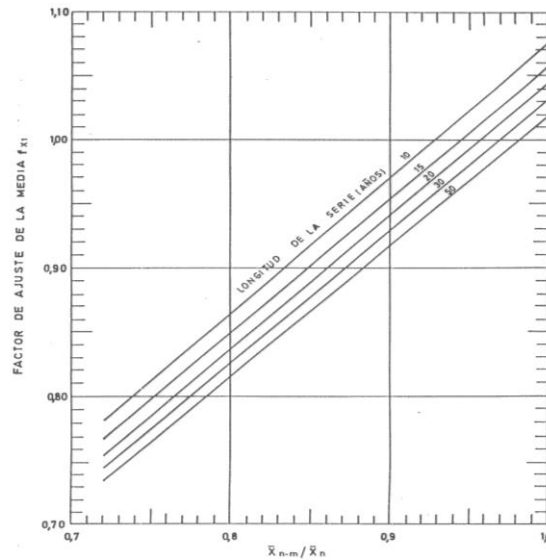
$F_{\sigma1}$: Factor de Ajuste asociado a la relación de $\sigma_{\text{mediaSinValorMaximo}}/\sigma_{\text{mediaCompleta}}$ según la Figura 6.4.6.6-3.

FIGURA 6.4.6.6-1
COEFICIENTE DE FRECUENCIA MÁXIMO



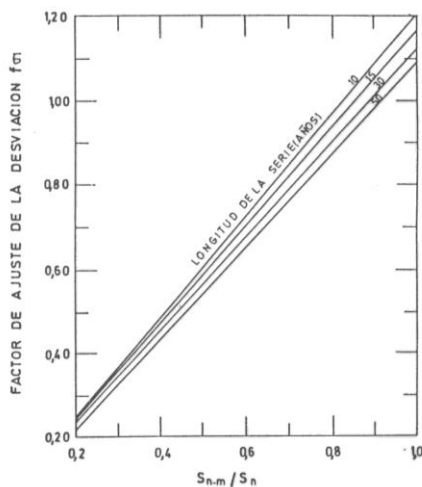
Fuente: OMM, 2009

FIGURA 6.4.6.6-2
FACTOR DE CORRECCIÓN F_{X1}



Fuente: OMM, 2009

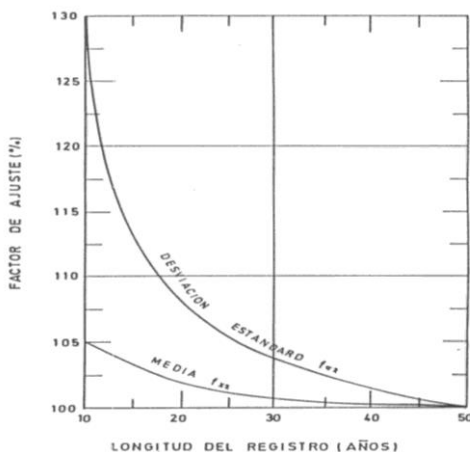
FIGURA 6.4.6.6-3
FACTOR DE CORRECCIÓN FX1



Fuente: OMM, 2009

F_{x2} : Factor de Ajuste de la media que depende de la extensión de la serie.
 $F_{\sigma2}$: Factor de Ajuste de la desviación que depende de la extensión de la serie.
 La Figura 6.4.6.6-4 muestra el gráfico para obtener F_{x2} y $F_{\sigma2}$.

FIGURA 6.4.6.6-4
FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN DESVIACIÓN Y MEDIA



Fuente: OMM, 2009

En el Cuadro 6.4.6.6-1 se muestra la precipitación media anual máxima para cada alternativa.

CUADRO 6.4.6.6-1

PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL MEDIA EN SAN PEDRO ATACAMA

Alternativa	Pp ^{Anual} mm
R. Salado Embalse	229
R. Grande Sitio 1/2	323

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 6.4.6.6-2 se muestran los parámetros estadísticos de precipitación máxima de la serie completa, y los parámetros estadísticos de la serie sin el valor máximo. Estos valores se obtienen de los registros del Anexo 6-1 (Precipitación Máxima San Pedro).

Con los valores del Cuadro 6.4.6.6-2 y los gráficos propuestos por la OMM se obtienen los parámetros de precipitación media ajustada y desviación estándar ajustada que se muestran en el Cuadro 6.4.6.6-3.

CUADRO 6.4.6.6-2

PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 h Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (mm)

	R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
P	18,4	14,8
P n-max	17,3	13,8
S	14,8	12,0
S n-max	13,6	10,4

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.4.6.6-3

PARÁMETROS Y PRECIPITACIÓN MÁXIMA SIN CORREGIR (mm)

Parámetro	R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
P_{PC}	18,5	15,0
S_{PC}	14,8	12,0
K_M	11,8	10,0
PMP_{s/c}	193	135

Fuente: Elaboración Propia.

Si bien este valor se puede considerar como el valor máximo probable, se debe tener en cuenta que puede sobrestimar la precipitación máxima al no considerar las condiciones locales, ya que en su mayoría proviene de coeficientes propuestos por literatura extranjera. En el trabajo presentado por Stwohas (1989) considera que un valor de frecuencia máximo para cuencas chilenas puede ser considerado como $K_{max}=11$, lo que entrega los valores de PMP mostrados en el Cuadro 6.4.6.6-4.

CUADRO 6.4.6.6-4
PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE (mm)

Parámetro	R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
PMP (K=11)	181	147

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante el uso de la Formula Racional y la PMP_{adoptada} se obtuvo el valor de la Crecida Máxima Probable (CMP). Este valor se puede comparar con los coeficientes K_{CMP} presentados en el estudio Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico (Stwohas, 2009). En el que se plantea una relación de: $CMP = K_{CMP} * QMI$ (T=10.000 años). Se consideran valores de K_{CMP} entre 1,36 y 1,61, para diferentes cuencas de Chile. En el Cuadro 6.4.6.6-5 se muestra el valor de K_{CMP} para cada alternativa.

CUADRO 6.4.6.6-5
CAUDAL MÁXIMO INSTANTANEO (m³/s) T = 10.000 AÑOS Y
CRECIDA MÁXIMA PROBABLE (m³/s)

Alternativa	QMI _{T10.000}	CMP	$K_{CMP} = CMP/QMI_{T1000}$
R. Salado Embalse	1.353	1.861	1,37
R. Grande Sitio 1/2	1.391	1.916	1,38

Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar este valor con el caudal máximo asociado a T = 10.000 años se obtuvo un valor K_{CMP} del orden de 1,38 cercano al rango estimado para cuencas chilenas. El detalle de los cálculos se presenta en el Anexo 6-1 PMP-CMP.

6.5. Estudio Sedimentológico

6.5.1. Aspectos Generales

El objetivo principal de este acápite es cuantificar el Gasto Sólido Total (GST) asociado a la Alternativa de Embalse de Río Salado y para el Sitio 1/2. Para ello, se estimaron las principales componentes de este fenómeno, como Gasto Sólido de Fondo (GSF) y Gasto Sólido en Suspensión (GSS). El volumen muerto se calculó como el aporte de ambas componentes que llegan al punto del embalse durante un periodo de vida útil de 50 años. El enfoque para estimar el Gasto Sólido Total asociado a un punto determinado del río fue el siguiente:

$$GST = GSF + GSS$$

Donde:

GST: Gasto Total de Sedimentos (kg/s)

GSF: Gasto Arrastre de Fondo (kg/s)

GSS: Gasto Sólidos en Suspensión del Cauce (kg/s)

El Gasto Sólido en Suspensión corresponde a las partículas que se generan producto de la erosión de la lluvia sobre el suelo, y que llegan al cauce a través del arrastre de la escorrentía superficial, también conocido como lavado de cuenca. El Gasto Sólido de Fondo corresponde al que se genera debido a la erosión del río, producto del esfuerzo de corte sobre las partículas que componen el fondo del cauce, este arrastre se transporta de dos formas: como arrastre de fondo propiamente tal, o partículas que durante periodos intermitentes son capaces de entrar en suspensión. Ambos gastos sólidos, permiten estimar el volumen muerto para un horizonte determinado considerando el aporte de producción medio anual.

En lo que sigue se describen distintitos métodos para estimar ambas componentes. En el Anexo 6-2 (Volumen Muerto) se muestra la estimación de producción de sedimento para cada método.

6.5.2. Gasto Sólido Suspendido

6.5.2.1. Método MUSLE

Esta expresión ha sido utilizada para estimar la pérdida de suelo que ocurre producto de la erosión de distintos eventos de precipitación en un año, y sus distintos parámetros se han calibrados y estudiado para diversas zonas. La fórmula general se expresa como:

$$A=11,8*(V*q_p)^{0,56}*LS*C*P$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en (t/ha/año)

V = Volumen de una crecida (m³)

q_p = Caudal Peak de la crecida (m³/s)

K = Factor erodabilidad del suelo en (t ha h ha⁻¹ Mj⁻¹ cm⁻¹)

LS = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

En el Anexo 6-2 (Volumen Muerto) se muestran los valores adoptados para cada alternativa. En el Cuadro 6.6.2.1-1 se muestra el valor estimado, en cuanto a volumen acumulado en 50 años de vida útil:

CUADRO 6.5.2.1-1
VOLUMEN ESTIMADO MEDIANTE MUSLE

	R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
Vol. 50 años (hm³)	3,9	8,4
Ef. Atrape	60 %	60 %
Volumen T	2,3	5,0

Fuente: Elaboración Propia.

6.5.2.2. Tasa Ayquina

La estación sedimentométrica Ayquina cuenta con registros de gasto sólido suspendido. Los registros de gasto sólido en suspensión se ajustan a una curva del tipo:

$$Q_s = a \cdot Q_l^b$$

Donde a y b corresponden a parámetros que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca, del tipo de cobertura y del tipo de suelo, Q_s corresponde al gasto sólido (t/d) y Q_l al gasto líquido (m³/s). En la Figura 6.6.2.2-1 se muestra el ajuste de tres líneas de tendencia.

Estos valores permiten estimar la producción de sedimentos asociada a distintas tendencias de producción. Si bien estos valores corresponden a mediciones puntuales, se puede suponer constante la tasa de erosión y estimar el valor del volumen producido para las diferentes alternativas. En el Cuadro 6.6.2.2-2 se muestran los valores estimados para las distintas alternativas.

CUADRO 6.5.2.2-1
PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

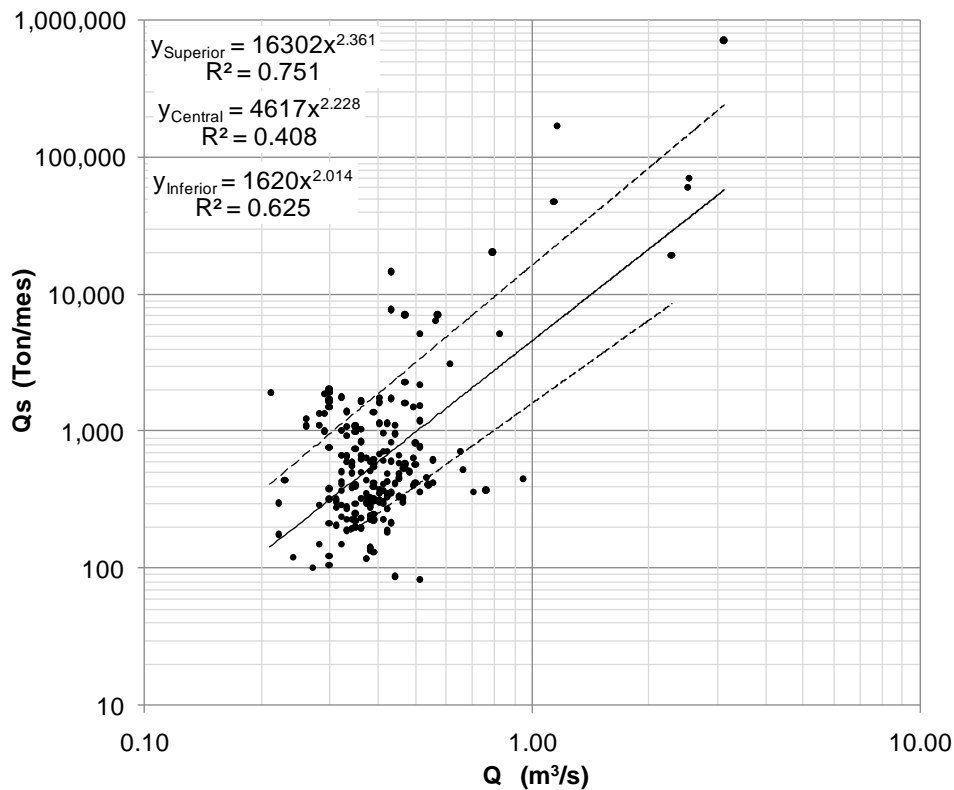
		R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
Área	km²	302	653
Tend. Media	m³/km²/año	57	57
Vida Útil	años	50	50
Vol. T.med.	hm³	0,9	1,8
Eficiencia Atrape	%	60 %	60 %
Vol. T.med.	hm³	0,5	1,1

Fuente: Elaboración Propia.

Al suponer constante la tasa de erosión podrían estar cometándose errores de sobreestimación para las alternativas de mayor área, ya que generalmente la tasa tiende a

disminuir a medida que aumenta el área, esto debido a que el arrastre de sólidos no alcanza a llegar al cauce mientras aumenta el área y la distancia de recorrido.

FIGURA 6.5.2.2-1
TENDENCIAS DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN
ESTACIÓN SEDIMENTOMÉTRICA AYQUINA

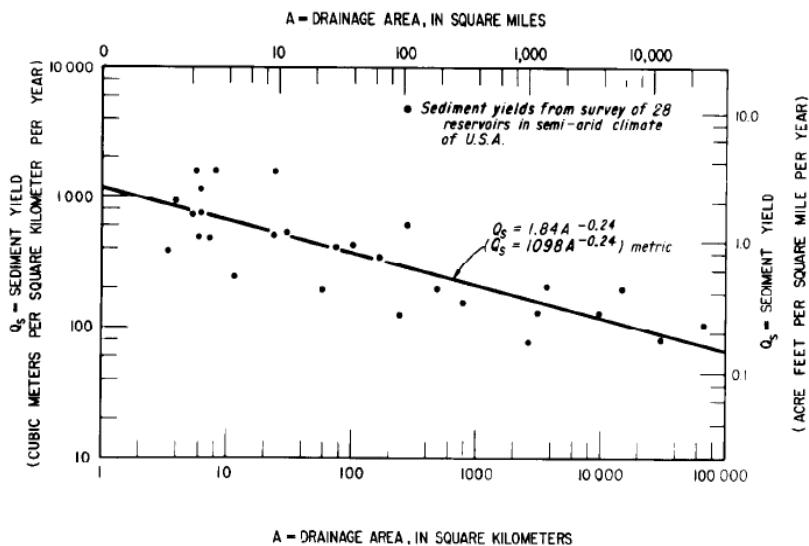


Fuente: Elaboración Propia.

6.5.2.3. Método USBR

La expresión de la USBR (1974), se obtuvo de correlacionar la producción de sedimento asociada a 28 cuencas de clima semiárido, tal como se muestra en la Figura 6.5.2.3-2. En el Cuadro 6.6.2.3-3 se muestra el gasto sólido en términos volumétricos asociado a la zona de embalse.

FIGURA 6.5.2.3-1
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS VS ÁREA SEGÚN USBR



Fuente: USBR, 1974

CUADRO 6.5.2.3-1
GASTO SÓLIDO Y VOLUMEN MUERTO MÉTODO USBR

		R. Salado Embalse	R. Grande Sitio 1/2
Área	km ²	302	652
Tend. Media	m ³ /km ² /año	279	232
Vida Útil	años	50	50
Vol. T.med.	hm ³	4,2	7,6

Fuente: Elaboración Propia.

6.5.2.4. Gasto Arrastre de Fondo

Relación Gasto Sólido Suspendido / Gasto Arrastre de Fondo

La estimación del gasto de arrastre de fondo se realiza mediante la relación que existe entre el gasto sólido suspendido y el gasto de arrastre de fondo (GSS/GSF). En el Cuadro 6.6.2.4-1 se muestra la relación que existe para diferentes cuencas según diferentes estudios.

La relación que existe entre el Gasto de Arrastre de Fondo y el Gasto Sólido Suspendido presenta un valor máximo para el Aconcagua, estimado entre un 17% y un 50%, se debe tener en cuenta que el Aconcagua corresponde a una cuenca que se origina en la Cordillera

de Los Andes y que posee influencia de zona nival. Para el resto de las cuencas se observa una relación entre el 3% y el 25%. La cuenca en estudio, corresponde a una cuenca de régimen pluvial que se origina en la cordillera de los Andes. Se considera como un valor razonable adoptar un valor de $G.S.Fondo/G.S.Susp. \approx 20\%$ para las zonas de embalse.

CUADRO 6.5.2.4-1
TASAS REGIONALES

CUENCA	Gasto Sólido Suspendido (t/día)	Área Cuenca (km ²)	Producción Específica (t/día/km ²)	Gasto Sólido de Fondo (t/día)	Área Cuenca (km ²)	Producción Específica (t/día/km ²)	G.S.Fondo/G.S.Susp.	Antecedente
Aconcagua	-	-	0,66	-	-	0,33	50%	CICA,1982
Aconcagua	2.055	2.060	1,00	349	2.060	0,17	17%	Benítez, 1977
Maipo	11.233	4.968	2,26	2.808	4.968	0,57	25%	CNR, 1984
Cachapoal	8.723	6.841	1,28	279	6.841	0,04	3%	ENDESA,1984
Tinguiricia	4.981	3.089	1,61	204	3.089	0,07	4%	ENDESA,1984
Maule(Colbún)	6.800	4.542	1,50	646	4.542	0,14	10%	ENDESA,1977
Melado	2.795	2.261	1,24	266	2.261	0,12	10%	ENDESA,1978
San Juan Quirihue	143	240	0,59	14	240	0,06	10%	SIGA,2008
R. Salado Ayquina	196	805	0,26	-	-	-	-	Est. Ayquina

Fuente: JRI, 2008, Modificado

En el Cuadro 6.6.2.4-2 se muestra el Gasto de Fondo estimado según la relación adoptada. Las metodologías propuestas por la USBR, y las tasas regionales consideran la producción sólida total que la cuenca aporta al reservorio (gasto en suspensión y de arrastre) y presentan valores de producción de sedimento muy alto, por lo que no se consideran para sumar el gasto de arrastre de fondo.

CUADRO 6.5.2.4-2
GASTO SÓLIDO SUSPENDIDO Y GASTO SÓLIDO FONDO (hm³)

Alternativa	GSS		GSF	
	MUSLE	Tasa AYQUINA	0,2 MUSLE	0,2 Tasa Ayquina
R. Salado Embalse	3,9	0,9	0,78	0,18
R. Grande Sitio 1/2	8,4	1,8	1,68	0,36

Fuente: Elaboración Propia.

6.5.2.5. Volumen Sólido Suspendido y de Fondo Adoptados

Las tasas de gasto sólido se estimaron mediante diferentes métodos, en los que se observa que el Método MUSLE y USBR presentan mayores valores que los estimados mediante la tasa de Ayquina. El método de la USBR entrega valores muy altos, por lo que solo se considera como un valor de referencia y no es posible adoptarlo como tasa de diseño.

En el Cuadro 6.6.2.5-1 se muestran los valores de volumen muerto adoptado para las diferentes alternativas, en las que el G.S.S. corresponde a tasas obtenidas por la expresión MUSLE y para GSF corresponden a un 20 % del Gasto Sólido estimado de la tasa proveniente de la estación sedimentométrica de Ayquina.

CUADRO 6.5.2.5-1
GASTO SÓLIDO SUSPENDIDO Y GASTO SÓLIDO FONDO (hm³)

Alternativa	G.S.S.	G.S.F.	GST
R. Salado Embalse	2,30	0,78	3,08
R. Grande Sitio 1/2	5,00	0,36	5,36

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se adopta un valor de 3,0 hm³ para el Embalse en Río Salado y de 5,0 hm³ para el Sitio 1/2.

6.6. EVALUACIÓN DE CRECIDAS EN LOS CANALES

6.6.1. Aspectos Generales

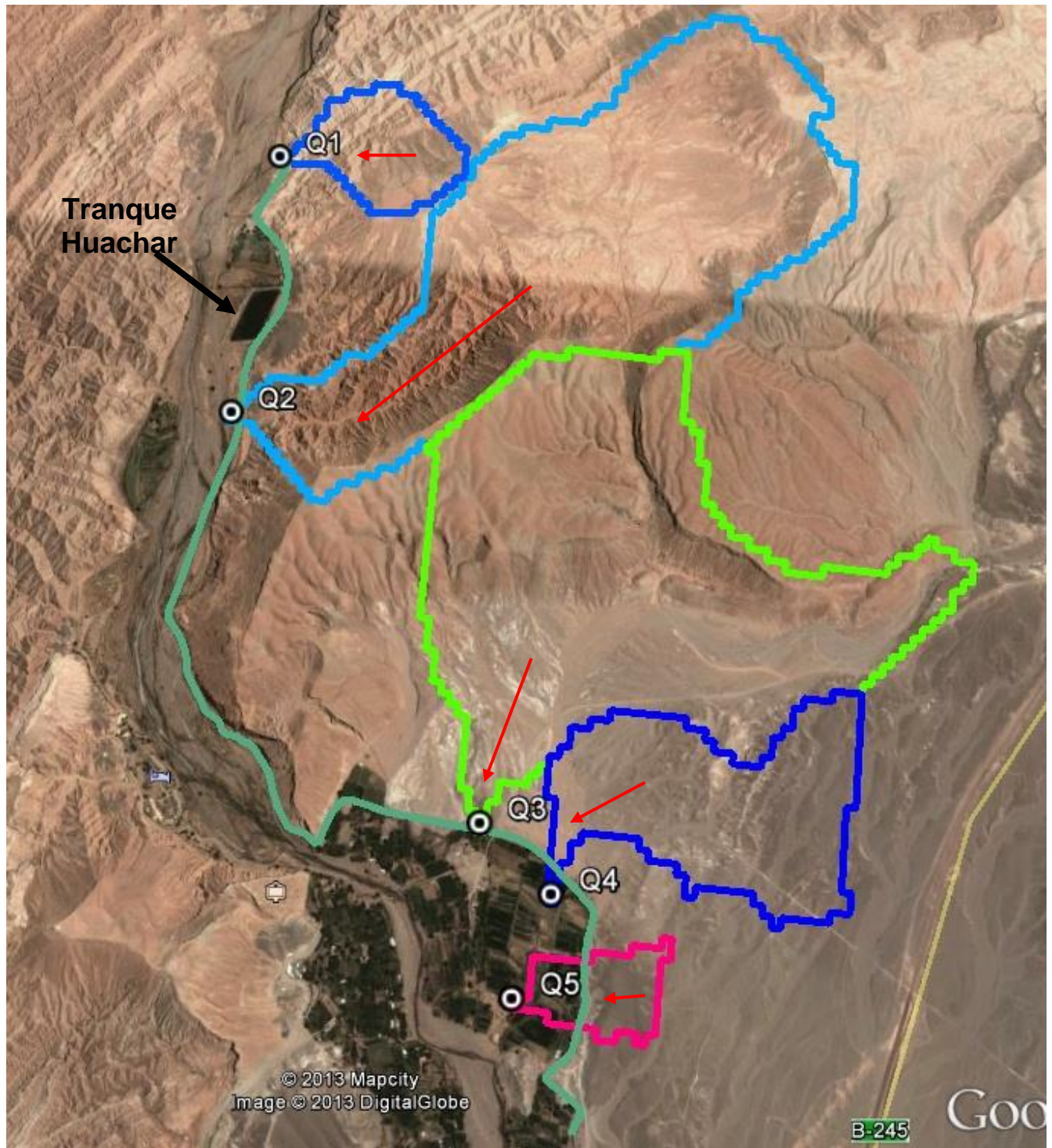
En el presente acápite se realizará un estudio mediante la utilización de fórmulas empíricas de relación precipitación-escorrentía, de las crecidas en las correspondientes quebradas, con el objeto de analizar el posible aporte de las aguas lluvias al canal. Se considera períodos de retorno de 20, 50 y 100 años. Para la determinación de los puntos más conflictivos, se contó con la opinión de los regantes de la zona, un análisis satelital de las cuencas y el recorrido completo de los canales. El catastro de puntos en donde cruzan quebradas importantes, detectados en los recorridos de terreno y que los regantes también han mencionado, son los siguientes, indicados en Cuadro 6.6.1-1 y la Figura 6.6.1-1. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo 6-3.

CUADRO 6.6.1-1
ÁREA DE CUENCA DE DESCARGA

Punto de descarga cuenca	Este (m)	Norte (m)	Área (km ²)
Q1	580.298	7.470.595	1,6
Q2	580.238	7.469.743	12,8
Q3	581.115	7.468.566	12,4
Q4	581.342	7.468.381	4,1
Q5	581.251	7.468.074	0,8

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.6.1-1
UBICACIÓN ESPACIAL DE QUEBRADAS AL CANAL



El color verde mar corresponde al trazado del canal San Pedro.
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Se ha determinado que los puntos más conflictivos y que requieren de un análisis se encuentran en el canal San Pedro, en el sector de Quitor particularmente. En los canales aguas arriba, sector de Catarpe, también hay puntos donde hay quebradas que caen a los canales, pero son muy pequeñas y la mayoría de ellas no pone en riesgo la estabilidad estructural de los canales, sino que, más que nada lo ensucian y embancan con tierra y piedras. De todas formas se dará soluciones a todas estas pequeñas quebradas en el Acápita

6.6.2. Cálculo del Caudal

6.6.2.1. Aspectos Generales

Para la determinación de las crecidas de diseño de las obras de seguridad, se deben determinar los caudales máximos posibles de medirse en los sitios. Con este fin se utilizan diferentes métodos, tales como método racional y Verni-King modificado.

6.6.2.2. Método Racional

La aplicación del método racional es comúnmente ocupada para estimar escorrentías sobretodo en drenajes en urbanos, cuya ecuación es:

$$Q = C * i(tc) * A$$

Donde

C: coeficiente de escorrentía que representa la relación entre el gasto máximo por unidad de área y la intensidad media máximo de lluvia durante el tiempo de concentración, este valor varía en función del periodo de retorno y depende del uso del suelo.

I; intensidad de la lluvia asociado al tiempo de concentración tc

A: área aportante de la cuenca

6.6.2.3. Método de Verni King

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias, cuya ecuación es:

$$Q = C(T) * 0.00618 * P_{24}^{1.24} * A_p^{0.88}$$

Q : Caudal Instantáneo máximo asociado al período de retorno T. en m³/s

C(T) : Coeficiente empírico de período de retorno T años.

P₂₄ : Precipitación diaria máxima asociada al período de retorno T, expresada en mm.

A_p : Área pluvial de la cuenca, expresada en km².

6.6.2.4. Coeficientes de Escorrentía

Los coeficientes de escorrentía se determinaron anteriormente en el Acápite 6.4.6 de este informe y son los indicados en el Cuadro 6.6.2.4-1.

CUADRO 6.6.2.4-1
COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

Ajust. C(T)	5	10	20	50	100	200	1000	10000
Verni King (Ajuste S.P.C.)	0,21	0,30	0,40	0,58	0,74	0,94	1,54	2,91
Racional (DGA-AC 1996)	0,05	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,47	0,95

Fuente: Valores de Acápites 5.4 (cuadros 5.4.6.2-4; 5.4.6.3-1)

6.6.3. Caudales de Diseño

Para cada sitio se determinaron los caudales para periodos de retorno de 20, 50 y 100 años. Se presentan en el Cuadro 6.6.3-1 los valores de crecidas adoptados por quebrada. Se elige la fórmula racional por ser el valor más conservador en términos de seguridad y porque es ampliamente utilizado para el diseño de sistemas de los alcantarillados de aguas lluvias en otros países del mundo.

Además, para el diseño de las obras se utilizará un periodo de retorno de 20 años, de acuerdo con la tradición en nuestro país para este tipo de obras.

CUADRO 6.6.3-1
CAUDALES GENERADOS

CUENCA	Q (T=20) Adoptado (m ³ /s) Caudal de Diseño	Q (T=50) Adoptado (m ³ /s)	Q (T=100) Adoptado (m ³ /s)
Q1	0,4	0,7	1,0
Q2	2,7	4,6	6,5
Q3	2,7	4,6	6,5
Q4	0,9	1,4	2,0
Q5	0,2	0,3	0,5
TOTAL	6,9		

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores en el Cuadro 6.6.3-1 son los caudales máximos (T=20) que el canal matriz San Pedro debería portear en tiempos de crecida, sin embargo, con la información de terreno, de la gente que vive en la zona, se concluye que el canal tiene ciertos tramos ó lugares donde éste, definitivamente, no es capaz de ni siquiera portear caudales menores, para crecidas de T<20. Debido a esto se presentarán los puntos más críticos del canal y se plantearán obras tipo para solucionar estos problemas.

6.6.4. Proposición de Obras

6.6.4.1. Aspectos Generales

En éste acápite se hará una propuesta de las obras para solucionar los problemas de las quebradas laterales en el canal San Pedro, analizando caso por caso, cada uno de los lugares que se identificaron con la ayuda de los regantes y las imágenes satelitales. Lo más simple y efectivo es realizar una obra de cruce para los puntos analizados anteriormente y con eso se obtiene la disminución de los efectos que tiene cada uno hacia el canal, y, además, de otros pequeños puntos aguas arriba en donde también hay pequeñas quebradas que caen al canal, que no tiene sentido analizarlas ya que son muy pequeñas, pero que en suma también aportan al caudal. En estas pequeñas quebradas también se proyectaran este tipo de obras. Siguiendo lo indicado anteriormente, el atraveso de quebrada mostrado en la Figura 6.6.4.1-1 es lo más simple y efectivo para controlar aguas.

FIGURA 6.6.4.1-1
OBRA TIPO PARA ATRAVIESO DE QUEBRADAS



Fuente: Elaboración Propia.

Este tipo de obras se encuentra construido ya en algunos canales en la zona de Catarpe y ha resultado ser muy efectivo.

6.6.4.2. Punto Q1

Este punto se encontró observando las imágenes satelitales, se encuentra en el comienzo del canal San Pedro, aguas arriba del tranque Huachar. No hay información de los regantes sobre este punto, sin embargo la quebrada es lo bastante grande para juntar un caudal de 400 L/s en una crecida de 20 años, que superaría inmediatamente la capacidad del canal, ensuciándolo y embancándolo. Como el cauce del río está muy cerca del canal, la solución propuesta para este punto sería una descarga directa al río. Lo más simple es cubrir el canal con losetas para que el agua de la crecida pase por encima y vaya a parar directamente al río. Se recomienda cubrir 100 m aproximadamente con losetas.

6.6.4.3. Punto Q2

Este punto, al igual que el punto Q1, fue encontrado observando las imágenes satelitales. La cuenca aportante de esta quebrada es bastante amplia y lograría descargar un caudal de 3,0 m³/s en una crecida de 20 años, según los cálculos. Es un caudal muy grande y que el canal no puede contener de modo que en este lugar la solución propuesta es la construcción de la obra tipo presentada en la Figura 6.6.4-1 y que el agua descargue directamente al río.

6.6.4.4. Punto Q3 y Q4

Este lugar es conocido como "laguna chulacao". Cada vez que hay lluvias en San Pedro este lugar se inunda y toda el agua cae directamente al canal, embancándolo y provocando serios desbordamientos aguas abajo. Muchas de las personas que viven aguas abajo de este lugar han perdido cosechas, casas e incluso arriesgan su vida cuando hay crecidas. Como se puede apreciar en la Figura 6.6.1-1, son dos cuencas aportantes que confluyen en dos puntos, los cuales están muy cerca uno del otro, de modo que para el análisis se considerará como solo una descarga. Actualmente el punto Q3, que está aguas arriba del Q4, está bloqueado para descargar al canal, ya que la municipalidad ha colocado unas barricadas para que al agua no caiga al canal. Sin embargo, al no tener un desagüe se acumula y comienza a descargar por el punto Q4.

La solución propuesta para este lugar será agrandar el canal, levantando la revancha para que tome estas aguas y las descargue aguas abajo, con una obra de desagüe directamente al río.

6.6.4.5. Punto Q5

Este punto descarga agua de quebradas un poco más abajo que los anteriores Q3 y Q4, de modo que como la solución propuesta es agrandar el canal, aquí se deberá considerar también la descarga de las aguas al canal y desaguarlas aguas abajo, ya que no se pueden arrojar a los predios cultivados que están sobrepasando el canal.

6.6.4.6. Otros Lugares

Existen otros lugares en los cuales el agua de las lluvias cae dentro de los canales, sobre todo en la localidad de Catarpe, al norte del canal San Pedro. Estos canales sufren mucho con estas crecidas ya que se embancan y se provocan desbordes, obligando a las personas encargadas a limpiarlos constantemente. Estas quebradas son muy pequeñas para analizarlas con estos métodos y no tiene sentido calcular el caudal aportante al canal, ya que de igual forma se recomendará instalar la obra de atraveso tipo que cubre por completo caudal de las quebradas. Conocido es el caso del canal tambillo, entre otros, que en un tramo largo se desarrolla por el costado derecho del canal un talud muy empinado del cerro y cuando hay lluvias el canal se tapa completamente con material. Este y otros casos serán abarcados completamente en el Acápite 6.7.

6.7. ESTUDIOS BÁSICOS DEL MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN SAN PEDRO DE ATACAMA

6.7.1. Generalidades

Se realizó una revisión del estado de los canales matrices pertenecientes a la red de distribución de riego de San Pedro de Atacama con el fin detectar posibles problemas y proponer mejoramientos a la infraestructura que permitan la optimización del recurso hídrico.

Los trazados de los canales revisados se indican en la Figura 6.7.1-1 y se enlistan en el Cuadro 6.7.1-1.

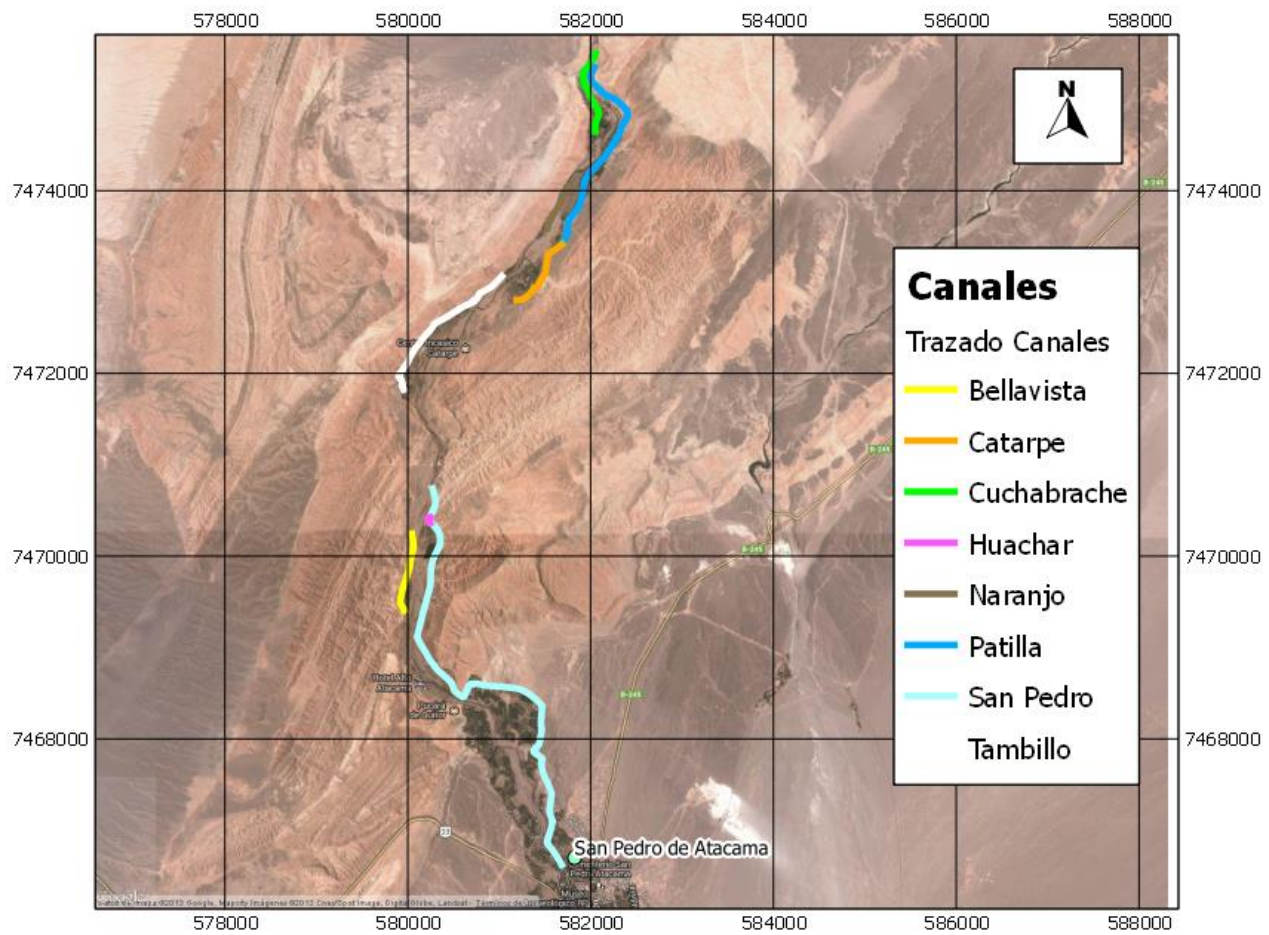
**CUADRO 6.7.1-1
CANALES Y LONGITUD**

Canal	Longitud (m)
Cuchabrachi	928
Patilla	2.317
Catarpe (Continuación Patilla)	856
Tambillo	1.800
Naranjo	531
Huachar	98
Bellavista	855
San Pedro Hasta Tranque Huachar	632
San Pedro (Desde Tranque Huachar Hasta marco Partidor Mamani)	5.736

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se indican los problemas hallados en los trazados de los canales y se proponen sus posibles mejoramientos. Finalmente se proponen mejoramientos para beneficiar la red de distribución integralmente, con la inclusión de tranques de regulación nocturna y conexión de canales por medio de sifones. En el Anexo 6-4 se adjunta base de datos de los canales.

FIGURA 6.7.1-1
UBICACIÓN Y TRAZADO DE CANALES REVISADOS



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

6.7.2. Revisión Catastro Antiguo

Se realizó la revisión del estudio realizado por R&Q¹², 1995, con el fin de obtener información relevante acerca de los canales del valle y sus posibles mejoramientos.

¹² Manejo Experimental de la Cuenca del Río San Pedro de Atacama, II Región, R&Q-Dirección de Riego, 1995.

En el Cuadro 6.7.2-1 se incluye una comparación general de los catastros realizados por R&Q y la presente consultoría. Parte del catastro de R&Q correspondiente a los canales de interés del presente estudio se adjunta en el Anexo 6-5.

CUADRO 6.7.2-1
COMPARACIÓN DE CATASTRO DE CANALES

Canal	Longitud (m)		Comparación y Diferencias
	Arrau, 2013	R&Q, 1955	
Cuchabrachi	928	4.170	En el catastro de R&Q se catastró un canal con una longitud mayor a los 4 kilómetros, actualmente el canal solo posee alrededor de 1 kilómetro de longitud
Patilla	2.317	-	No se tiene catastro de canal Patilla ya que en aquel entonces se utilizaba el canal Matriz San Pedro
Catarpe	856	1.180	En el catastro de R&Q no presentaba problemas, en la actualidad se han detectado algunos problemas
Tambillo	1800	2.300	Actualmente el canal se encuentra totalmente revestido, por lo que se ha modificado con respecto al catastro de R&Q
Naranja	531	480	Actualmente se encuentra en muy buen estado al igual que en el catastro anterior, la diferencia de longitud es resultado de que cada cuanto se debe rehacer la toma
Huachar	98	840	De acuerdo al celador Juan Siare el canal Huachar es de una longitud inferior a los 100 metros.
Bellavista	855	2.460	El actual canal Bellavista llega sólo hasta el Km 0,85 ya que la instalación de un hotel en el predio siguiente dejó inactivo el canal más allá de dicho kilometraje
San Pedro	6368	8.250	El Actual San Pedro comienza varios kilómetros aguas abajo de la antigua toma, razón por la cual existe esa diferencia de longitud

Fuente: Elaboración Propia.

Como consecuencia del paso de grandes crecidas por el río San Pedro, gran parte de la infraestructura existente durante el catastro de R&Q (1995) fue destruida lo que explica la diferencia entre las longitudes registradas por R&Q y la presente consultoría, que se observa en el Cuadro 6.7.2-1. Además durante los años se han realizado reparaciones y mejoramientos a los canales presentes en el valle y por tanto, el catastro de R&Q es obsoleto.

En definitiva, dado los antecedentes anteriormente revisados, se ha elegido descartar los resultados del estudio realizado por R&Q para realizar los mejoramientos de la red de canales ya que sus observaciones y propuestas de mejoramiento están obsoletas.

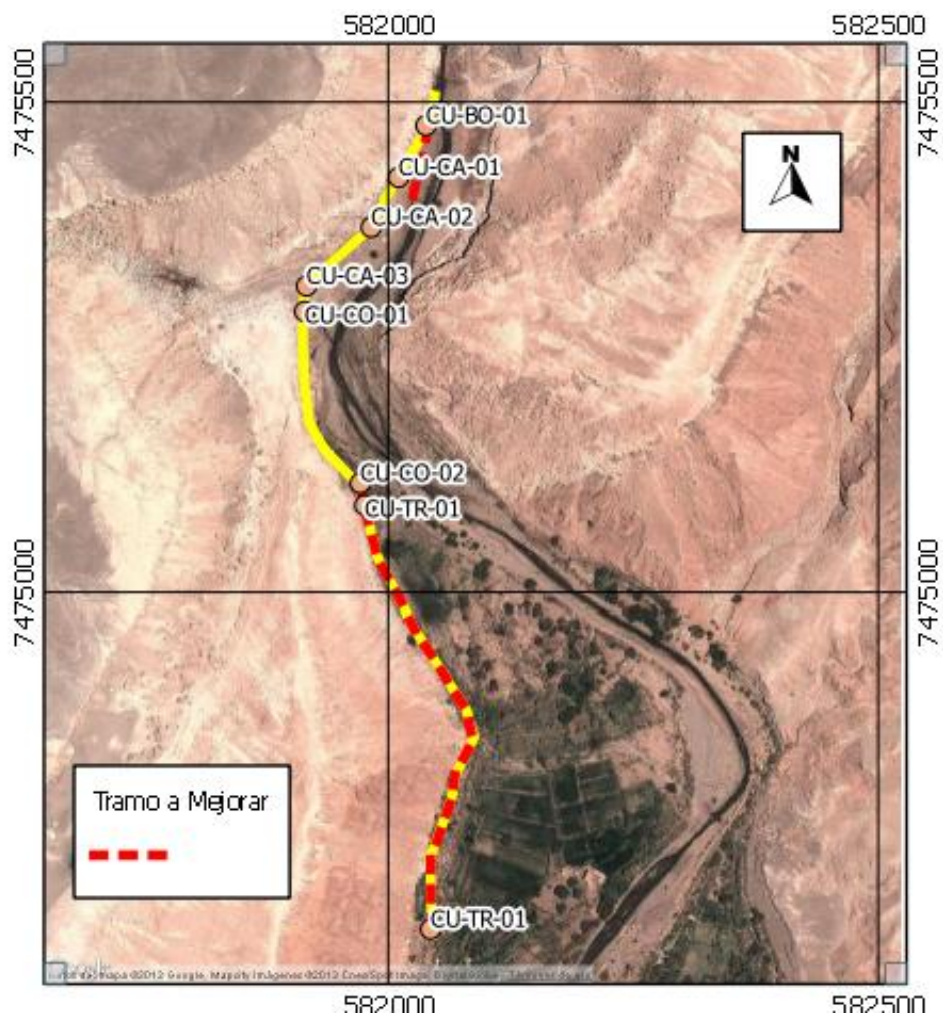
6.7.3. Diagnóstico de Infraestructura y Mejoramientos Propuestos

6.7.3.1. Canal Cuchabrachi

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.1-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

En la Figura 6.7.3.1-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en línea punteada los tramos a mejorar.

**FIGURA 6.7.3.1-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.1-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.1-3 a 6.7.2.3-4 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento. Además se incluyen esquemas para facilitar su comprender mejor el tipo de solución.

**CUADRO 6.7.3.1-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

CÓDIGO	OBRA	C. ESTE UTM (m)	C. NORTE UTM (m)	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
CU-BO-01	Bocatoma	582.039	7.475.476	0,000	Antigua bocatoma del canal matriz San Pedro, en este punto comienza una tubería tipo cajón de hormigón que conecta la toma con el canal. Durante las crecidas el agua entra en la tubería y cámaras de inspección que posee la conducción embancándola.	574
CU-CA-01	Cámara 1	582.011	7.475.423	0,060	Falta tapa de cámara (60x60), escalera regular	575
CU-CA-02	Cámara 2	581.983	7.475.372	0,117	Falta tapa de cámara (65x65)	576
CU-CA-03	Cámara 3	581.917	7.475.312	0,205	Falta tapa de cámara (65x65)	577
CU-CO-01	Compuerta	581.915	7.475.286	0,220	Compuerta demasiado grande y pesada para manejo de un operador (200x100)	578 - 580
CU-CO-02	Compuerta	581.978	7.475.118	0,432	Compuerta oxidada e inicio canal tierra	583
CU-TR-01	Canal en Tierra	582.006	7.475.026	0,540	Canal en tierra y presencia de vegetación en su desarrollo	
		582.038	7.474.658	0,928		

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.1-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

Código	Solución Propuesta
CU-BO-01	Compuerta de hoja de acero y volante que cierre entrada a tubería en crecidas. Habilitar el antiguo desagüe.
CU-CA-01	Reponer tapa de cámara y reemplazar escalera
CU-CA-02	Reponer tapa de cámara

CU-CA-03	Reponer tapa de cámara
CU-CO-01	Dividir compuerta en dos de 100x100 cada una con volante y tornillo. limpieza de desechos
CU-CO-02	Reparar compuerta.
CU-TR-01	Revestir tramo de canal por medio de losetas de 0,45x0,1x1 (altura x ancho x largo) en paredes y losetas de 0,35x0,1x1 en radier. Se obtiene un canal de 0,35X0,35

Fuente: Elaboración Propia.

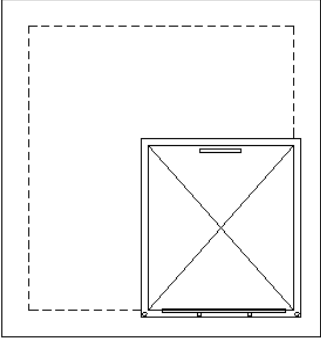
CUADRO 6.7.3.1-3 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN BOCATOMA

CÓDIGO	COMPUERTA					DESAGUE					
	Acción	Nº	Ancho "b" (m)	Alto (m)	Materia I	Acción	Sección	Ancho "L" (m)	Alto (m)	Largo (m)	Materia I
CU-BO-01	Instalar	1	1,0	1,0	Acero	Rehabilitar	Rect.	1,0	0,5	83	Tierra

Nota: "a": Altura del Vertedero de 10 cm. "e": espesor 10 cm.
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.1-4 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN CÁMARAS DE INSPECCIÓN

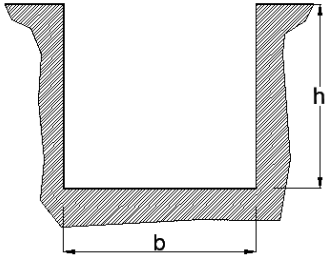
CÓDIGO	CÁMARAS		
	Acción	Dimensiones (m x m)	Material
CU-CA-01	Reponer	0,60 x 0,60	Metal
CU-CA-02	Reponer	0,65 x 0,65	Metal
CU-CA-03	Reponer	0,65 x 0,65	Metal



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.1-5 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho "b" (m)	Alto "h" (m)	Largo (m)	Material
CU-TR-01	Revestir	Rectangular	0,3	0,3	510	Losetas de hormigón armado



Nota: "e": espesor 10 cm.
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.1-6 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN COMPUERTAS

CÓDIGO	COMPUERTA
--------	-----------

	Acción	número	Ancho(m)	Alto (m)	Material
CU-CO-01	Reemplazar /Instalar	1 / 2	1,0	1,0	Acero
CU-CO-02	Reponer /Pintar	1	0,6	0,6	Acero

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.2. Canal Patilla

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.2-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

**CUADRO 6.7.3.2-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
PA-CO-01	compuerta	582.089	7.475.110	0,214	Puerta estancada y oxidada	548, 549
PA-CO-02	compuerta	582.195	7.475.022	0,358	Puerta totalmente embancada, en desuso y oxidada.	550
PA-CO-03	compuerta	582.226	7.475.029	0,385	Compuerta oxidada	551
PA-CO-04	compuerta	582.361	7.474.740	0,770	Compuerta oxidada	560
PA-CO-05	compuerta	582.222	7.474.467	1,095	Compuerta oxidada	569
PA-CO-06	compuerta	581.979	7.474.196	1,565	Dos compuerta oxidada y abolladas	584, 585
PA-CO-07	compuerta	581.898	7.473.954	1,823	Compuerta oxidada y sin uso	586
PA-CO-08	compuerta	581.901	7.473.919	1,860	Compuerta oxidada y sin uso	587
PA-CO-09	compuerta	581.866	7.473.824	1,948	Compuerta oxidada y sin uso	588
PA-CO-10	compuerta	581.754	7.473.681	2,108	Compuerta oxidada y sin uso	
PA-CO-11	compuerta	581.775	7.473.709	2,154	Compuerta oxidada y sin uso	
PA-OA-01	obra	582.305	7.474.970	0,485	Atraveso de quebrada en tubería tipo cajón a la vista, posible socavación	553, 554
PA-OA-02	atraso de quebrada	582.402	7.474.860	0,642	Pequeña quebrada que cae al canal, embancando y ensuciando	556
PA-OA-03	atraso de quebrada	582.395	7.474.818	0,678	Pequeña quebrada que cae al canal, embancando y ensuciando	557
PA-TR-01	tramo	581.980	7.475.252	0,035	Pared derecha de mampostería en mal	546

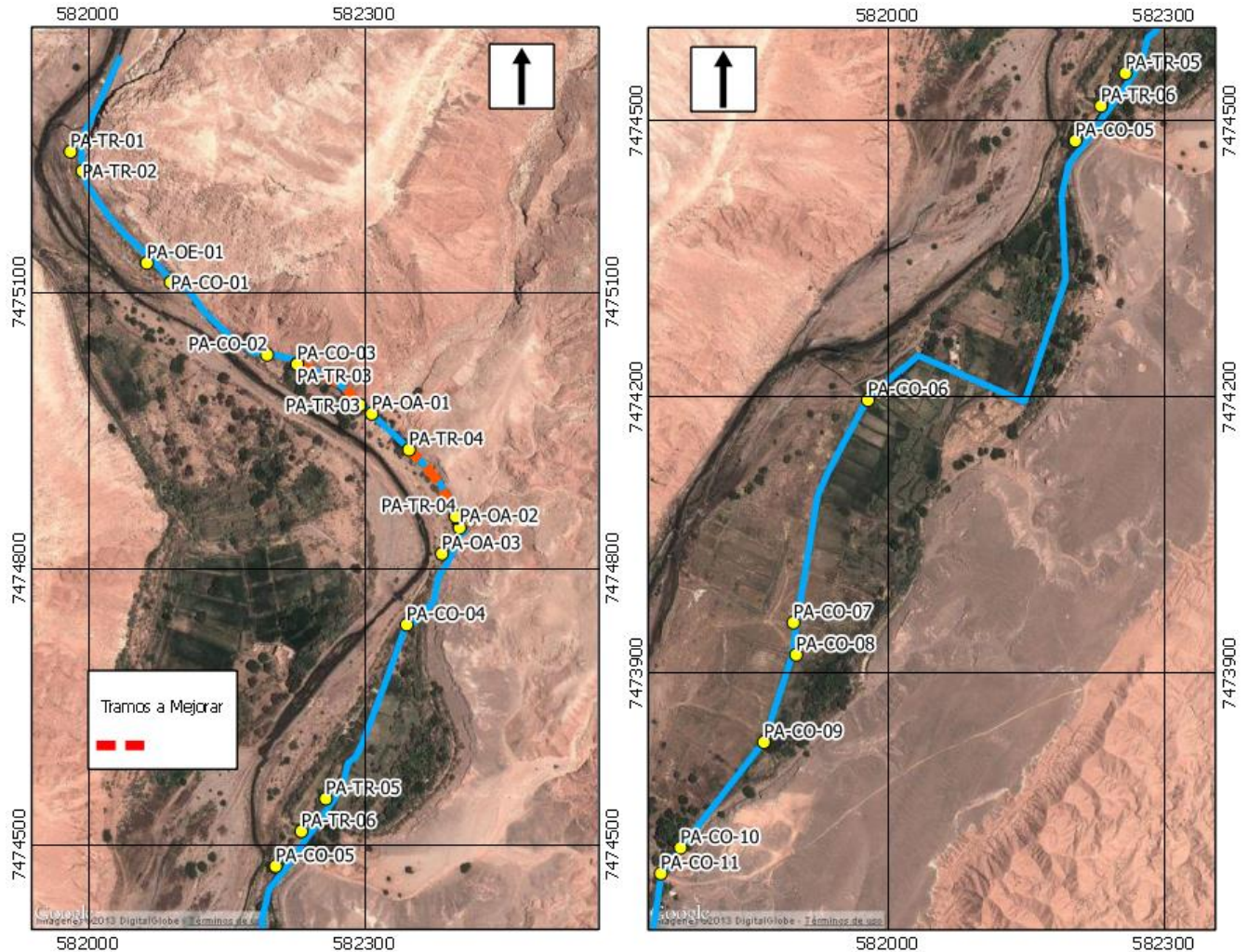
CUADRO 6.7.3.2-1 DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
					estado	
PA-TR-02	tramo	581.993	7.475.231	0,060	Suelo del canal en mal estado con hoyos, filtraciones	547
PA-TR-03	tramo	582.226	7.475.029	0,385	Embankamiento del canal causado por deslizamiento de material mayormente fino. ladera izquierda	552
PA-TR-03		582.305	7.474.970	0,470		
PA-TR-04	tramo	582.348	7.474.928	0,540	Embankamiento del canal causado por deslizamiento de material mayormente fino. ladera izquierda	555
PA-TR-04		582.402	7.474.860	0,633		
PA-TR-05	tramo	582.342	7.474.518	0,980	Costado izquierdo en mal estado a punto de derrumbar por crecimiento de plantas	566
PA-TR-06	tramo	582.237	7.474.492	1,047	Presencia de árboles caídos provocando colapso del revestimiento	567

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.2-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en rojo los tramos a mejorar.

FIGURA 6.7.3.2-1 UBICACIÓN EN MAPA



Fuente: Elaboración propia a partir de Quantum Gis

Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.2-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.2-3 a 6.7.3.2-5 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento.

**CUADRO 6.7.3.2-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
PA-CO-01	Engrasar y pintar

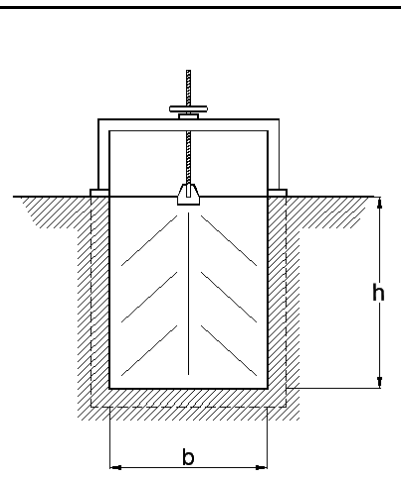
**CUADRO 6.7.3.2-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
PA-CO-02	En caso de que se llegara a usar, engrasar y pintar.
PA-CO-03	Engrasar y pintar
PA-CO-04	Engrasar y pintar
PA-CO-05	Pintar compuerta para proteger de oxidación
PA-CO-06	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-CO-07	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-CO-08	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-CO-09	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-CO-10	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-CO-11	Reemplazar compuerta en mal estado y oxidada
PA-OA-01	Tapar y proteger con hormigón pobre y bolones, hormigonar fondo del atraveso
PA-OA-02	Obra de atraveso menor
PA-OA-03	Obra de atraveso menor
PA-TR-01	Reponer revestimiento con losetas de 0,75x0,1x0,5 en paredes y 0,65x0,1x1 en el radier
PA-TR-02	Revestir el suelo y arreglar hoyos para evitar filtraciones
PA-TR-03	Tapar el canal con losetas espesor 10 cm máximo
PA-TR-04	Tapar el canal con losetas espesor 10 cm máximo
PA-TR-05	Escarpar plantas y revestir nuevamente
PA-TR-06	Quitar árboles caídos y volver a revestir

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.2-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN COMPUERTAS**

CÓDIGO	COMPUERTA				
	Acción	número	Ancho "b" (m)	Alto "h" (m)	Material
PA-CO-01	Rehabilitar /Pintar	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-02	Rehabilitar /Pintar	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-03	Rehabilitar /Pintar	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-04	Rehabilitar /Pintar	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-05	Rehabilitar /Pintar	1	0,6	0,6	Acero

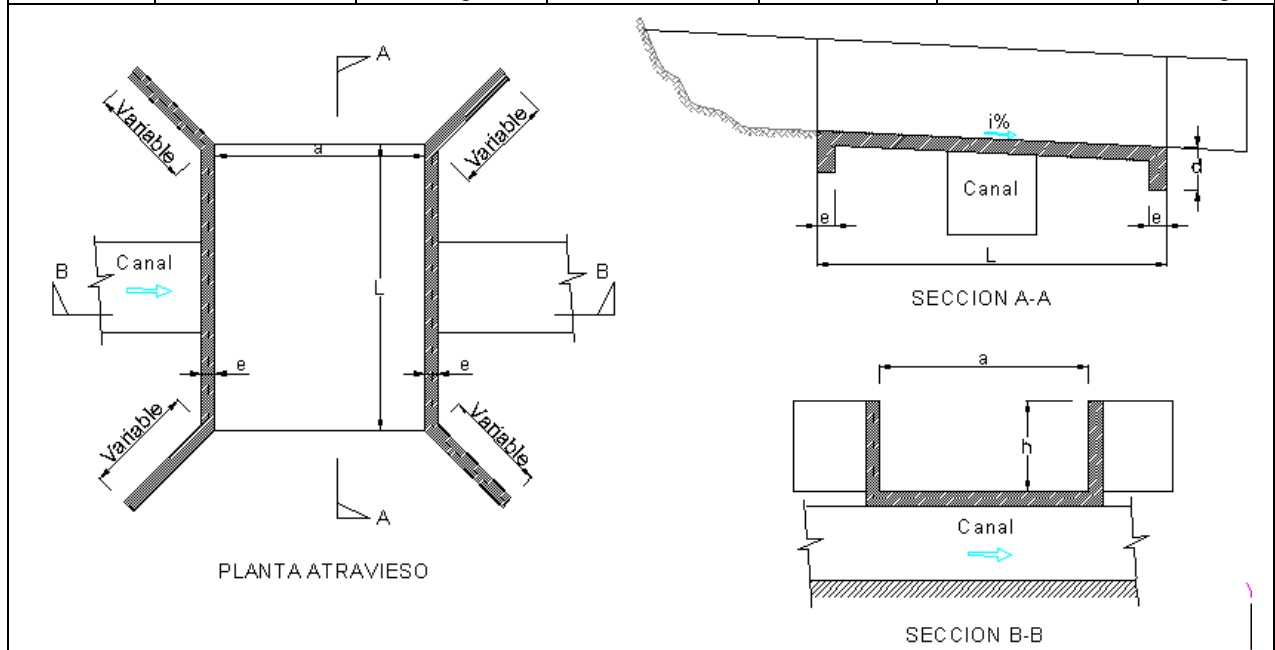


PA-CO-06	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-07	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-08	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-09	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-10	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
PA-CO-11	Reponer	1	0,6	0,6	Acero

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.2-4 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN ATRAVIESOS DE QUEBRADA

CÓDIGO	OBRA ATRAVIESO					
	Acción	Tipo sección	Ancho "L" (m)	Alto "h" (m)	Largo "a" (m)	Material
PA-OA-01	Reparar radier	rectangular	Existente	Existente	Existente	hormigón
PA-OA-02	Instalar	rectangular	4,0	1,0	15	hormigón
PA-OA-03	Instalar	rectangular	4,0	1,0	10	hormigón



Nota: "i": Pendiente 1%. "e": espesor 15 cm.

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.2-5 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS

CÓDIGO	TRAMO CANAL	Tapa canal en
--------	-------------	---------------

	Acción	Tipo sección	Ancho "b" (m)	Alto "h" (m)	Largo (m)	Material
PA-TR-01	Reparar Pared	Rect.	Existente	Existente	5	Hormigón
PA-TR-02	Reparar Radier	Rect.	Existente	Existente	20	Hormigón
PA-TR-03	Encajonar	Rect.	Existente	Existente	95	Losetas
PA-TR-04	Encajonar	Rect.	Existente	Existente	88	Losetas
PA-TR-05	Reponer Pared	Rect.	Existente	Existente	20	Hormigón
PA-TR-06	Rehabilitar /Limpiar	Rect.	Existente	Existente	7	Hormigón

Nota: La tapa de hormigón solo se utiliza en los puntos donde se quiere encajonar el canal
Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.3. Canal Catarpe

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.3-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

**CUADRO 6.7.3.3-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
CA-OD-01	Obra	581.318	7.473.278	0,310	No existe desagüe del canal por pretilos hechos durante el encauzamiento del río.	591
CA-TR-07	Tramo	581.678	7.473.414	0,090	En el tramo existen quebradas laterales que arrastran sedimentos al canal embancándolo	589
CA-TR-07		581.645	7.473.387	0,128		

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.3-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en rojo los tramos a mejorar.

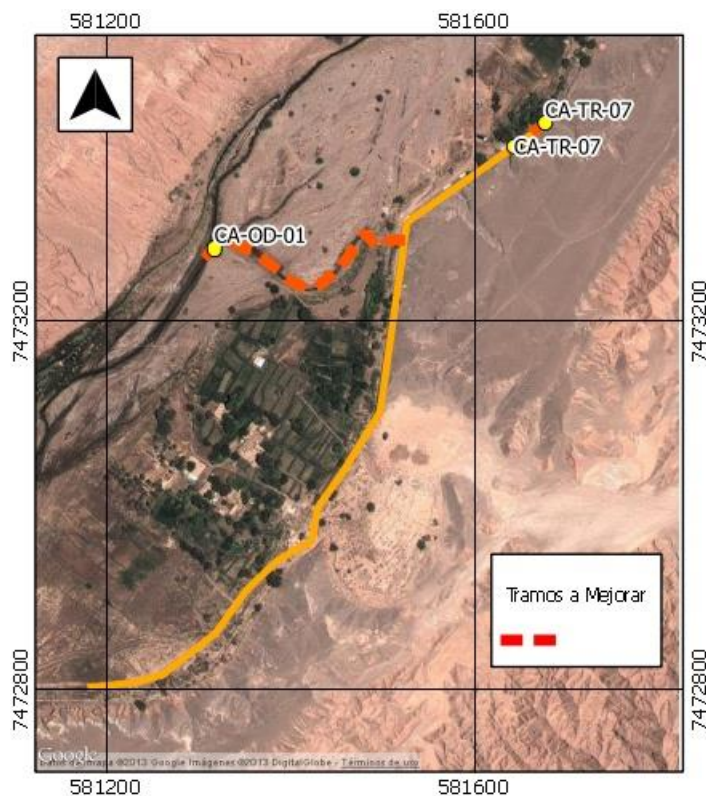
Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.3-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.3-3 a 6.7.3.3-4 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento.

**CUADRO 6.7.3.3-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
CA-OD-01	Diseñar una obra de desagüe que pase por el pretil del río
CA-TR-07	Tapar canal con losetas, evitando derrame de sedimentos al canal.

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.7.3.3-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

**CUADRO 6.7.3.3-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS**

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho "b" (m)	Alto "h" (m)	Largo (m)	Material

CA-TR-07	Encajonar	rectangular	Existente	Existente	42	Losetas	
----------	-----------	-------------	-----------	-----------	----	---------	--

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.3-4 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN DESAGÜE

CÓDIGO	DESAGÜE				
	Acción	Sección	Diámetro "D" (m)	Largo "L" (m)	Material
CA-OD-01	Rehabilitar Salida	Circular	0,3	15	HDPE

El diagrama ilustra un sistema de desagüe que conecta un río con un canal. Se muestra un río a la izquierda, un pretil de tierra que separa el río del canal, y una tubería HDPE que atraviesa el pretil. El desagüe está ubicado en el canal. Una tubería se conecta al desagüe y se extiende a lo largo del canal. Una sección circular de la tubería se muestra con un diámetro 'D'. El río y el canal están etiquetados como 'Río'. La tubería es etiquetada como 'Tubería HDPE' y 'Tubería'. El desagüe es etiquetado como 'Desagüe'. El pretil de tierra es etiquetado como 'Pretil de tierra'. Una longitud 'L' se indica para la tubería.

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.4. Canal Tambillo

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.4-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

CUADRO 6.7.3.4-1 DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA

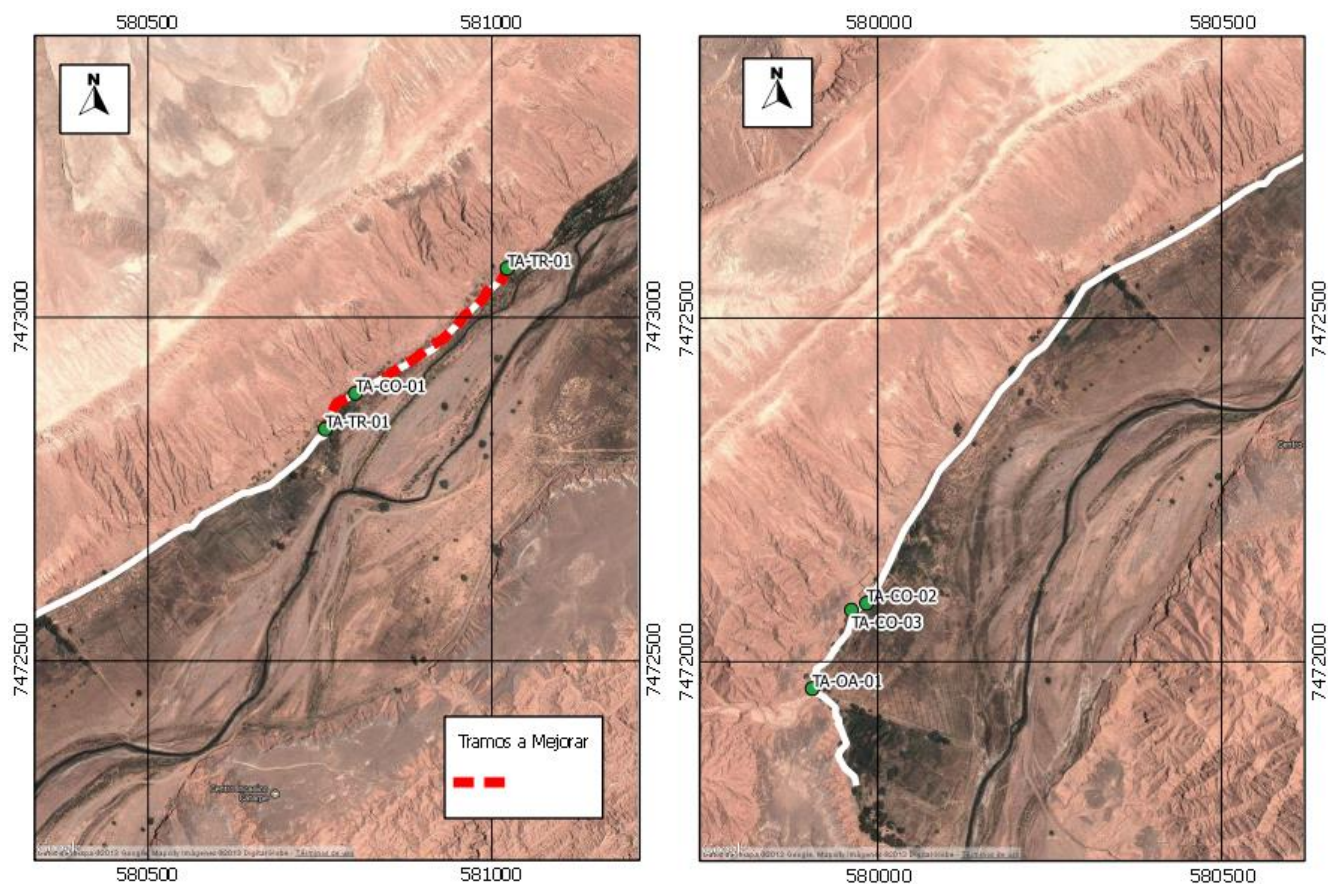
CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
TA-CO-01	Compuerta	580.802	7.472.890	0,835	Compuerta oxidada y tapada con material	595
TA-CO-02	Compuerta	579.983	7.472.084	2,038	Compuerta oxidada y tapada con material	598

TA-CO-03	Compuerta	579.961	7.472.074	2,059	Compuerta oxidada y tapada con material	599
TA-OA-01	Obra	579.904	7.471.962	2,200	Quebrada que ensucia y embanca el canal	620
TA-TR-01	Tramo	581.023	7.473.072	0,540	Caen sedimentos de las laderas del cerro al canal embancándolo	592 - 594, 596
TA-TR-01		580,758	7.472.838	0,903		

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.4-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en línea entrecortada los tramos a mejorar.

**FIGURA 6.7.3.4-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.4-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.4-3 a 6.7.3.4-5 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento.

CUADRO 6.7.3.4-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS

CÓDIGO	SOLUCIÓN
TA-CO-01	Limpiar, pintar compuerta y engrasar
TA-CO-02	Reemplazar compuerta con una nueva y pintar
TA-CO-03	Reemplazar compuerta con una nueva y pintar
TA-OA-01	Construir cruce de quebrada curvo, de 25 a 30 m de largo que permita el paso del agua proveniente de tormentas.
TA-TR-01	Abovedar este tramo de canal con losetas de hormigón evitando su embancamiento

Fuente: Elaboración Propia.

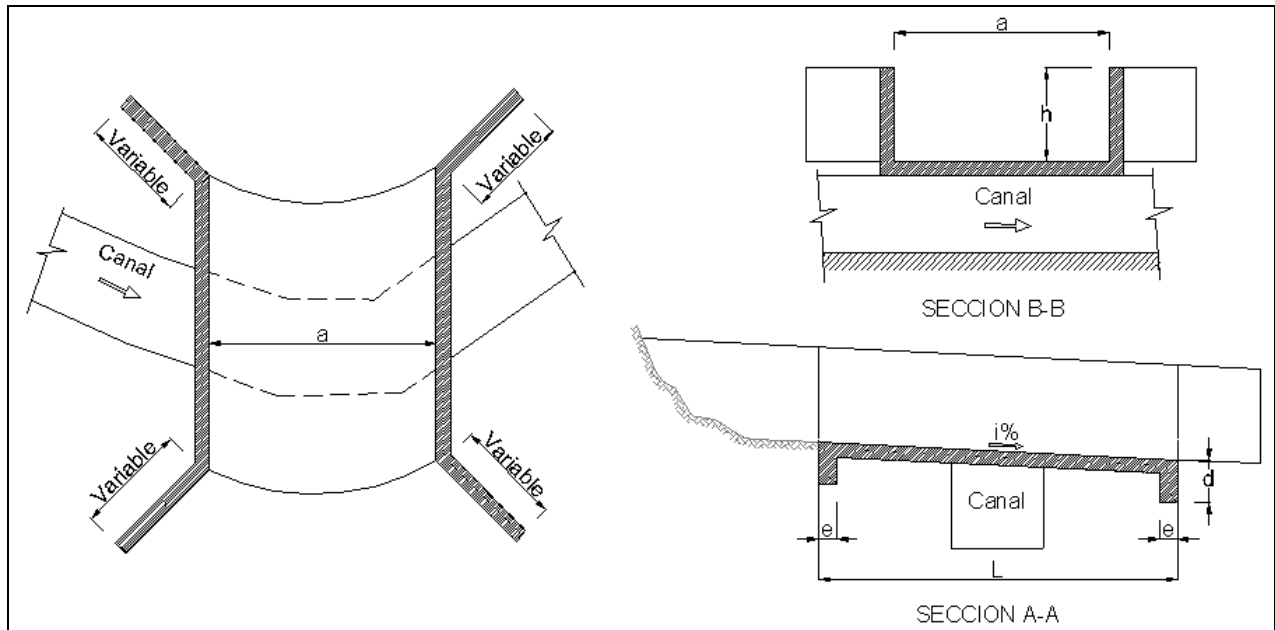
CUADRO 6.7.3.4-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN COMPUERTAS

CÓDIGO	COMPUERTA				
	Acción	número	Ancho(m)	Alto (m)	Material
TA-CO-01	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
TA-CO-02	Reponer	1	0,6	0,6	Acero
TA-CO-03	Reponer	1	0,6	0,6	Acero

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.4-4
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN ATRAVIESOS DE QUEBRADA

CÓDIGO	OBRA ATRAVIESO					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
TA-OA-01	Instalar	rectangular	4,0	1	30	hormigón



Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.4-5
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS**

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
TA-TR-01	Encajonar	rectangular	Existente	Existente	360	Losetas

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.5. Canal Naranja

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.5-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

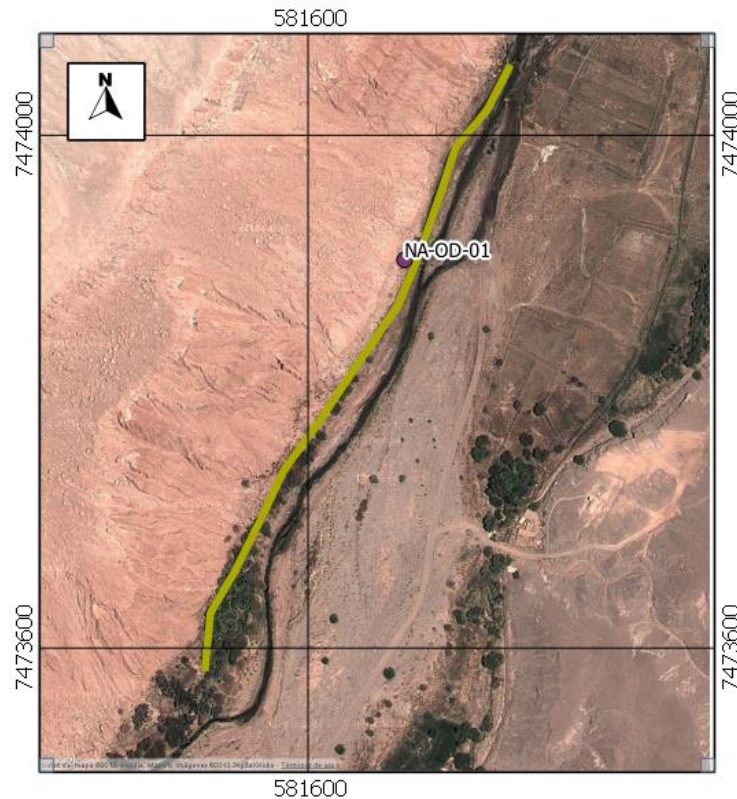
**CUADRO 6.7.3.5-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
NA-OD-01	Compuerta y desagüe	581,676	7,473,902	0,175	Desagüe en mal estado y sin compuertas	614

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.5-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en rojo los tramos a mejorar.

**FIGURA 6.7.3.5-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración Propia.

Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.5-2. Luego en el Cuadro 6.7.3.5-3 se incluye por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento. Además se agrega un esquema para facilitar su entendimiento.

**CUADRO 6.7.3.5-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
NA-OD-01	Rehacer la compuerta completa, incluido los marcos

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.5-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN DESAGÜE**

CÓDIGO	COMPUERTA					DESAGÜE					
	Acción	Nº	Ancho (m)	Alto (m)	Material	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
NA-OD-01	Reponer	2	0,6	0,6	Acero	Rehabilitar	Rectangular	0,6	0,6	8	Tierra

Nota: "a": Altura del Vertedero de 10 cm. "e": espesor 10 cm.

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.6. Canal Huachar

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.6-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

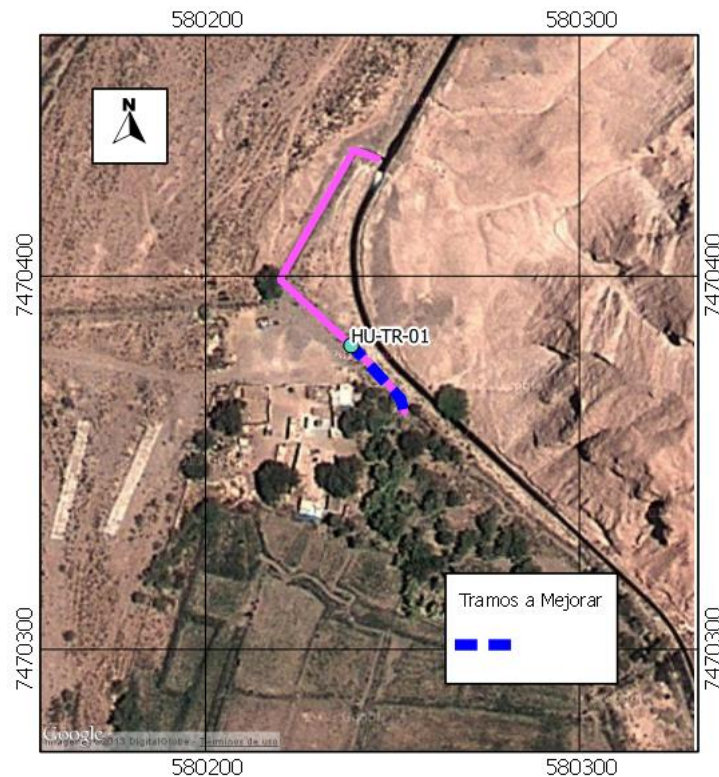
CUADRO 6.7.3.6-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
HU-TR-01	Tramo	580.234	7.470.376	0,075	Canal de tierra hasta entrada de predio	615

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.6-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en rojo los tramos a mejorar.

**FIGURA 6.7.3.6-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

Para el tramo que se desea mejorar se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.6-2. Luego en el Cuadro 6.7.3.6-3 se incluyen las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento.

**CUADRO 6.7.3.6-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
HU-TR-01	Revestir tramo de canal por medio de losetas de 0,45x0,1x1 (altura x ancho x largo) en paredes y losetas de 0,35x0,1x1 en radier. Se obtiene un canal de 0,35X0,35

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.6-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN DESAGÜE**

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
HU-TR-01	Revestir	Rectangular	0,3	0,3	20	Hormigón

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.7. Canal Bellavista

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.7-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

**CUADRO 6.7.3.7-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

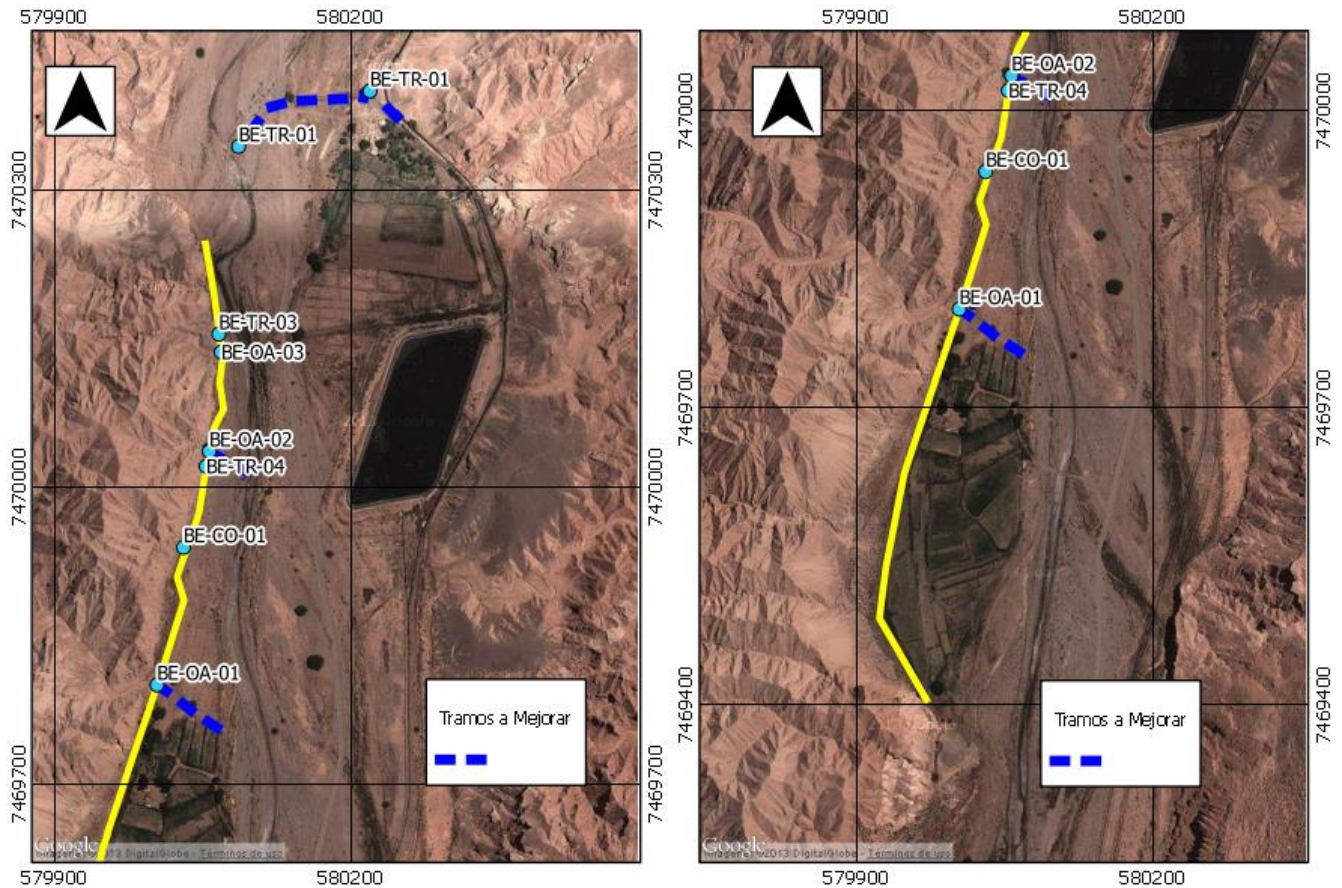
CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
BE-CO-01	compuerta	580,031	7,469,938	0,289	Muro en canal con agujero artesanal para detener crecidas y desagüe lateral improvisado	609
BE-OA-01	obra	580,021	7,469,798	0,430	El atravesio tiene muros laterales bajos que no permiten retener los desbordes del agua hacia el predio. El agua socava el radier del atravesio.	610
BE-OA-02	obra	580,060	7,470,040	0,180	Quebrada que arrastra sedimentos al canal embancándolo	611
BE-OA-03	obra	580,065	7,470,135	0,085	Quebradas que arrastran sedimentos al canal embancándolo	612, 613
BE-TR-01	tramo	580,210	7,470,391	0,046 ¹	Nuevo trazado del canal bellavista	600, 606
BE-TR-01		580,155	7,470,202	0,158 ²		
BE-TR-03	tramo	580,072	7,470,154	0,075	Tramo revestido destruido	607
BE-TR-04	tramo	580,054	7,470,020	0,203	Loseta destruida	608

¹: Kilometraje Canal Huachar; ²: Kilometraje del tramo que desemboca en el río

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.7-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en azul los tramos a mejorar.

**FIGURA 6.7.3.7-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.7-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.7-3 a 6.7.3.7-5 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento. Además se agregan esquemas para facilitar su entendimiento.

**CUADRO 6.7.3.7-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
BE-CO-01	Instalar compuerta y desagüe
BE-OA-01	Levantar el muro de la obra unos 50 cm y proteger el túnel de la socavación
BE-OA-02	Obra de atraveso menor y desagüe de aguas provenientes de la quebrada lateral
BE-OA-03	Obra de atraveso menor y desagüe de aguas provenientes de la quebrada lateral

BE-TR-01	Revestir con losetas de hormigón armado de 0,75x0,1x0,5 en paredes y 0,65x0,1x1 en el radier
BE-TR-03	Revestir tramo destruido con losetas de hormigón armado de 0,75x0,1x0,5 en paredes y 0,65x0,1x1 en el radier
BE-TR-04	Reemplazar losetas de 0,75x0,1x0,5

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.7-3 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN COMPUERTAS

CÓDIGO	COMPUERTA					DESAGÜE					
	Acción	Nº	Ancho (m)	Alto (m)	Material	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
BE-CO-01	Instalar	1	0,6	0,6	Acero	Rehabilitar	Rectangular	0,6	0,6	53	Tierra

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.7-4 MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN OBRAS DE ATRAVIESO

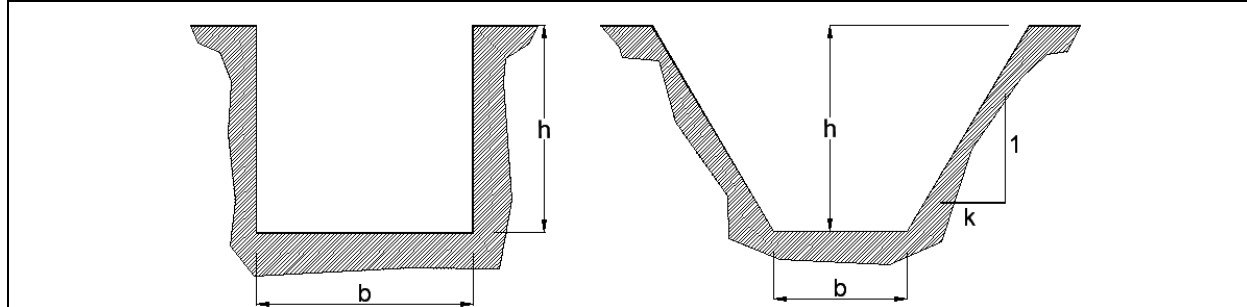
CÓDIGO	OBRA ATRAVIESO						DESAGÜE					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
BE-OA-01	Reparar radier	Rect.	Exis- tente	1,0	Exis- tente	Hormigón	Re- habilitar	Rect.	10	1,0	88	Tierra
BE-OA-02	Instalar	Rect.	4	0,5	4	Hormigón	Construir	Rect.	4	0,5	41	Tierra
BE-OA-03	Instalar	Rect.	4	0,5	15	Hormigón	Construir	Rect.	15	0,5	20	Tierra

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.7-5

MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho "b" (m)	Alto "h" (m)	Largo (m)	Material
BE-TR-01	Rehabilitar	Rectangular	0,6	0,6	230	Losetas de Hormigón
BE-TR-03	Reponer	Trapezoidal	0,6	0,6	10	Losetas de Hormigón
BE-TR-04	Reponer	Trapezoidal	0,6	0,6	2	Losetas de Hormigón



Nota: "k" referido a al talud del canal es igual al existente

BE-TR-01 entrega las aguas al río que para captarlas pocos metros aguas abajo en el canal

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.3.8. Canal San Pedro

Se han detectado puntos y tramos con problemas a lo largo del canal los cuales se indican en el Cuadro 6.7.3.8-1, acompañado de su coordenada de inicio y fin en el caso que corresponda. Además se adjunta en el Anexo 6-6 una ficha con las fotografías de cada uno de los puntos indicados.

**CUADRO 6.7.3.8-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
SP-CO-01	Compuerta	581.562	7.467.032	4,422	Compuerta en mal estado, oxidada	618
SP-CO-02	Compuerta	580.111	7.469.114	1,104	Compuertas oxidadas y viejas	624,625
SP-CO-03	Compuerta	580.114	7.469.100	1,120	Compuerta oxidada	626, 627
SP-OD-01	Obra	580.356	7.470.171	0,000	Se aprecia rebalse de agua que socava y erosiona el terreno	621, 622
SP-OD-02	Obra	580.262	7.468.846	1,410	Obra de desagüe presenta grieta y filtración en vertedero lateral	630, 631
SP-OD-03	Obra	581.452	7.468.382	2,948	descarga de laguna Chulacao precaria	639
SP-OD-04	Obra	581.452	7.468.382	3,486	Desagüe de laguna Chulacao precaria	
SP-OL-01	Obra	580.261	7.469.861	0,340	Limnómetro oxidado, no se ve el nivel	623

**CUADRO 6.7.3.8-1
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA**

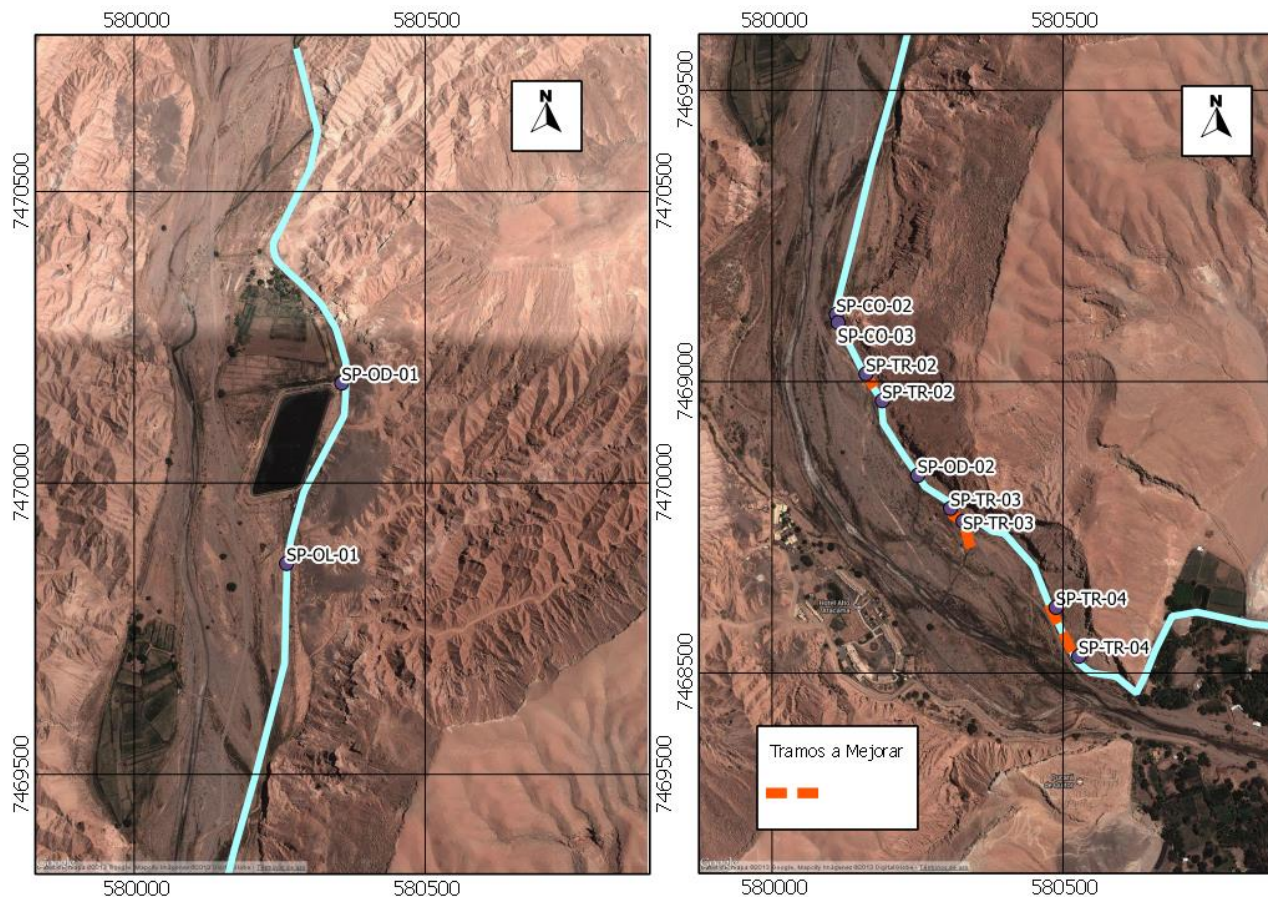
CÓDIGO	OBRA	ESTE	NORTE	Km	DESCRIPCIÓN	FOTOS
SP-OP-01	Obra	581.462	7.467.805	3,610	Puente muy bajo genera desbordes de agua con crecidas	646
SP-OP-02	Obra	581.461	7.467.688	3,737	Puente muy bajo genera desbordes de agua con crecidas	647
SP-TR-01	Tramo	581.678	7.466.630	4,882	Pared izquierda erosionada y socavada (agujero)	619
SP-TR-02	Tramo	580.162	7.469.014	1,220	Tramo tubería de hormigón sin tapar	628, 629
		580.190	7.468.968	1,273		
SP-TR-03	Tramo	580.319	7.468.781	1,490	Desborde de canal	633 - 636
		580.342	7.468.769	1.530		
SP-TR-04	Tramo	580.489	7.468.613	1.770	Desborde de canal	637, 638
		580.528	7.468.529	1.864		
SP-TR-05	Tramo	581.450	7.468.148	3.185	Disminución de revancha del canal provocando desborde del agua	640 - 642
				3.435		
SP-TR-06	Tramo	581.372	7.467.891	3.470	Curva donde se desborda el canal por aguas de crecidas (laguna Chulacao)	643 - 645
		581.394	7.467.844	3.534		
SP-TR-07	Tramo	581.468	7.467.659	3.765	Desmoronamiento de cerros	648, 649
		581.518	7.467.546	3.890		
SP-TR-08	Tramo	581.551	7.467.178	4.272	Revestimiento del canal matriz en mal estado	651, 652
		581.578	7.467.100	4.355		

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.7.3.8-1 se señala gráficamente la ubicación de los puntos en los cuales se encontraron problemas y se remarca en rojo los tramos a mejorar.

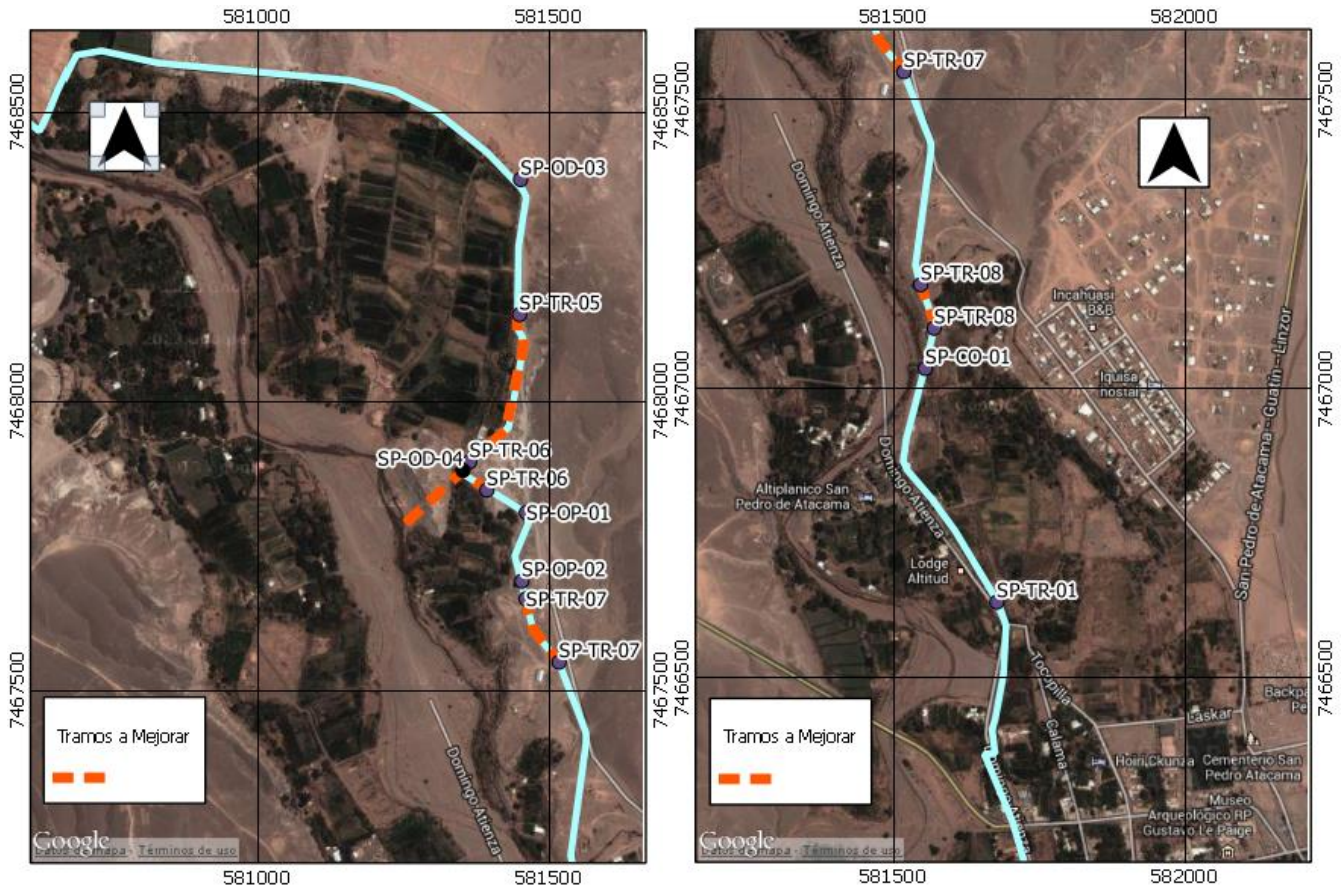
**FIGURA 6.7.3.8-1
UBICACIÓN EN MAPA**

**FIGURA 6.7.3.8-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis

**FIGURA 6.7.3.8-1
UBICACIÓN EN MAPA**



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis.

Para cada uno de los puntos detectados se ha desarrollado una solución la cual se indica en el Cuadro 6.7.3.8-2. Luego en los Cuadros 6.7.3.8-3 a 6.7.3.8-8 se incluyen por tipo de obra las acciones a realizar, las dimensiones y los materiales que se podrían utilizar para materializar el mejoramiento.

**CUADRO 6.7.3.8-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
SP-CO-01	Pintar y engrasar
SP-CO-02	Pintar y engrasar
SP-CO-03	Pintar compuerta para proteger la hoja de la oxidación
SP-OD-01	Construir un buen vertedero lateral para botar los excedentes de agua

**CUADRO 6.7.3.8-2
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS**

CÓDIGO	SOLUCIÓN
SP-OD-02	Tapar con producto sellante
SP-OD-03	Mejorar la descarga
SP-OD-04	Construir desagüe
SP-OL-01	Reemplazar
SP-OP-01	Subir puente. Este problema desaparece con el desagüe descrito en laguna Chulacao
SP-OP-02	Subir puente. Este problema desaparece con el desagüe descrito en laguna Chulacao
SP-OS-01	Desarenador. Piscina para que partículas sedimenten y exista la posibilidad de hidrogenar
SP-TR-01	Reparar
SP-TR-02	Enterrar tubería de hormigón para evitar roturas, ocasionados por derrumbes de las lateras
SP-TR-03	Levantar ambos muros del canal para aumentar la capacidad ó construir un desagüe al río
SP-TR-04	Levantar ambos muros del canal para aumentar la capacidad
SP-TR-05	Levantar ambos muros del canal hasta el nivel que tenía
SP-TR-06	Levantar el canal por costado derecho o proyectar una obra de desagüe
SP-TR-07	Entubar con cajones de Hormigón 1,5X1,5
SP-TR-08	Reparar

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.8-3
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN COMPUERTAS**

CÓDIGO	COMPUERTA				
	Acción	número	Ancho(m)	Alto (m)	Material
SP-CO-01	Rehabilitar /Pintar	1	1,2	1,0	Acero
SP-CO-02	Rehabilitar /Pintar	2	1,2	1,0	Acero
SP-CO-03	Rehabilitar /Pintar	1	1,2	1,0	Acero
SP-CO-04	Rehabilitar /Pintar	2	0,6	0,6	Acero

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.8-4
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN OBRAS DE DESAGÜE**

CÓDIGO	DESAGÜE					
	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
SP-OD-01	Instalar Vertedero	Rectangular	2	0,1	8	hormigón
SP-OD-02	Reparar Grietas	Existente	Existente	Existente	Existente	hormigón
SP-OD-03	Reparar	Rectangular	10	0,3	30	hormigón

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.7.3.8-5
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN OBRAS DE DESAGÜE LAGUNA CHULACAO**

CÓDIGO	COMPUERTA					DESAGÜE					
	Acción	Nº	Ancho "b" (m)	Alto (m)	Material	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
SP-OD-04	Instalar	2	1,2	1,0	Acero	Construir + Vertedero	Rect.	2	1,5	145	hormigón

Nota: "L" largo del vertedero 1,5 m.

"a" altura vertedero 0,1 m

Fuente: Elaboración Propia.

El trazado del desagüe cruzaría una loma de baja altura antes de descargar el agua de la laguna de Chulacao al río San Pedro.

**CUADRO 6.7.3.8-6
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN OBRAS ANEXAS**

CÓDIGO	LIMNÍMETRO	PUENTE
SP-OL-01	Reemplazar	-
SP-OP-01	-	Retirar y Reponer a mayor altura
SP-OP-02	-	Retirar y Reponer a mayor altura

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.8-7
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMOS

CÓDIGO	TRAMO CANAL					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
SP-TR-01	Reparar Pared	Trapezoidal	Existente	Existente	1	Hormigón pobre
SP-TR-02	Enterrar Tubería	Circular	Existente	Existente	54	Empréstitos
SP-TR-04	Levantar Muros	Trapezoidal	Existente	0,2	90	Hormigón
SP-TR-05	Levantar Muros	Trapezoidal	Existente	0,2	245	Hormigón
SP-TR-06	Levantar Muros	Trapezoidal	Existente	0,2	60	Hormigón
SP-TR-07	Reemplazar	Rectangular	1,0	1,0	125	Cajón de Hormigón
SP-TR-08	Reparar Paredes	Trapezoidal	Existente	Existente	80	Hormigón

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.7.3.8-8
MEJORAMIENTOS PROPUESTOS EN TRAMO CON DESAGÜE

CÓDIGO	TRAMO CANAL						DESAGÜE					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material	Acción	Sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material
SP-TR-03	Obra de Revase	Rect.	30	0,1	30	Hormigón	Cons- truir	Rect.	1,0	1,0	50	Hormi- gón

Fuente: Elaboración Propia.

6.7.4. Mejoramiento de la Red de Distribución

6.7.4.1. Introducción

Parte de los mejoramientos de la red de distribución es proponer una solución integral del sistema de riego de los canales revisados en los acápite anteriores. Para ello se ha utilizado como criterio aumentar el control y regulación de las aguas captadas y mejorar la conexión entre los canales existentes.

Para lograr dichos objetivos se han proyectado a nivel de idea tranques de regulación nocturna (control y regulación), canales y sifones que mejoren la conectividad entre los canales del valle del río San Pedro.

6.7.4.2. Tranques de Regulación Nocturna

El actual sistema de distribución del valle del río San Pedro consta de 3 tranques de regulación que son utilizados para almacenar aguas durante la noche. Esta medida se

adoptó debido a que durante la noche se realizaba el uso indebido del agua lo que generaba molestia entre los regantes. Los Tranques que existen en la actualidad son:

- Tranque Huachar, capacidad cercana a los 32.000 m³
- Tranque Solor, capacidad cercana a los 21.000 m³
- Tranque Grupo Siete, capacidad cercana a los 450 m³

Con la actual infraestructura no es posible regular las aguas de los canales que se encuentran aguas arriba del tranque Huachar, es decir, los canales Cuchabrachi, Patilla, Catarpe y Tambillo. Los canales Huachar y Bellavistas ubicados en sector del tranque tampoco poseen regulación.

Similar situación se presenta para el sector de Coyo (desde el marco partidor Mamani hacia aguas abajo) el cual no posee un tranque para regular sus aguas.

Conocidos los antecedentes anteriores se propone incluir los siguientes tranques:

- Tranque Cuchabrachi (CU-OE-01), de capacidad igual a 7.300 m³ capaz de regular las aguas de los canales Cuchabrachi, Patilla, Catarpe y Tambillo.
- Tranque Coyo (SP-OE-01), de capacidad igual a 14.900 m³, para regular y controlar las entregas hacia el sector de Coyo.

En el Cuadro 6.7.4.2-1 se resumen los parámetros más relevantes de las obras de acumulación. En la Figura 6.7.4.2-1 se presenta un mapa general con la ubicación de los tranques existentes y proyectados.

CUADRO 6.7.4.2-1
TRANQUES DE REGULACIÓN NOCTURNA PROPUESTOS

CÓDIGO	OBRA TRANQUE NOCTURNO						
	Acción	Ancho Medio (m)	largo Medio (m)	Alto (m)	Volumen (m)	Cota entrada (m)	Cota salida (m)
CU-OE-01	Construir	60	100	1,2	7.300	2.540,01	2.538,79
SP-OE-02	Construir	54	110	2,5	14.900	2.431,51	2.428,99

Fuente: Elaboración Propia.

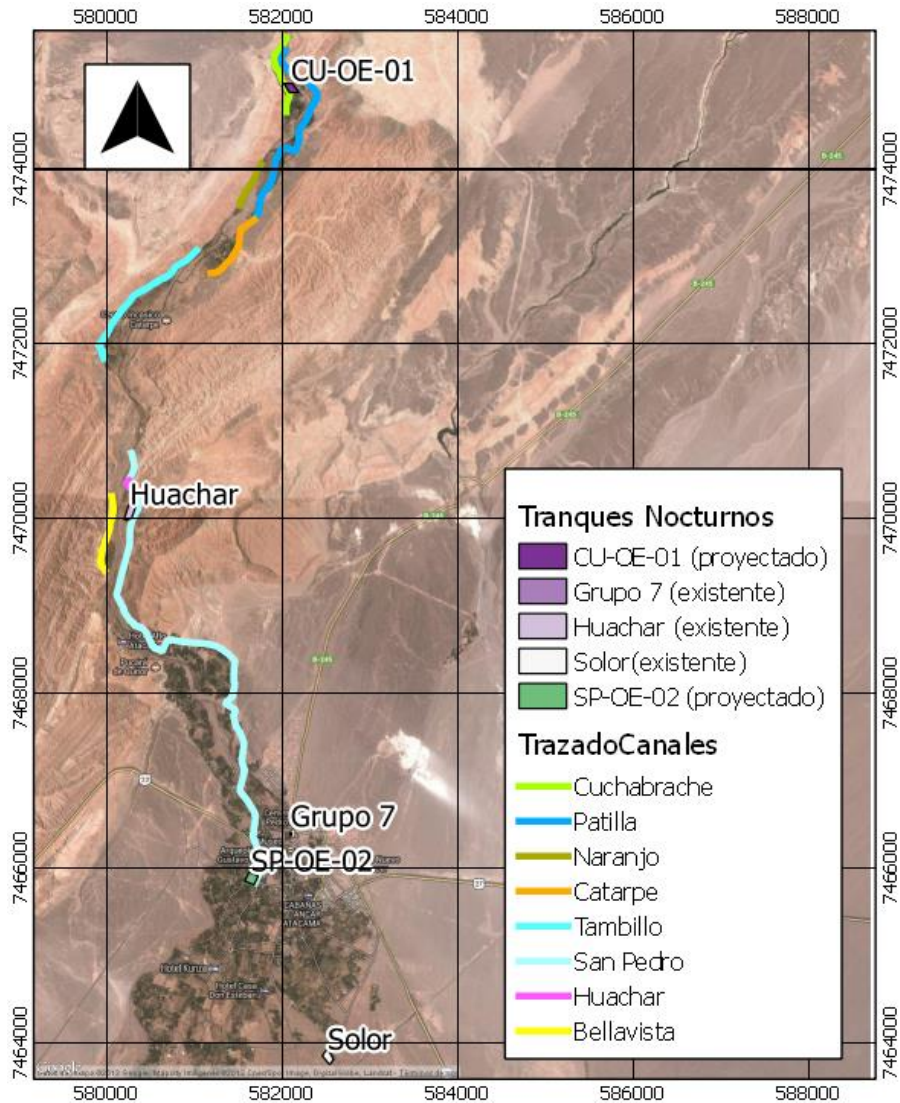
Con el fin de mostrar en detalle la ubicación de los tranques proyectados y los canales trazados para su alimentación y descarga se presentan las Figuras 6.7.4.2-2 y 6.7.4.2-3. Además se agrega el Cuadro 6.7.4.2-2 en donde se indica el kilometraje de captación y entrega de los canales involucrados.

CUADRO 6.7.4.2-2
PUNTOS DE CAPTACIÓN Y ENTREGA

CÓDIGO	CANAL	Km	DESCRIPCIÓN
CU-OE-01	Cuchabrachi	0,400	Captación y Canal para Tranque
	Cuchabrachi	0,540	Entrega del Tranque
	Patilla	0,300	Entrega a Sifón CU-SI-01
SP-OE-02	San Pedro	5,620	Captación y Canal para Tranque
	Coyo	0,320	Entrega Canal Coyo

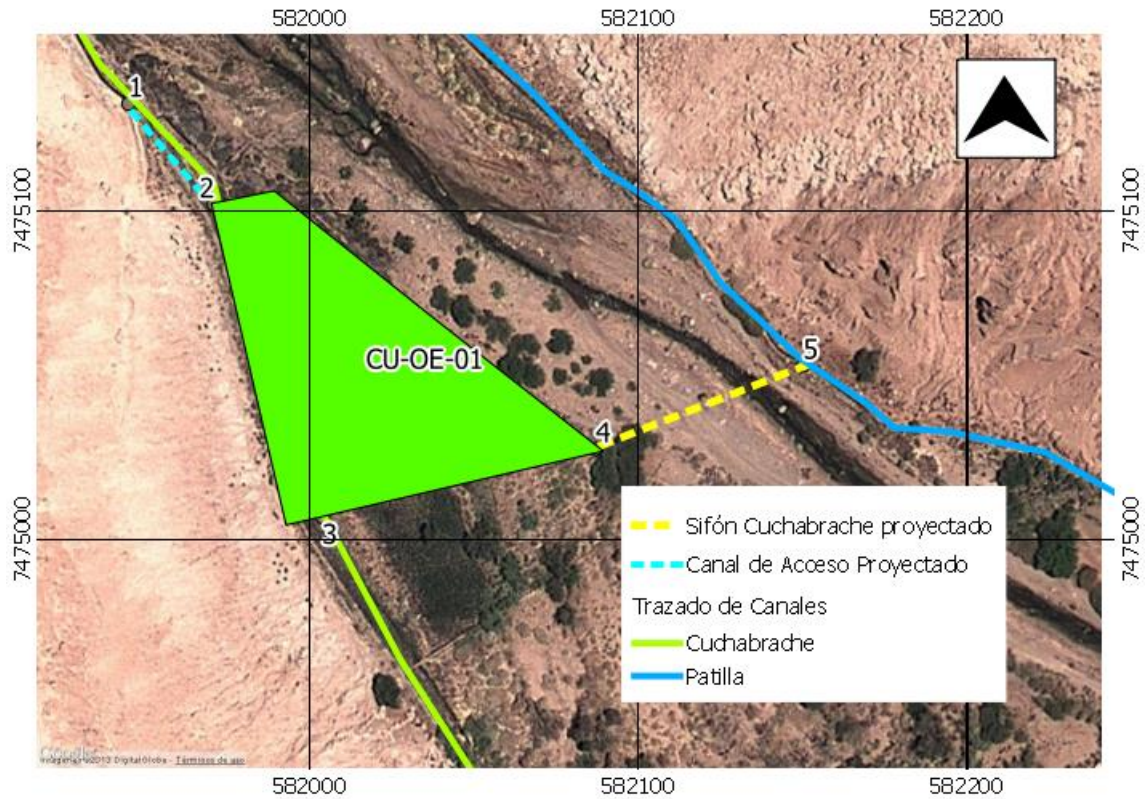
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.7.4.2-1
UBICACIÓN DE TRANQUES NOCTURNOS EXISTENTES Y PROYECTADOS



Fuente: Elaboración propia a partir de QGis.

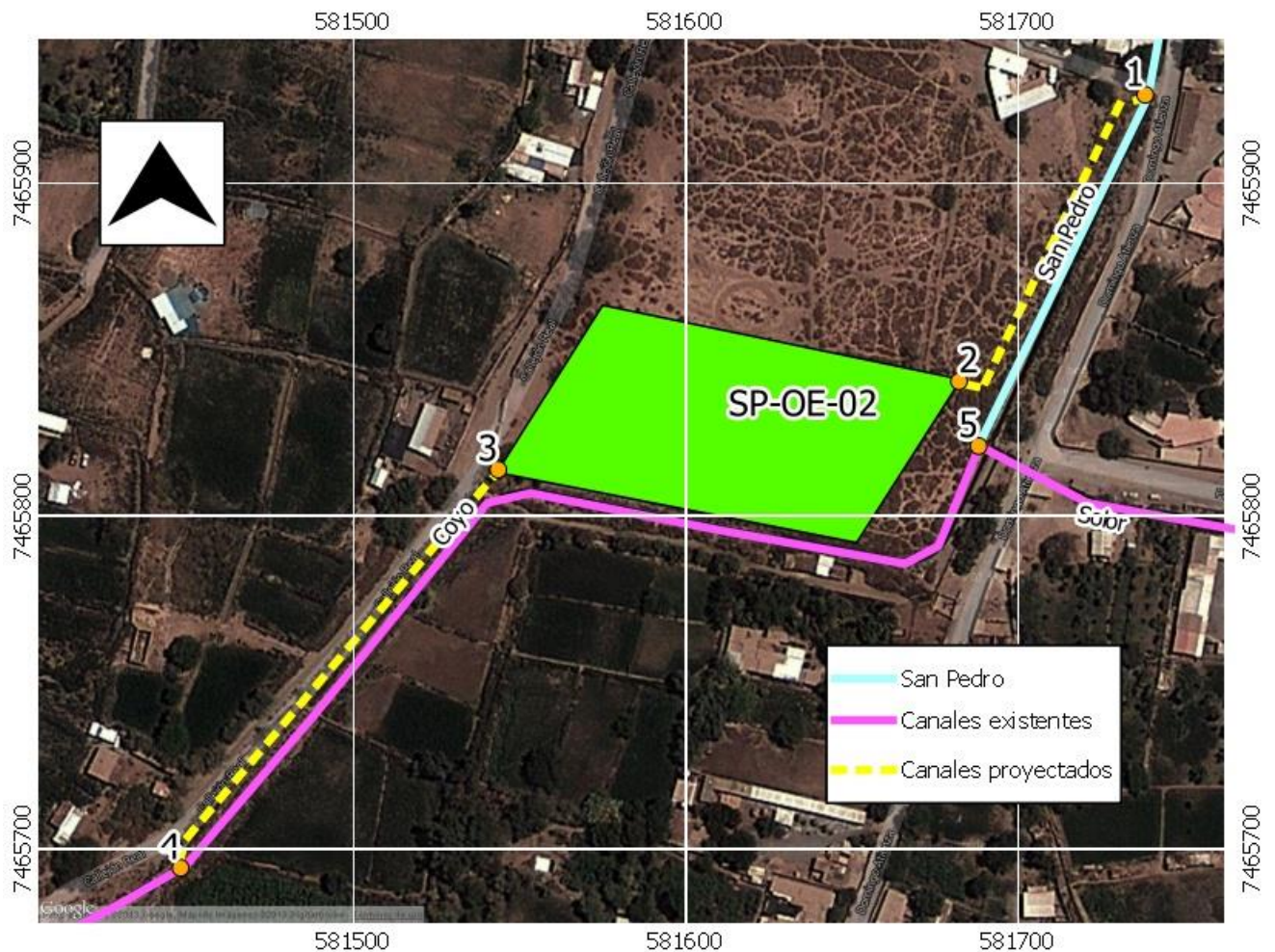
FIGURA 6.7.4.2-2
TRANQUE NOCTURNO CUCHABRACHI (CU-OA-01) PROYECTADO



1: Captación en Canal Cuchabrachi Km 0,4; 2: Descarga a Tranque Nocturno Proyectado; 3: Entrega a canal Cuchabrachi; 4: Entrega a Sifón CU-SI-01; 5: Entrega a canal Patilla

Fuente: Elaboración propia a partir de QGis.

FIGURA 6.7.4.2-3
TRANQUE NOCTURNO COYO (SP-OA-02) PROYECTADO



1: Captación en Canal San Pedro Km 5,62; 2: Descarga a Tranque Nocturno Proyectado; 3: Canal de entrega; 4: Entrega a Sifón canal Coyo; 5: Marco Partidor Mamani.

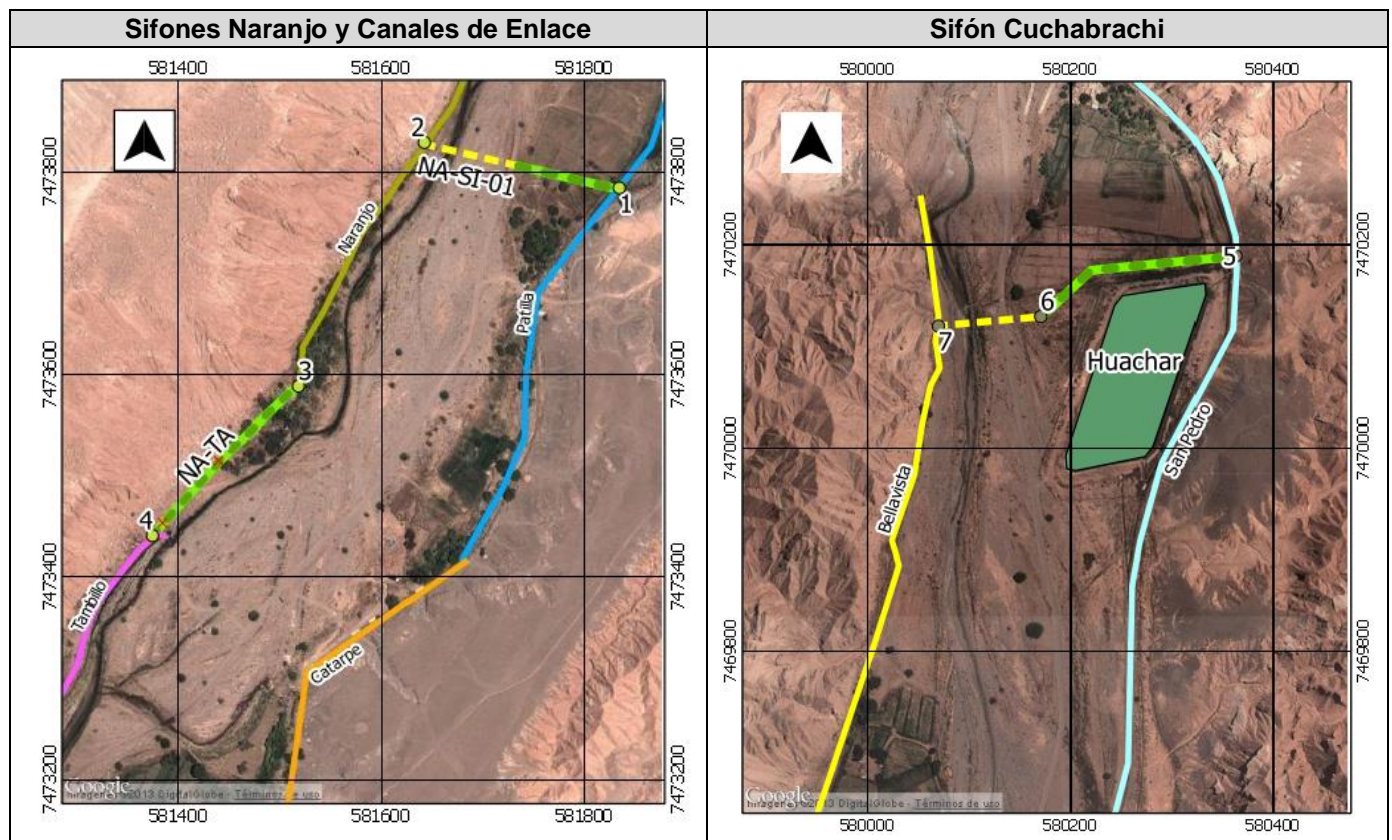
Fuente: Elaboración propia a partir de QGis.

Cabe indicar que las entregas existentes entre el punto 5 y el 4 serán abastecidas por el tramo existente del canal Coyo.

6.7.4.3. Sifones y Canales de Enlace

Acorde a la construcción del tranque Cuchabrachi se deberían construir 2 sifones y un canal de enlace que permitan la conexión de los canales a los cuales se les desea regular el riego nocturno. El trazado del sifón Cuchabrachi, proyectado a la salida del tranque nocturno CU-OE-01, se presenta en la Figura 6.7.4.3-1, así como también el sifón proyectado hacia el canal Bellavista. Además, En el Cuadro 6.7.4.3-1 se presentan los parámetros más relevantes, acompañados de un esquema explicativo.

FIGURA 6.7.4.3-1
UBICACIÓN EN MAPA SIFONES Y CANALES DE ENLACE

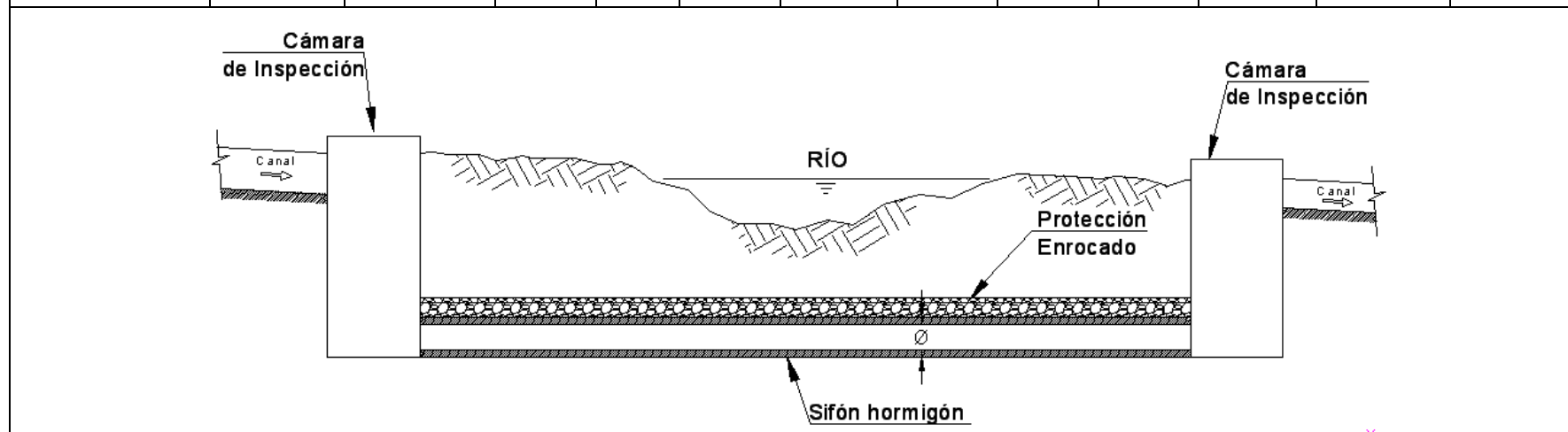


- 1:** Captación en Canal Patilla Km 2,0; **2:** entrega a canal Naranjo Km 0,28 (Verde canal y amarillo sifón); **3:** inicio canal de enlace NA-TA; **4:** fin canal de enlace;
5: Captación en Canal San Pedro; **6:** inicio sifón Bellavista (BE-SI-01); **7:** fin sifón Bellavista y entrega a canal del mismo nombre.

Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

CUADRO 6.7.4.3-1
SIFONES Y CANALES PROPUESTOS

CÓDIGO	TRAMO CANAL						OBRA SIFÓN					
	Acción	Tipo sección	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Material	Acción	Diám. (mm)	Largo (m)	H carga (m)	Cota entrada (m)	Cota salida (m)
CU-SI-01 (Cuchabrachie)							Construir	500	68	1,4	2538,8	2537,4
NA-SI-01 (Naranjo)	Construir	Rect.	0,6	0,6	140	Hormigón	Construir	600	100	0,36	2519,4	2519,0
BE-SI-02 (Bellavista)	Construir	Rect.	0,6	0,6	210	Hormigón	Construir	500	105	3,0	2479,7	2473,7
NA-TA	Construir	Rect.	0,6	0,6	330	Hormigón	-	-	-	-	-	-



La profundidad del sifón es de 5 m.

Fuente: Elaboración Propia.

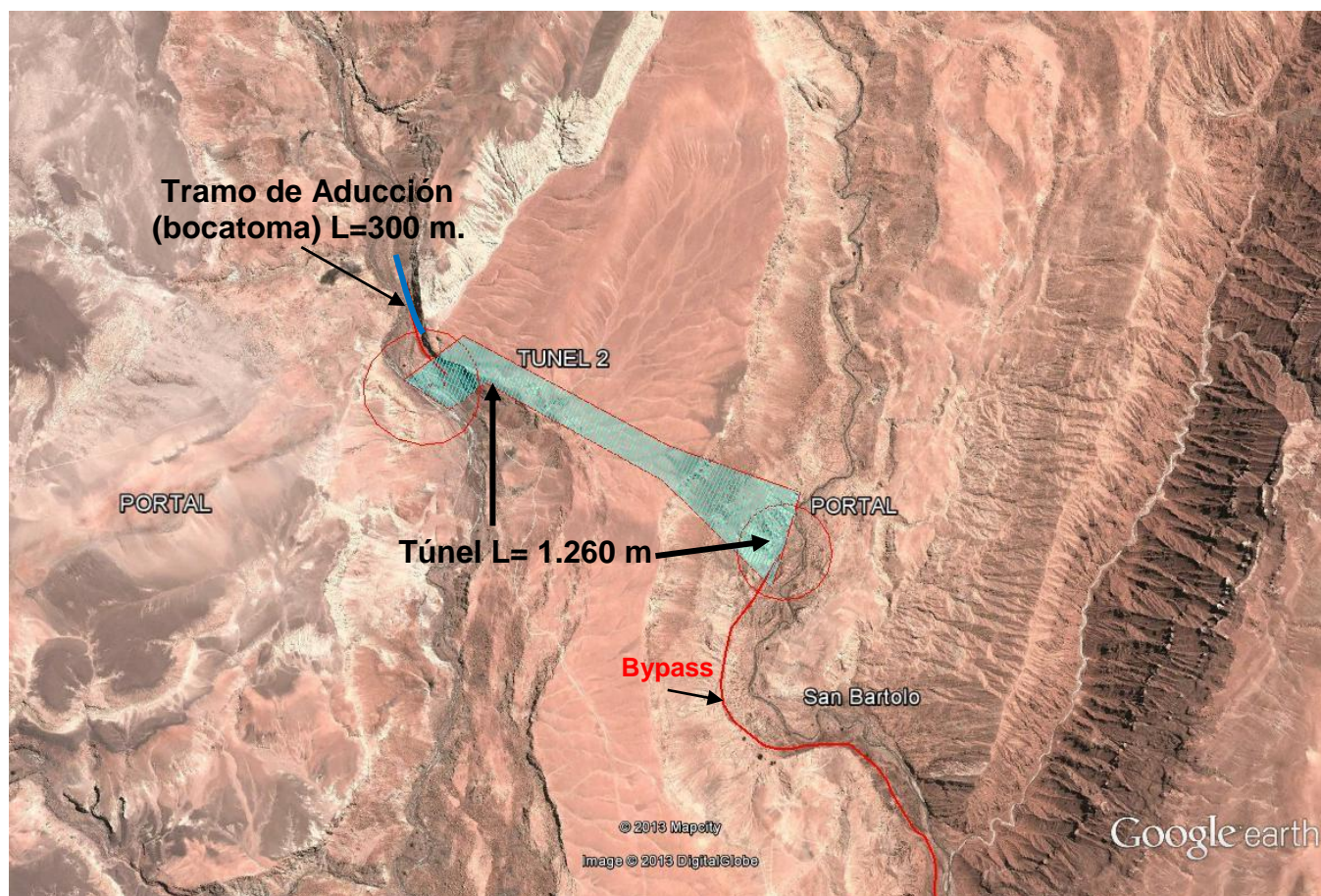
6.8. ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DEL TRASVASE DE AGUAS DESDE EL RÍO SALADO AL RÍO GRANDE (TÚNEL SAN BARTOLO)

6.8.1. Dimensiones de la Sección del Túnel y del Ducto de Conducción

6.8.1.1. Aspectos Generales

De acuerdo a lo diseñado en el Diseño Definitivo Embalse Coyil 2000, se diseñó una obra de trasvase del río Salado al río Grande. En la Figura 6.8.1-1 se observa la ubicación y características de las obras.

FIGURA 6.8.1-1
UBICACIÓN ESPACIAL TÚNEL 2 (SAN BARTOLO)



Fuente: Elaboración Propia.

6.8.1.2. Bocatoma San Bartolo en el Río Salado

La obra de toma se ubica en el río Salado aproximadamente 300 m aguas arriba del cruce del río con el camino a San Bartolo (camino cortado y abandonado actualmente). Se determinó un caudal de captación de 250 L/s y un caudal ecológico de 35 L/s. La obra consiste en una barrera frontal sobre el lecho del río de 26,2 m de largo que toma las aguas por el costado derecho y luego cruzan al costado izquierdo en tubería. La obra fue diseñada para un caudal de crecida $T=100$ de $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.8.1.3. Geología del Túnel

La información que se ha rescatado del estudio es la siguiente:

- Se procedió a la ejecución de 4 sondajes de prospección con recuperación continua de testigos. No se efectuaron otro tipo de prospecciones debido a las condiciones geológicas del sector las que indicaban que solamente este tipo de prospección era la adecuada para explorar la subsuperficie del terreno.
- Se efectuaron 3 sondajes en el sector del portal de entrada por el lado del río Salado. El cuarto sondaje se efectuó en la parte media del túnel.
- Los sondajes del sector del portal de entrada fueron efectuados para establecer las condiciones de los sedimentos que allí se encuentran y que son principalmente terrazas aluviales y un gran cono de deyección.
- El sondaje central se efectuó para establecer la potencia del manto de ignimbritas existentes sobre el sector y definir si la excavación incluiría estos materiales. Se comprobó que no se excavarán materiales ignimbriticos.
- Respecto al sector del portal de salida no se consideró necesaria la ejecución de sondajes dado que en el área aparecen muy bien expuestas las rocas de la Formación San Pedro las cuales ya habían sido reconocidas por los sondajes anteriormente señalados y por aquellos realizados en el sector del proyecto donde se habría ubicado el Embalse Coyil, en donde se efectuaron varias prospecciones en estos materiales.
- Se realizó una sectorización geotécnica del trazado del túnel.
- Condiciones que deben tener las excavaciones para los accesos al túnel.
- Comparación con otros túneles que existen en la zona.

Toda esta información será utilizada para el diseño del túnel en las alternativas que lo contemplan.

6.8.1.4. Ducto de Conducción

El túnel de trasvase posee una longitud de 1.260 m, el portal de entrada se ubica aproximadamente 300 m aguas abajo del cruce del río Salado con el camino a la localidad de San Bartolo. El tramo inicial del túnel presenta una dirección Nor-Este, que permite iniciar el trazado evitando la zona de deslizamiento allí existente. Posteriormente, mediante una curva, toma la dirección Sur-Este para salir en la zona del río Grande sobre una antigua explotación minera, actualmente abandonada. La sección transversal del túnel es del tipo arco de medio punto, con un ancho de 3,2 m y alto de 2,90 m. En la zona de entrada, como de salida, que suman una longitud aproximada de 80 m la sección excavada es de 3,8 m ancho y 3,2 m alto, con el objetivo de incorporar los correspondientes soportes.

Una de las principales condiciones impuestas al escurrimiento a través del túnel es la necesidad de evitar el contacto del agua con el terreno natural, correspondiente a la formación salina San José, caracterizada en el estudio geológico. Esto implica necesariamente **revestir** la sección mojada.

El caudal a conducir es muy pequeño en comparación con la sección disponible (definida por aspectos constructivos), de modo que se diseñó el tamaño mínimo del túnel.

El diseño de este túnel será utilizado como antecedente de este estudio, para las alternativas N° 1 y N° 4, ya que éstas contienen el diseño del túnel San Bartolo.

6.8.2. Portal de Salida del Túnel y Minicentral

El portal de salida del túnel se ubica en el borde derecho del río Grande, sobre una antigua faena minera actualmente sin uso. El bypass que continua hasta aguas abajo del retenedor de crecidas tiene una diferencia de cota de aproximadamente de 130 m, lo cual ha llevado a calcular el potencial hidroeléctrico que tendría esta conducción.

En términos generales, la potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

$$P = 9,8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H \text{ (kW)}$$

En que:

P: Potencia de generación en kW

η : Eficiencia total de los equipos (0,87)

Q: Caudal turbinado en m³/s

H: Altura neta en m.

La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. La Eficiencia del generador y la Eficiencia del transformador se obtienen de las especificaciones de los equipos. Para este caso, se adoptará los valores siguientes, que corresponden a promedios conservadores de estas eficiencias:

Eficiencia turbina = 0,9

Eficiencia del generador = 0,98

Eficiencia del transformador = 0,985

Eficiencia total de los equipos = 0,87

Como el tramo de la tubería de entrega de agua, desde la torre de toma hasta la salida en la turbina es relativamente corto, se adopta que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

La potencia eléctrica resultante depende de la alternativa que se esté analizando, ya que cada una contempla distintos caudales. Se ha determinado que la alternativa 1 y 4 son las que incluyen el túnel san Bartolo, de modo que las potencias eléctricas son las indicadas en el Cuadro 6.8.2-1

CUADRO 6.8.2-1
POTENCIA ELÉCTRICA DISPONIBLE

Alternativa	Caudal (m ³ /s)	H (m)	P (kW)
Alternativa 1	0,250	53	112
Alternativa 4	1,000	53	452

Fuente: Elaboración Propia.

Con estas potencias es factible la instalación de una pequeña minicentral que podría ser evaluada posteriormente. Sin embargo la lejanía de los nodos de interconexión limitaría el uso de esta central solamente a las localidades más cercanas, ya que el costo de línea de transmisión de energía eléctrica es sumamente caro. Por lo anterior se buscarán otras alternativas de hidrogenación más cercanas a los centros de consumo.

6.8.3. Conducción por Canal Bartolo

En el estudio de Diseño no se ha encontrado información de re-utilizar este canal para el transporte de las aguas del trasvase. No existe información sobre este canal.

En lo que respecta una posible utilización de este canal se deben tener las siguientes circunstancias:

- El trazado del canal sería muy sinuoso, ya que este tramo del río grande contiene muchas curvas, lo que trae consigo tener que proteger y/o hacer túneles para el paso del canal por medio de estas curvas.
- Se estima que el canal tendría un largo de 4 km aguas arriba de la actual bocatoma y además, aguas abajo, el canal nuevamente descarga las aguas al río Grande de modo que se tiene que proyectar un trazado para continuar el transporte de agua hasta la bocatoma del canal san Pedro.
- El canal tiene una capacidad aproximada de unos 500 L/s, la cual es suficiente para portear el caudal de la alternativa 1, sin embargo, para la alternativa 4, el canal necesariamente debe ser ampliado para poder portear los 1.100 L/s que se necesitarían en la situación futura del proyecto.
- El canal está construido alejado del río, ya que en esta zona el valle es lo bastante ancho para permitirlo y en este sitio está protegido de crecidas, sin embargo, aguas arriba de la bocatoma el valle se estrecha lo que traería consigo que el nuevo trazado del canal este en constante peligro de ser destruido por las crecidas, tal como se puede apreciar en terreno las antiguas obras de control que ahí existen. De modo que, lo más seguro es proyectar el trazado y usar tuberías ancladas en machones firmes para protegerla, alejadas del cauce del río.

- Debido a los grandes problemas que presenta la geografía del terreno y comportamiento en crecidas del río, no se considerará el uso de un canal para evaluación de alternativas que presenten este trasvase.

6.9. ESTUDIOS DE CANALIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE

Las Bases del estudio estipulan la necesidad de analizar el trazado y características de una canalización para las aguas a captar desde una de las dos alternativas planteadas para el embalse de riego en el río Grande. Lo anterior, con el fin de captar directamente desde el embalse las aguas de buena calidad para que no se contaminen en el río. No obstante, descartado un embalse de regulación para riego en la ubicación de ambas alternativas, justamente porque no podría almacenar aguas de buena calidad, este análisis debe realizarse para el río Salado, donde se ubicaría el embalse de regulación, aguas arriba de su zona salina.

Más aún, si las aguas del embalse se entregan al riego por el río Salado, será imperativa una obra que permita by pasear la zona salina del río para evitar la contaminación de las aguas de riego. Por lo tanto, el embalse de riego que se vislumbra como el más probable en el río Salado tendría dos opciones para la entrega de sus aguas: una conducción por tubería o canal hasta la zona de riego, o una entrega a un túnel de trasvase hacia el río Grande y luego conducción por él o por un canal o tubería hacia la zona de riego. En este último caso, se analizará la posibilidad de aprovechar la existencia del canal San Bartolo como parte del by pass a la zona salina del río.

6.10. ESTUDIO RED DE CANALES DE DISTRIBUCIÓN

6.10.1. Introducción

En este Acápite se estudiará la red de riego existente en San Pedro y se determinará si esta es capaz de poder transportar las aguas de riego pertenecientes a la situación con proyecto. Luego de determinar esta condición, se realizará una cubicación de ampliación de los canales para determinar el costo de estas obras.

Para poder realizar este trabajo se realizó una modelación hidráulica de los canales en HEC-RAS y se verificó, en cada estación, la altura de escurrimiento normal. En el Anexo 6-7 se puede encontrar el modelo.

Los regantes de San Pedro de Atacama se han organizado de tal forma que el riego actualmente consta de las siguientes características:

- Los regantes se han dividido en grupos de riego, del Grupo 1 al Grupo 7. Estos grupos están situados en los diferentes sectores de San Pedro.
- Cada grupo, según los estatutos fijados por ellos mismos, tiene un porcentaje del caudal total captado del río.
- Este caudal, ó el porcentaje correspondiente si el agua del río no alcanza, que tiene cada grupo, está siempre disponible en el canal, es decir, el canal siempre está siendo utilizado

para portear el caudal de los 7 grupos. Esto quiere decir que el canal matriz no se rige por turnos, solo las redes secundarias de canales de cada grupo se rige por turnos.

La identificación y de los grupos y porcentajes de derechos de cada uno es la siguiente indicada en el Cuadro 6.10.1.

CUADRO 6.10.1-1
PORCENTAJES DE APROVECHAMIENTO SAN PEDRO

GRUPO	AYLLUS PRESENTES	% APROVECHAMIENTO
1	Catarpe y Quito	14,5%
2	Checar, Condeduque y Yayes	15,4%
3	Condeduque, Larache y Solcor	16,7%
4	Coyo y Sequitor	15,2%
5	Solor	22,2%
6	Cucuter	14,7%
7	Condeduque	1,2%
TOTAL	-	99,9%

Fuente: Elaboración Propia según Estatutos DGA 1997

Estas características llevan a realizar una verificación para el caudal que se indicará más adelante y se mostrarán los resultados y conclusiones si el canal, tal como está ahora, es capaz de portear el caudal futuro en la situación con proyecto.

6.10.2. Criterios de la Modelación Hidráulica

6.10.2.1. Definición del Caudal a Transportar

Según el estudio de situación futura del proyecto, las tasas de riego son las indicadas en el Cuadro 6.10.2.1-1, para una superficie máxima de riego de 1.349,3 ha.

CUADRO 6.10.2.1-1
DEMANDA BRUTA (m³/mes) Y TASA DE RIEGO PONDERADA (m³/ha/mes)
SITUACIÓN CON PROYECTO

CULTIVO	Sup (ha)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
Maíz Choclo	179,0	0	0	0	0	0	182.917	297.642	431.519	534.790	645.936	592.600	388.385	3.073.787
Tomate Aire Libre	151,6	77.144	73.052	63.959	54.259	66.383	59.260	75.326	0	0	0	0	94.271	563.653
Zapallo Italiano	217,4	145.441	142.397	131.310	85.873	0	0	0	0	0	0	93.917	136.962	735.899
Lechuga	119,9	0	0	0	0	34.652	76.378	107.912	0	0	0	0	0	218.942
Chacra Casera	62,5	122.831	0	0	0	0	94.154	123.206	186.558	245.474	280.711	270.340	200.365	1.523.639
Otros Cultivos	91,8	55.362	80.059	62.523	44.069	47.558	0	0	0	0	69.409	76.111	88.689	523.780
Alfalfa	437,0	982.410	783.569	607.014	530.100	620.562	766.525	958.812	1.178.193	1.363.488	1.428.166	1.374.850	1.201.792	11.795.481
Vid Vinífera	125,1	0	0	0	0	0	43.918	80.579	122.119	185.181	193.939	151.273	116.614	893.622
Huerto Frutal	28,9	73.173	0	0	0	0	0	41.358	71.929	107.677	138.334	133.244	103.541	669.255
TOTAL (m³/mes)		1.456.361	1.079.077	864.806	714.300	769.155	1.223.151	1.684.835	1.990.318	2.436.609	2.756.495	2.602.235	2.330.619	19.998.060
TOTAL (L/s)	1.413,2	562	403	334	267	287	472	629	768	910	1.029	1.113	870	-

CUADRO 6.10.2.1-1
DEMANDA BRUTA (m³/mes) Y TASA DE RIEGO PONDERADA (m³/ha/mes)
SITUACIÓN CON PROYECTO

CULTIVO	Sup (ha)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
Tasa de Riego Ponderada (m ³ /ha/mes)		1.030,5	763,6	612,0	505,5	544,3	865,5	1.192,2	1.408,4	1.724,2	1.950,5	1.905,1	1.649,2	14.151,0

Fuente: Elaboración Propia.

Del Cuadro 6.10.2.1-1 se extrae que la tasa máxima de riego es para el mes de Febrero (28 días) con **1.113 L/s**. Este caudal es el caudal máximo total que se deberá captar y se dividirá de la manera indicada en el Cuadro 6.10.2.1-2

Sin embargo como los grupos de riego están dispersos en toda la zona, aguas abajo unos de otros, es posible optimizar el diseño y verificación del canal, determinando exactamente cuál sería el caudal a portear dependiendo de los sectores de riego. Dicho esto, en el Cuadro 6.10.2.1-3 se muestra el primer tramo del canal, desde su bocatoma hasta el marco partidor Mamani.

Una vez que las aguas llegan al marco partidor Mamani estas se distribuyen de la siguiente forma, indicada en el Cuadro 6.10.2.1-4.

Cabe destacar que el Grupo 1 de riego no tiene un canal unificado, sino que varios canales, los cuales captan agua directamente del río, de modo que cada uno de sus canales capta su porcentaje de agua correspondiente y se lo reparten entre turnos. De este modo cada canal se debe verificar para la capacidad máxima de porteo de $Q = 162 \text{ L/s}$.

CUADRO 6.10.2.1-2
CAUDALES CAPTADOS POR GRUPO, SITUACION FUTURA

GRUPO	CAUDAL (L/s)
GRUPO 1	162
GRUPO 2	172
GRUPO 3	186
GRUPO 4	170
GRUPO 5	248
GRUPO 6	164
GRUPO 7	14

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.10.2.1-3
CAUDALES CANAL SAN PEDRO
HASTA MARCO PARTIDOR MAMANI

Canal San Pedro	Grupos Riego	Q (L/s)
Sector Catarpe, aguas arriba del canal San	Grupo 1	162

Pedro		
Desde bocatoma hasta marco partidor Mamani	Grupo 2	172
	Grupo 4	170
	Grupo 6	164
	Grupo 3	186
	Grupo 5	248
	Grupo 7	14
Total		954

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.10.2.1-4 CAUDALES AGUAS ABAJO MARCO PARTIDOR MAMANI

Hacia Derecha Tramo 2 (canal Coyo)		Izquierda Tramo 3 (canal Solor)	
Grupos Riego	Q (L/s)	Grupos Riego	Q (L/s)
Grupo 2	172	Grupo 6	164
Grupo 4	170	Grupo 3	186
		Grupo 5	248
Total	342	Total	598

Fuente: Elaboración Propia.

En resumen, los caudales futuros a los cuales fueron sometidos los canales se muestran en el Cuadro 6.10.2.1-5.

CUADRO 6.10.2.1-5 RESUMEN DE CAUDALES PARA MODELACION HIDRÁULICA

Canal	Q Actual (L/s)	Q Futuro (L/s)
Cuchabrachi	109	162
Patilla	109	162
Catarpe	109	162
Bellavista	109	162
San Pedro	641	954
Coyo	229	342
Solor	402	598

Existe una extracción del caudal del canal San Pedro por 14 L/s, correspondiente al Grupo 7, la cual se encuentra unos 2 km aguas arriba del marco partidor Mamani. Es por esto que la diferencia entre el caudal del canal San Pedro con el Coyo y Solor son 14 L/s.

Fuente: Elaboración Propia.

6.10.2.2. Rugosidad de Manning

Para determinar la rugosidad de los canales se utilizará el método de Cowan para canales abiertos. Como algunos canales tienen tramos distintos se calculará para cada uno de los tramos la rugosidad. Cowan desarrolló un procedimiento para la evaluación de n . Según este procedimiento el valor de n puede ser calculado por la ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot n_5$$

En donde:

n_0 : valor básico de n para un canal recto y uniforme de un material dado.

n_1 : se determina para corregir el efecto por irregularidades de la superficie.

n_2 : se considera las variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal.

n_3 : se considera el efecto de obstrucción ó obstáculos al flujo.

n_4 : factor de efecto de la vegetación.

n_5 : depende de la sinuosidad longitudinal del canal.

En el Cuadro 6.10.2.2-1 se muestran los valores para determinar Cowan y en el Cuadro 6.10.2.2-2 se muestran los valores determinados para el cálculo.

CUADRO 6.10.2.2-1
VALORES PARA DETERMINAR COWAN

Condiciones del canal			valores
material	hormigón	n0	0,015
	tierra		0,020
	roca		0,025
	grava fina		0,024
	grava gruesa		0,028
grado de irregularidad	ligero	n1	0,000
	menor		0,005
	moderado		0,010
	severo		0,020
variaciones en la sección transversal	gradual	n2	0,000
	ocasional		0,005
	frecuente		0,010 - 0,015
efecto relativo de los obstáculos	despreciable	n3	0,000
	menor		0,010 - 0,015
	apreciable		0,020 - 0,030
	severo		0,040 - 0,060
vegetación	baja	n4	0,005 - 0,010
	media		0,010 - 0,025
	alta		0,025 - 0,050
	muy alta		0,050 - 0,100
grado de sinuosidad	menor	n5	1,000

**CUADRO 6.10.2.2-1
VALORES PARA DETERMINAR COWAN**

Condiciones del canal		valores
	apreciable	1,150
	severo	1,300

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 6.10.2.2-2
VALORES DE RUGOSIDAD DETERMINADOS**

Canal	Material	n0	n1	n2	n3	n4	n5	n
Cuchabrachi	tramo hormigón	0,015	0,005	0,000	0,000	0,005	1,000	0,025
	tramo en tierra	0,020	0,020	0,015	0,010	0,005	1,000	0,070
Patilla	tramo hormigón	0,015	0,000	0,000	0,000	0,005	1,000	0,020
Catarpe	tramo hormigón	0,015	0,010	0,005	0,000	0,005	1,000	0,035
Canal Bellavista	tramo revestido	0,015	0,000	0,000	0,000	0,005	1,000	0,020
Canal San Pedro	tramo hormigón	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,015
	tramo mampostería	0,025	0,005	0,000	0,000	0,005	1,000	0,035
Canal Coyo	tramo mampostería	0,025	0,005	0,000	0,000	0,005	1,000	0,035
Canal Solor	tramo mampostería	0,025	0,005	0,000	0,000	0,005	1,000	0,035

Fuente: Elaboración Propia.

6.10.2.3. Condiciones de Borde

Se ha utilizado la altura normal aguas arriba y aguas abajo de los canales como condición de borde, utilizando la pendiente obtenida de la topografía de los canales.

6.10.2.4. Procedimiento de Modelación

Se utilizarán los criterios anteriores para realizar la modelación HEC-RAS de cada uno de los canales del grupo 1, el canal San Pedro, canal Coyo y canal Solor, y de este modelo se determinará si el canal es capaz de transportar el caudal futuro ó si se deberá aumentar la capacidad. El modelo HEC-RAS para cada canal se encuentra en el Anexo 6-7.

6.10.3. Resultados

6.10.3.1. Aspectos Generales

Los resultados que se entregan a continuación corresponden a un diagnóstico de la capacidad de cada canal para la situación futura, los cuales serán utilizados para determinar costos de mejoramientos y así evaluarlos económicamente.

6.10.3.2. Canal Cuchabrachi

El canal Cuchabrachi nace en la antigua bocatoma del canal matriz San Pedro por la ribera derecha del río. El primer trayecto, hasta el Km 0,400 del canal se encuentra en buenas condiciones ya que es un canal completamente revestido y bien construido. Se verifica que la sección es capaz de portear el caudal futuro. Sin embargo, una vez que termina la sección revestida, el canal cambia a sección irregular y en tierra y desde este tramo hacia adelante el canal arroja muy malos resultados ya que se observan desbordes en casi toda su longitud. Se ve la necesidad de rehacer el canal, usar el mismo trazado, se recomienda revestir y mantener la sección transversal que tiene al principio en la bocatoma. En caso de no contemplar el revestimiento se debe ampliar la sección transversal.

6.10.3.3. Canal Patilla

El canal Patilla nace en la ribera izquierda del río, al frente de la antigua bocatoma del canal Matriz San Pedro. Es un canal revestido completamente en buenas condiciones, de sección rectangular en la mayor parte de su recorrido y construido con hormigón armado. Se ha realizado la verificación para el caudal de captación futura $Q=162$ L/s y se ha observado que el canal es lo suficientemente amplio para transportarlo sin mayores problemas, a excepción de algunos tramos en los cuales se producen desbordes, ya que la sección presenta irregularidades y también debido a que la pendiente longitudinal es muy baja, por lo tanto la altura del agua aumenta. Se han identificado los kilómetros indicados en el Cuadro 6.10.3.3-1.

CUADRO 6.10.3.3-1
PROBLEMAS DETECTADOS CANAL PATILLA

Tramo	Metraje (m)	Observaciones
Perfil transversal N° 120; Km 0,370	10	Existe un desborde del canal al costado izquierdo, se debe a la irregularidad de la sección transversal.
Perfil transversal N° 110; Km 0,510	10	Desborde costado derecho, causado por la baja pendiente del canal, se debe aumentar la sección del canal para que pueda mantener el caudal en el cauce.
Perfil transversal N° 83; Km 0,750	10	Desborde costado izquierdo, se debe aumentar la sección transversal. En este tramo el canal presenta una sección trapezoidal, construida con mampostería.
Perfil transversal N° 67; Km 0,870	10	Desborde ambos costados, se debe aumentar sección transversal.
Perfil transversal N° 54; Km 1,160	10	Desborde del canal costado izquierdo, se debe aumentar la sección transversal.
TOTAL	50	Se deben realizar 50 m de ampliación del canal para transportar el caudal futuro $Q = 162$ L/s

Fuente: Elaboración Propia.

6.10.3.4. Canal Catarpe

El canal Catarpe es la continuación del canal Patilla, es un canal construido en hormigón armado, pero está en malas condiciones, presenta variadas irregularidades en su sección transversal. La modelación hidráulica ha arrojado que el canal no es capaz de transportar el caudal futuro, de modo que este canal deberá ser ampliado completamente para poder ser utilizado en la situación con proyecto.

6.10.3.5. Canal Bellavista

El canal Bellavista es un canal construido con hormigón armado de buena sección transversal. El cálculo hidráulico ha arrojado que el canal es lo suficientemente amplio para transportar el caudal futuro.

6.10.3.6. Canal San Pedro

El canal San Pedro es el canal matriz que riega la mayoría de los predios de la zona, es un canal construido al principio con hormigón armado, y luego en mampostería de piedra. En general el canal está en buenas condiciones, pero no es apto para poder transportar el caudal de riego futuro, ya que el cálculo hidráulico ha arrojado que el canal se desborda en varios lugares y en tramos largos. Los tramos que requerirían mejoras y agrandamientos de la capacidad del canal se muestran en el Cuadro 6.10.3.6-1

CUADRO 6.10.3.6-1
PROBLEMAS DETECTADOS CANAL SAN PEDRO

Tramo	Metraje (m)	Observaciones
Perfil transversal 133 al 92; Km 0,420 al 1,980	1.560	El canal no es capaz de transportar el caudal futuro, se producen desbordes en casi toda la longitud de este tramo, de hecho, actualmente ya existen problemas de capacidad en este parte del canal cuando caen aguas de crecidas en quebradas laterales provocando grandes problemas de desbordes. El canal debe ser ampliado completamente en este tramo para poder transportar el caudal.
Perfil transversal 72 al 59; Km 3,180 al 3,600	420	Al igual que en el tramo anterior el canal no es capaz de transportar el caudal futuro, incluso no es capaz de transportar el caudal que actualmente escurre, ya que con las más pequeñas lluvias el canal desborda inmediatamente. Se debe ampliar la sección del canal.
Perfil transversal 57 al 44; Km 3,630 al 4,040	410	El canal no es capaz de transportar el caudal, debido a la pendiente longitudinal baja de la zona. Se debe ampliar la capacidad del canal.
Perfil transversal 25 al 16; Km 4,670 al 5,100	430	Pendiente longitudinal de la zona baja, se debe ampliar la capacidad del canal.
Perfil 8 al 2; Km 5,250 al 5,640	390	Capacidad del canal no alcanza para transportar el caudal, se debe ampliar la capacidad.
TOTAL	3210	Se deben realizar 3.210 m de ampliación del canal para poder transportar el caudal futuro Q = 954 L/s

Fuente: Elaboración Propia.

6.10.3.7. Canal Coyo

El canal Coyo es la continuación del canal San Pedro, aguas abajo del marco partidior Mamani, hacia el costado derecho del canal. Este canal riega los sectores de Checar, Condeduque, Yaye, Coyo y Sequitor.

La modelación hidráulica ha arrojado que el canal tiene muchos tramos en los que debe ser ampliado, ya que la baja pendiente del terreno causa muchos desbordes. Los tramos identificados son los indicados en el Cuadro 6.10.3.7-1

**CUADRO 6.10.3.7-1
PROBLEMAS DETECTADOS CANAL COYO**

Tramo	Metraje (m)	Observaciones
Perfil transversal 107 al 105; km 0,750 al 0,780	30	El canal alcanza su capacidad máxima, no se producirían desbordes pero de igual modo debería considerarse ampliar el canal en este tramo.
Perfil transversal 100; km	10	Canal alcanza su capacidad máxima. Sin desbordes.
Perfil transversal 93; km 0,870	10	Desborde de canal, se debe ampliar la capacidad.
Perfil transversal 87; km 1,280	10	Canal en su capacidad máxima. Sin desbordes.
Perfil transversal 64; Km 1,900	10	Canal alcanza su capacidad máxima. Sin desbordes.
Perfil transversal 51; Km 2,330	10	Desborde de canal, producido por la baja pendiente, se debe ampliar la capacidad del canal.
Perfil transversal 47; Km 2,560	10	Canal en su capacidad máxima, sin desbordes. Se debe ampliar la capacidad.
Perfil transversal 45 al 32; Km 2,630 al 2,900	270	El canal presenta desbordes en la mayoría de este tramo, así como también llega a su capacidad máxima. El canal deberá ampliarse para poder transportar el caudal de riego futuro.
Perfil transversal 27; Km 3,140	10	Desborde de canal. Se debe ampliar la capacidad del canal.
Perfil transversal 24 al 18; Km 3,280 al 3,390	110	Desbordes de canal en todo el tramo, se debe ampliar la capacidad del canal.
Perfil transversal 12 al 1; Km	10	Desbordes de canal y capacidad máxima, se deberá ampliar el canal en todo este tramo.
TOTAL	490	Se deben realizar 490 m de ampliación del canal para poder transportar el caudal futuro Q = 342 L/s

Fuente: Elaboración Propia.

6.10.3.8. Canal Solor

El canal Solor es la continuación del canal San Pedro, aguas abajo del marco partidior Mamani, hacia el costado izquierdo del canal. Este canal riega los sectores de Cúcuter, Condeduque, Larache, Solcor y Solor. El cálculo hidráulico ha arrojado que el canal requiere de muchos tramos que sean ampliados, ya que no es capaz de contener el caudal, debido a la baja pendiente longitudinal. Los tramos en los cuales se han encontrado problemas se indican en el Cuadro 6.10.3.7-1.

**CUADRO 6.10.3.8-1
PROBLEMAS DETECTADOS CANAL SOLOR**

Tramo	Metraje (m)	Observaciones
Perfil transversal 116 al 112; Km 0,00 al 0,100	100	Desborde y capacidad máxima del canal. Se debe ampliar para poder transportar el caudal de riego futuro.
Perfil transversal 107 al 97; Km 0,240 al 0,460	220	Desborde y capacidad máxima del canal. Se debe ampliar para poder transportar el caudal de riego futuro.
Perfil transversal 95 al 93; Km 0,540 al 0,550	10	Desborde completo del canal debido a la baja pendiente longitudinal del canal, se debe ampliar la capacidad.
Perfil transversal 77; Km 1,290	10	Desborde de canal, se debe mejorar la sección y ampliarla.
Perfil transversal 72 al 70; Km 1,560 al 1,580	20	Desbordes. Se debe ampliar la sección del canal.
Perfil transversal 68 al 49; Km 1,660 al 2,850	1190	Desbordes y capacidad máxima del canal, se debe ampliar la capacidad de este tramo para el caudal futuro.
Perfil transversal 46 al 1; Km 3,150 al 6,600	3450	El canal se desborda completamente en este tramo, debido a la baja pendiente longitudinal, se debe ampliar la sección del canal para la situación futura.
TOTAL	5000	Se deben realizar 5.000 m de ampliación del canal para poder transportar el caudal futuro Q = 598 L/s

Fuente: Elaboración Propia.

6.11. ESTUDIO HIDRÁULICO DEL CAUCE DE LOS RIOS GRANDE y SAN PEDRO PARA CONTROL DE CRECIDAS (situación sin embalse)

6.11.1. Introducción

La siguiente actividad a realizar, es el desarrollo del estudio hidráulico de los ríos San Pedro y Grande, este último su principal afluente hasta su llegada a la zona de captación de las bocatomas de los canales de riego, con el fin de determinar los niveles de aguas que alcanzan estos cauces en la zona de estudio tanto durante los escurrimientos normales como en los eventos de crecidas de distintos períodos de retorno.

Este análisis considera determinar las características relevantes de tales escurrimientos, identificando los sectores críticos de estos cauces y sus alternativas de solución ó de mejoramiento. Si el embalse de cabecera, no es la solución seleccionada para el valle, o este no es capaz de cumplir la función de controlador de crecidas, se planteará una alternativa para el control de las crecidas en la zona. Este cálculo se efectuará en base al modelo HEC-RAS, 4.0, operado en régimen permanente.

El modelo se encuentra en el Anexo 6-8 de este informe.

6.11.2. Simulación del Eje Hidráulico

Antes de poder realizar el eje hidráulico es necesario tener la siguiente información:

- Perfiles transversales de la caja del río
- Condiciones de borde
- Estimación rugosidad de manning en el lecho del río
- Caudales para diferentes períodos de retorno (5, 20, 50, 100 y 200 años)

A partir de la topografía realizada, se tienen los siguientes perfiles transversales de la caja del río, mostrados en el Cuadro 6.11.2-1 y en las Figuras 6.11.2-1 a 6.11-3.

CUADRO 6.10.3.8-1
PERFILES TRANSVERSALES TOTALES

Río	Perfiles	Distancia entre perfiles (m)
Río Grande	210	50 y 100 m
Río San Pedro	160	100 m
Total	370	-

Fuente: Elaboración Propia.

Se ha supuesto que, para cada tramo de río analizado, las secciones del cauce no tienen variaciones significativas, que produzcan escurrimientos diferentes al normal, por lo que se determina la altura normal sobre la base de las pendientes en el inicio y fin de cada tramo, y de las rugosidades determinadas.

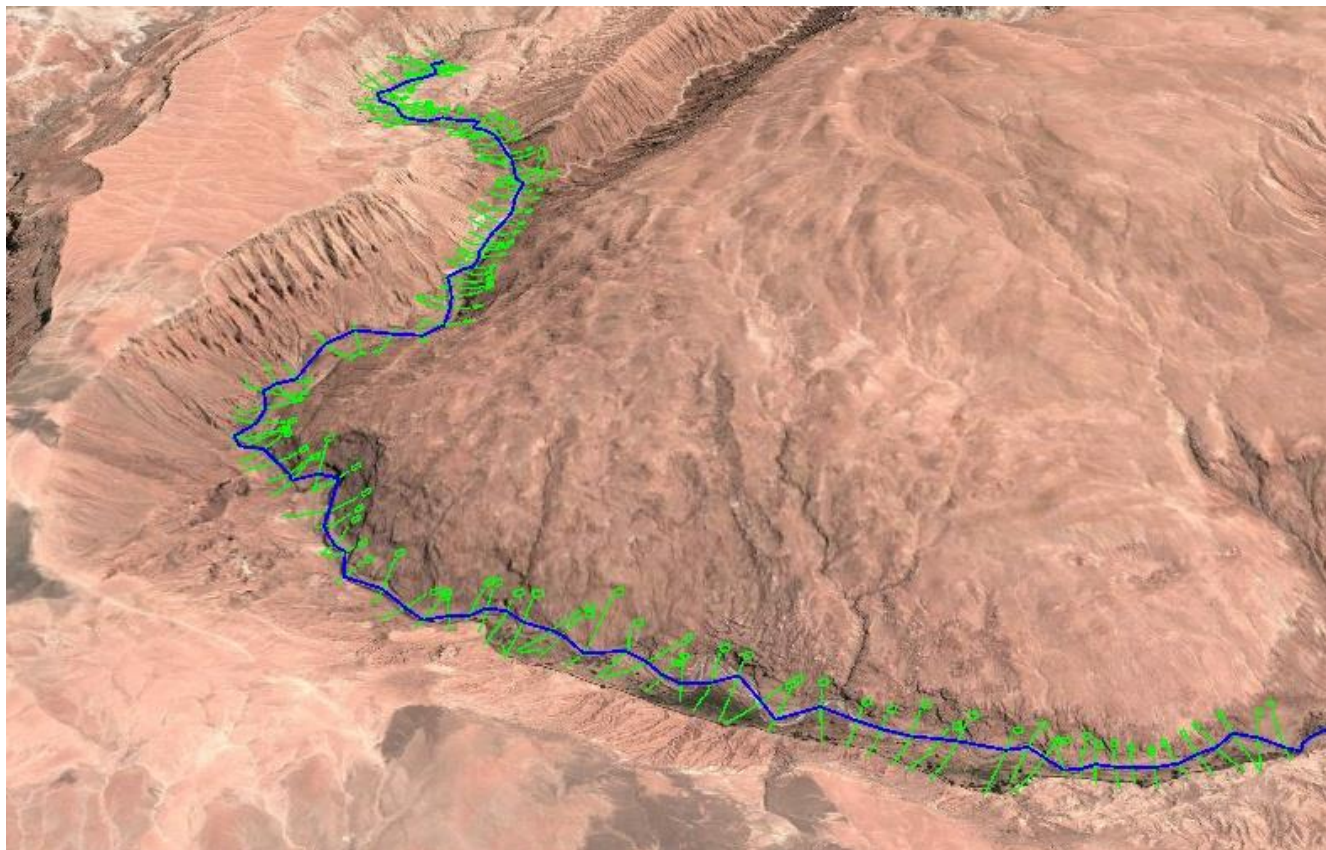
Las pendientes consideradas para cada uno de los ríos son las indicadas en el Cuadro 6.11.2-2.

CUADRO 6.11.2-2
CONDICIONES DE BORDE PARA EL CÁLCULO

Río	Pendiente (m/m)	
	aguas arriba	aguas abajo
Río Grande Tramo 1	0,0302	0,01174
Río Grande Tramo 2	0,0398	0,0166
Río San Pedro	0,0109	0,005

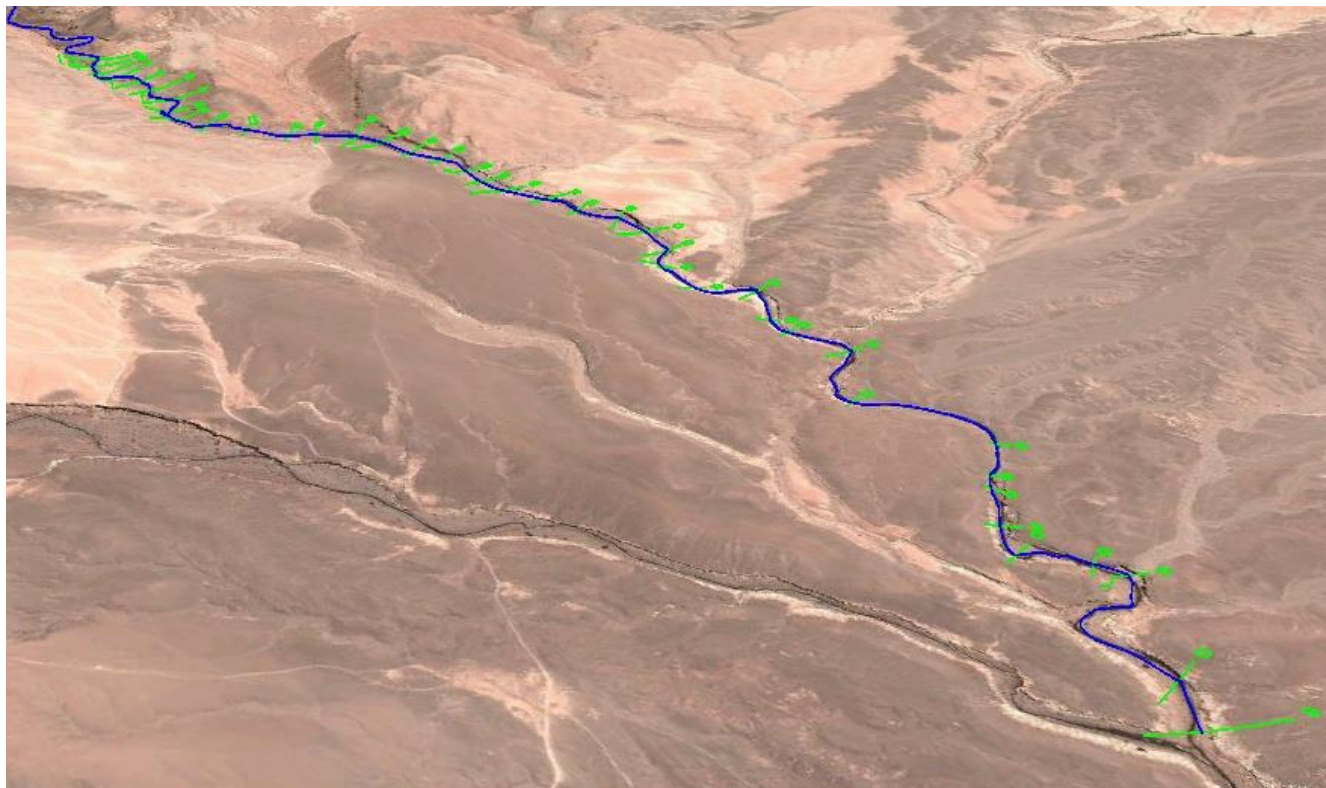
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.10.3.8-1
PERFILES TRANSVERSALES RÍO GRANDE TRAMO 1
(AGUAS ARRIBA SAN BARTOLO)



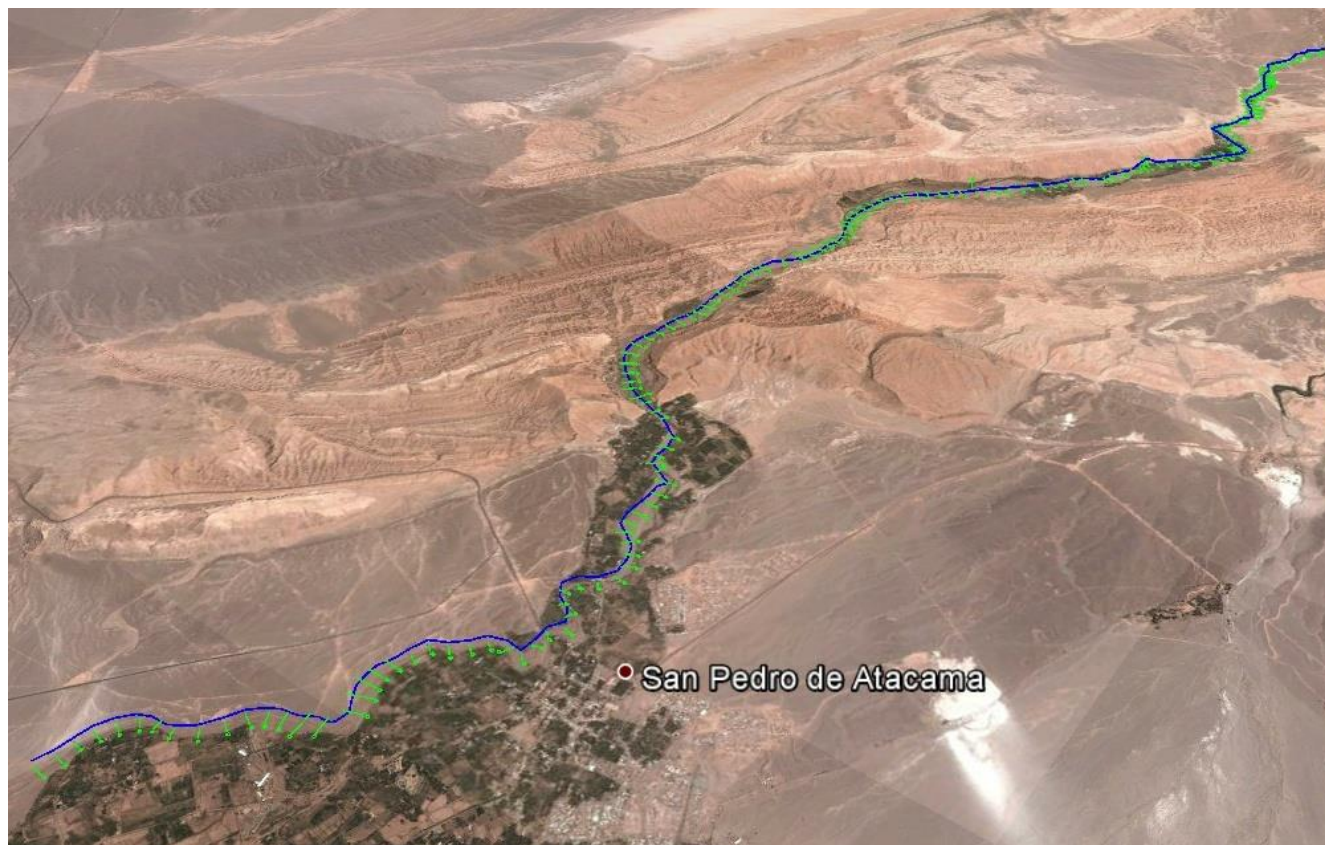
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

FIGURA 6.11.2-6.10.3.8-2
PERFILES TRANSVERSALES RÍO GRANDE TRAMO 2
(AGUAS ABAJO SAN BARTOLO)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

FIGURA 6.10.3.8-3
PERFILES TRANSVERSALES RÍO SAN PEDRO



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Sobre la base de la experiencia de este consultor y de la tradicionalmente utilización en los ríos de Chile, se ha optado por determinar el coeficiente de rugosidad con el método de Cowan, según se presentó anteriormente en el Acápite 6.10.2.2. Con esta metodología se determinaron los parámetros mostrados en el Cuadro 6.11.2-3.

CUADRO 6.11.2-36.10.3.8-2
VALORES PARA DETERMINAR COWAN

Cowan	n0	n1	n2	n3	n4	n5	n
Río Grande T1	0,028	0,01	0,005	0,000	0,005	1,15	0,0552
Río Grande T2	0,028	0,005	0,01	0,000	0,005	1,15	0,0552
Río San Pedro	0,024	0	0	0,000	0,01	1	0,034

Fuente: Elaboración Propia.

Los caudales utilizados en esta simulación se obtienen del estudio hidrológico y se resumen en el Cuadro 6.11.2-4.

CUADRO 6.11.2-4

CAUDALES DETERMINADOS PARA LA MODELACION HIDRÁULICA

Cauce	Caudal (m ³ /s)						
	Régimen Normal	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	T = 200 años	T = 1000 años
Río Grande	0.4	17	59	110	167	244	534
Río San Pedro	0.7	23	79	146	221	323	706

Fuente: Elaboración Propia.

6.11.3. Resultados

Los resultados son presentados en los planos siguientes:

- ETH-SPA-01 Área de Inundación Río Grande y Río San Pedro Lámina 1
- ETH-SPA-02 Área de Inundación Río Grande y Río San Pedro Lámina 2
- ETH-SPA-03 Área de Inundación Río Grande y Río San Pedro Lámina 3
- ETH-SPA-04 Área de Inundación Río Grande y Río San Pedro Lámina 4
- ETH-SPA-05 Área de Inundación Río Grande y Río San Pedro Lámina 5

Con estos resultados se diagnosticarán los problemas de desborde e inundaciones, identificando los sectores críticos del río y sus alternativas de solución. Además, en el Acápite 6.14 de este Informe se realizará la evaluación de daños provocados por crecidas aluvionales en donde se creará una curva de evaluación Costo - Daño.

6.12. ESTUDIO EFECTO REGULADOR DE LOS EMBALSES

6.12.1. Introducción

El objetivo de este Acápite es determinar el efecto de los embalses aguas abajo de los cauces. Esto se traduce en determinar el efecto regulador que tienen los embalses por sobre los caudales peak y volumen de las crecidas. El efecto regulador del muro regulador de crecidas será analizado con más profundidad ya que sutiles cambios ó modificaciones en su diseño afectan de manera considerable en el efecto regulador.

Además se analizará la caja del río San Pedro para determinar cuál es el caudal máximo que podría soportar sin desbordarse, ó lo que se traduciría a daño cero. Luego de determinar este caudal, se procederá a determinar cómo sería el comportamiento de la caja para distintos caudales y determinar qué tipo de obras serían necesarias para poder controlar dichos caudales. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo 6-9.

6.12.2. Metodología del Efecto Regulador de un Embalse

6.12.2.1. Objetivo

El objetivo de esta metodología es evaluar el efecto regulador de crecidas de los embalses.

6.12.2.2. Consideraciones Generales

Como consideraciones generales de los efectos reguladores en embalses se puede mencionar los siguientes aspectos (Stowhas, Seminario Embalses 2010):

- Los embalses no agravan el impacto de las crecidas naturales.
- Los embalses con vertederos no controlados, siempre mitigarán la magnitud de los caudales máximos de crecidas, y eventualmente también su volumen.
- Los embalses con vertederos controlados por compuertas siguen leyes de operación que, salvo errores garrafales, de los cuales afortunadamente no existen antecedentes históricos, también mitigarán la magnitud de los caudales máximos y de los volúmenes de crecidas, o en el peor caso, resultarán neutros.
- La intervención de reservorios naturales si puede agravar el impacto de las crecidas naturales.

6.12.2.3. Procedimiento de Cálculo

Las ecuaciones para simular el paso de una crecida por un embalse con vertedero libre o sin control son las siguientes:

$$(1) Q_{EF} = m \cdot L \cdot h \sqrt{2 \cdot g \cdot h}; \quad g, m, l \text{ son constantes}$$

$$(2) Vol_{final}(t) = Vol_{inicial}(t) + Q_{AF}(t) \cdot \Delta t - Q_{EF}(t) \cdot \Delta t$$

$$(3) h = f(Vol); \quad \text{curva de embalse}$$

La ecuación (1) representa el caudal de salida del vertedero, en donde:

Donde:

Q_{EF} : caudal de salida [m^3/s]

L : ancho del vertedero [m]

h : altura de agua del embalse sobre la cota del vertedero [m]

m : coeficiente de gasto

El coeficiente de gasto “ m ” para los vertederos tipo Ogee varia con la carga relativa $h/H_d = \lambda$, donde H_d corresponde a la altura de escurrimiento de diseño. Según Capítulo de Diseño de Obras (Mery, 2007), los antecedentes experimentales permiten establecer la siguiente ecuación para el coeficiente de gasto:

$$m = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} * \left(1 + \frac{4\lambda}{9 + 5\lambda}\right)$$

La ecuación (2) representa el volumen del embalse en el tiempo “ t ” en donde:

$Q_{AF}(t)$: hidrograma de crecidas

$$\Delta t = 1 \cdot \text{hora} = 3.600 \cdot s$$

La ecuación (3) representa la altura del embalse en relación con el volumen almacenado determinada más adelante.

Como estas ecuaciones no son lineales, se debe usar un método iterativo para poder resolverlos. El procedimiento es el explicado a continuación.

6.12.2.4. Método de Balance

Se realizó un balance según la expresión de Goodrich para rastreo de crecida en embalses sin compuertas, que se define a continuación:

$$\frac{2 \cdot S_{i+1}}{\Delta t} + Q_{i+1} = I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i \right)$$

Donde:

I_i = Caudal de Ingreso en el tiempo i [m^3/s]

I_{i+1} = Caudal de Ingreso en el tiempo $i + 1$ [m^3/s]

S_i = Volumen de almacenamiento en el tiempo i [m^3]

S_{i+1} = Volumen de almacenamiento en el tiempo $i + 1$ [m^3]

Q_i = Ingreso Entrada en el tiempo i [m^3/s]

Q_{i+1} = Ingreso Entrada en el tiempo $i + 1$ [m^3/s]

a) Cálculo de Función Almacenamiento-Caudal de Salida

Para generar la función almacenamiento-caudal lo primero que se debe hacer es calcular la diferencia entre la cota del embalse y la cota del vertedero hasta el valor máximo, es decir el coronamiento.

Con esa diferencia de cotas, que representa la altura de agua del embalse por sobre el nivel del vertedero se calcula el caudal de salida usando la ecuación (1), para cada una de ellas.

Luego se procede a calcular el valor de:

$$\frac{2 \cdot S}{\Delta t} + Q$$

en donde "S" es el almacenamiento del embalse, obtenido de las curvas de embalse, " Δt " el intervalo de tiempo considerado y "Q" el caudal de salida del vertedero.

b) Cálculo del Caudal de Salida del Embalse

El volumen en el tiempo " $i = 1$ " corresponde a la diferencia entre el volumen máximo a nivel del vertedero y el volumen de regulación disponible. Para este análisis se ha considerado el caso más desfavorable que es cuando el volumen de regulación es cero, es decir, el embalse está completamente lleno.

Para calcular el caudal evacuado " Q_{i+1} " por el vertedero se necesita la altura de agua en el tiempo " i ", la cual se calcula como sigue a continuación.

La altura de agua sobre el vertedero se calcula interpolando, dando como conocido "x" el valor del resultado de " $I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i \right)$ " en la función almacenamiento-caudal obtenida anteriormente.

Con el valor de la altura se calcula el caudal de salida con la ecuación (1)

El volumen en el tiempo " $i = i + 1$ " se determina usando la expresión:

$$S_{i+1} = \left(I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i \right) - Q_{i+1} \right) * \frac{\Delta t}{2}$$

6.12.3. Resultados Efecto Regulador Embalse Río Grande

En el Cuadro 6.12.3.1-1 se muestran las principales características del embalse propuesto en el Sitio 1.

CUADRO 6.12.2.4-1

CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO Y CAPACIDAD DE EMBALSE

Parámetro	Unidad	Valor	
		Sitio 1	Sitio 2
Coefficiente Gasto m	-	0,45	0,45
Longitud Vertedero L	m	45	45
Cota Vertedero	msnm	2.657,5	2.626,75
Cota Coronamiento	msnm	2.660,0	2.624,75
Cota Fondo	msnm	2.619,6	2.603,74
H Vertedero	m	38	23
H Fondo	m	0	0
Vol. Vertedero	hm ³	10,2	1,3
Vol. Max	hm ³	14,7	0,5
Vol. Regulación	hm ³	10,2	0,5

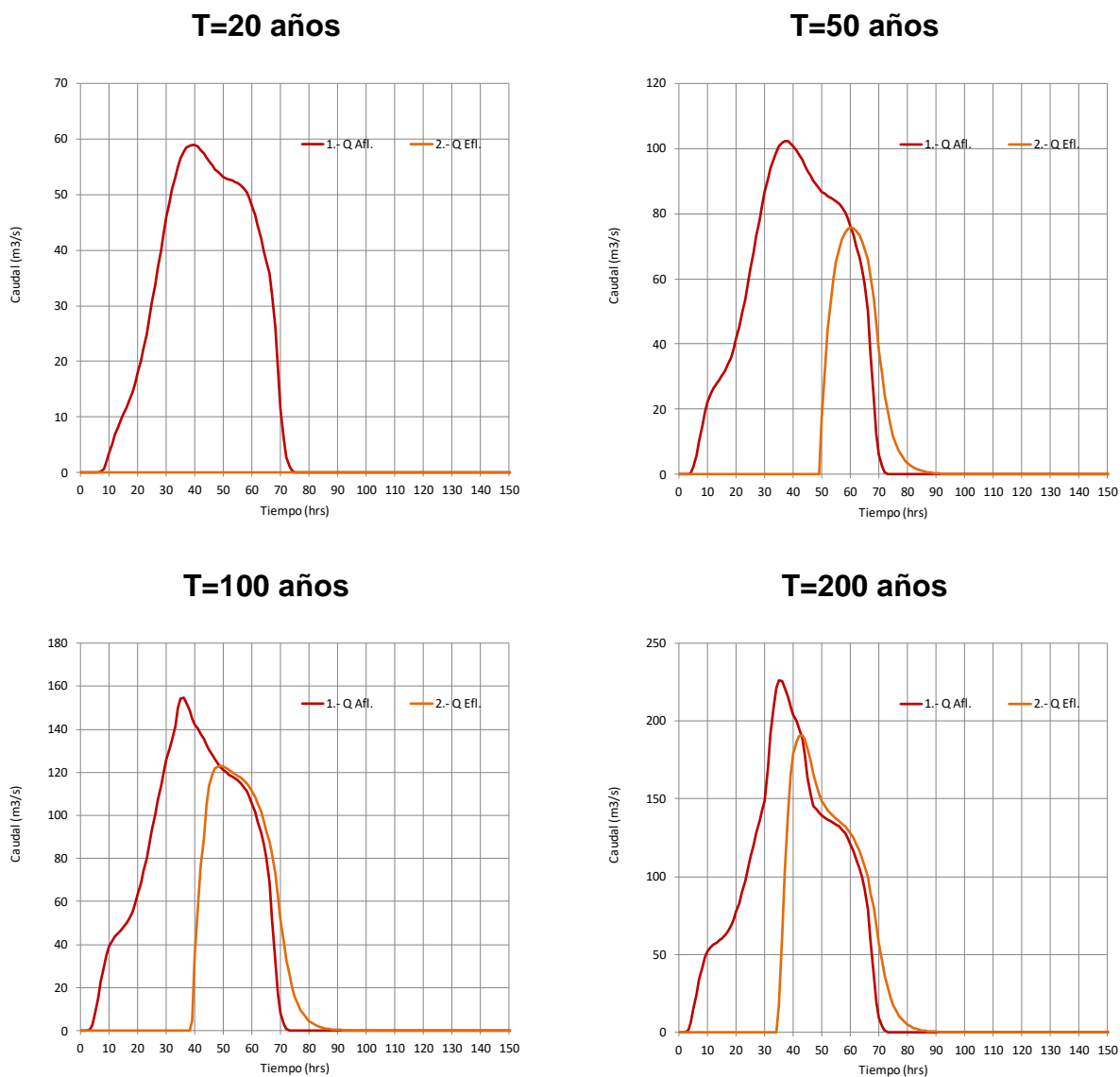
Fuente: Elaboración Propia.

En caso de una altura pequeña de caudal vertido el coeficiente de gasto toma su valor mínimo, $m = 0,385$. En caso que la altura del caudal vertido sea igual a la altura de diseño el coeficiente de gasto toma el máximo valor, $m = 0,495$. Para efectos de esta evaluación se considera que no se encuentra en óptimas condiciones y que no permite alcanzar la altura máxima de diseño, por lo que se considera apropiado un coeficiente de descarga de 0,450.

En la Figuras 6.12.3-1 y 6.12.3-2 se muestra el efecto regulador de cada una de las crecidas asociadas al período de retorno indicado para los sitios 1 y 2, respectivamente. El resumen de los caudales peak se muestra en el Cuadro 6.12.3.2-1.

Se puede apreciar que para periodos de retorno menores a 20 años, el muro controlador de crecidas del Sitio 1 es capaz de absorber absolutamente toda la crecida. Por otra parte, en el sitio 2 prácticamente no hay control de la crecida.

FIGURAS 6.12.3-1 EFECTO REGULADOR DEL EMBALSE SITIO 1



Fuente: Elaboración Propia.

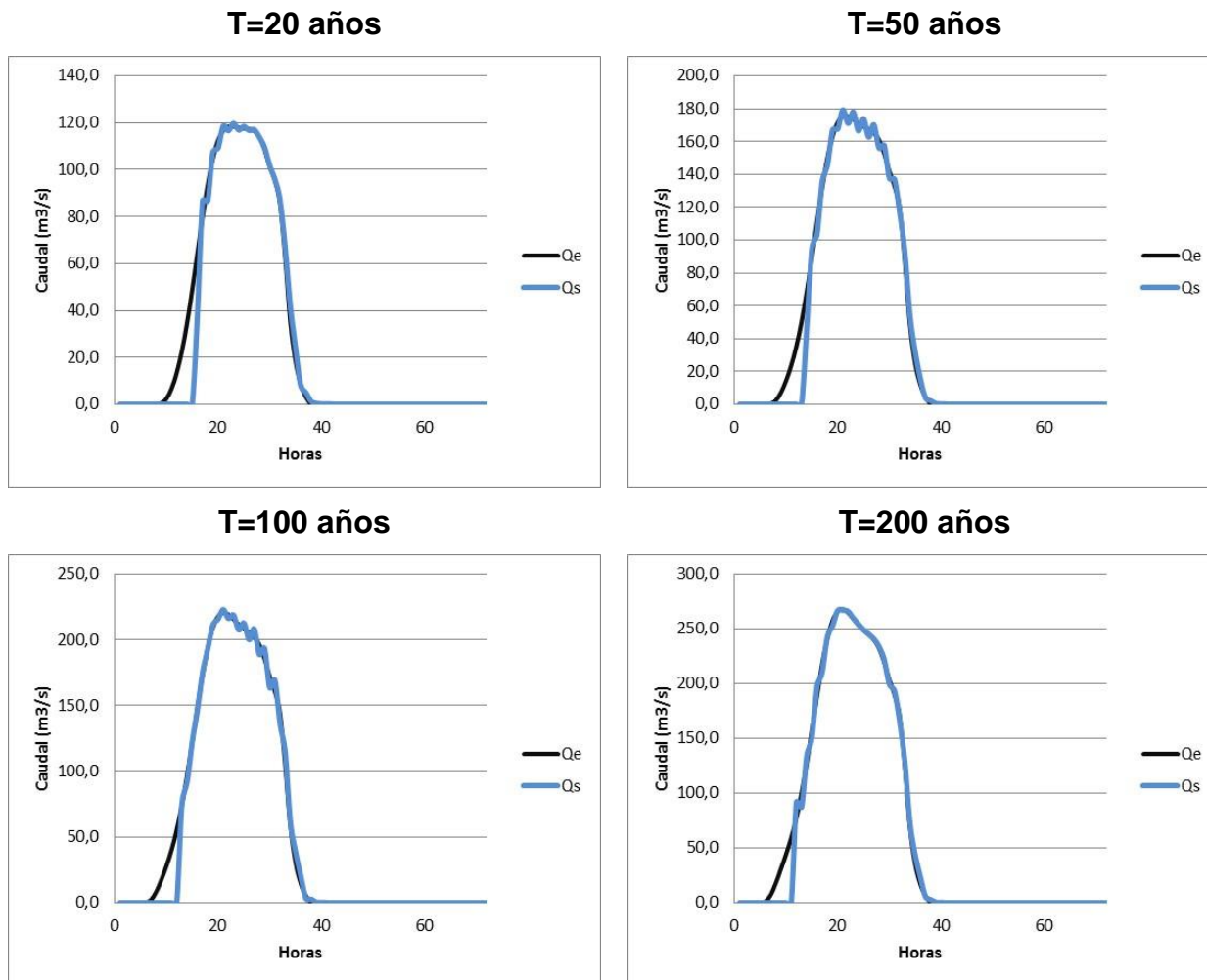
CUADRO 6.12.2.4-2 RESUMEN CAUDALES PEAK CRECIDA VS REGULADOS

T (años)	Sitio 1			Sitio 2		
	Qentrada (m³/s)	Qsalida (m³/s)	% Regulación	Qentrada (m³/s)	Qsalida (m³/s)	% Regulación

20	59,2	0,0	100 %	59,2	59,3	0%
50	102,2	75,8	25,8	110,2	110,8	-1%
100	154,7	122,9	20,6	166,7	169,0	-1%
200	226,1	191,0	15,5	243,9	243,8	0%

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURAS 6.12.3-2
EFFECTO REGULADOR DEL EMBALSE SITIO 2



Fuente: Elaboración Propia.

6.12.4. Conclusiones

Las conclusiones más importantes de esta actividad son las siguientes:

- El Sitio 1 puede controlar las crecidas hasta períodos de retorno de hasta 50 años, como puede verse en el Cuadro 6.12.3-1, reduciendo el caudal de crecida un 25%, lo cual lo hace mejor con respecto al otro sitio.

- El Sitio 2 no puede controlar las crecidas, ya que incluso la más pequeña analizada no se ve regulada en absoluto. Esto se debe, principalmente, a que la capacidad de embalse del sitio 1 es tremendamente superior a la del sitio 2, y por definición, la capacidad de regulación de un embalse, se debe a su capacidad de almacenar.

Debido a que se ha determinado el sitio 1 como el elegido para emplazar el muro, se ha realizado el análisis pertinente en cuanto a efectos en el río San Pedro, ya que este muro solo controlaría crecidas en el río Grande, tal como se ha explicado antes, pero aun se tienen las crecidas que vienen por el río Salado.

Luego de haber realizado el cálculo para cada uno de los embalses, éste análisis tiene como objetivo establecer las alternativas de diseño que tiene el regulador de crecidas, y cuál es la influencia directa de éstas en el río San Pedro, en términos de caudales.

Por un lado, el embalse de riego de río Salado tiene un efecto regulador común y corriente, ya que el propósito de este embalse no es controlar las crecidas sino que acumular agua para regar, de modo que el efecto regulador que éste posee es una consecuencia de las dimensiones y obras que este embalse posee.

Al contrario del embalse de riego en río Salado, el muro controlador de crecidas en río Grande, es una obra diseñada absolutamente para controlar las crecidas y existen muchas alternativas dentro del diseño que generan sutiles cambios en el efecto regulador. Estas alternativas serán analizadas en el acápite siguiente.

6.13. ESTUDIO HIDRÁULICO DE LOS CAUCES DE LOS RÍOS GRANDE, SALADO y SAN PEDRO (situación con embalse)

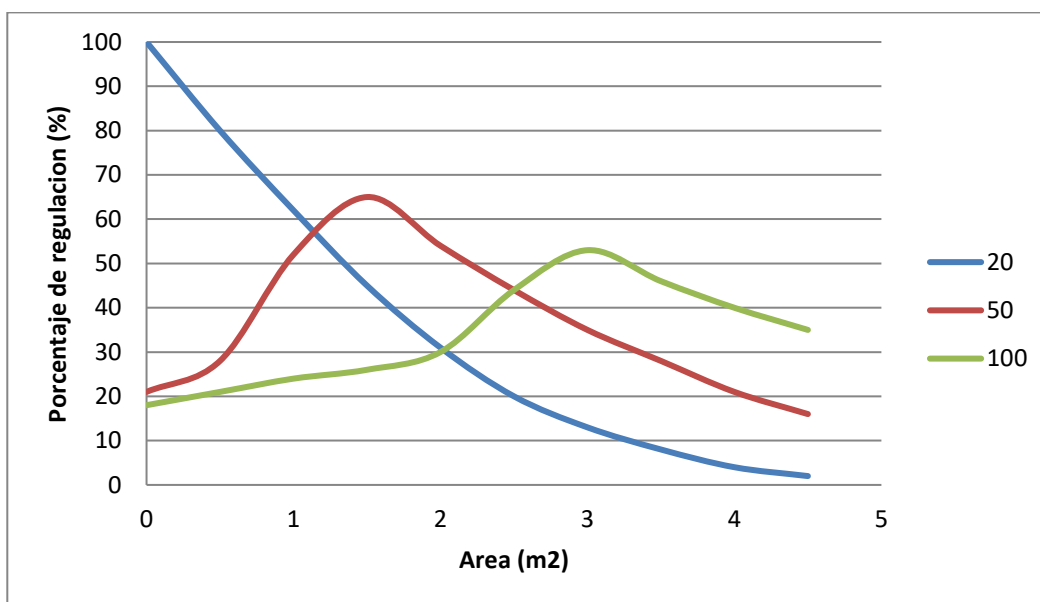
6.13.1. Análisis de Alternativas del Muro Controlador de Crecidas

Como se ha realizado un diseño de una obra de hormigón rodillado, la cual posee un túnel de evacuación por el cuerpo de la presa, en su parte más baja, el estudio de esta obra ha determinado que el factor que más influye en el control de crecidas es el tamaño de la sección de este túnel. Es más, basándose en los cálculos realizados y entregados en este informe, se ha determinado que a medida que se aumenta la sección del túnel el efecto regulador del muro es cada vez menor para crecidas pequeñas, ó períodos de retorno menores a 20 años, y aumenta de manera considerable para crecidas grandes, llegando a tener un máximo ó cúspide. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 6.13.1-1.

La explicación de este fenómeno es que para las crecidas menores a 20 años, el muro es capaz de retener toda la crecida, sin embargo, a medida que se aumenta la sección del túnel, el caudal de salida aumentará cada vez más. Al contrario para las crecidas mayores, el caudal de agua que escapa por el túnel será menos que el agua que trae la crecida, de este modo el embalse comienza a llenarse hasta que ya no puede más y comienza a verter por arriba, es ahí donde se produce la cúspide ó óptimo, en términos de porcentaje de regulación.

FIGURA 6.12.2.4-1

EFFECTO REGULADOR PARA DISTINTAS SECCIONES DE DESCARGA



En colores los periodos de retorno de la crecida.

El porcentaje de regulación se refiere al porcentaje del caudal que entra menos el que sale.

$$\% = \frac{Q_{entra} - Q_{sale}}{Q_{entra}}$$

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6.13.1-1 se puede apreciar que para el período de retorno de T=20 años, para una sección de descarga igual a $A = 0.00 \text{ m}^2$ la regulación es total, no existe caudal pasante, ó más bien, el muro es capaz de absorber toda la crecida. Se puede apreciar también, que a medida que se aumenta la sección de descarga, ocurre que el caudal regulado, en términos de porcentaje de regulación es cada vez menor, lo cual es lógico, puesto que la crecida se va toda por el túnel, y no se almacena nada de agua.

Para la crecida de T=50 ocurre que la regulación óptima es para una sección de $A = 1.5 \text{ m}^2$ y para la crecida de T=100 años el óptimo se encuentra para $A = 3.0 \text{ m}^2$. Se tiene entonces distintos tipos de regulación para distintas secciones de descarga del túnel, la cual, no puede ser variable ya que el diseño puede ser solo uno. Entonces para poder comparar cual es la mejor sección se ha recurrido a la curva de daños realizada en este estudio, ya que con ella, y dependiendo de la probabilidad que tiene asociada cada crecida se ha obtenido el valor de daño esperado con cada una de estas situaciones. Lo anterior se muestra en el Cuadro 6.13.1-1.

**CUADRO 6.12.2.4-1
DAÑO EVITADO ESPERADO**

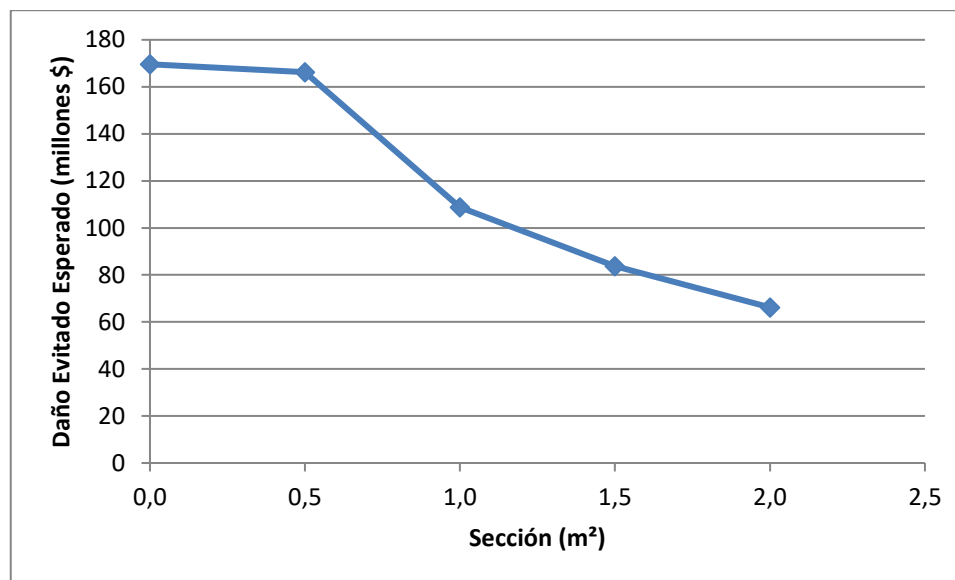
Área	T	Pexc	Daño Actual	Daño Futuro	Daño Evitado
0,0	5	0,200	-	-	-

	10	0,100	1.871.993.709	-	1.871.993.709
	20	0,050	3.110.290.327	1.021.089.621	2.089.200.706
	50	0,020	5.173.286.900	4.072.231.292	1.101.055.608
	100	0,010	6.993.983.980	5.951.318.524	1.042.665.456
	200	0,005	8.838.002.288	8.021.316.175	816.686.113
Daño Evitado Esperado					169.600.580
0,5	5	0,200	-	-	-
	10	0,100	1.871.993.709	-	93.599.685
	20	0,050	3.110.290.327	1.436.361.404	41.848.223
	50	0,020	5.173.286.900	3.685.997.257	22.309.345
	100	0,010	6.993.983.980	5.775.331.248	6.093.264
200	0,005	8.838.002.288	7.843.733.191	2.485.673	
Daño Evitado Esperado					166.336.190
1,0	5	0,200	-	-	-
	10	0,100	1.871.993.709	1.301.551.995	570.441.714
	20	0,050	3.110.290.327	1.809.528.569	1.300.761.758
	50	0,020	5.173.286.900	2.657.275.560	2.516.011.340
	100	0,010	6.993.983.980	5.611.635.874	1.382.348.106
200	0,005	8.838.002.288	7.584.769.321	1.253.232.967	
Daño Evitado Esperado					108.826.123
1,5	5	0,200	-	-	-
	10	0,100	1.871.993.709	1.559.828.622	312.165.087
	20	0,050	3.110.290.327	2.150.455.610	959.834.717
	50	0,020	5.173.286.900	3.021.940.014	2.151.346.886
	100	0,010	6.993.983.980	5.445.163.784	1.548.820.196
200	0,005	8.838.002.288	7.198.874.796	1.639.127.492	
Daño Evitado Esperado					83.716.245
2,0	5	0,200	-	-	-
	10	0,100	1.871.993.709	1.721.580.754	150.412.955
	20	0,050	3.110.290.327	2.444.912.692	665.377.635
	50	0,020	5.173.286.900	3.354.135.392	1.819.151.508
	100	0,010	6.993.983.980	5.151.723.022	1.842.260.958
200	0,005	8.838.002.288	6.622.099.062	2.215.903.226	
Daño Evitado Esperado					66.193.424

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar en los cuadros anteriores que el daño esperado es cada vez menor a medida que se aumenta la sección de la descarga. De estos resultados, se puede inferir que lo mejor para este muro controlador de crecidas es controlar las crecidas menores, ya que son las que tienen mucho mayor probabilidad de ocurrencia que las crecidas grandes y por ende mayor daño esperado. Esto se puede apreciar gráficamente en la Figura 6.13.1-2.

FIGURA 6.12.2.4-2
APRECIACIÓN GRÁFICA DEL ÁREA DE DESCARGA VS EL DAÑO ESPERADO



Fuente: Elaboración Propia.

6.13.2. Resultados Efecto Regulador Embalse Río Salado

6.13.2.1. Aspectos Generales

Al igual que la presa de crecidas en río Grande, esta presa para regulación de riego también podría poseer características de reguladora de crecidas, de modo que se analizará para los mismo periodos de retorno usados anteriormente.

6.13.2.2. Consideraciones Previas

- Se consideran los mismos criterios indicados en el Acápite 6.12.3.
- Como esta estructura es una presa para regular el riego, su principal trabajo es acumular agua para poder usarla en los períodos de riego. Sin embargo el mismo período de riego es cuando llegan las crecidas del invierno altiplánico. Es por este hecho que no se puede considerar la presa vacía para realizar el cálculo. Se considerará un 50% del volumen para regular la crecida, ya que es aproximadamente el volumen que tendría la presa cuando lleguen las crecidas.

6.13.2.3. Conclusiones

En el Cuadro 6.13.2.3-1 se observan el efecto regulador del embalse de mayor capacidad. Las otras capacidades puede verse en el Anexo 6-9.

CUADRO 6.13.2.3-1 PORCENTAJES DE REGULACION PRESA DE RIEGO RÍO SALADO

Periodo de Retorno	T=5	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200
Caudal Entrante (m ³ /s)	6,9	13,5	23,7	43,8	66,3	96,9
Caudal Salida (m ³ /s)	0,0	0,0	16,9	40,9	65,3	96,4
Porcentaje de regulación (%)	100	100	29	6	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de haber realizado el cálculo, se llegó a la conclusión que la presa es capaz de regular las crecidas de hasta 20 años.

6.13.3. Análisis de la Caja del Rio San Pedro

6.13.3.1. Introducción

Este análisis fue realizado para poder obtener el comportamiento de la caja del río San Pedro para distintos caudales de crecidas, y poder determinar así, los costos que conllevaría poder preparar la caja para que pueda soportar estos caudales.

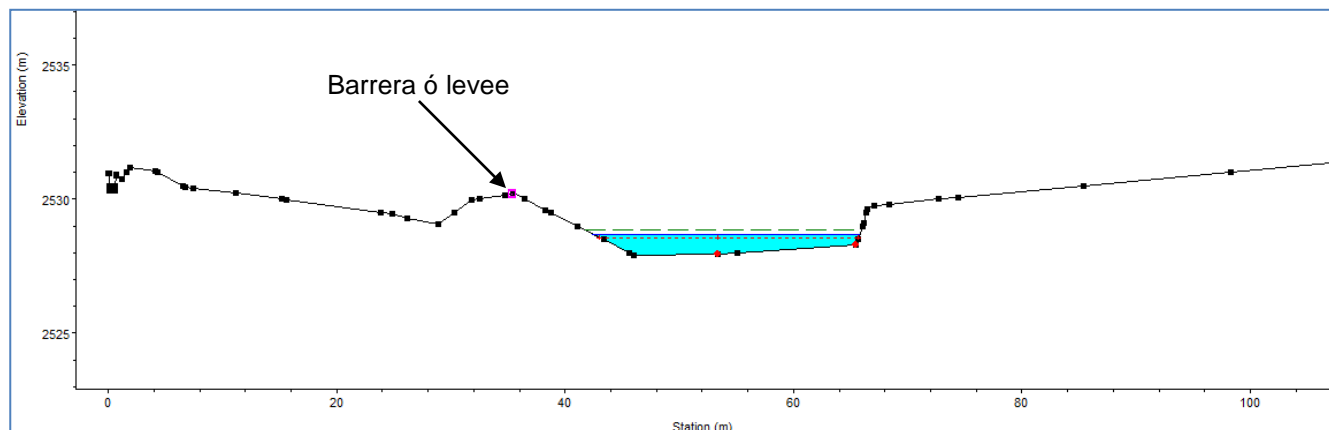
Se realizó un análisis completo de la caja del río en donde existen zonas habitadas y predios cultivados, así como también caminos y canales. Se utilizaron los perfiles transversales medidos en las zonas que peligran cuando se aproximan las crecidas y haciendo uso del programa HEC-RAS se analizó para cada uno de estos perfiles hasta donde podría llegar el pelo de agua para distintos caudales. Luego con esta información se generó una curva de caudal vs gastos para poder preparar la caja del río. El detalle se presenta en el Anexo 6-10.

6.13.3.2. Determinación del Caudal Máximo Soportado por el Río

Lo primero es determinar cuál es el caudal máximo que soporta la caja del rio, antes de que se desborde, incurra en daños, ó más bien, costo cero (0). En otras palabras, cuál es la crecida máxima ó caudal máximo que trae consigo daño cero.

Para poder realizar este análisis se creó un modelo en HEC-RAS, el cual se encuentra adjunto en los anexos previamente mencionados de este estudio. El modelo consta de ir verificando para cada uno de los perfiles transversales cual es la cota máxima que puede llegar el agua hasta que desborde a un costado, que puede ser el lado derecho o izquierdo de la caja, información que se obtiene contrastando los planos realizados e información del Google Earth, ya que en las fotografías satelitales se obtiene inmediatamente el costado que se quiere "proteger" ó evitar que el rio se desborde. Una vez determinado el punto se coloca una barrera, ó "levee" como se llaman en el programa HEC-RAS. En la Figura 6.13.3.2-1 se presenta un ejemplo de la distribución de estas barreras.

FIGURA 6.13.3.2-1 BARRERA DE CONTROL



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6.13.2.2-1 representa el perfil transversal N° 124 del río San Pedro. En este perfil la dirección del agua es hacia dentro de esta hoja, es decir el costado izquierdo de la caja del río sería el costado izquierdo de la figura y el costado derecho de la caja, el derecho de la Figura, si es que se mira el río hacia aguas abajo. Se puede apreciar que en el eje X, de izquierda a derecha, el perfil mide aproximadamente 100 m de longitud. Este perfil, visto desde las imágenes satelitales, indica que en el costado izquierdo existen viviendas y predios, de modo que ese sería el lugar que se quiere proteger. Estas viviendas ó predios estarían aproximadamente en el metro 22 del eje X, es por esto que la barrera se ha colocado en donde está en la Figura, ya que basta que el río alcance esa cota para que desborde al lado izquierdo. El lado derecho no es importante puesto que en ese lado no existe nada que preocupe cuando hay crecidas. Análogamente se ha realizado el mismo procedimiento para los 123 perfiles transversales restantes aguas abajo del río San Pedro.

Luego de haber colocado estas barreras y apoyándose en una hoja de cálculo se anota la cota de fondo ó del terreno de cada una de estas barreras en una columna. Una vez hecho esto se hace correr el modelo con un caudal al azar, cualquiera para empezar y se anota en otra columna, de la hoja de cálculo, la cota del pelo de agua a la cual llegó el caudal. Se compara la cota de la barrera en el perfil transversal en cuestión con la cota del pelo de agua y si esta última es mayor entonces el agua ya sobrepasó ese nivel lo que significa que el río se desbordó. Si la cota del pelo de agua es menor entonces el río no alcanzó a desbordar y se debe aumentar el caudal. Se hace el proceso iterativamente hasta encontrar el caudal máximo en el cual cada cota del pelo de agua es menor que la cota de la barrera.

El análisis arrojó que el caudal mínimo que soporta la caja del río San Pedro es de $Q = 23 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal que corresponde a un período de retorno de 5 años. Esto quiere decir que las crecidas mayores a este caudal o período de retorno producirían daños.

6.13.3.3. Análisis para Otros Caudales

Una vez que se estableció el caudal máximo de la caja del río (que no produciría daños) se procedió a determinar qué tipos de obras de control para caudales mayores a este se deberían construir y donde se deberían construir. Este análisis se realizó de la misma forma que para buscar el caudal máximo de la caja. Se construyó otro modelo con las mismas barreras o levees,

pero colocadas ya no en la cota máxima sino que revisando la ubicación más lejana al río, en curso normal, con el fin de ampliar la caja lo más posible, verificando que no se interfiera con predios, ó otras interferencias. Con las barreras instaladas se anota la cota de fondo o terreno en una columna de una hoja de cálculo. Luego se procede a correr el modelo con distintos caudales que para el caso fueron los siguientes, indicados en el Cuadro 6.13.3.3-1.

CUADRO 6.13.3.3-1
CAUDALES PARA EL MODELO HEC-RAS

Caudales de Prueba (m³/s)
25
50
100
150
200
300
400
700

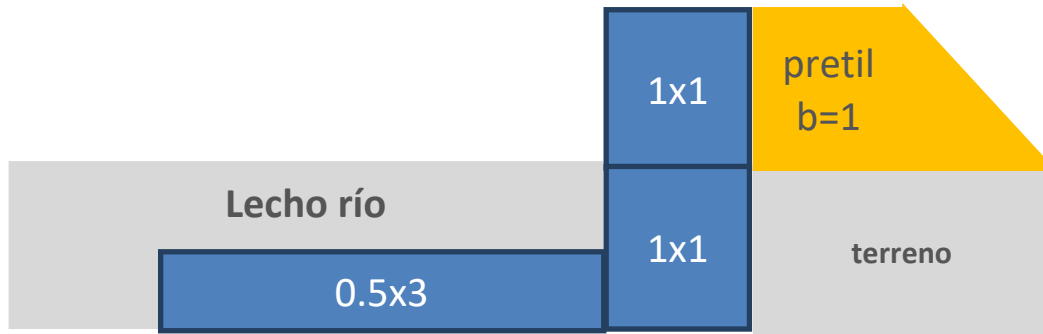
Fuente: Elaboración Propia.

Para cada uno de estos caudales se compara la cota del pelo de agua con la cota de fondo de la barrera y con eso se establece si el agua llegó hasta la barrera y con qué altura. Con esa altura se determina que obra se debe instalar.

6.13.3.4. Obras de Control

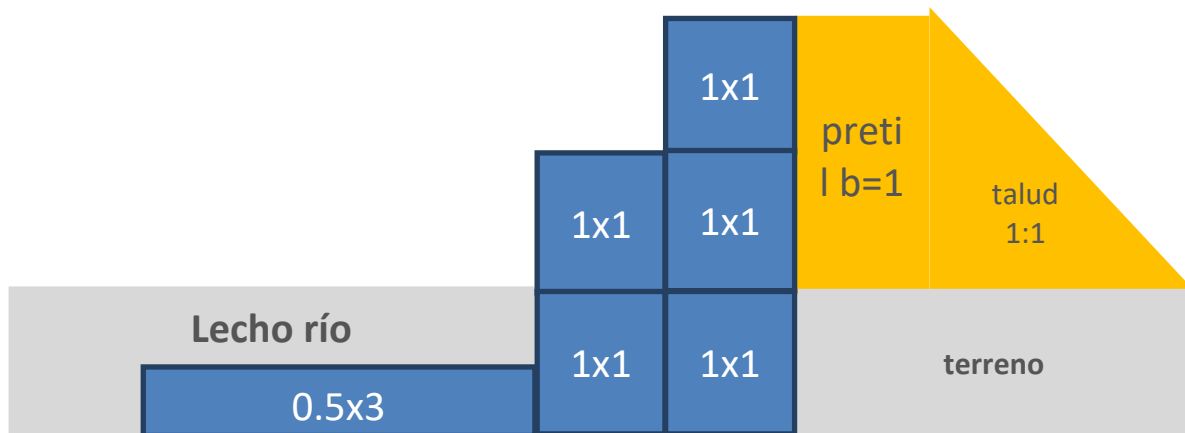
Se han escogido los gaviones (enfardados de alambre rellenos con piedras) debido a la simpleza que tienen en instalación, bajo coste y la buena funcionalidad que poseen. Sin embargo se ha determinado que la configuración de los gaviones no puede ser la misma para las distintas alturas de agua, ya que la fuerza de esta aumenta bruscamente a medida que va ganando altura. Es por eso que se han configurado gaviones de entre 1 y 6 m de altura, dependiendo de la altura que llegaría el pelo de agua, tal como se muestra en las Figuras 6.13.3.4-1 a 6.13.3.4-6.

FIGURA 6.13.3.4-1
GAVION PARA H = 1 m



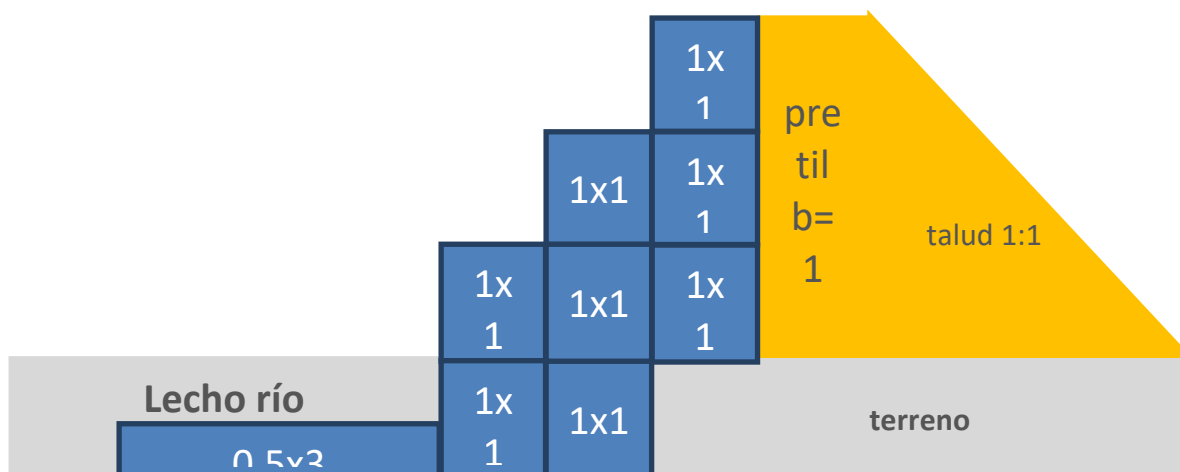
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.13.3.4-2
GAVION PARA H = 2 m



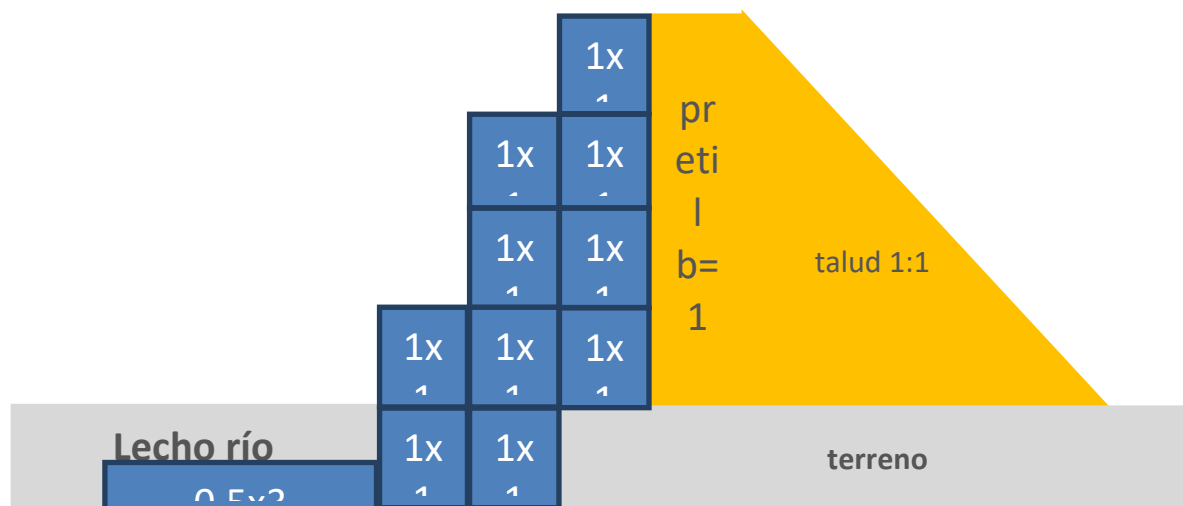
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.13.3.4-3
GAVION PARA H = 3 m**



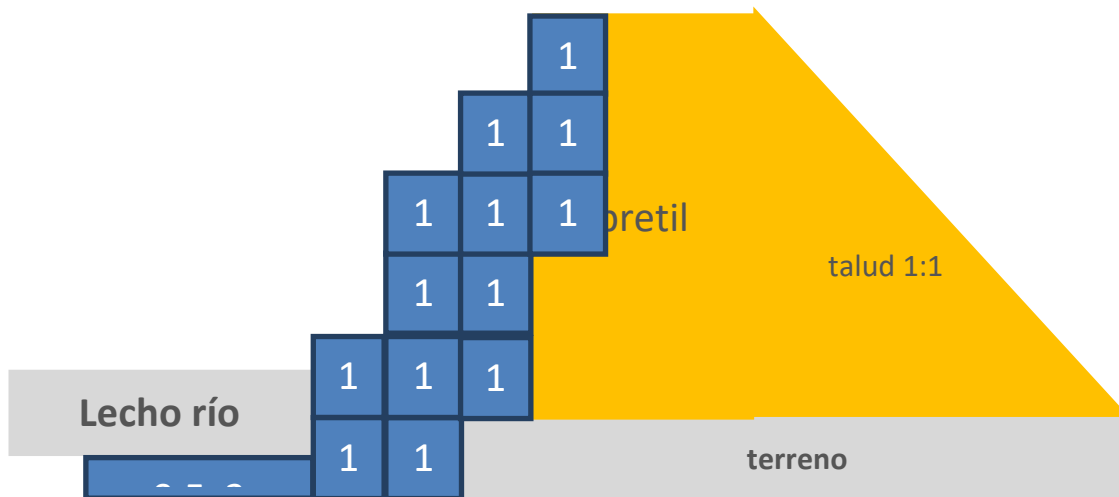
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.13.3.4-4
GAVION PARA H = 4 m**



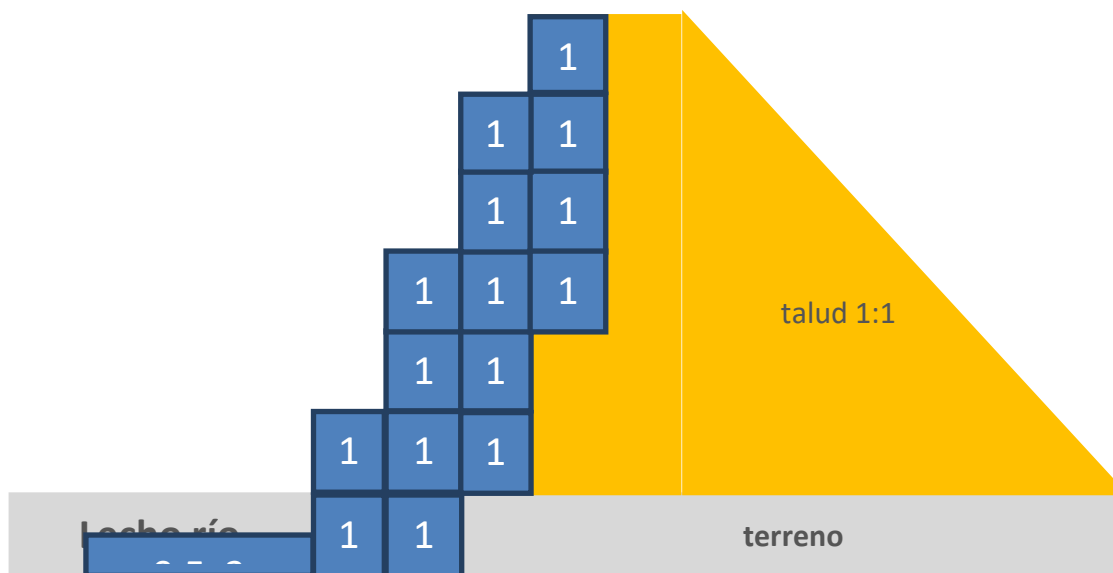
Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.13.3.4-5
GAVION PARA H = 5 m**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 6.13.3.4-6
GAVION PARA H = 6 m**



Fuente: Elaboración Propia.

Para tamaños mas grandes es posible fabricar gaviones pero resulta un poco inseguro controlar aguas con alturas tan altas. Sin embargo para poder determinar el precio de estructuras que permitan controlar aguas con alturas > 6 m, se ha utilizado una estimación mediante los precios de estos últimos, para poder estimar los costos totales de las obras.

6.13.3.5. Curva de Costos

Una vez obtenidos estos costos, y con la información del análisis hidráulico realizado anteriormente es posible construir una curva de costo para cada caudal modelado. La curva se presenta en el Cuadro 6.13.3.5-1 y en la Figura 6.13.3.5-1. Los detalles del cálculo se presentan en el Anexo 6-10.

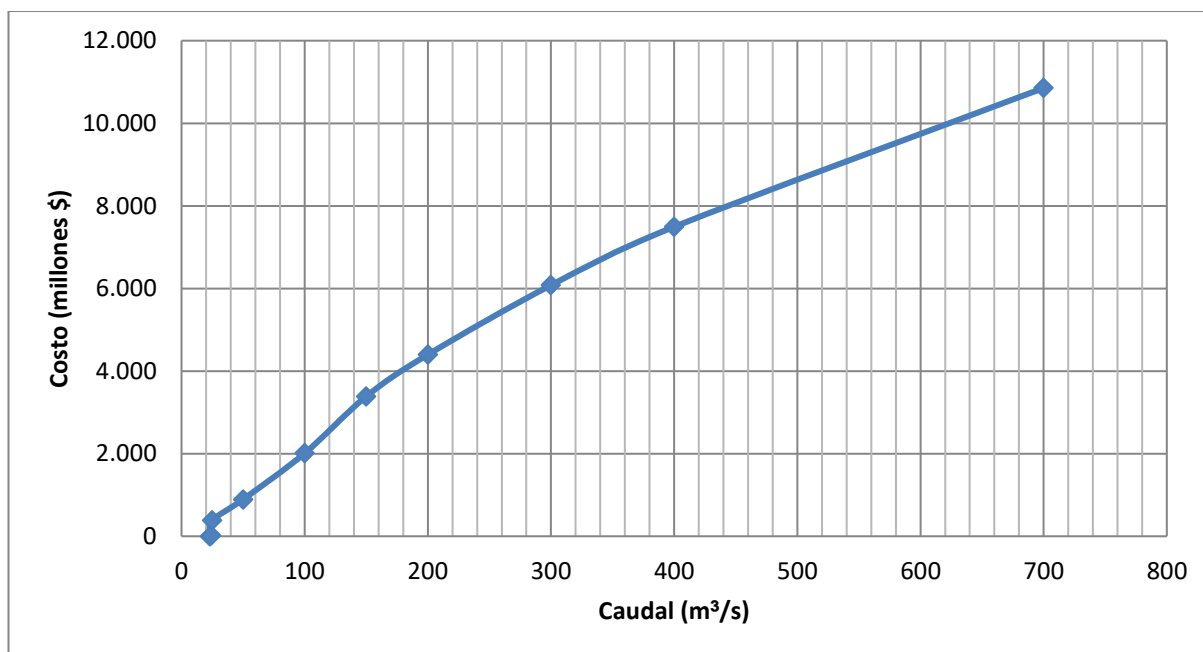
CUADRO 6.13.3.5-1
CURVA DE COSTO PREPARACION CAJA DE RÍO

Caudal (m³/s)	Costo
23	-
24	21.215.050
25	381.870.900
50	893.112.363
100	2.009.399.713
150	3.386.378.163
200	4.397.651.100
300	6.079.063.413
400	7.492.933.460

700	10.853.625.236
-----	----------------

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.13.3.5-1
GRÁFICO CURVA DE COSTOS



Fuente: Elaboración Propia.

Con estos datos se puede decir, a modo de ejemplo, que para un caudal de 100 m³/s se deberían gastar aproximadamente 2.000 millones de pesos en obras de gaviones, y el costo de los daños sería cero (0). Otro ejemplo, para un caudal de 300 m³/s, gastando aproximadamente 6.000 millones de pesos en obras, una crecida de esa magnitud tendría un daño igual a cero.

6.13.4. Efecto Regulador de los Embalses en Río San Pedro

Como se tienen dos embalses se debe analizar el efecto de ambos en el Río San Pedro, tanto para el de riego en río Salado, como para el de control de crecidas en río Grande y el efecto combinado de ellos. El análisis se ha realizado generando los hidrogramas de salida de cada uno de ellos, para cada una de las crecidas. Se encuentra también, en el Anexo 6-9, el resultado de estos hidrogramas. Para el efecto combinado se ha realizado el tránsito y desfase correspondiente de la crecida del río Salado y luego con los caudales del río Grande se ha realizado la suma de ellos en el horario que corresponde. De modo que el caudal del río San Pedro es el siguiente.

$$QSP_i = QSAL_i + QGRAN_i$$

En donde:

- QSP_i : caudal del río San Pedro en la hora "i" (m³/s)

- $QSAL_i$: caudal del río Salado en la hora "i" (m^3/s)
- $QGRAN_i$: caudal del río Grande en la hora "i" (m^3/s)

La serie de resultados de caudales máximos se presenta en el Cuadro 6.13.4-1, incluyendo la condición sin control de crecidas.

CUADRO 6.13.4-1
CAUDALES MÁXIMOS PARA COMBINACIONES DE EMBALSES EN
RÍO SAN PEDRO

Volumen Útil (hm^3)		CAUDALES PEAK EN RÍO SAN PEDRO (m^3/s)					
C. Crecidas	Riego	T=5	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200
0,0	0,0	23	45	79	146	221	323
4,3	0,0	6	17	73	144	218	318
7,1		6	14	52	125	203	308
10,2		6	14	24	108	176	273
0,0	0,8	22	45	79	146	221	322
	3,0	16	37	74	146	221	322
	6,1	16	32	58	138	219	322
4,3	0,8	0	21	74	145	217	316
	3,0	0	12	56	127	208	312
	6,1	0	12	24	111	179	282

7,1	0,8	0	12	72	144	217	315
	3,0	0	0	56	127	208	311
	6,1	0	0	20	111	179	282
10,2	0,8	6	13	24	110	176	275
	3,0	0	10	22	110	176	275
	6,1	0	0	17	110	176	275

Fuente: Elaboración Propia.

6.14. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DAÑOS PROVOCADOS V/S NIVELES DE INUNDACIÓN

6.14.1. Introducción

De acuerdo con los antecedentes recopilados, los tipos de daños que ocurren debido a las crecidas en la zona de San Pedro de Atacama, pueden separarse en daños **tangibles** y daños **intangibles**.

Los daños tangibles corresponden a aquellos que repercuten directamente en la economía del sector, por lo tanto se les puede asignar un costo económico de fácil cuantificación. Dentro de los daños tangibles se distinguen los daños **directos** y los daños **indirectos**. Los daños directos son los resultantes del contacto directo del agua con las diferentes propiedades en la zona afectada. El monto de estos daños será equivalente a la suma necesaria para la recuperación de los bienes involucrados, devolviéndoles las condiciones que tenían antes de la catástrofe. También se

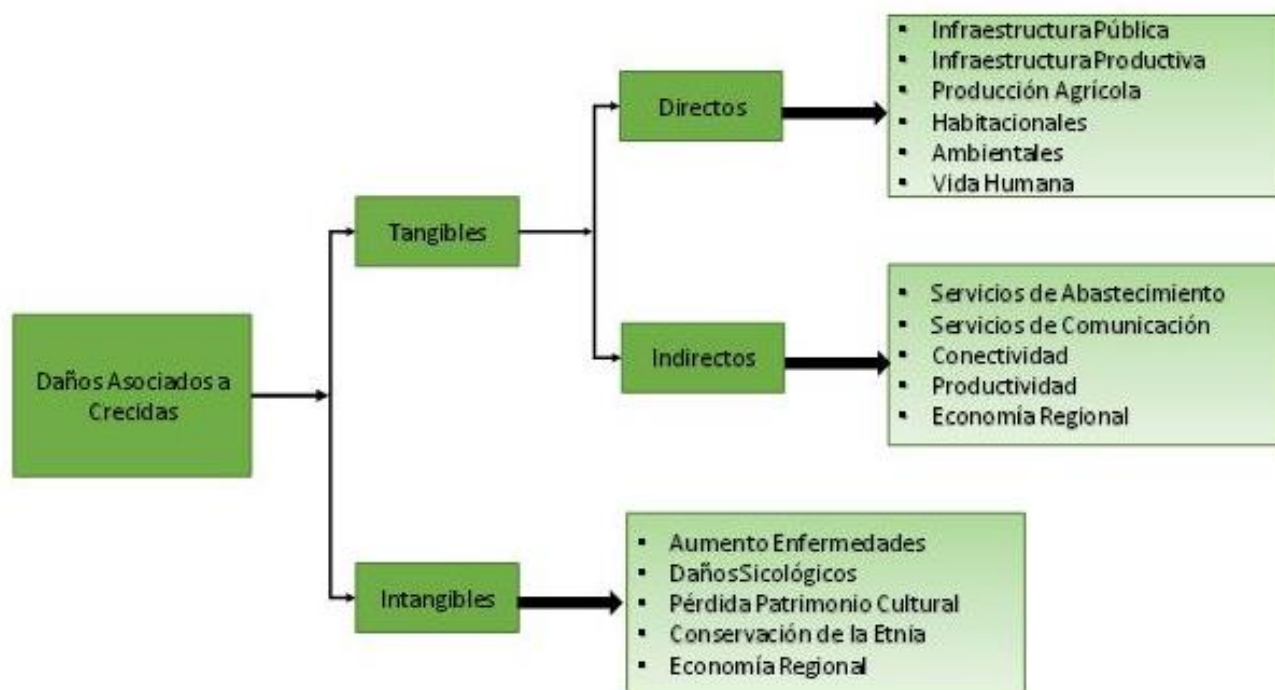
incluye como daños directos la pérdida de vidas humanas, aunque se debe hacer notar que estas pérdidas están asociadas a la ocurrencia de aluviones que se producen en la parte alta de la cuenca, fuera de la zona de estudio.

Los daños indirectos son aquellos que se reflejan en el resto de la economía, y que corresponden a un impacto provocado por los daños directos. Un ejemplo de esto es la pérdida de servicios de abastecimiento con la consiguiente pérdida de producción industrial, debida al corte de un camino, el rompimiento de una tubería, etc.

Finalmente, los daños intangibles son aquellos de difícil cuantificación y valorización. En Figura 6.14.1-1, se ilustran los daños indicados.

En definitiva, el objetivo del presente Acápite es presentar una metodología para la asignación de valores a los daños indicados precedentemente, con el fin de efectuar la posterior evaluación de los beneficios asociados a la construcción de las obras propuestas.

FIGURA 6.14.1-1
ESQUEMA DE DAÑOS ASOCIADOS A CRECIDAS



Fuente: Elaboración Propia.

6.14.2. Metodología

La metodología que a continuación se presenta, ha sido desarrollada intentando considerar la mayor y mejor utilización posible de la información disponible, de manera que pueda ser generalizada y aplicada al resto de los daños, incluso a los daños intangibles. La información disponible se refiere a los daños resultantes para una crecida histórica y a los resultados del eje hidráulico en situación actual para diferentes períodos de retorno, en lo que se refiere a

superficie agrícola inundada, así como a la infraestructura vial y construcciones afectadas, es decir, a la evaluación de daños directos únicamente.

La metodología consiste en cubicar en los planos de inundación las superficies agrícolas inundadas, así como los metros de infraestructura vial afectados y las construcciones que probablemente sufran daños, para diferentes períodos de retorno. A continuación, se valoran los resultados sobre una base de precios que sea representativa, únicamente para asignar cifras que consideren los diferentes ítems (superficies, metros lineales y cantidad de construcciones) que puedan ser evaluados en una forma segura.

Finalmente, se elabora la curva de daños, la que queda definida en términos de daños porcentuales vs caudales o período de retorno, asignando el valor 1 al daño asociado al caudal equivalente a algún período de retorno para el que se tenga información. La curva se define hasta 200 años de período de retorno, y se completa linealmente entre 0 y el caudal correspondiente a 5 años de período de retorno. Esta es una simplificación por el lado de la seguridad, porque en estricto rigor, el cauce tiene una capacidad normal, no nula, para la cual los daños son nulos.

Para fines de este análisis se elige como año base el temporal del año 2011, temporal para el que se determinó un periodo de retorno del orden de 40 años en base a las precipitaciones y caudales. Se hace notar que el evento del 2001 es de mayor periodo de retorno, pero no se dispone de información para evaluar los daños.

Por último, debe hacerse notar que un supuesto básico de la metodología es que se considera que para los daños indirectos e intangibles, para los que no se dispone de información en términos de diferentes períodos de retorno, se asume que siguen la misma distribución que los daños directos.

6.14.3. Determinación Curva de Daños Base

De acuerdo a los resultados del análisis de ejes hidráulicos que se presentan en el Acápite 5.13, se preparó el Cuadro 6.14.3-1 en cuanto a magnitud de daños, en lo que respecta a suelos inundados, infraestructura vial, y construcciones, para la situación actual de la zona de San Pedro de Atacama.

CUADRO 6.14.3-1
DAÑOS ASOCIADOS A CRECIDAS EN LA ZONA DE SAN PEDRO DE ATACAMA

Ítem	Daño	Unidad	Cantidad					
			T=5	T=20	T=50	T=100	T=200	T=1000
1.	Suelos Inundados							
1.1	Uso Agrícola	(ha)		4,4	11,3	16,7	25,7	97,7
1.2	No Agrícola	(ha)		0,5	1,3	1,9	2,9	10,9
2.	Infraestructura Vial							
2.1	Caminos	(m)		6.492	8.287	8.957	12.442	12.787
3.	Construcciones							
3.1	Casas	(un)		7	14	19	25	96
4.	Construcciones							
4.1	Canales Inundados	(m)		539	1.626	2.337	3.121	6.265
4.2	Bocatomas Destruídas	(un)		6	6	6	6	6
5.	Otros							

5.1	Tranque Huachar	(un)					1
5.2	Puente SPA	(un)					1

Fuente: Elaboración Propia.

Posteriormente, se utilizan costos unitarios asociados a las distintas partidas, de manera de determinar el costo asociado a los diferentes períodos de retorno. Los resultados se entregan en el Cuadro 6.14.3-2, en base a los costos unitarios que se muestran en el Anexo 6-11 posteriormente para la valoración de los daños de la crecida histórica. Debe hacerse notar que en este caso no se consideró evaluar el costo de reposición de huellas y senderos.

Por último, se presenta en el Cuadro 6.14.3-3 el período de retorno, el caudal asociado y la curva de daños asociada. Posteriormente, se presenta en la Figura 6.14.3-1 la curva de daños en función del caudal, y los daños en función del período de retorno.

CUADRO 6.14.3-2
VALORACIÓN DE DAÑOS ASOCIADOS A CRECIDAS EN LA ZONA DE
SAN PEDRO DE ATACAMA

Ítem	Daño	Valor (millones \$)				
		T=5	T=20	T=50	T=100	T=200
1.	Suelos Inundados					
1.1	Uso Agrícola		17,5	45,4	66,8	102,8
1.2	No Agrícola		1,0	2,5	3,7	5,7
2.	Infraestructura Vial					
2.1	Caminos		871,4	1.112,4	1.202,3	1.670,1
3.	Construcciones					
3.1	Casas		14,5	28,9	39,2	51,6
4.	Construcciones					
4.1	Canales Inundados		31,2	92,1	131,9	175,8
4.2	Bocatomas Destruidas		15,0	15,0	15,0	15,0
5.	Otros					
5.1	Tranque Huachar					180,0
5.2	Puente SPA					40,0
Total		0	950,5	1.296,2	1.458,9	2.914,0

Fuente: Elaboración Propia.

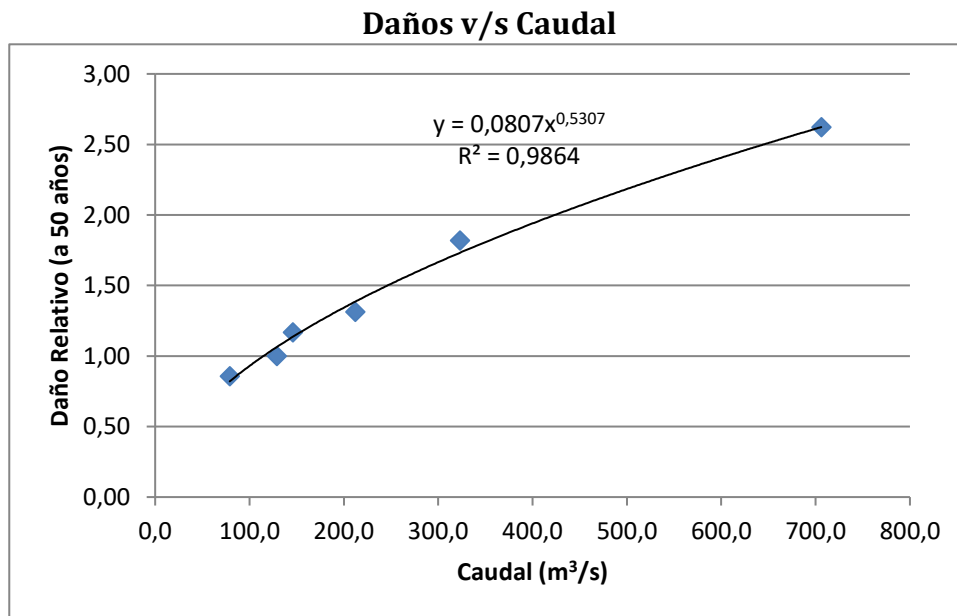
CUADRO 6.14.3-3
CURVA DE DAÑOS SITUACIÓN ACTUAL

T_R (años)	Q San Pedro (m³/s)	Daño Relativo
5	23,0	0,00
10	45,0	0,61
20	79,0	0,86
40	129,0	1,00

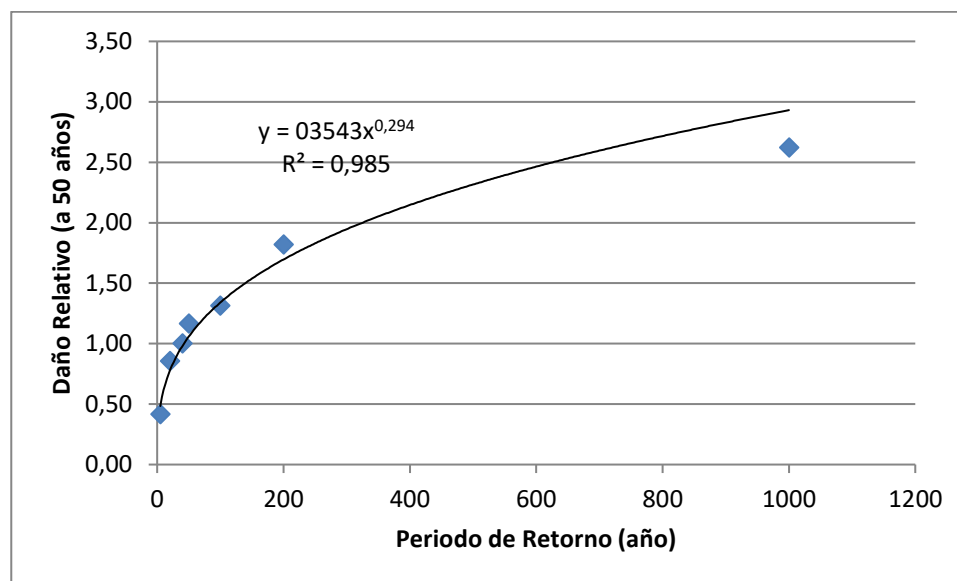
50	146,0	1,17
100	221,0	1,31
200	323,0	1,82
1000	706,0	2,62

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.14.3-1
CURVA DE DAÑOS RELATIVA



Daños v/s Periodo de Retorno



Fuente: Elaboración Propia.

6.14.4. Determinación Daños Situación Actual

6.14.4.1. Introducción

La valorización de los daños provocados por las crecidas históricas, tiene por objetivo llegar a establecer una relación de magnitud de crecidas-período de retorno-daños, tal que sirva para la calibración de las funciones establecidas a partir de la modelación del eje hidráulico y cubicación de daños.

6.14.4.2. Valorización de Daños

De acuerdo con la metodología expuesta, se valoriza en el presente acápite los daños para una crecida de período de retorno de 40 años, utilizando la información recopilada. Para estos fines, se postula que lo ocurrido durante la crecida del año 2012 corresponde a una situación de 40 años de período de retorno. Debe hacerse notar que los daños asociados a esta crecida no necesariamente coinciden con los resultados utilizados para valorizar la curva de daños. Esto ocurre ya que los daños utilizados en el cálculo anterior fueron calculados con la modelación desarrollada, con todas las limitaciones de una modelación matemática, además que sólo consideran los daños debidos a desbordes del río y no al efecto de la inundación por aguas lluvias.

6.14.4.3. Daños Directos

a) Aspectos Generales

En primer lugar se presenta la valoración de daños directos, entre los que se incluyen daños por pérdida de infraestructura, daños del sector agrícola y daños ambientales.

b) Gastos Gubernamentales

Se solicitó información de gastos efectuados, debido a crecidas del Río San Pedro, a distintas instituciones o servicios del estado. En el Cuadro 6.14.4.3-1 se muestra el detalle de ello, donde se puede evidenciar la institución o servicio contactado, el medio a través del cual se realizó la solicitud y una descripción de la respuesta obtenida.

De acuerdo a lo anterior, para el año 2012, actualmente se cuenta con información de gastos de la ONEMI, MINAGRI INDAP y de la I.M. de San Pedro de Atacama. No obstante el documento de referencia utilizado para los gastos efectuados por el municipio no registra gastos asociados a crecidas en el río San Pedro para el año en cuestión. La información que se obtuvo se detalla en el Cuadro 6.14.4.3-2.

CUADRO 6.14.4.3-1
SOLICITUDES DE INFORMACIÓN DE GASTOS

INSTITUCIÓN	CONTACTO	FORMA DE PETICIÓN DE LA INFORMACIÓN		ESTADO DE LA SOLICITUD DE INFORMACIÓN	TIPO INFORMACIÓN RECOPIADA
		REUNIÓN	OFICIO		
ONEMI	Mario León	SI	SI	OK	Gastos anuales por eventos de emergencia, período 2010-2012
	Gabriel Quezada				
MOP Dirección Vialidad	Félix Gallardo Seura	NO	SI	Pendiente (Solicitaron prórroga del plazo que el oficio permitía en 10 días hábiles)	
	Rubén Campos Campos	NO	SI		
MOP Dirección de Obras Hidráulicas	Gabriel Valdivia	NO	SI	Pendiente	
MINAGRI INDAP	Jannette Araya	SI	SI	OK	Gastos anuales por eventos de emergencia, período 2005-2013
	Jaime Mora				
MINAGRI CNR	Gerardo Castro	NO	SI	Pendiente (Solicitaron prórroga del plazo que el oficio permite en 10 días hábiles)	
I.M. San Pedro de Atacama	Roxana Aranda	SI	SI	Pendiente	Se cuenta con información secundaria recopilada del documento oficial " Gestión Municipal Anual", el que detalla algunos montos de inversión realizados por el municipio, incluidos los ocasionados por eventos de emergencia, período 2006-2013
	Rodrigo Arancibia				

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.4.3-2
GASTOS EFECTUADOS POR INSTITUCIONES O SERVICIOS GUBERNAMENTALES, AÑO 2012

Institución o Servicio Gubernamental	Gasto Efectuado
ONEMI	\$ 318.278.621
MINAGRI INDAP	\$ 158.586.391

Fuente: Elaboración Propia.

c) Infraestructura (Reposición de viviendas)

En esta categoría se incluye los daños a las viviendas y/o pérdidas de éstas provocadas por la crecida

Se tiene un registro de información de prensa (La Tercera, 20 de febrero 2012) (Anexo 6-11) de 132 afectados por el evento de crecida del mencionado año en la totalidad de la comuna de San Pedro, de los cuales se estima que 52, serían del sector afectado por las crecidas objeto de este estudio. Considerando que en cada vivienda conviven un promedio de 4 personas, las viviendas afectadas serían 13.

Para estimar los costos de reparación necesarios, se considera que los damnificados para reparar sus viviendas tienen acceso al Subsidio Habitacional Rural Título III: De la Postulación Individual o Colectiva para Mejoramiento, dirigido a familias rurales de escasos recursos, propietarios solamente de la vivienda rural que habitan, la cual requiere de mejoramiento (saneamiento sanitario, recuperabilidad habitacional y ampliaciones en caso de hacinamiento). La ejecución de las obras de mejoramiento se financia con un subsidio de UF 85 y con un ahorro mínimo de UF 5, lo que permite adoptar un costo de reparación de UF 90 UF por vivienda. Por lo tanto, se tiene un monto total asociado de **\$ 26.846.200**.

d) Sector Agrícola

En esta categoría se tiene la pérdida asociada a la pérdida de suelos agrícolas, la pérdida de infraestructura agrícola, pérdida de animales, y la pérdida de producción asociada. Las estimaciones muestran que se esperan pérdidas del orden de **\$ 2.500.000.000**.

e) Pérdida Productividad Turística

Para la determinación del costo asociado a la pérdida económica asociada al turismo, se consideró la siguiente información:

Duración del frente climático: 7 días aproximadamente (El Mercurio de Antofagasta, 19 de febrero 2012, ver Anexo 6-11).

Información estadística de flujo de turistas, diferenciando a aquellos que visitan los atractivos turísticos de la comuna solo por el día y a aquellos que además alojan en la comuna. Se utilizó información comunal del año 2008 e información regional de los años 2008 y 2012 para proyectarla (Cuadros 6.14.4.3-3 y 6.14.4.3-4).

CUADRO 6.14.4.3-3

FLUJO DE TURISTAS, COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA, AÑO 2008

AÑO 2008 (REFERENCIAL)	Flujo mensual (solo pase diario)	Flujo diario (sin estadía)	Flujo mensual (pase diario + noche)	Flujo diario (con estadía)
Enero	7.665	247	18.529	598
Febrero	7.113	254	16.654	595
Marzo	6.376	206	15.468	499
Diciembre	6.609	213	17.046	550
Total Turistas Meses de Crecidas	27.763	229	67.697	559

Fuente: Encuesta alojamiento turístico, INE (2008).

CUADRO 6.14.4.3-4

FLUJO DE TURISTAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, AÑO 2008

AÑO 2008 (REFERENCIAL)	Flujo mensual (solo pase diario)	Flujo diario (sin estadía)	Flujo mensual (pase diario + noche)	Flujo diario (con estadía)
Enero	39.058	1.260	80.356	2.592
Febrero	38.224	1.365	75.212	2.686
Marzo	36.584	1.180	75.930	2.449
Diciembre	40.910	1.320	72.272	2.331
Total Turistas Meses de Crecidas	154.776	1.279	303.770	2.510

Fuente: Encuesta alojamiento turístico, INE (2008).

CUADRO 6.14.4.3-5

FLUJO DE TURISTAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, AÑO 2012

AÑO 2008 (REFERENCIAL)	Flujo mensual (solo pase diario)	Flujo diario (sin estadía)	Flujo mensual (pase diario + noche)	Flujo diario (con estadía)
Enero	56.234	1.814	100.340	3.237
Febrero	48.526	1.733	908.98	3.246
Marzo	52.783	1.703	91.844	2.963
Diciembre	52.445	1.692	94.376	3.044
Total Turistas Meses de Crecidas	209.988	1735	377.458	3.119

Fuente: Encuesta alojamiento turístico, INE (2012).

c) Información promedio de gastos diarios de los turistas e información del costo de alojamiento en la comuna en los meses donde las crecidas ocurren con mayor frecuencia (diciembre, enero, febrero y marzo) (Cuadro 6.14.4.3-6).

CUADRO 6.14.4.3-6
GASTOS DIARIO TURISTA (\$)

Descripción	GASTO
Promedio gasto diario individual	35.693
Estadía	
PERÍODO	GASTO
ENERO	54.953
FEBRERO	49.394
MARZO	52.408
DICIEMBRE	56.463
Promedio gasto estadía diaria meses de crecidas	53.305

Fuente: Anuario Turismo, SERNATUR (2012).

Con los datos estadísticos mencionados, se estimó la pérdida económica diaria provocada por la ausencia de turistas, para ello primero se calcularon los siguientes valores:

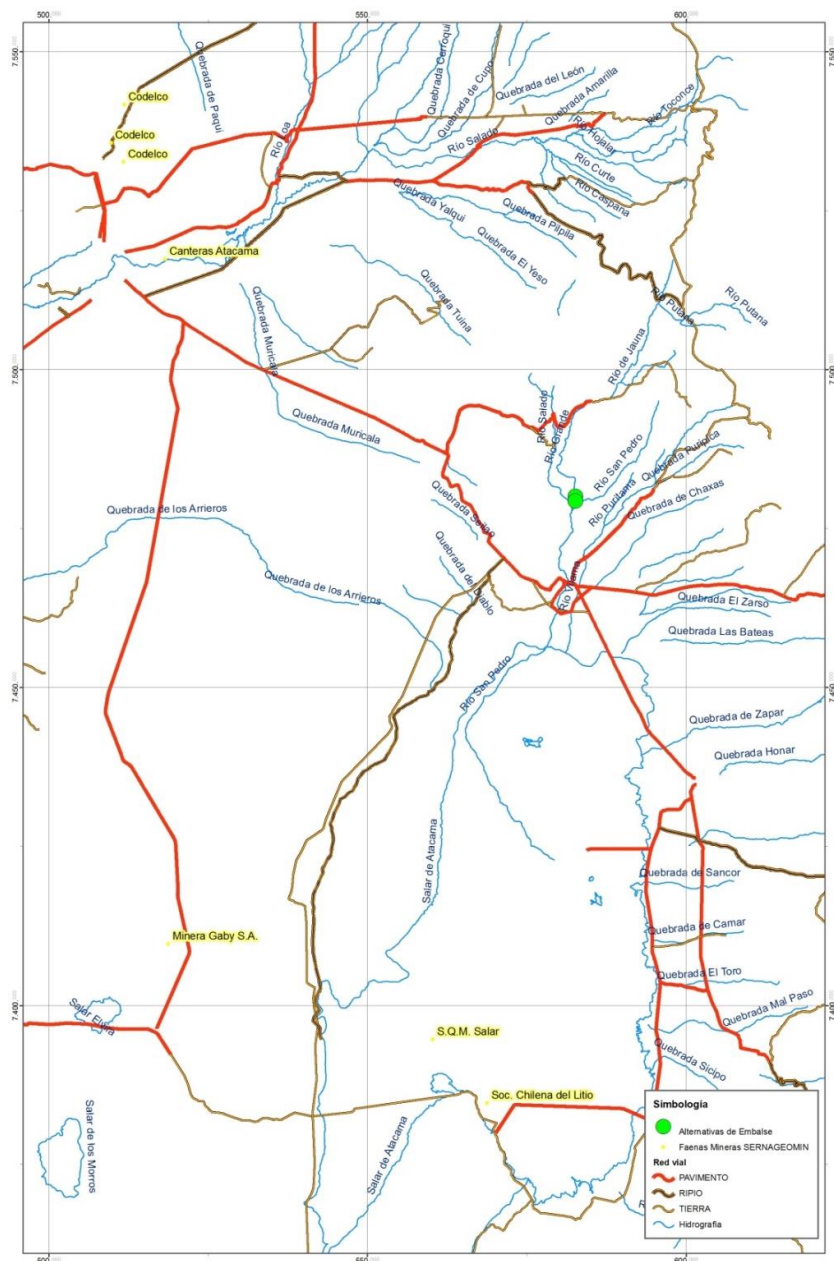
- **Proyección del valor comunal de flujo turístico con y sin estadía año 2008 a 2012:** se consideró la proporción del aumento de flujo de turistas en la región entre los años 2008 y 2012 y se aplicó a los valores comunales del año 2008 asumiendo que en la comuna el crecimiento del turismo fue similar
- **Valor diario turista sin estadía:** Resultante de la multiplicación entre flujo diario sin estadía, para los meses de crecidas, y el promedio de gasto diario individual
- **Valor diario turista con estadía:** Resultante de la multiplicación entre el flujo diario con estadía, para los meses de crecidas, y el promedio de gasto individual diario más el promedio de gasto de estadía para dichos meses.
- **Valor diario turismo:** Resultante de la suma del valor diario turista sin estadía y valor diario turista con estadía. Este valor asciende a \$ 58.146.164
- **Pérdida económica derivada del turismo en el periodo que duro el efecto de la crecida:** se consideró la duración de 7 días del evento por lo que el valor de pérdida por concepto turístico asciende a \$ 407.023.151.

f) Pérdida Productividad Minera

Dado que la zona es altamente minera, se consideró revisar la ubicación de las faenas mineras más cercanas a la zona de influencia del proyecto, con el fin de detectar si sus actividades productivas se veían afectadas, esencialmente por la destrucción o interferencia de caminos hacia o desde ellas.

Para ellos se plasmaron geográficamente las faenas mineras del sector de estudio (SERNAGEOMIN 2012) y se contrastaron con la información de caminos de cualquier tipo Bienes Nacionales (2013). El resultado de lo anterior se puede ver en la Figura 6.14.4.3-1.

FIGURA 6.14.4.3-1
UBICACIÓN DE FAENAS MINERAS CERCANAS A ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración Propia. en base a SERNAGEOMIN (2012) y Bienes nacionales (2013)

Como se puede apreciar, no existen faenas mineras afectadas en las inmediaciones de la zona beneficiada con el proyecto.

g) Daños Ambientales

Adicionalmente se consideraron costos ambientales, los que no son evaluables directamente. Este tipo de costo es evaluado como el 35% de los costos directos, aunque se debe hacer notar que no es posible justificar este porcentaje, por lo que su cálculo persigue reconocer su existencia. El total de daños directos enunciados en el Acápito 6.14.4.3 ascienden a \$ 3.910.734.363, por lo que el costo ambiental se estima aproximadamente en \$ 1.368.757.027.

6.14.4.4. Daños Indirectos

Los daños indirectos a evaluar corresponden únicamente a los daños por ausentismo laboral, pérdidas de puestos de trabajo y ausentismo escolar, tal como se evalúa en lo que sigue.

En base al extracto de la Revisión de Prensa presentada en el Anexo 6-11, se sabe que en el caso del evento del 2011 hubo 52 personas aisladas en la comuna de San Pedro de Atacama. Además las clases fueron suspendidas y se estima un promedio de 7 días el efecto de la crecida sobre la asistencia a los establecimientos escolares y a los respectivos puestos de trabajo de la población afectada.

Por otra parte, considerando que la densidad habitacional es de 4 hab/viv, se tiene que en total 13 hogares fueron afectados. En lo que respecta a ingresos, la encuesta CASEN del año 2009, muestra que el ingreso monetario de los hogares asciende a \$ 882.479, lo que llevado a julio de 2013, equivale a \$ 966.863. Considerando que los 13 hogares perdieron su fuente laboral por un 25% del mes (una semana), se tiene una pérdida de \$ **3.142.305** en lo que respecta al ausentismo laboral.

Por otra parte, se tiene que la pérdida por ausentismo escolar asciende a \$ **63.777** por día-alumno en promedio (como subvención escolar promedio). Considerando 5 días y 800 alumnos afectados (se consideró que las actividades de la comunidad se suspendieron completamente), se tiene que la pérdida por ausentismo escolar asciende a \$ **8.503.600**.

En forma adicional, se considera un 35% de lo anteriormente indicado para considerar otros daños indirectos no estimables. En total, considerando los daños indirectos medidos y los no medidos, se consideraron daños por la suma de \$ **15.721.971**.

6.14.4.5. Intangibles

Por último, y con el fin de incluir todos los posibles daños, se incluyen los daños intangibles, los que entre otros pueden incluir *Aumento de Enfermedades, Daños Sicológicos, Pérdida Patrimonio Cultural y Conservación de la Etnia*. Para su inclusión, se considera evaluarlos como un 50% de los gastos directos, ascendiendo a \$ **1.847.821.986**.

6.14.4.6. Daño Total Estimado para la Crecida del Año 2012 (Crecida de 40 Años de Período de Retorno en Situación Actual)

Cuantificando la suma de los daños estimados para cada uno de los ítems anteriores, se obtiene el Daño Total para la crecida del año 2012, el cual se presenta en el Cuadro 6.14.4.6-1. En este cuadro se hace una distinción entre pérdidas directas e indirectas.

En consecuencia, el **daño total** asociado a una crecida de 40 años de período de retorno, en situación actual, alcanza a la cantidad de \$ **7.143.035.348**.

CUADRO 6.14.4.6-1
DAÑOS EVENTO 2012

Daños	Ítem	Pérdida (\$)
☐ ☑ ☒ ☓	Gastos Gubernamentales	476.865.012

**CUADRO 6.14.4.6-1
DAÑOS EVENTO 2012**

Daños	Ítem	Pérdida (\$)
	Reposición de Viviendas	26.846.200
	Pérdida de la Producción Agrícola, Suelos e Infraestructura (Actualizado)	3.000.000.000
	Pérdida Productividad Turística	407.023.151
	Sub-Total Daños Directos	3.910.734.363
	Daños Ambientales (35%)	1.368.757.027
	Total Daños Directos	5.279.491.390
Indirectos	Ausentismo Laboral	3.142.305
	Ausentismo Escolar	8.503.600
	Sub-Total Daños Indirectos	11.645.905
	Otros Daños Indirectos (35%)	4.076.067
	Total Daños Indirectos	15.721.971
Intangibles	Considera Aumento de Enfermedades, Daños Sicológicos, Pérdida Patrimonio Cultural, Conservación de la Etnia. Evaluado como un 35% de los daños directos	1.847.821.986
Total Daños		7.143.035.348

Fuente: Elaboración Propia.

6.14.4.7. Daño Esperado en Situación Actual

El procedimiento para determinar el daño esperado consiste en aplicar la curva de daños presentada anteriormente en el Acápite 6.14.3, en el Cuadro 6.14.3-3 y Figura 6.14.3-1, considerando que la situación actual, es equivalente a la situación histórica para T=40 años, cuyo valor del daño es de \$ **7.143.035.348**. Para este caso, los resultados se presentan en el Cuadro 6.14.4.6-1, y en la Figura 6.14.4.6-1. En este cuadro se muestra que el daño esperado asciende a la suma de \$**703,2** millones.

**CUADRO 6.14.4.7-1
DETERMINACIÓN DEL DAÑO
SITUACIÓN ACTUAL**

T (años)	Pexc	Q (m³/s)	Daño (millones \$)
5	0,2	23,0	0,0
10	0,1	45,0	4.357,2
20	0,05	79,0	5.864,0
40	0,025	129,0	7.143,0

50	0,02	146,0	8.120,4
150	0,006666667	268	10.116,0
100	0,01	212,0	11.204,6
200	0,005	323,0	12.369,9
1000	0,001	706,0	18.723,0
10000	0,0001	1.899,5	31.638,3

$$Daño\ Total = \sum_{i=1}^n \frac{D_i + D_{i-1}}{2} (p_i - p_{i-1})$$

Fuente: Elaboración Propia.

6.14.5. Cálculo Daño Evitado por Mejoramiento Caja del Río Grande

En primer lugar se determinan las curvas de daños asociadas a las distintas situaciones, las que se muestran en el Cuadro 6.14.5-1, tanto para la situación sin y con proyecto. Por ejemplo para el caso con proyecto en que se consideran obras para mejorar el río hasta 100 m³/s, se observa que para caudales menores el daño asociado es nulo. Se hace notar que como sólo se considera el mejoramiento de la caja del río, se asume que el daño asociado a la caja del río es un 20% del daño total. Bajo el supuesto anterior, se presenta en el Cuadro 6.14.5-2 el cálculo del daño evitado.

CUADRO 6.14.5-1
DAÑO ASOCIADO AL MEJORAMIENTO DE LA CAJA DEL RÍO (\$)

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	50 m ³ /s		100 m ³ /s		150 m ³ /s	
			Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
5	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0
10	45,0	697,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0
20	79,0	938,2	79,0	938,2	0,0	0,0	0,0	79,0
40	129,2	1.142,9	129,2	1142,9	129,2	1142,9	0,0	129,2
50	146,0	1.624,1	146,0	1624,1	146,0	1624,1	0,0	146,0
100	221,0	2.023,2	221,0	2023,2	221,0	2023,2	221,0	221,0
150	268,0	2.240,9	268,0	2240,9	268,0	2240,9	268,0	268,0
200	323,0	2.474,0	323,0	2474,0	323,0	2474,0	323,0	323,0
1000	706,0	3.744,6	706,0	3744,6	706,0	3744,6	706,0	706,0
10000	1.899,5	6.327,7	1899,5	6327,7	1899,5	6327,7	1899,5	1.899,5

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.5-22
DAÑO ASOCIADO AL MEJORAMIENTO DE LA CAJA DEL RÍO (\$)

Q (m ³ /s)	Daño Sin Mejoramiento	Daño Con Mejoramiento	Daño Evitado
50	154,9	102,6	41,8
100	154,9	67,4	105,0
150	154,9	38,1	186,9

Fuente: Elaboración Propia.

6.14.6. Cálculo Daño Evitado por Embalse Controlador de Crecidas Río Grande

En segundo lugar se determinan las curvas de daños asociadas a las distintas situaciones, las que se muestran en el Cuadro 6.14.6-1, tanto para la situación sin y con proyecto. Por ejemplo para el caso con proyecto en que se consideran obras para mejorar el río hasta 100 m³/s, se observa que para caudales menores el daño asociado es nulo. Posteriormente, usando los resultados del Cuadro 6.14.6-1, se determinaron los daños asociados a diferentes volúmenes de embalse y condiciones de mejoramiento del cauce. Los resultados de este cálculo se muestran en el Cuadro 6.14.6-2. Con los resultados mostrados en el Cuadro 6.14.6-2 se determinó el daño evitado, usando la siguiente relación:

$$\text{Daño Evitado} = \text{Daño Esperado}_{\text{Situación Sin Proyecto}} - \text{Daño Esperado}_{\text{Situación Con Proyecto}}$$

Los resultados se muestran en la Figura 6.14.6-1, tanto en forma gráfica como numérica.

CUADRO 6.14.6-1
DAÑO ASOCIADO A LAS SITUACIONES SIN/CON PROYECTO (\$)

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	4,3 hm ³		7,1 hm ³		10,2 hm ³	
			Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
Sin Mejoramiento Caja del Río								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0
10	45,0	4.357,2	17,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0
20	79,0	5.864,0	73,0	5.623,6	52,0	4.698,1	24,0	198,0
40	129,2	7.143,0	126,8	7.535,6	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	144,0	8.061,2	125,0	7.478,7	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	218,0	10.042,9	203,0	9.670,5	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	264,4	11.123,5	258,3	10.987,8	227,1	10.263,0
200	323,0	12.369,9	318,0	12.268,0	308,0	12.062,0	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	696,5	18.588,6	670,7	18.220,8	595,9	17.113,3
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 50 m³/s								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0
10	45,0	4.357,2	17,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0
20	79,0	5.864,0	73,0	5.623,6	52,0	4.698,1	24,0	0,0
40	129,2	7.143,0	126,8	7.535,6	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	144,0	8.061,2	125,0	7.478,7	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	218,0	10.042,9	203,0	9.670,5	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	264,4	11.123,5	258,3	10.987,8	227,1	10.263,0
200	323,0	12.369,9	318,0	12.268,0	308,0	12.062,0	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	696,5	18.588,6	670,7	18.220,8	595,9	17.113,3
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 100 m³/s								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0
10	45,0	4.357,2	17,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0
20	79,0	5.864,0	73,0	0,0	52,0	0,0	24,0	0,0
40	129,2	7.143,0	126,8	7.535,6	106,7	6.876,8	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	144,0	8.061,2	125,0	7.478,7	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	218,0	10.042,9	203,0	9.670,5	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	264,4	11.123,5	258,3	10.987,8	227,1	10.263,0
200	323,0	12.369,9	318,0	12.268,0	308,0	12.062,0	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	696,5	18.588,6	670,7	18.220,8	595,9	17.113,3
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 150 m³/s								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0
10	45,0	4.357,2	17,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0
20	79,0	5.864,0	73,0	0,0	52,0	0,0	24,0	0,0
40	129,2	7.143,0	126,8	7.535,6	106,7	6.876,8	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	144,0	8.061,2	125,0	7.478,7	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	218,0	10.042,9	203,0	9.670,5	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	264,4	11.123,5	258,3	10.987,8	227,1	10.263,0
200	323,0	12.369,9	318,0	12.268,0	308,0	12.062,0	273,0	11.314,9

1000	706,0	18.723,0	696,5	18.588,6	670,7	18.220,8	595,9	17.113,3
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3

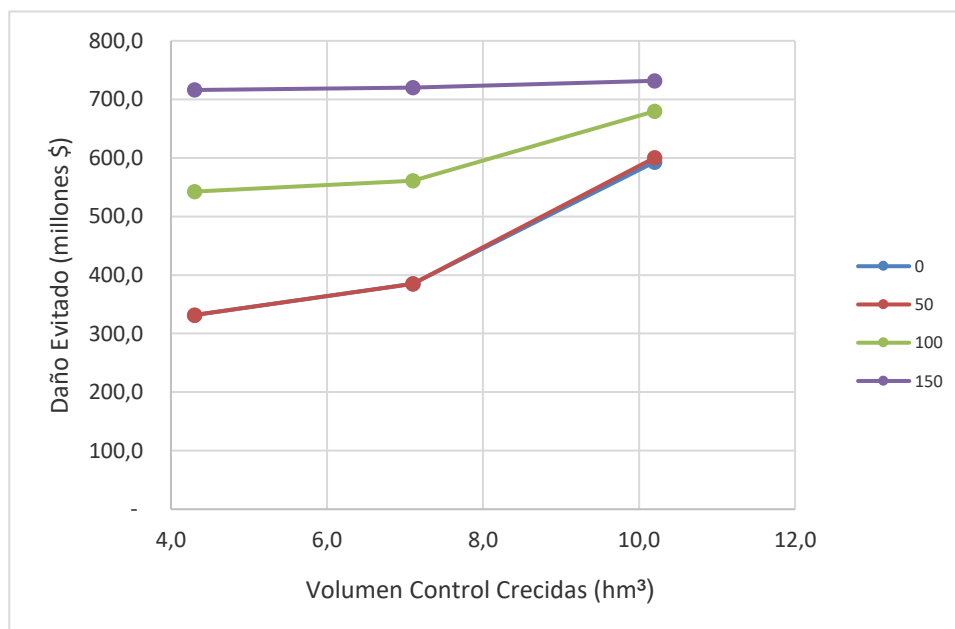
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.6-2 CÁLCULO DAÑO ESPERADO (MILLONES \$)

Caudal Mejoramiento Caja de Río (m³/s)	Volumen Control Crecidas (hm³)			
	-	4,3	7,1	10,2
	Sin Proyecto	Con Proyecto		
0	905,3	573,7	520,4	312,4
50	905,3	573,7	520,4	305,0
100	905,3	362,8	344,2	305,0
150	905,3	189,3	185,0	173,7

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.14.6-1 CURVA DAÑO EVITADO



Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Daño Evitado (millones \$)		
	4,3 hm³	7,1 hm³	10,2 hm³
0	331,7	384,9	592,9
50	331,7	384,9	600,3
100	542,6	561,1	679,8
150	716,0	720,4	731,7

Fuente: Elaboración Propia.

6.14.7. Cálculo Daño Evitado por Embalse de Riego en Río Salado

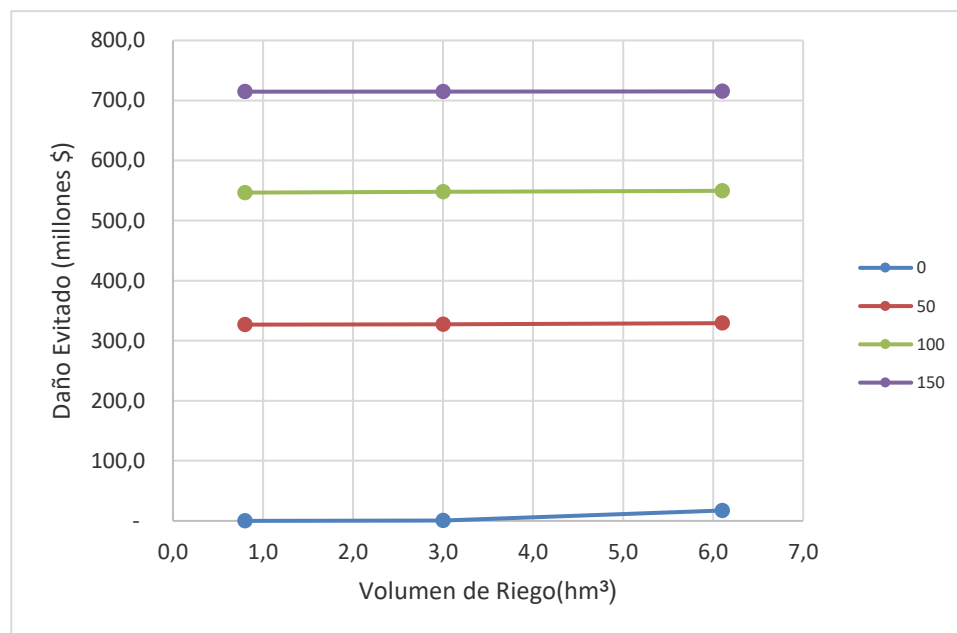
En segundo lugar se determinan las curvas de daños asociados a los distintos volúmenes de regulación de riego, los que si bien es cierto no resuelven el problema de las crecidas en general, tiene un efecto importante para las crecidas de periodo de retorno bajo, es decir las más recurrentes. Los daños se muestran en el Cuadro 6.14.7-1, tanto para la situación sin y con proyecto. Posteriormente, usando los resultados del Cuadro 6.14.7-1, se determinaron los daños asociados a diferentes volúmenes de embalse y condiciones de mejoramiento del cauce. Los resultados de este cálculo se muestran en el Cuadro 6.14.7-2.

Posteriormente, usando los resultados del Cuadro 6.14.7-1, se determinaron los daños asociados a diferentes volúmenes de embalse y condiciones de mejoramiento del cauce. Los resultados de este cálculo se muestran en el Cuadro 6.14.7-2. Con los resultados mostrados en el Cuadro 6.14.7-2 se determinó el daño evitado, usando la siguiente relación:

$$\text{Daño Evitado} = \text{Daño Esperado}_{\text{Situación Sin Proyecto}} - \text{Daño Esperado}_{\text{Situación Con Proyecto}}$$

Los resultados se muestran en la Figura 6.14.7-1, tanto en forma gráfica como numérica.

**FIGURA 6.14.7-1
CURVA DAÑO EVITADO**



Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Daño Evitado (millones \$)		
	0,8 hm³	3,0 hm³	6,1 hm³
0	0,4	130,9	257,3
50	327,1	338,8	390,9
100	548,0	551,2	657,1
150	715,1	715,3	716,2

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.7-1
DAÑO ASOCIADO A LAS SITUACIONES SIN/CON PROYECTO (\$)

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	0,8 hm ³		3,0 hm ³		6,1 hm ³	
			Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
Sin Mejoramiento Caja del Río								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	4.357,2	37,0	2.772,7	32,0	1.782,5
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.143,0	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 50 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.143,0	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 100 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,7	106,7	6.876,8	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 150 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	0,0	106,7	0,0	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	146,0	0,0	146,0	0,0	138,0	0,0
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0

10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
-------	---------	----------	---------	----------	---------	----------	---------	----------

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.7-2
CÁLCULO DAÑO ESPERADO (MILLONES \$)

Caudal Mejoramiento Caja de Río (m³/s)	Volumen Control Crecidas (hm³)			
	-	0,8	3,0	6,1
	Sin Proyecto	Con Proyecto		
0	905,3	905,0	774,5	648,1
50	905,3	578,2	566,5	514,4
100	905,3	357,3	354,1	248,3
150	905,3	190,2	190,1	189,2

Fuente: Elaboración Propia.

6.14.8. Cálculo Daño Evitado por Embalse de Riego en Río Salado y de Control de Crecidas en Río Grande

En segundo lugar se determinan las curvas de daños asociados a los distintos volúmenes de regulación de riego, los que si bien es cierto no resuelven el problema de las crecidas en general, tiene un efecto importante para las crecidas de periodo de retorno bajo, es decir las más recurrentes. Los daños se muestran en el Cuadro 6.14.8-1, tanto para la situación sin y con proyecto. Posteriormente, usando los resultados de los Cuadros 6.14.8-1 a 6.14.8-3, se determinaron los daños asociados a diferentes volúmenes de embalse y condiciones de mejoramiento del cauce. Los resultados de este cálculo se muestran en el Cuadro 6.14.8-2.

Posteriormente, usando los resultados del Cuadro 6.14.8-1, se determinaron los daños asociados a diferentes volúmenes de embalse y condiciones de mejoramiento del cauce. Los resultados de este cálculo se muestran en el Cuadro 6.14.8-2.

Con los resultados mostrados en el Cuadro 6.14.8-2 se determinó el daño evitado, usando la siguiente relación:

$$Daño\ Evitado = Daño\ Esperado_{Situación\ Sin\ Proyecto} - Daño\ Esperado_{Situación\ Con\ Proyecto}$$

Los resultados se muestran en las Figuras 6.14.8-1 a 6.14.8-3, tanto en forma gráfica como numérica.

CUADRO 6.14.8-1
DAÑO ASOCIADO A LAS SITUACIONES SIN/CON PROYECTO (\$)
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS: 4,3 hm³

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	0,8 hm ³		3,0 hm ³		6,1 hm ³	
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
Sin Mejoramiento Caja del Río								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	4.357,2	37,0	2.772,7	32,0	1.782,5
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 50 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 100 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 150 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	0,0	106,7	0,0	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	146,0	0,0	146,0	0,0	138,0	0,0
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6

1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.8-2
DAÑO ASOCIADO A LAS SITUACIONES SIN/CON PROYECTO (\$)
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS: 7,1 hm³

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	0,8 hm ³		3,0 hm ³		6,1 hm ³	
			Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
Sin Mejoramiento Caja del Río								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	4.357,2	37,0	2.772,7	32,0	1.782,5
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 50 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	5.864,0	74,0	5.664,3	58,0	4.978,1
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	5.296,6
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	905,3	21.361,2
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 100 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	7.076,3	106,7	6.876,8	65,2	0,0
50	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	146,0	8.120,4	138,0	7.881,4
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	578,6	16.847,9
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 150 m³/s								
5	23,0	0,0	22,0	0,0	16,0	0,0	16,0	0,0
10	45,0	4.357,2	45,0	0,0	37,0	0,0	32,0	0,0
20	79,0	5.864,0	79,0	0,0	74,0	0,0	58,0	0,0
40	129,2	7.143,0	128,0	0,0	106,7	0,0	65,2	0,0

50	146,0	8.120,4	146,0	0,0	146,0	0,0	138,0	0,0
100	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	221,0	10.116,0	219,0	10.067,3
150	268,0	11.204,6	261,6	11.061,2	258,3	10.987,8	249,2	10.781,8
200	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	323,0	12.369,9	322,0	12.349,6
1000	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	706,0	18.723,0	358,7	13.075,9
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.8-3
DAÑO ASOCIADO A LAS SITUACIONES SIN/CON PROYECTO (\$)
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS: 10,2 hm³

T (años)	Sin Proyecto		Con Proyecto					
	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	0,8 hm ³		3,0 hm ³		6,1 hm ³	
			Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)	Q (m ³ /s)	Daño (millones \$)
Sin Mejoramiento Caja del Río								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	45,0	4.357,2	13,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
20	79,0	5.864,0	24,0	198,0	22,0	0,0	17,0	0,0
40	129,2	7.143,0	76,8	5.776,7	64,0	5.245,6	39,1	3.192,6
50	146,0	8.120,4	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8
200	323,0	12.369,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 50 m³/s								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	45,0	4.357,2	13,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
20	79,0	5.864,0	24,0	0,0	22,0	0,0	17,0	0,0
40	129,2	7.143,0	76,8	5.776,7	64,0	5.245,6	39,1	0,0
50	146,0	8.120,4	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8
200	323,0	12.369,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 100 m³/s								
5	23,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	45,0	4.357,2	13,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
20	79,0	5.864,0	24,0	198,0	22,0	0,0	17,0	0,0
40	129,2	7.143,0	76,8	5.776,7	64,0	0,0	39,1	3.192,6
50	146,0	8.120,4	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1	108,0	6.921,1
100	221,0	10.116,0	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8
200	323,0	12.369,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3
Mejoramiento Caja del Río Hasta 150 m³/s								

5	23,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	45,0	4.357,2	13,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
20	79,0	5.864,0	24,0	0,0	22,0	0,0	17,0	0,0
40	129,2	7.143,0	76,8	0,0	64,0	0,0	39,1	0,0
50	146,0	8.120,4	108,0	0,0	108,0	0,0	108,0	0,0
100	221,0	10.116,0	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9	176,0	8.965,9
150	268,0	11.204,6	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8	219,8	10.085,8
200	323,0	12.369,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9	273,0	11.314,9
1000	706,0	18.723,0	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8	595,9	17.113,8
10000	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3	1.899,5	31.638,3

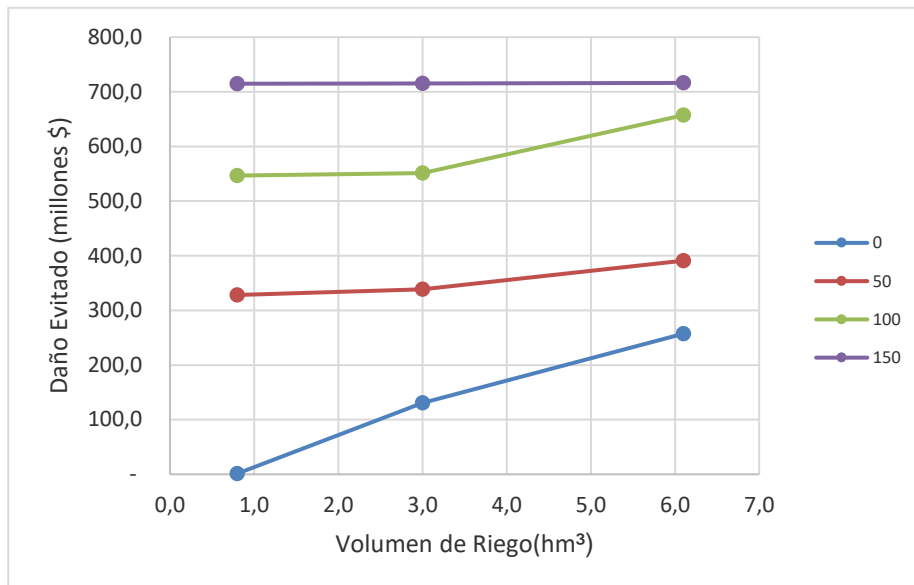
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 6.14.8-4
CÁLCULO DAÑO ESPERADO (MILLONES \$)

Volumen Útil C. Crecidas (hm ³)	Caudal Mejoramiento Caja de Río (m ³ /s)	Volumen Útil Riego (hm ³)			
		-	0,8	3,0	6,1
		Sin Proyecto	Con Proyecto		
4,3	0	905,3	904,0	774,5	648,1
	50	905,3	577,2	566,5	514,4
	100	905,3	357,3	354,1	248,3
	150	905,3	190,2	190,1	189,2
7,1	0	905,3	904,0	774,5	648,1
	50	905,3	577,2	566,5	520,9
	100	905,3	357,3	354,1	243,7
	150	905,3	190,2	190,1	175,3
10,2	0	905,3	319,2	303,8	273,0
	50	905,3	311,8	303,8	225,1
	100	905,3	319,2	225,1	273,0
	150	905,3	173,2	173,2	173,2

Fuente: Elaboración Propia.

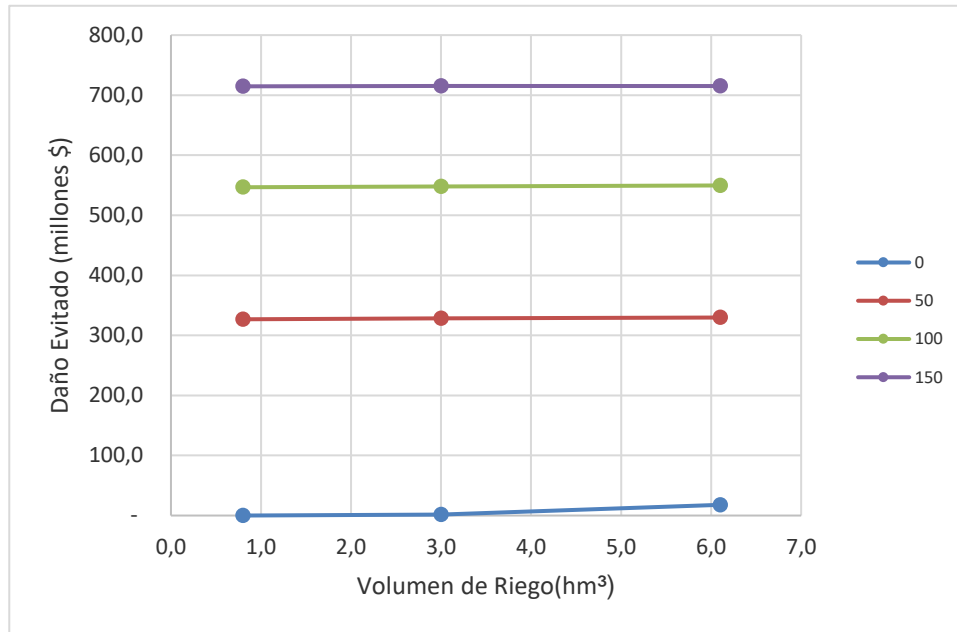
FIGURA 6.14.8-1
CURVA DAÑO EVITADO
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS 4,2 hm³



Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Volumen Útil de Riego (hm³)		
	0,8	3,0	6,1
0	1,4	130,9	257,3
50	328,1	338,8	390,9
100	548,0	551,2	657,1
150	715,1	715,3	716,2

Fuente: Elaboración Propia.

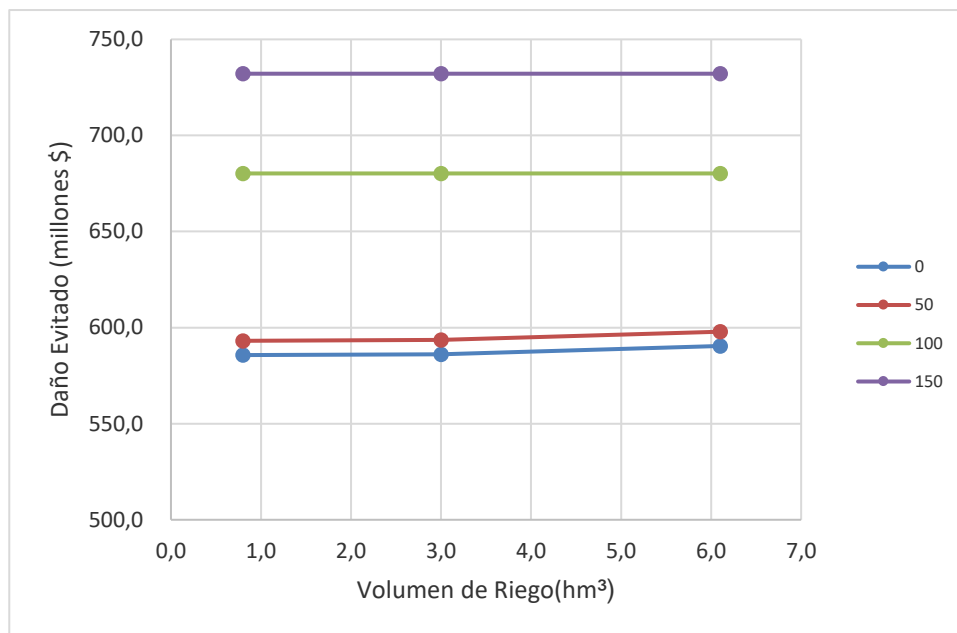
FIGURA 6.14.8-2
CURVA DAÑO EVITADO
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS 7,1 hm³



Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Volumen Útil de Riego (hm³)		
	0,8	3,0	6,1
0	1,4	130,9	257,3
50	328,1	338,8	384,5
100	548,0	551,2	661,7
150	715,1	715,3	730,0

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 6.14.8-3
CURVA DAÑO EVITADO
VOLUMEN ÚTIL CONTROL DE CRECIDAS 10,1 hm³



Caudal Mejoramiento Caja Río (m ³ /s)	Volumen Útil de Riego (hm ³)		
	0,8	3,0	6,1
0	585,7	586,1	590,4
50	593,1	593,6	597,9
100	680,2	680,2	680,2
150	732,1	732,1	732,1

Fuente: Elaboración Propia.

6.15. estudio legal de los derechos de agua

6.15.1. Antecedentes Históricos y Reconocimiento

En San Pedro de Atacama existe la Asociación Atacameña de de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, que cuenta con 850 socios aproximadamente (según lo indicado por los regantes). Siendo atacameños, se encuentran protegidos por la Ley N° 19.253 sobre protección, fomento y desarrollo indígena, que establece dentro de sus disposiciones, mecanismos orientados a formalizar el restablecimiento y protección de derechos de carácter ancestral en comunidades aymaras y atacameñas.

En el año 1997 la Dirección General de Aguas y la CONADI suscribieron un convenio para avanzar en el restablecimiento y protección de derechos ancestrales de comunidades indígenas aymaras y atacameñas en la I y II Regiones.

En 1995 los usuarios formaron legalmente la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, la cual solicitó para si los derechos de aguas del río San Pedro, en conjunto con la Comunidad Atacameña de río Grande. A esta solicitud presentaron oposiciones 2 empresas y 2 personas naturales (Explora S.A., Sociedad Tulor S.A., Ana María Barón y Juan Francisco D'Etigny Lira) aduciendo principalmente que, por no ser ellos indígenas, no podían pertenecer a esa Asociación, lo cual se solucionó mediante un avenimiento entre las partes. El avenimiento se encuentra inscrito en la Foja 21 N° 21 del Año 1996, del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama.

En dicho avenimiento, ordenado por el Segundo Juzgado de Letras El Loa-Calama, **se conforma una Comunidad de Aguas**, en lo relativo a los derechos de aguas sobre el Río San Pedro, entre la Comunidad Atacameña de Río Grande y la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama; Explora S.A.; Tulor S.A.; doña Ana María Barón Parra; y don Juan Francisco D'Etigny Lira.

Por Oficio Ord. D.G.A. II N°083 del 15 de febrero de 1996, la Dirección Regional de Aguas remitió en primera instancia al Segundo Juzgado de Letras de El Loa de la ciudad de Calama, el expediente de Regularización NR-II-1392, en el cual se incluyó el río San Pedro de Atacama. Dicho Juzgado solicitó a su vez, antecedentes complementarios para esta causa, rolada con el N° 4057-96, mediante el Oficio N° 334 del 03 de octubre de 1996. Este oficio fue contestado mediante un Informe Técnico Complementario de la Dirección General de Aguas en abril de 1997, a fin de que la causa se tramite en el Juzgado ya indicado.

El expediente de Regularización indica, para el río San Pedro, lo siguiente:

- Alveo: Río San Pedro
- Naturaleza de las aguas: Superficiales y Corrientes
- Caudal: 870 l/s
- Captación: Coordenadas UTM Norte 7.475.871; Este 582.233.
- Tipo de derecho: Consuntivo, permanente y continuo.

Los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos a fojas 46, número 45 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama del año 1997.

Para definir los derechos que corresponderían al sistema de regadío de San Pedro de Atacama, la Dirección General de Aguas se basó en los derechos que por uso y costumbre hasta la fecha han utilizado los regantes, los se encuentran estipulados en los estatutos de la Asociación y se detallan en el siguiente acápite.

6.15.2. Organizaciones Existentes Ligadas a la Distribución del Recurso Hídrico

Tal como se dijo al principio del presente capítulo, **se conforma una Comunidad de Aguas**, en lo relativo a los derechos de aguas sobre el Río San Pedro, entre la Comunidad Atacameña de Río Grande y la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama; Explora S.A.; Tulor S.A.; doña Ana María Barón Parra; y don Juan Francisco D'Etigny Lira. Esta comunidad se registró por las normas del artículo 187 y siguientes del Código de Aguas. Su directorio estará conformado por tres miembros, los cuales durarán un año en sus cargos, pudiendo reelegirse

indefinidamente. **La administración de la comunidad estará a cargo de la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama.**

Se debe señalar que esta comunidad no se encuentra vigente en el registro en la Dirección General de Aguas, por lo que la comunidad no se entiende como organizada, según el Artículo 196 del Código de Aguas.

La Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, agrupa a los regantes del río San Pedro, quienes tienen un caudal asignado de 870 L/s de las aguas superficiales y corrientes del río San Pedro, con derechos consuntivos, permanentes y continuos. Ésta es una Asociación Indígena de conformidad a la Ley 19.253, que tiene como objetivos:

- a) Tomar las aguas del río San Pedro, repartirlas entre todos los regantes, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueducto y otras que sean necesarias para su aprovechamiento común.
- b) Promover y fomentar la producción agrícola, pecuaria y agroindustrial de los asociados y velar por la eficiente comercialización de los productos que se obtengan, procurando así el mayor grado de beneficios económicos para sus integrantes.
- c) Propender al incremento de la superficie regada del Oasis de San Pedro de Atacama.
- d) Operar economatos, centrales de comercialización, unidades de prestación de servicios agropecuarios, técnicos, de maquinarias y otras similares.
- d)[sic] Preservar y promover el desarrollo de la cultura y valores propios del Pueblo Atacameño, velando por el fortalecimiento del espíritu de comunidad y solidaridad entre sus miembros y con otras comunidades y asociaciones indígenas.

“Podrán integrar la Asociación los indígenas atacameños mayores de 18 años de edad, que acrediten ser dueños de un predio agrícola que aproveche las aguas del río San Pedro. Además, en lo referente a la distribución y reparto de las aguas, podrá participar toda persona que justifique ser propietaria de un terreno agrícola que utilice las aguas de dicho río, sea o no indígena, con iguales derechos y obligaciones”.

“La Asociación se organiza y estructura sobre la base de siete Grupos de Regantes, uno por cada canal que conduce permanentemente aguas dentro del sistema de irrigación del Río San Pedro. Cada Grupo estará integrado por los regantes cuyos terrenos capten aguas de los canales sometidos a su respectiva jurisdicción. Serán de jurisdicción de cada Grupo los canales ramales y derivados que se indican a continuación:

- | | |
|----------|--|
| Grupo 1: | Ayllu de Catarpe: La Patilla, Tambillo, Bellavista, Catarpe, Huachar y Suchor. |
| | Ayllu de Quitar: Capia, Silo y Morro Blanco. |
| Grupo 2: | Ayllu de Conde Duque: Mutar, Paxa, Amacay y Gentilar. |
| | Ayllu de Yaye: Medalla, El Monte y Toro. |
| | Ayllu de Checar: Inca, Checar Alto y Chacar Bajo. |
| | Ayllu Conde Duque: Turbina y Aguilar. |
| Grupo 3: | Ayllu de Larache: Larache 1 y Larache 2. |
| | Ayllu de Solcor: Solcor y sus derivados, Alana, Vilama, Martínez, San Miguel, El Calvario, El Peral y El Rayo. |
| Grupo 4: | Ayllu de Séquitor: Canal de Piedra, El Alto, Calvario, Mucher, El Vaca, Toroche, Milagro y su derivado, Orquiche, y Cubilante. |

- Ayllu de Coyo: Putaisor, Corancay, Rodríguez, Sandón, Chocor y sus derivados Huliche y Ayavire, Tompator y Tocor con sus derivados Viviano y Campo Grande.
- Grupo 5: Ayllu de Solor: Cochara, Locra, Quiriute, Calvario, Chentura y Alana.
- Grupo 6: Ayllu de Cúcuter: Maylún y su derivado Pochomporo, y El Monte con su derivado Jocucha.
- Grupo 7: Estanque y sus derivados, entre ellos la Acequia El Cura.

Cada grupo será dirigido y administrado por una Directiva integrada por cinco dirigentes, a lo menos, elegidos en reunión general de Grupo, quienes durarán dos años en sus funciones..." (Estatutos Asociación). Los estatutos de la Asociación se encuentran en el Anexo 6-12.

Durante el mes de febrero de 2013 esta asociación ha cambiado de directiva y quedó constituida por las siguientes personas:

Presidente:	Justo Zuleta
Vicepresidente:	Apolinario Coca
Tesorero:	Elvis Ramos
Secretaria:	Felisa López

6.15.3. Derechos de Agua Existentes, Permanentes y Eventuales

6.15.3.1. Aspectos Generales

Para una mejor comprensión de la posesión de los derechos de aguas en la cuenca del río San Pedro se ha separado la información correspondiente a la Comunidad Atacameña de Río Grande y a la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, de la información del resto de los usuarios.

En el Anexo 6-12 se presenta un cuadro con el detalle de toda la información disponible para todos los derechos de agua detectados en la cuenca que se tratarán a continuación.

6.15.3.2. Comunidad Atacameña de Río Grande y a la Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama

La Comunidad Atacameña de Río Grande y a la Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, poseen un total aproximado a los 1.157 litros por segundo, tomados y sumados en diferentes Ríos y Vertientes que riegan al San Pedro (Ríos: San Pedro, Grande, Salado, Putana, Jauna, Incahuasi, Tocorpuri y las vertientes Yerba Buena, Guaitiquina, Vega de Paila y Felón), siendo su uso principal el de riego y pastoreo, y del tipo consuntivo, permanente y continuo. Los derechos de aprovechamiento de aguas descritos fueron adquiridos por regularización en virtud del Código de Aguas, ordenada por el Segundo Juzgado de Letras de Calama, en causa Rol N° 4.057-96, cuyo dominio se encuentra inscrito a fojas 46, número 45 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama del año 1997. Dichos derechos poseen una prohibición, según escritura pública de fecha 29 de diciembre del año 2004, de acuerdo a lo establecido en los artículos 22 y 13 de la Ley 19.253, esto es, la prohibición de Enajenar los derechos de aprovechamiento de aguas durante 25 años contados

desde la fecha de la escritura. Como asimismo no podrán en cualquier tiempo ser enajenados, embargados, gravados, ni adquiridos por prescripción, gravarlos, arrendarlos, darlos en comodato, ni cederlos a terceros No Indígenas en uso goce o administración, dicha prohibición se encuentra inscrita a fojas 2, número 2 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama del año 2005. Los antecedentes se presentan en el Cuadro 6.15.3.2-1.

Cabe señalar que en el informe técnico realizado el año 1997 se señala -respecto de la disponibilidad del recurso- en forma textual "Finalmente se puede indicar que con fecha 01.02.97 se publicó en el Diario Oficial la Resolución DGA Nº 909 del 28.11.96 que "Identifica y Delimita las Zonas que corresponden a Acuíferos que alimentan Áreas de Vegas y de los llamados Bofedales en las regiones de Tarapacá y Antofagasta " lo que implica que en dichos sectores ya no se podría solicitar nuevos derechos de aprovechamiento sin que signifique la afección de derechos de terceros legalmente constituidos. Para este caso en particular todas las fuentes solicitadas recaen en las Vegas consideradas en la región de Antofagasta por lo que se asegura que las Comunidades Indígenas estarán protegidas por cuanto cualquier petición en estas fuentes irá en directo perjuicio de Alimentación de recurso para la preservación de estas áreas verdes y por lo tanto se deberá denegar si así fuera".

CUADRO 6.15.3.2-1

DERECHOS DE AGUA COMUNITARIOS COMUNIDAD ATACAMEÑA DE RÍO GRANDE Y ASOCIACIÓN ATACAMEÑA DE REGANTES Y AGRICULTORES SAN PEDRO DE ATACAMA

Nº	FUENTE	CAUDAL	UNIDAD	TIPO	USO
1	Río San Pedro	870	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
2	Río Grande	115	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
3	Río Grande	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
4	Río Salado	12	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
5	Río Salado	5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
6	Río Putana	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
7	Río Jauna	89	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
8	Río Jauna	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
9	Río Incahuasi	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
10	Río Tocopuri	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
11	Vertiente Yervas Buenas	5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
12	Vertiente Yervas Buenas	3	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
13	Vertiente Felon	3	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
14	Vertiente Guatiquina	3	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
15	Vertiente Vega de Paila	2	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Pastoreo
TOTAL		1.157	L/s		

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA 2013

El expediente NR-0202-1392 se presenta en el Anexo 6-12.

6.15.3.3. Otros Propietarios

Existen otros derechos de aprovechamiento de aguas otorgados a particulares, comunidades y empresas, ubicados en la Comuna de San Pedro de Atacama, los que se presentan en el Cuadro 6.15.3.3-1.

**CUADRO 6.15.3.3-1
DERECHOS DE AGUA OTROS PROPIETARIOS**

N°	NOMBRE	CAUDAL	UNIDAD	TIPO	USO
1	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	6	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
2	Comunidad Atacameña de Machuca	10	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Riego
3	Explora S.A.	18	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	Otros usos
4	Inversiones Esclavas S.A.	6,5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
5	Inversiones Esclavas S.A.	6,5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
6	Inversiones Esclavas S.A.	2,5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
7	Inversiones Esclavas S.A.	0,5	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
8	Inversiones Esclavas S.A.	1	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
9	Inversiones Esclavas S.A.	2	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
10	Roberto Zuñiga Espinosa	1	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
11	Juan Marcelo Barrera Tobar	3	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
12	Roberto Zuñiga Espinosa	1	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
13	Inmobiliaria Ecoandes Limitada	1	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
14	Cimap Limitada	3,78	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
15	Manuel Arturo Muñoz Henríquez	0,77	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
16	Marcos Julio Romero Menanteu	0,45	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
17	Hernan Gabriel Ramirez Carrasco	8	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
18	Roberto Zuñiga Espinosa	1	L/s	Consuntivo, permanente y continuo	S/I
	TOTAL	73	L/s		

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA 2013

En algunos casos los derechos de aguas han sido transados en el mercado obteniendo un alto precio por su compraventa, lo que se presentan en el Cuadro 6.15.3.2-2 de compraventas. Según información recabada en el Conservador de Bienes Raíces de Calama, en cuanto a las últimas transacciones de Compraventa realizadas por particulares en el área del estudio.

**CUADRO 6.15.3.3-2
COMPRAVENTAS**

N°	NOMBRE COMPRADOR	NOMBRE VENDEDOR	FECHA TRANS.	Q L/s	TIPO	VALOR TRANS.	FUENTE
----	------------------	-----------------	--------------	-------	------	--------------	--------

CUADRO 6.15.3.3-2 COMPRAVENTAS

N°	NOMBRE COMPRADOR	NOMBRE VENDEDOR	FECHA TRANS.	Q L/s	TIPO	VALOR TRANS.	FUENTE
1	Inversiones Eslavas S A	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	04-10-2007	6,5	Permanente y Continuo	\$ 60.000.000	Río Grande
2	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	Jacob Alberto Torruela Placencia	20-11-2006	2		\$ 12.000.000	Río Grande
3	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	Jacob Alberto Torruela Placencia	23-10-2006	0,50	Consuntivo	\$ 5.000.000	Río Grande
4	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	Jacob Alberto Torruela Placencia	02-11-2006	1	Consuntivo	\$ 2.000.000	Río Grande
5	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	Inversiones Eslavas S.A.	23-08-2007	6,5	Permanente y Continuo	\$ 60.000.000	Río Grande
6	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	Inversiones Eslavas S.A.	23-08-2007	6,5	Permanente y Continuo	\$ 60.000.000	Río Grande
7	Inversiones Eslavas S A	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	23-08-2007	6,5	No Consuntivo, Permanente y Continuo	\$ 60.000.000	Río Grande
8	Inmobiliaria Ecoandes Limitada	Lucila del Carmen Menanteau Espinoza	23-07-2007	1	No Consuntivo	\$ 6.000.000	Río Grande
9	Juan Marcelo Barrera Tobar	Juan Samuel Ernesto Acevedo Jamett	26-02-2008	3	Consuntivo, Permanente y Continuo	\$ 120.000.000	Río Grande
10	Inversiones Eslavas S A	Lucila del Carmen Menanteau Espinza	08-11-2007	2,5	Consuntivo, Permanente y Continuo	\$ 50.000.000	Río Grande

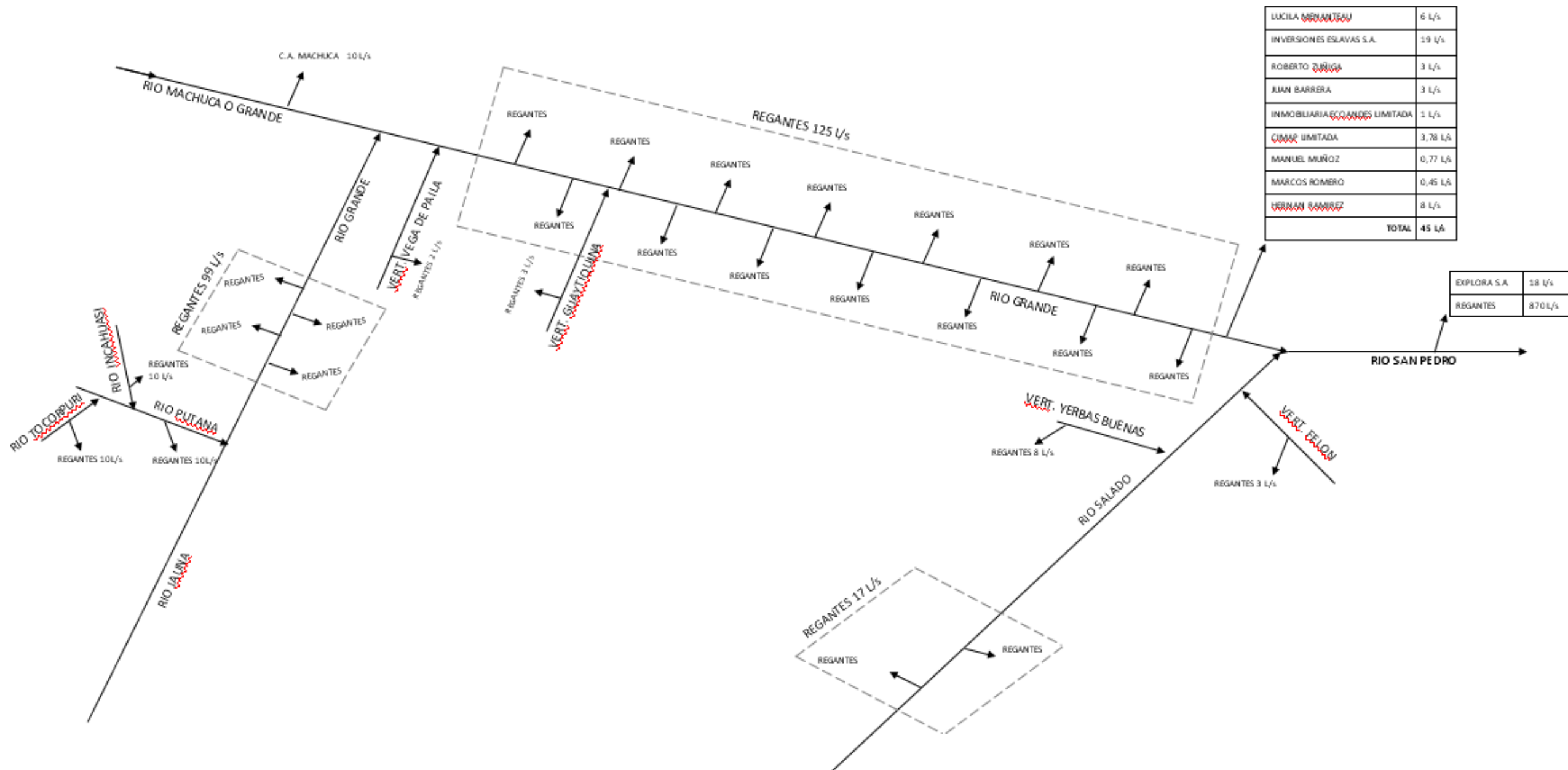
Fuente: Elaboración propia, según información del Conservador Bienes Raíces Calama

Los antecedentes proporcionados por la DGA, revisados para el caso, se presentan en el Anexo 6-12.

6.15.3.4. Resumen de la Información

A modo de resumen de la información, se presenta un diagrama unifilar con la información revisada en la Figura 6.15.3.3-1 y con los puntos de captación disponibles; además se presenta la Figura 6.15.3.3-2 donde se presentan los puntos georreferenciados sobre una imagen de Google Earth. Los puntos en formato kml se presentan en el Anexo 6-12.

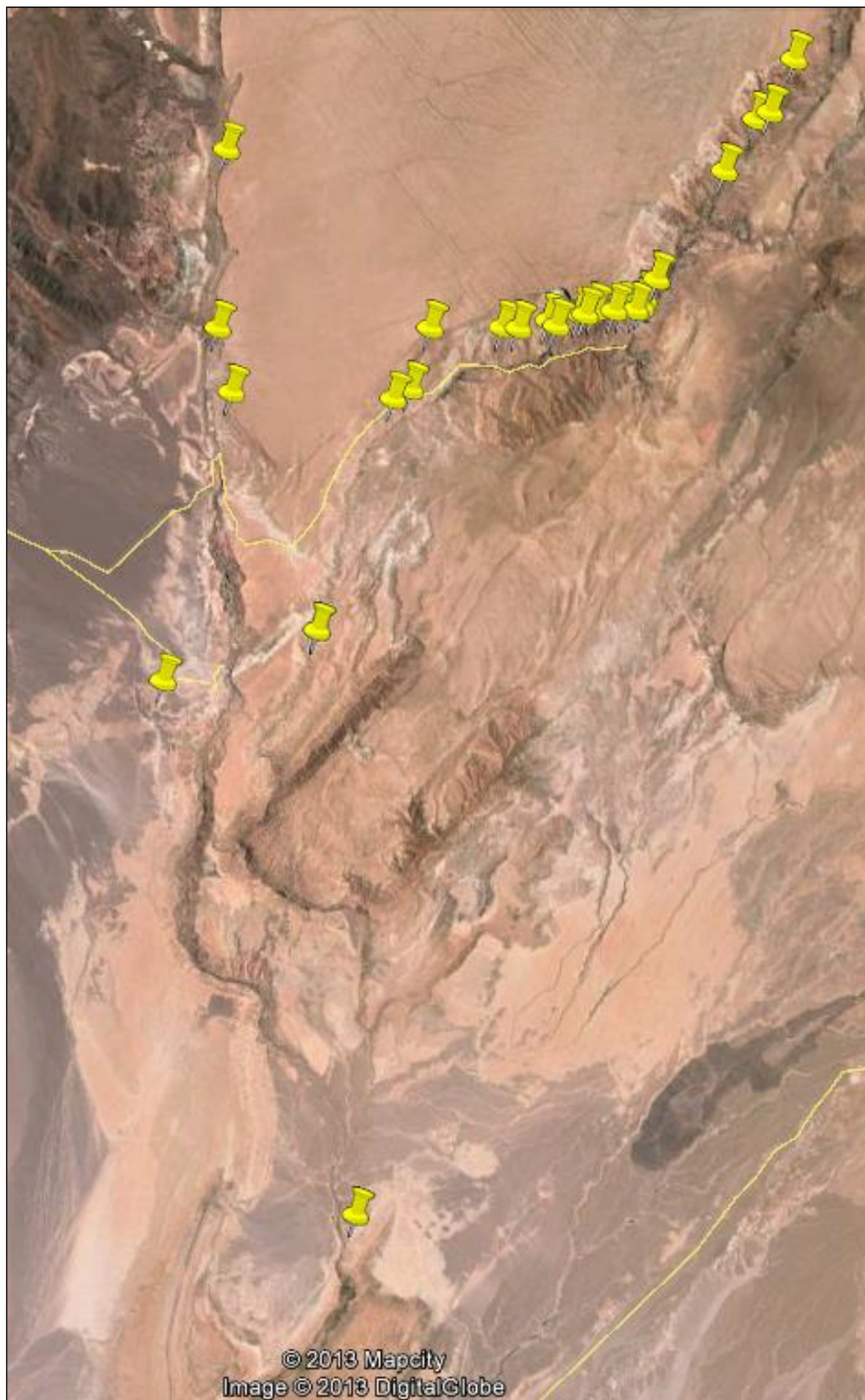
FIGURA 6.15.3.4-1
DIAGRAMA UNIFILAR



LUCILA MENANTEAU	6 L/s
INVERSIONES ESLAVAS S.A.	19 L/s
ROBERTO ZURUGA	3 L/s
JUAN BARRERA	3 L/s
INMOBILIARIA ECOSANDES LIMITADA	1 L/s
CIMAR LIMITADA	3,78 L/s
MANUEL MUÑOZ	0,77 L/s
MARCOS ROMERO	0,45 L/s
VERAN RAMÍREZ	8 L/s
TOTAL	45 L/s

EXPLORA S.A.	18 L/s
REGANTES	870 L/s

FIGURA 6.15.3.4-2
UBICACIÓN DE LOS PUNTOS SOBRE IMAGEN GOOGLE EARTH



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth e información proporcionada por DGA.

6.15.4. Derechos de Agua en trámite de otorgamiento

Según información de la DGA entre los años 1970 y 2012 hay solicitudes de derechos de agua que aun se encuentran en trámite, los que se presentan en el Cuadro 6.15.4-1. En este cuadro se incluyen las solicitudes de derechos de agua que no tienen mayores especificaciones y se han efectuado en la comuna de San Pedro de Atacama. De todas las solicitudes solo una corresponde al río Grande.

CUADRO 6.15.3.4-1
DERECHOS DE AGUA EN TRÁMITE DE OTORGAMIENTO

N°	INGRESO TRÁMITE	NOMBRE PETICIONARIO	Q (L/s)	TIPO DERECHO	EJERCICIO DERECHO	FUENTE	COORD.	ESTADO
1	05-01-2011	Juan Samuel Ernesto Acevedo Jamett	38	Consuntivo	Permanente y Alternado	Rio Grande o Rio Atacama	7490558; 581778	Pendiente en DARH
2	15-02-2012	Direccion General de Aguas Región de Antofagasta						Pendiente en Región
3	19-06-2012	Direccion General de Aguas Región de Antofagasta						Pendiente en Región
4	13-06-2011	María del Carmen Vega Bueno						Pendiente en Región
5	27-09-2011	SQM Salar S.A.						Pendiente en Región

CUADRO 6.15.3.4-1
DERECHOS DE AGUA EN TRÁMITE DE OTORGAMIENTO

N°	INGRESO TRÁMITE	NOMBRE PETICIONARIO	Q (L/s)	TIPO DERECHO	EJERCICIO DERECHO	FUENTE	COORD.	ESTADO
6	17-11-2011	Cesar Roberto Alvarado Montealegre						Pendiente en Región
7	17-11-2011	Cesar Roberto Alvarado Montealegre						Pendiente en Región
8	19-12-2011	Jovita Zimmermann Enisman						Pendiente en Región
9	19-12-2011	Jovita Zimmermann Enisman						Pendiente en Región
10	28-12-2011	Fernando Covarrubias Melero						Pendiente en Región
11	04-01-2012	Luis Mario Clery Azargado						Pendiente en Región
12	26-03-2012	Rodrigo Arriagada Astrosa						Pendiente en Región-OP
13	26-03-2012	Jorge Zuñiga Devia						Pendiente en Región-OP
14	26-03-2012	Rodrigo Arriagada Astrosa						Pendiente en Región-OP
15	16-03-2012	Aguas Quilvar Limitada						Pendiente en Región
16	08-02-2010	Jose Beltran Garcia						Pendiente en Región

Fuente: DGA, 2012

6.15.5. Análisis Legal de las Alternativas

6.15.5.1. Aspectos Generales

Las alternativas a estudiar en el presente acápite corresponden a las presentadas anteriormente en el Capítulo 5. El análisis se presenta para cada uno de los ríos en los que se desarrolla el proyecto.

6.15.5.2. Río Grande

Las alternativas estudiadas para el control de crecidas, que consiste en una obra de amortización de los caudales de punta de las crecidas, no generan nuevos derechos eventuales sobre el río Grande. Se requiere de la autorización de los usuarios de aguas abajo de la obra, manifestando su acuerdo con la construcción de una obra de retención

temporal de las aguas. Esto se refiere a las obras de control de crecidas especificadas con la letra b de cada una de las alternativas estudiadas.

En el caso de obras de trasvase de las aguas del río Grande al río Salado por medio del Túnel 1, se debe dejar pasar la alícuota correspondiente a los 45 L/s cuyo punto de captación, por parte de varios usuarios (ver Acápite 6.15.3.2) se encuentra en el sector de San Bartolo. Además en este caso, se debiera solicitar el traslado del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, hacia aguas arriba del Túnel 1, lo que debe ser autorizado por el Director General de Aguas.

El modelo hidrológico de las alternativas de obras de trasvase (Túnel 1) contempla un caudal ecológico en el río Grande, el que ha sido calculado según las metodologías existentes.

6.15.5.3. Río Salado

En cuanto a las obras planteadas para el río Salado, son las que requieren mayores acciones legales en caso de implementarse.

El modelo hidrológico de las alternativas contempla un caudal ecológico para el río Salado. En el caso de utilizar las aguas del río Salado para el riego sin mediar una obra de acumulación, se debiera solicitar un cambio en el punto de captación de los correspondientes derechos consuntivos necesarios para ser captados y transportados por medio de la tubería o del Túnel 2.

En caso de efectuar la obra de acumulación, se sugiere que la DOH, o la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro soliciten los derechos de aprovechamiento de agua de ejercicio eventual del río Salado, que se producen al tener acumulación de agua que permite un caudal sobrante después de abastecidos los derechos de ejercicio permanente.

También se sugiere solicitar los derechos no consuntivos, que permitan emplear el agua sin consumirla, para su uso en generación, en caso de resultar factible este uso. De acuerdo con el Artículo 140 del Código de Aguas, el punto de captación debe ser “la intersección del nivel de aguas máximas de dicha obra con la corriente natural” y el punto de restitución de las aguas será el punto de entrega de la central al cauce.

En caso de la realización de una obra por parte del Estado, de acuerdo con el DFL 1.123 de 1981, del Ministerio de Obras Públicas, una vez realizado el Anteproyecto se requiere que el proyecto sea aprobado por a lo menos un 33% de los nuevos terrenos por regar o el 33% de los derechos de aprovechamiento en obras de uso múltiple; posteriormente, una vez realizado el Proyecto Definitivo (Diseño) para ser incluido en programas de construcción del Ministerio de Obras Públicas se necesita que cuente con la aprobación y con el compromiso de reembolso por parte de los agricultores que representen a lo menos el 50% de las acciones.

6.15.5.4. Río San Pedro

En caso de existir una entrega por tubería en el río San Pedro – como en las Alternativas 2 y 3 – y en caso que sea factible la generación hidroeléctrica, se deberán solicitar los derechos no consuntivos en el punto de captación de las aguas, de manera de resguardar el uso hidroeléctrico para la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama.

En caso que no se llevara a cabo ninguna de las alternativas, pero si se realizara el mejoramiento de los canales incluyendo la unificación de las bocatomas, no se requiere cambio de punto de captación, ya que todos los derechos están constituidos en el punto donde se contempla unificar los canales.

6.15.6. Solicitud de Derechos

Se adjunta en el Anexo 6-15 la solicitud de derechos de agua consuntivos y no consuntivos.

7. Modelo de simulación y operación san pedro

7.1. *antecedentes generales*

El modelo de simulación hidrológica y operacional permite definir la cantidad de hectáreas posibles de regar asociados a una cierta seguridad de riego. Este modelo permite evaluar tanto la situación actual como las diferentes alternativas, incluyendo distintos elementos de funcionamiento de la cuenca del Río San Pedro.

El modelo posee flexibilidad para analizar diferentes escenarios. Es por ello, que se ha desarrollado de manera flexible con elementos variables, de tal forma que se puedan modificar todos los parámetros básicos que inciden en la modelación para obtener diferentes resultados.

Dentro de los principales elementos que conforma las alternativas se encuentran:

- **Túnel de Trasvase 1:** By pass que trasvasa agua desde el río Grande hasta el río Salado.
- **Embalse en el río Salado:** Obra de acumulación ubicada en el río Salado, entre el Túnel de Trasvase 1 y el sector aguas arriba de la quebrada Salmuera.
- **Túnel de Trasvase 2:** By pass que trasvasa agua desde Embalse en el río Salado, hasta el río Grande, en el sector San Bartolo. Se complementa con

una tubería que tiene como finalidad hacer un by pass en el sector del retenedor de crecidas.

- **Tubería de Conducción:** Obra de conducción desde el Embalse en el río Salado hasta la bocatoma del canal San Pedro.
- **Retenedor de Crecidas:** Embalse de retención de crecidas, con retardo en la entrega del agua de crecida.

Cada elemento es posible considerarlo en situación actual y situación futura, según corresponda. La situación actual queda definida considerando la cantidad de hectáreas actuales de todos los grupos de riego. Cada elemento puede ser ingresado en el Modelo, considerando la definición de escenarios para generar las series de demanda suplida en cada alternativa. A continuación, se describen los diferentes elementos considerados en la modelación del Río San Pedro.

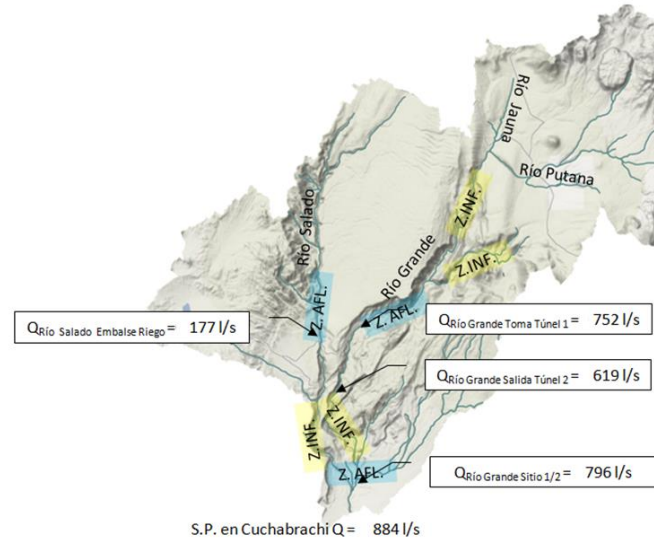
El modelo propuesto, tanto para la situación actual como futura considera los principales aportes del Río San Pedro, tales como Río Grande, originado de la confluencia del Río Jauna y Río Putana, y los aportes del Río Salado. La única estación de registro corresponde a Río San Pedro en Cuchabrachi, y los caudales medios mensuales en diferentes puntos fueron estimados en el Capítulo 4 de Hidrología y Sedimentos.

El modelo de simulación operacional, que se entrega con detalle en el Anexo 15-1, se ha desarrollado a escala mensual, durante un período desde 1947 a 2011, y contempla una regla de operación multianual. A continuación, se procede a resumir todas las variables y parámetros considerados en este Modelo.

7.2. Caudales Medios Río San Pedro

La serie de caudales medios mensuales en la cuenca del Río San Pedro corresponde a una hidrología compleja, que no es posible abordar con metodologías clásicas, como lo es trasposiciones por área o métodos de producción específica (Espíldora, 1975). En el Capítulo 6 Estudio Básicos se muestra en detalle el procedimiento adoptado para cada punto de interés. En la Figura 7.2-1 se muestran los caudales medios obtenidos para cada nodo de interés del modelo.

FIGURA 7.2-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES MODELO SAN PEDRO DE ATACAMA

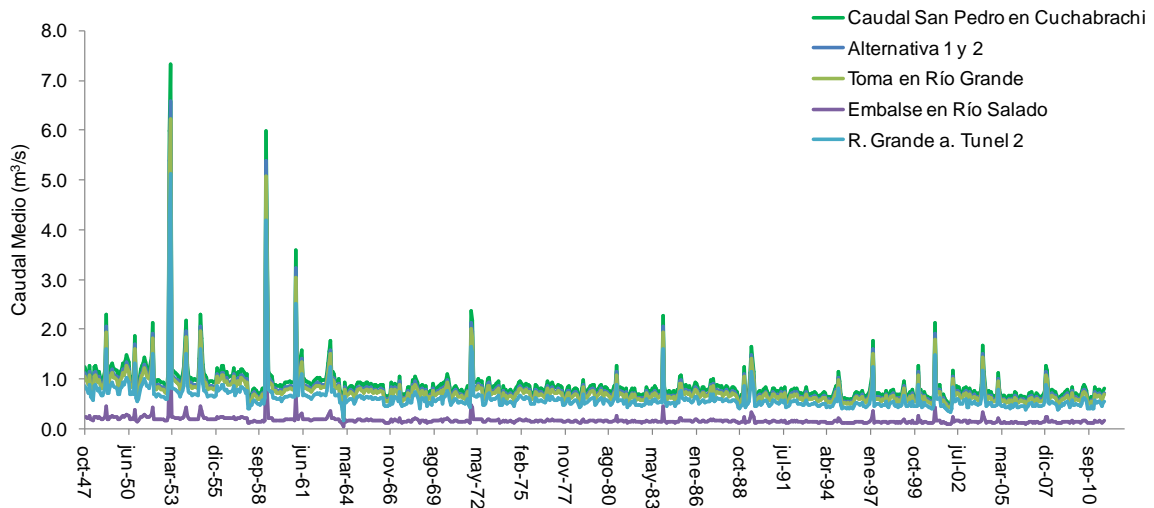


Z.INF.=Zona de Infiltración Z.AFL: Zona de Afloramiento

Fuente: Elaboración propia.

La estación fluviométrica Río San Pedro en Cuchabrachi se ubica sobre la cabecera de gran parte de la zona de Riego, sobre un 90 % de la superficie total de riego. Para cada punto se generó una serie de caudales medios mensuales que se consideraron como input del modelo de operación, y que se presentan en la Figura 7.2-2.

FIGURA 7.2-2
CAUDALES MEDIOS MENSUALES MODELO SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración propia.

7.3. *Tasas de Evaporación*

La evaporación se puede estimar de los registros de la Estación San Pedro en Cuchabrachi. En el Cuadro 7.3-1 se muestra el valor de evaporación mensual considerada para el modelo de operación y simulación de San Pedro de Atacama.

CUADRO 7.3-1
EVAPORACIÓN MENSUAL MODELO OPERACIÓN SAN PEDRO DE ATACAMA

Mes	mm/mes	Mes	mm/mes
OCT	309	ABR	213
NOV	334	MAY	163
DIC	341	JUN	134
ENE	333	JUL	145
FEB	281	AGO	189
MAR	281	SEP	244

Fuente: Elaboración propia.

La estimación media anual en San Pedro de Atacama de este cuadro entrega un valor anual medio de 2966 mm, mientras que el Balance Hídrico (BHCH, 1987) estima un valor de 3.000 mm para la zona de estudio.

7.4. *Eficiencia de Conducción*

La conducción en canales se considera relativamente buena, en la que se considera adecuado adoptar un valor de 80 % para Situación Actual (este valor también fue adoptado en los estudios del Embalse Coyil, 1995).

En la Figura 7.4-1 se muestra un canal en la zona del Río San Pedro, que da cuenta del estado de los canales.

FIGURA 7.4-1
CANALES DE REGADÍO SAN PEDRO ATACAMA



Fuente: Elaboración Propia.

Sin duda, que en una situación futura, al considerarse una mejor mantención y una disminución del sedimento del cauce podría considerarse una situación mejorada con un porcentaje de eficiencia cercano al 95 %.

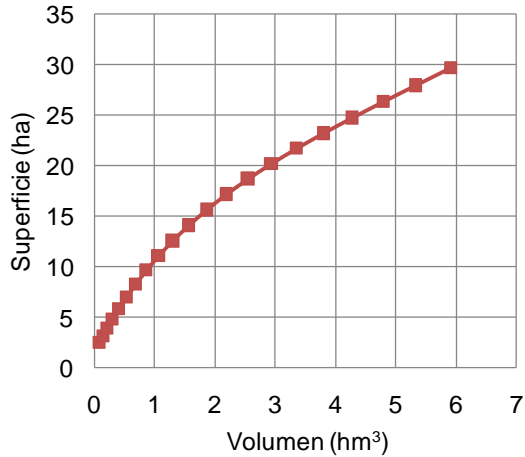
7.5. Curva de Embalse

Las curvas de embalse que relacionan el Volumen Acumulado con la Superficie libre y la Altura del embalse se consideran de gran utilidad, ya que mediante estas curvas se estima la pérdida en la superficie libre del espejo de agua que se verá afectada a evaporación y la carga filtrante que posee el embalse según distintas cotas.

En la Figura 7.5-1 se muestra la Curva de Superficie versus Volumen con la curva de mejor ajuste y sus parámetros respectivos, junto con la Curva de Altura de Muro versus Volumen.

FIGURA 7.5-1 CURVA DE EMBALSE

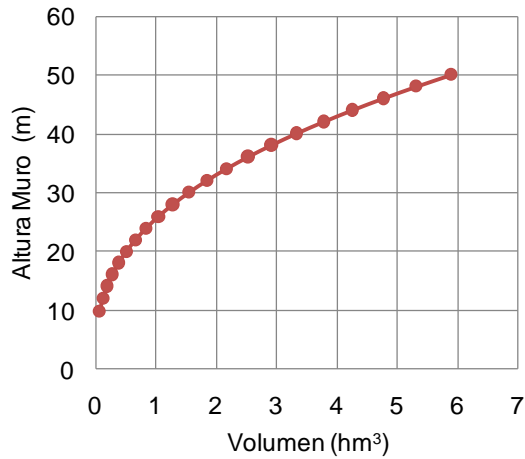
SUPERFICIE VS VOLUMEN



Ecuación
$Y = (A+X)/(B+C*X)+D*X^2$

Parametro	Valor
A=	0.121111
B=	0.07821
C=	0.02831
D=	0.14691

Altura vs Volumen



Ecuación
$Y = A*X**(B+C*X)+D*Ln(X)$

Parametro	Valor
A=	25.44
B=	0.37127
C=	0.00179
D=	-0.07059

Fuente: Elaboración Propia..

7.6. Distribución de Cultivos y demandas de agua

Las demandas de riego se determinaron en el estudio Agroeconómico, en el que se obtuvieron valores de demanda para situación actual y para situación futura con proyecto, los que se muestran en el Cuadro 7.6-1. Para las alternativas definidas en el Capítulo 5 y que consideran embalse, se presentan las demandas asociadas al embalse de mayor volumen útil.

**CUADRO 7.6-1
DEMANDAS DE RIEGO SAN PEDRO DE ATACAMA (M³/HA)**

Mes	Situación Actual	Situación Futura				
		Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5
OCT	2.183	2.293,8	2.297,5	2.121,8	2.198,8	2.183
NOV	3.539	3.392,7	3.397,3	2.255,3	2.447,4	3.539

DIC	4.622	4.406,3	4.412,5	3.001,5	3.115,2	4.622
ENE	5.124	4.892,4	4.899,3	3.396,4	3.522,9	5.124
FEB	4.882	4.666,9	4.673,6	3.253,1	3.390,7	4.882
MAR	3.810	3.694,7	3.700,4	2.839,1	2.909,4	3.810
ABR	508	544,8	546,3	919,1	741,3	508
MAY	68	124,7	125,5	472,7	415,5	68
JUN	51	102,5	103,2	420,2	371,9	51
JUL	41	73,2	73,7	258,0	241,2	41
AGO	46	78,7	79,2	287,6	245,5	46
SEP	401	817,9	819,5	1.439,7	1.555,5	401
Anual	25.274	25.089	25.128	20.664	21.155	25.274

Fuente: Elaboración propia.

7.7. Evaluación de situación actual y FUTURA

7.7.1. Situación Actual

Mediante la aplicación del Modelo de Simulación Operacional para la Situación Actual, se obtiene la seguridad de riego actual asociada a distintas superficies de riego, tal como se muestra en el Cuadro 7.7.1-1.

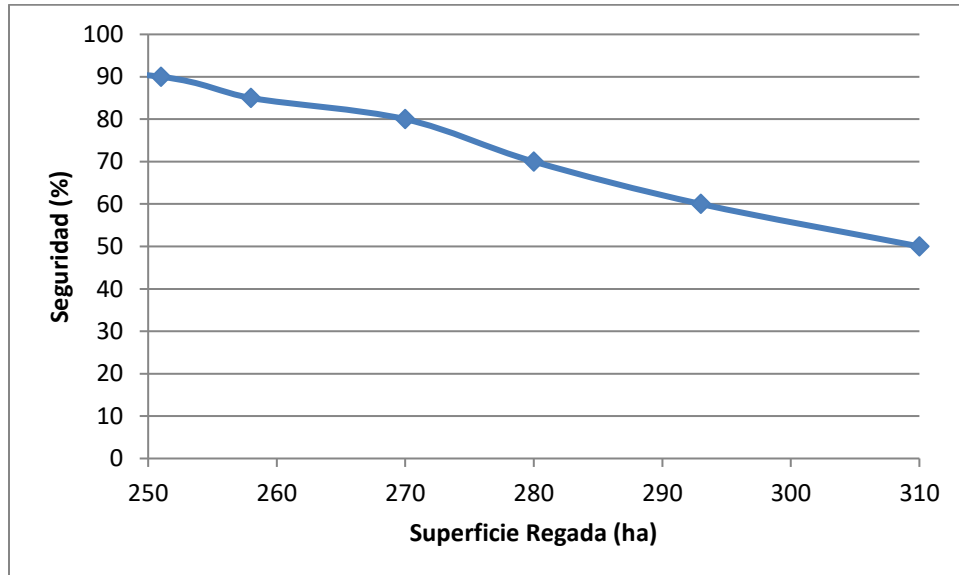
En la Figura 7.7.1-2 se muestra la serie de demanda suplida considerando 258 ha de riego con un 85% de seguridad de riego.

CUADRO 7.7.1-1
SUPERFICIE DE RIEGO VERSUS SEGURIDAD PARA SITUACIÓN ACTUAL

Superficie (ha)	Seguridad (%)
	95
	90
258	85
	80
	70
	60
	50

Fuente: Elaboración propia.

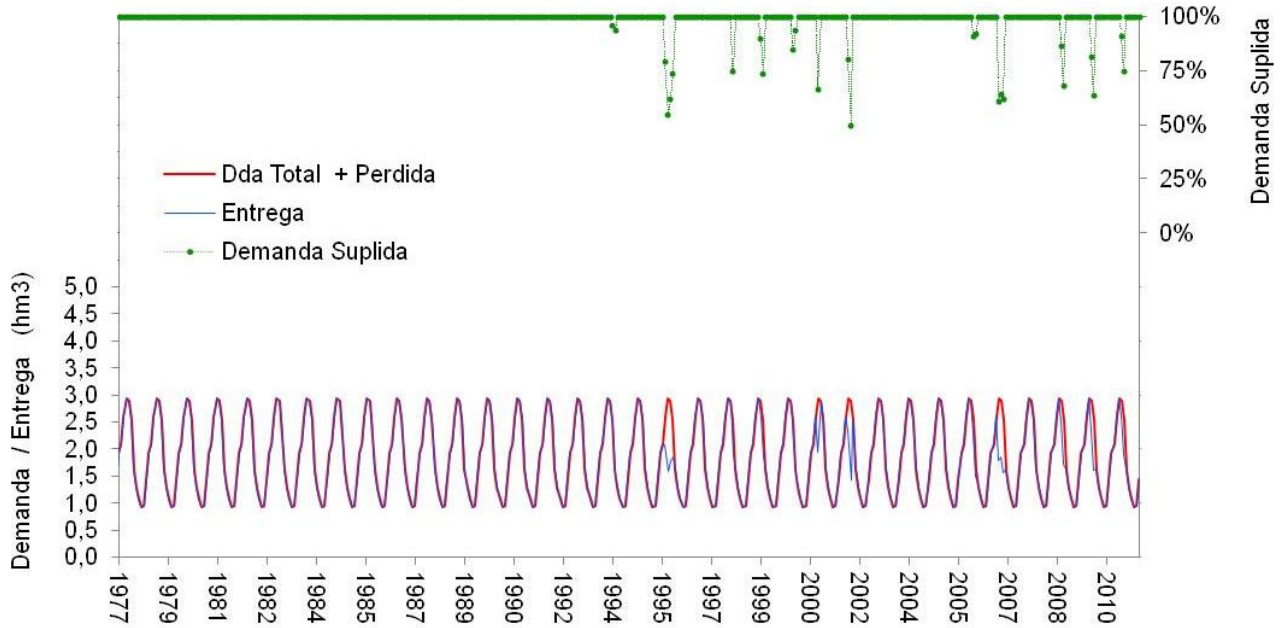
FIGURA 7.7.1-1
SUPERFICIE DE RIEGO VERSUS SEGURIDAD PARA SITUACIÓN ACTUAL



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados se observa que solo es posible regar 258 ha con una seguridad del 85%, sin considerar mejoras ni obras de regulación. Lo que entrega un valor bastante bajo considerando que actualmente se riegan cerca de 900 ha de riego, pero en condiciones muy precarias. De la cantidad de hectáreas de riego solo cerca del 30 % podría ser regado con una seguridad aceptable, lo que coincide con testimonio de regantes recogido en terreno.

FIGURA 7.7.1-2
DEMANDA SUPLIDA CONSIDERANDO 258 HA CON UN 85 % SEGURIDAD



Fuente: Elaboración propia.

7.7.2. Alternativa 1

Para la Alternativa 1 se considera solo conducción desde el Salado con entrega a través del Túnel 2. Para la modelación de esta alternativa se considera una eficiencia de entrega en los canales igual al 95 % y una pérdida del 10 % entre el tramo de salida Túnel 2 hasta la bocatoma del Canal San Pedro. Al aumentar la eficiencia de los canales de 95 % se obtiene un aumento en las superficie de riego, también es importante hacer notar que se evita una zona de infiltración del Río Salado al captar las aguas desde la zona alta.

Para esta alternativa se obtienen 322 ha asociadas a una seguridad del 85 % para la variante 1a y de 333 ha para la variante 1b.

7.7.3. Alternativa 2

Para la Alternativa 2 se considera la conducción del recurso en la zona alta del Río Salado para ser captada en manera entubada hasta la junta con el Río Grande, luego en el Río Grande se conduce el recurso del Río Salado y del Río Grande en forma conjunta en una tubería de diámetro mayor, hasta llegar a la bocatoma del Río San Pedro.

Esta alternativa disminuye las pérdidas en el tramo del Río Salado, y considera una eficiencia de conducción en canales del 95%. Al operar el modelo de simulación se obtiene una superficie de riego de 352 ha asociadas a una seguridad del 85 %.

7.7.4. Alternativa 3

Para la Alternativa 3 se considera que el recurso captado desde el Río Grande se conduce a través del Túnel 1 hasta la zona de Embalse en Río Salado. Estas aguas al ser almacenadas

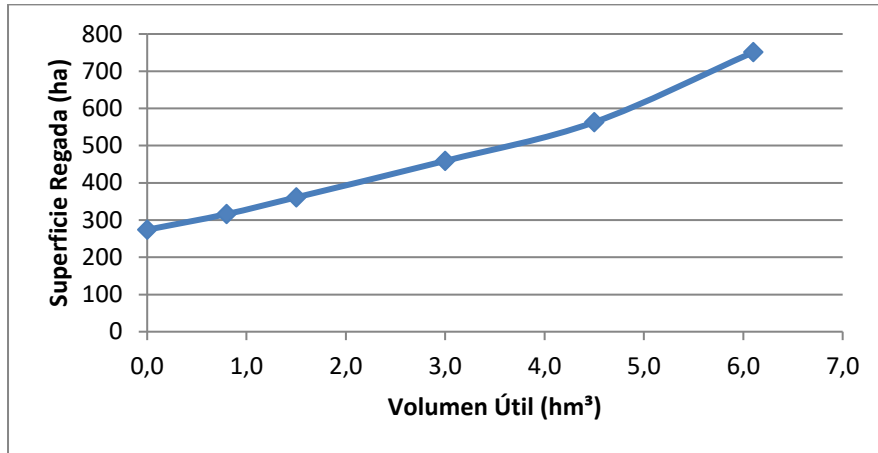
permiten regular y disponer del recurso en épocas que el agua es escasa. Cada volumen de embalse genera áreas de riego distintas asociadas a un 85% de Seguridad. También se considera una eficiencia de conducción del 95 %, y un 10% de pérdida en tramos del Río Grande. En el Cuadro 7.7.4-1 se muestra el área de riego asociada a un 85 % de seguridad de riego para distintos volúmenes de embalse. En la Figura 7.7.4-1 se muestra la variación de superficie vs volumen útil.

CUADRO 7.7.4-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 3

Vol. Útil (hm³)	Superficie (ha)
0,0	274
0,8	316
1,5	361
3,0	459
4,5	563
6,1	751

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 7.7.4-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 3



Fuente: Elaboración Propia.

7.7.5. Alternativa 4

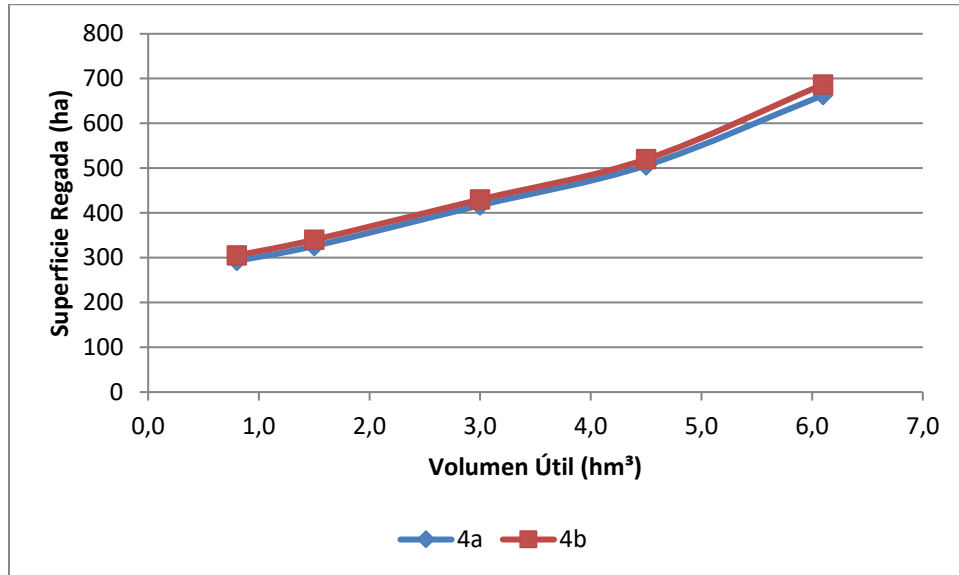
Para la Alternativa 4 se considera una captación de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1 hasta el Embalse en Río Grande. Luego la entrega se proyecta mediante una tubería hasta la entrada del Túnel 2 que desemboca nuevamente en forma directa en el Río Grande. También se considera una eficiencia de conducción del 95 %, y un 10% de pérdida en tramos del Río Grande. El Cuadro 7.7.5-1 se muestra el área de riego asociada a un 85 % de seguridad de riego para distintos volúmenes de embalse, información que también se muestra en la Figura 7.7.5-1.

CUADRO 7.7.5-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 4

Vol. Útil (hm³)	Superficie (ha)	
	4a	4b
0,8	293	305
1,5	326	340
3,0	417	430
4,5	506	520
6,1	663	687

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7.7.5-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 4



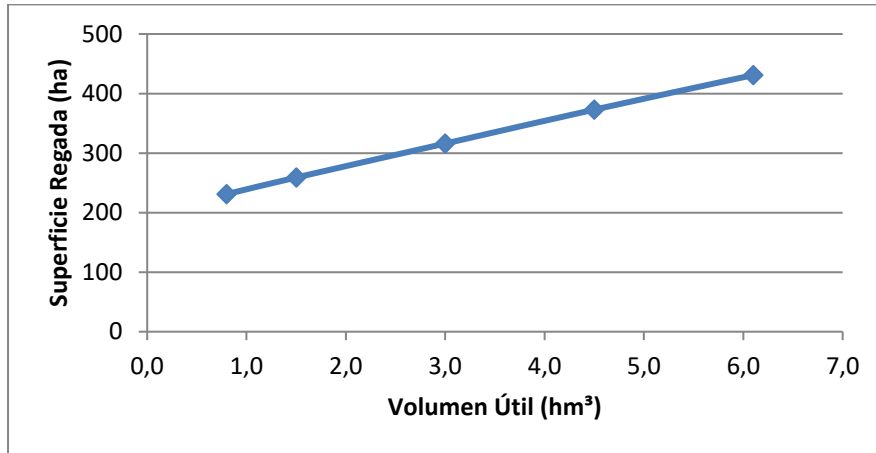
Fuente: Elaboración Propia.

7.7.6. Alternativa 5

En esta alternativa se considera la captación del recurso en el Río Grande hasta el Embalse en el Río Salado a través del Túnel 1. La entrega se realiza en forma directa en el Río Salado. También se considera una eficiencia de conducción del 95 %, y un 10% de pérdida en tramos del Río Grande, además se consideran las pérdidas que se producen en el Río Salado, que se estiman del orden de un 25 % según el modelo de operación.

El Cuadro 7.76-1 se muestra el área de riego asociada a un 85 % de seguridad de riego para distintos volúmenes de embalse. En la Figura 7.7. 6-1 se muestra la variación de superficie vs volumen útil.

FIGURA 7.7.6-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 5



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 7.7.6-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS VOLUMEN DE EMBALSE ALTERNATIVA 5

Vol. Útil (hm³)	Superficie (ha)
0,8	231
1,5	259
3,0	316
4,5	373
6,1	431

Fuente: Elaboración propia.

7.8. *Comentarios y Conclusiones*

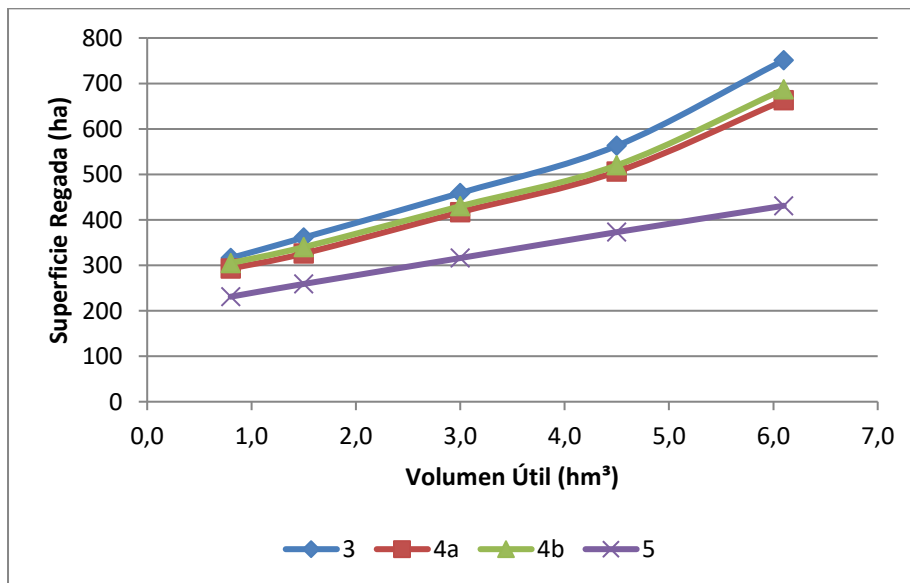
Como principales conclusiones se muestran los siguientes resultados:

- Situación Actual: Superficie 85 % = 258 ha.
- Alternativa 1, Conducción a través del Río Salado y Río Grande: Superficie 85 % = 322 ha para la alternativa 1a y 333 ha para la 1b.
- Alternativa 2, Captación en Río Salado y Túnel 2 para descargar en Río Grande: Superficie 85 % = 352 ha.

- Alternativa 3, Captación en Río Grande (Túnel 1) y acumulación en Embalse de Riego en Río Salado. Entrega se realiza mediante tubería en Río Salado y Río Grande hasta Canal San Pedro: Superficie 85 % varía entre 316 ha y 751 ha para volúmenes útil entre 0,8 hm³ y 6,1 hm³.
- Alternativa 4: Captación en Río Grande (Túnel 1) y acumulación en Embalse de Riego en Río Salado. Entrega se realiza mediante tubería en Río Salado y Túnel 2 para descargar en Río Grande. Superficie 85 % varía entre 293 ha y 663 ha para volúmenes útil entre 0,8 hm³ y 6,1 hm³, para la alternativa 4a y entre 305 y 687 para la 4b.
- Alternativa 5: Captación en Río Grande (Túnel 1) y acumulación en Embalse de Riego en Río Salado. Entrega se realiza en forma directa al Río Salado. Superficie 85 % varía entre 231 ha y 431 ha para volúmenes útil entre 0,8 hm³ y 6,1 hm³.

Se observa que la pendiente de la curva seguridad de Riego vs Volumen que se muestra en la Figura 7.8-1 genera un cambio entre los 4 hm³ o 5 hm³, para las Alternativas 3, 4 y 5 que son las que consideran embalse de regulación. Esto se debe a que aunque se aumente en forma considerable el volumen del embalse a partir de estos rangos no se logra obtener mayores áreas de riego debido a la disponibilidad hidrológica limitada en la zona. El volumen definitivo del embalse será resultado mediante un análisis técnico económico de la obra que se realizará en la etapa posterior del estudio.

FIGURA 7.8-1
SUPERFICIE VS VOLUMEN ALTERNATIVAS 3, 4 Y 5



Fuente: Elaboración Propia.

8. ESTUDIO AGROECONÓMICO

8.1. *introducción*

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados del estudio agroeconómico realizado. Los resultados completos se presentan en el Volumen 3 de este estudio.

8.2. *Área de Influencia y Sectores de Riego*

El área de influencia corresponde a las zonas de riego ubicadas en el valle de San Pedro de Atacama y que se abastecen por la red de canales que captan recursos directamente del cauce principal y el canal matriz. En este sector, que no presenta grandes variaciones climáticas, edáficas ni de distribución del agua, se encuentran los predios potencialmente beneficiados por el potencial embalse en conformidad con los derechos de aguas constituidos.

8.3. *Aspectos Climáticos*

Las características agroclimáticas asociadas al área de estudio se describen en el Mapa Agroclimático de Chile del INIA (1989), en el cual se aprecia que el clima dominante corresponde al Desértico de Altura, extendiéndose en las partes desérticas del Altiplano, desde la frontera con Perú hasta el norte de Coquimbo.

Más recientemente, el año 2012 la Universidad de Chile presenta el Atlas Bioclimático de Chile, que describe para el área de estudio las condiciones bioclimáticas asociadas al distrito Mt241Ha72. Este se distribuye espacialmente formando un anillo alrededor del distrito asociado a las condiciones bioclimáticas del Salar de Atacama. Mantiene un régimen térmico con una temperatura media anual de 13,3°C, siendo los meses más cálidos diciembre, enero y febrero, con temperaturas máximas que superan los 25°C; mientras los meses más fríos corresponden a Julio y Agosto con temperaturas mínimas bajo los 3°C.

La suma de temperaturas anuales base 10°C es de 1.255,7 grados-días. En cuanto a las precipitaciones, estas resultan escasas, alcanzando los 24,1 mm anuales. Los meses más lluviosos corresponden a Junio y Julio, con precipitaciones medias mensuales de 8,8 y 8,9 mm respectivamente.

Destacan los altos valores de evapotranspiración, los que anualmente corresponden a 1.120,1 mm, registrándose un valor en torno a los 132 mm en el mes más cálido del año (enero).

Del análisis de la información anterior se puede inducir que el área de estudio desde el punto de vista agroclimático, presenta condiciones favorables para el establecimiento de una amplia gama de especies vegetales de interés agrícola, tanto de tipo anual como frutal.

8.4. Aspectos Agrológicos

De acuerdo a antecedentes señalados por el MOP en 1995, los suelos de la localidad agrícola de San Pedro de Atacama forman parte del valle longitudinal del Salar de Atacama. Estos suelos se han originado en parte, a partir de sedimentos de origen lacustre que fueron arrastrados desde las partes altas llegando a las planicies, o bien constituyendo el piso de un lago actualmente desecado; por otra parte se presentan suelos de texturas más gruesas que los anteriores, notoriamente estratificados, los que a menudo están asociados o descansan sobre estratos de texturas más finas, correspondientes depósitos lacustrinos reducidos. Un área importante dentro del área de estudio, presenta suelos asociados a depósitos aluviales arenosos, con diversos tamaños de arena provenientes de fuentes aluviales distintas, principalmente del río San Pedro y Vilama.

Los suelos aluviales se caracterizan por mantener texturas predominantes arenosas, con un drenaje externo bueno y un drenaje interno variable, predominando los suelos de permeabilidad moderada a lenta, según los distintos suelos caracterizados por ser profundos y de buen arraigamiento. La morfología de estos suelos resulta plana estratificada, con pendientes de 0 a 2%, presentándose una erosión eólica que varía de ligera a moderada.

En cuanto a los suelos de origen lacustre presentes en San Pedro de Atacama, se caracterizan por ser de texturas diversas, predominando las arenas y las texturas franco – arenosas. La pendiente es relativamente plana con pendientes de 0 a 2 %, la erosión eólica varía de ligera a moderada, el drenaje externo es bueno y el drenaje interno rápido; son suelos profundos y de buen arraigamiento.

La superficie total del área de estudio alcanza 1.474,2 ha. El Cuadro 8.4-1 muestra el detalle de las superficies desagregadas a nivel de variación de la serie de suelos.

CUADRO 8.4-1
SERIES DE SUELO ÁREA DE ESTUDIO

Serie		Características del Suelo					
Nombre	Variación	Capacidad de Uso	Categoría de Riego	Clase Drenaje	Aptitud Frutal	Grupo de Manejo	Superficie (ha)
Cachiyuyal	CY1	IIs3	2s	5	B	B1	41,3
Cachiyuyal	CY1v	IIIs4	3s	5	C	E1	116,9
Cachiyuyal	CY2	IIs3	2s	5	B	B1	51,3
Cachiyuyal	CY3	IIs3	2s	5	B	B1	358,0
Cachiyuyal	CY4	IIIs3	3s	5	C	E2	27,1
Cachiyuyal	CY5	IIIs0	3s	5	C	E1	48,8
Cachiyuyal	CY6v	IVs0	4s	5	E	H	60,7
Cachiyuyal	CY7v	IVe1	4t	5	D	I	27,3
Cucuter	CU1	IIIs3	3s	5	D	E2	92,6
Cucuter	CU1v	IIIs4	3s	5	D	E1	45,5
Cucuter	CU2	IIIs3	4s	5	E	E2	6,6
Cucuter	CU3	IIIs3	3s	5	C	E2	36,8
Cucuter	CU4	IIIs3	2s	5	C	E2	72,6
Cucuter	CU5	IIs3	2s	5	C	B1	24,9
Maizal	MZ1	IIIs0	3s	5	C	E1	1,2
Maizal	MZ2	IIIs4	3s	5	C	E1	8,8
Maizal	MZ3v	IVs0	4s	6	E	H	20,2
Maizal	MZ4	IIs4	2s	5	B	B2	24,1
Solor	SO1	IIs4	2s	5	B	B2	85,1
Solor	SO2v	IVs4	4s	6	E	H	6,4
Solor	SO3	IIIs4	3s	6	C	E1	9,0
Solor	SO4	IIIs4	3s	5	C	E1	14,1
Solor	SO5	IIIs3	3s	5	C	E2	10,8
Triang. Cucuter	TC1	IIIs3	3s	5	D	E2	15,3
Triang. Cucuter	TC2	IIIs4	3s	6	D	E1	3,9
Triang. Cucuter	TC3	IIIs3	3s	5	D	E2	23,1
Triang. Cucuter	TC4	IVs4	4s	6	D	H	7,6
Triang. Cucuter	TC6	IIs3	2s	5	B	B1	27,1
Tulor	TL1	IIIs4	2t	6	C	E1	15,3
Tulor	TL2	IIs1	2t	5	B	D	12,3
Tulor	TL3	IVs4	4s	6	D	H	19,5
Tulor	TL4	IIIs4	3s	6	C	E1	21,1
Tulor	TL5	IIs4	2s	5	B	B2	6,8
Vecinal Cucuter	VC1	IIIs3	3s	5	C	E2	28,4
Vecinal Cucuter	VC2	IIIs4	3s	5	D	E1	5,8
Vecinal Cucuter	VC3	IIs3	2s	5	C	B1	11,8
Vecinal Cucuter	VC4	IVs4	4s	6	D	H	3,2
Vecinal Cucuter	VC5	IIIs3	3s	5	D	E2	3,4
Suelos aluviales	T1	VIIs0	6	6	E	K	17,7
Suelos aluviales	T2	IIIs0	4s	5	D	E1	9,6
Suelos aluviales	T3	IVs0	4s	6	E	H	11,9
Dunas	D	VIIe4	6	6	E	P	16,3
Caídas	E	IVe1	4s	5	E	I	15,3
Urbano	U	-	-	-	-	-	8,5
Total							1.474,2

Fuente: Elaboración Propia a Partir de MOP (1995).

8.5. *Diagnóstico de la Situación Actual Agropecuaria*

8.5.1. **Listado de Agricultores y Estructura de la Propiedad Agrícola**

Una vez establecida la sectorización del área de interés, se procedió a confeccionar un listado con los beneficiarios del proyecto:

En base a fuentes secundarias de información se confeccionó el listado predial por sector de riego. Posteriormente, se efectuó la estratificación de la propiedad agrícola por tamaño según la superficie total de cada una de las propiedades. Esta estratificación se realizó con el objeto de analizar y representar de la mejor forma la encuesta muestral y el posterior diagnóstico de las situaciones actual, optimizada y futura o con proyecto y obtener a partir de ella los Estudios de Casos representativos de cada sector en estudio.

En resumen la estratificación adoptada es la siguiente:

- **Estrato de tamaño 1:** Predios de tamaño menor o igual a 0,5. Corresponden generalmente a los originados por sub-divisiones de sucesión hereditaria, ubicados mayoritariamente en el centro de la comuna y en los alrededores cercanos a este. Se caracterizan por ser predios de subsistencia porque su destino preferencial es habitacional, con una pequeña explotación agrícola, en base a huerto casero para autoconsumo o cultivo de bajo nivel tecnológico.
- **Estrato de tamaño 2:** Predios de tamaño mayor a 0,5 ha y menor o igual a 1 ha. Corresponden a pequeños agricultores, los que mantienen una agricultura familiar campesina, por lo general de bajo nivel tecnológico asociado a chacras y huertos frutales.
- **Estrato de tamaño 3:** Predios de tamaño mayor a 1 ha y menor o igual a 5 ha. Estos predios incluyen mayoritariamente a parcelas agrícolas en que se mantienen chacras para consumo familiar, además de cultivos anuales y sectores con pradera, también por lo general para autoconsumo.
- **Estrato de tamaño 4:** Predios de tamaño mayor a 5 ha hasta 10 ha. Estos predios integran a los agricultores que, para las condiciones del área del río San Pedro, podrían considerarse grandes, a pesar de estar limitados por seguridad de riego. Generalmente corresponden a explotaciones con escasa producción agrícola, centrándose la actividad productiva solo en una fracción del terreno.
- **Estrato de tamaño 5:** Predios de tamaño mayor a 10 ha. Son predios que se considerarán como “muy grandes” para la zona y contemplan, por lo general, una pequeña porción cultivada, siendo la gran mayoría terrenos sin uso.

El Cuadro 8.5.1-1 presenta la estratificación predial para el área de estudio en cuanto al número de predios y la superficie física involucrada ajustada en concordancia con las fuentes de información mencionadas.

CUADRO 8.5.1-1
PREDIOS POR ESTRATO AREA DE ESTUDIO

Estrato	Predios		Superficie Física		
	Nº	%	Total		Promedio (ha)
			Ha	%	
E1 (0 a 0,5 ha)	473	38,8	120,2	8,2	0,3
E2 (0,5 a 1 ha)	291	23,9	213,6	14,5	0,7
E3 (1 a 5 ha)	426	35,0	849,1	57,6	2,0
E4 (5 a 10 ha)	19	1,6	123,8	8,4	6,5
E5 (>10 ha)	9	0,7	167,5	11,4	18,6
Total	1.218	100,0	1.474,2	100,0	-

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes primarias y secundarias.

8.5.2. Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha implementado una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarcó 358 predios de los 1.218 existentes, alcanzando el 29,4% de representatividad.

Luego del análisis de los resultados de la encuesta simple se realizó un estudio de caso, el que tiene por finalidad ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área de estudio, identificando en forma precisa todas las labores, insumos y productos que se obtienen en la agricultura y ganadería, y los costos asociados, para finalmente confeccionar las fichas técnico-económicas de cultivo, elementos claves para la evaluación posterior de los beneficios del proyecto. Se realizaron 10 estudios de caso que se relacionan directamente con los cultivos, contemplando los distintos niveles de rendimiento de los mismos, presentes en la zona de estudio.

8.5.3. Resultados Situación Actual Agropecuaria

La encuesta agropecuaria y los estudios de caso son la base para realizar la caracterización económica del área en estudio. Una vez que los datos fueron recopilados en terreno, se procesaron y analizaron en gabinete, con lo cual se estableció la estructura de cultivos característica de la Situación Actual Agropecuaria, que a su vez, ha servido para determinar los predios promedio para la caracterización económica (y posterior evaluación económica del proyecto). El uso del suelo de la Situación Actual (Cuadro 8.7.1-1), se obtiene de la

expansion de los resultados de la encuesta simple. La seguridad de riego actual para las 709,0 ha regadas expandidas es 0%, en tanto que la superficie con 85% de seguridad de riego alcanza las 233 ha.

Finalmente, para determinar los beneficios económicos se han calculado los costos indirectos y gastos generales para cada estrato y nivel tecnológico, abarcando diversos ambitos, tales como el pago de contribuciones, pago por servicios de mantenimientos de canales, electricidad, movilización, entre otros.

8.6. Situación Sin Proyecto

La situación actual optimizada, que sirve de base para la evaluación económica del proyecto, se ha definido como aquella resultante de un conjunto de acciones tendientes a efectuar cambios en la actividad agropecuaria del área, sin la realización de las obras planteadas en el proyecto de riego. Este proceso será planteado y desarrollado dentro de un Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica orientado principalmente a producir cambios de conducta por parte de los agricultores de nivel tecnológico y empresarial bajo y medio.

Se debe señalar que la situación actual mejorada u optimizada consiste en un mejoramiento de la situación actual con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la situación con proyecto.

Antes de realizar cualquier consideración, es necesario destacar que las condiciones de sequía severa existente en el área, y la baja periodicidad de los turnos de riego (cada dos o tres semanas), constituyen problemas que limitan en forma importante el desarrollo agroproductivo del área de estudio. Esto más allá de los niveles detectados en la Situación Actual, e independiente de la implementación de cualquier tipo de programas de asistencia e introducción de tecnología. Incluso, se debe considerar que los cultivos bajo un severo estrés hídrico, no responden adecuadamente a las prácticas de manejo convencional, de manera que en estas circunstancias muchas labores e insumos estarían siendo utilizadas en vano.

Por esta razón, los cambios en Situación Sin Proyecto se sustentan solamente en mejoras incorporadas al programa de manejo de cada cultivo, sin incurrir en inversiones mayores como infraestructura de riego tecnificado, implementación de nuevos cultivos, etc. ya que el potencial aumento de margen en estas críticas condiciones, no paga tal nivel de inversiones. Producto de esto se mantienen los mismos cultivos de Situación Actual sin modificación de su nivel tecnológico.

Entre los cambios producidos por efecto de la optimización de la situación actual, se deben mencionar los siguientes:

- Mejoría en el manejo de la explotación y de los rubros productivos desarrollados en ella. Esto produce aumento en los rendimientos de los cultivos anuales, hortalizas y frutales.
- Mejoramiento en la capacidad empresarial de los agricultores
- Optimización en la oportunidad de ejecución de las labores requeridas

- Mejor uso de insumos, especialmente fertilizantes y otros
- Acceso a la información de precios y mercados

Se espera que el Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica impulse y oriente a los agricultores a mejorar estos aspectos, principalmente por la vía de la organización de ellos para efectuar labores de acopio, transporte y venta de productos.

Las acciones mencionadas anteriormente, parten del supuesto que se conserve la estructura de cultivos ni de los costos indirectos con respecto a lo definido en la situación actual.

Por otra parte, se espera que se produzcan leves incrementos en los rendimientos de los cultivos actuales, producto de la introducción de nuevas prácticas de manejo (aplicación oportuna de fertilizantes y pesticidas) y en las oportunidades de cosecha y comercialización.

8.7. Situación Con Proyecto

8.7.1. Caracterización Productiva

La Situación Con Proyecto, corresponde al mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio, a través de la ejecución y construcción de obras civiles para aumentar la eficiencia de uso del agua y dar satisfacción a la demanda hídrica de los cultivos en los próximos años.

Según la información señalada en el estudio agroclimático, la zona de San Pedro de Atacama presenta en general condiciones de clima apropiadas para la adaptabilidad de distintos cultivos, como hortalizas, cereales, praderas y frutales en general, salvo casos específicos como el palto, donde la existencia de heladas invernales hace que su condición sea no apta a la zona, y de una adaptabilidad moderada para los cítricos.

Un aspecto clave a considerar en el presente estudio es el carácter salino del agua de riego. Esta condición se potencia con la práctica del riego, en especial del tecnificado, acumulándose las sales en superficie del suelo y afectando la adaptabilidad de distintas especies para ser utilizadas en la producción. Esto realza la importancia de contar con un suministro adecuado de agua para riego, en cantidad y calidad, a fin de satisfacer las demandas de agua de los cultivos y realizar el lavado de suelos necesarios para disminuir los niveles de sales en el sistema. En el estudio de ingeniería se aborda esta problemática proponiendo diferentes alternativas de obras civiles que reducen la salinidad del agua, dependiendo de la alternativa propuesta, a un rango de conductividad eléctrica entre los 1,93 dS/m y 2,16 dS/m (Cuadro 8.7.1-1), concentraciones por debajo de lo sugerido por FAO para su uso en riego (2,17 dS/m). En concordancia con lo señalado, desde el punto de vista agronómico se plantea una estructura productiva que se condice con las condiciones de salinidad alcanzada para el agua de riego, obteniéndose rendimientos entre un 75% y un 100% del máximo potencial de los cultivos propuestos¹³.

¹³ Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Water Quality for Agriculture (FAO, 1985).

CUADRO 8.7.1-1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ALCANZADA POR ALTERNATIVA

ID Alternativa	Conductividad Eléctrica Alcanzada (dS/cm)
SA - SSP	2,670
1a	1,975
1b	1,975
2	2,139
3-1	2,165
3-2	2,165
3-3	2,165
3-4	2,165
3-5	2,165
4a-1	1,925
4a-2	1,925
4a-3	1,925
4a-4	1,925
4a-5	1,925
4b-1	1,925
4b-2	1,925
4b-3	1,925
4b-4	1,925
4b-5	1,925

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de calidad de aguas.

Por otra parte, la estructura y funcionamiento del mercado donde se comercializan los productos originados de la actividad agropecuaria tiene características particulares. En San Pedro de Atacama actualmente existe una demanda de productos que es en parte satisfecha por una reducida oferta de productos locales y por una variada oferta de productos provenientes desde fuera del área de estudio, mayoritariamente desde Calama. La actividad turística en este mercado es clave, en términos de la cantidad de productos demandados y la calidad de estos, lo cual deja abierto un nicho de mercado para la comercialización de futuros productos agrícolas que se generen localmente. Se destaca además la condición de aislamiento geográfico de San Pedro de Atacama, lo cual promueve actualmente altos valores de transacción de los productos foráneos dentro del mercado local, igualándose a estos valores las transacciones de los productos locales, lo que en definitiva repercute en la rentabilidad general de la actividad agrícola.

La mayor seguridad de riego posibilitada por este proyecto, daría paso a un mejoramiento del nivel tecnológico en los predios y al aumento de productividad y rentabilidad de los rubros, lo cual se podría lograr necesariamente mediante la aplicación complementaria de un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica de carácter local, que incentive a los agricultores a incorporar nuevas tecnologías y sistemas de manejo agrícola que actualmente no son propios de la cultura atacameña.

Expuestas estas consideraciones, los criterios básicos que se han utilizado para las modificaciones en la estructura productiva, son los siguientes:

- Se contempla un cambio en la estructura productiva del área de estudio, reemplazando una superficie importante de cultivos tradicionales por alternativas de especies o variedades de mayor rentabilidad. Se propone en general el rubro de las hortalizas, representadas en este estudio por especies como el tomate, la betarraga, la lechuga y el zapallo italiano. Su implementación se fundamenta principalmente en la gran demanda por estos productos asociada a la actividad turística y lleva implícito un cambio tecnológico en el manejo agronómico, que implica una mayor inversión en infraestructura de cultivo y riego, y en el proceso productivo propiamente tal.
- Se mantienen la alfalfa y el maíz choclo pero con estándares productivos más altos. Se debe mencionar que las características de salinidad de suelo y agua, junto a las condiciones agroclimáticas, por décadas han determinado una condición de adaptación de cultivos tradicionales, como el maíz y la alfalfa, constituyéndose variedades (ecotipos) como la alfalfa Alta Sierra y la variedad de maíz choclero Capia, las que por este motivo siguen siendo consideradas en la Situación Con Proyecto.
- La particularidad de este valle en cuanto a las mencionadas características ambientales, el carácter ancestral de la agricultura Atacameña y las condiciones de mercado que activan la comercialización de los productos, determinan que la propuesta de alternativas de frutales a implementar en Situación Con Proyecto, se restrinja al cultivo de la vid vinífera, durazno y peral. La vid es un cultivo de reciente aparición como alternativa en la zona, y con buenas proyecciones de desarrollo, tanto al asociar su producción a la elaboración de vinos locales para venta al turista, como por su buena tolerancia a suelos y aguas salinos. El peral y el durazno por su parte, son frutales de frecuente presencia en la zona pero con variedades poco comercializables, y al ser manejados actualmente en forma deficiente presentan mala calidad y bajo calibre, por lo cual se propone eliminar las actuales variedades para ser reemplazadas por otras que aseguren una mejor producción.
- Considerando el bajo nivel tecnológico general se supone una acotada capacidad de respuesta a los cambios, redundando en una gradualidad de cambio extendida en el tiempo. Debido a lo anterior y considerando que la agricultura de subsistencia persiste en importante medida en el área, se incluyen cultivos tradicionales de bajo nivel tecnológico en Situación Con

Proyecto tales como chacras, huerto frutal y crianza de ovinos de autoconsumo que suponen también un aumento en sus rendimientos.

- Cultivos de alfalfa, maíz choclero y habas de nivel bajo son reemplazados, asumiendo un aumento en el nivel tecnológico hacia el nivel medio.
- Se contempla un mejoramiento en la eficiencia del manejo agronómico de recursos como mano de obra, maquinaria e insumos. Los cambios implementados se realizaron según la rentabilidad de cada cultivo, tecnificando el riego en algunos casos o maximizando por ejemplo el uso de jornadas utilizadas en riego, poda, limpias manuales, aplicación manual de productos, cosecha, etc.
- La optimización también considera la implementación de nuevos programas de fertilización (con la incorporación de fertilizantes fosforados y potásicos) y programas fitosanitarios adecuados a las necesidades de cada cultivo, en el contexto agrícola de la zona, reforzando el control preventivo y curativo de enfermedades, plagas y malezas. Además se aplican complementos a los programas ya utilizados en el área. Como resultado de lo anterior, se genera un cambio en los niveles tecnológicos de los cultivos respecto a la Situación Actual y Sin Proyecto.
- En el uso de maquinaria, se incorpora mecanización de labores desde preparación de suelos, cosecha y enfardado, aplicación de agroquímicos etc., reduciendo el uso de mano de obra en estos ítems, en especial considerando el alto costo de este recurso en la zona. No obstante se mantienen los precios de maquinaria de Situación Actual obtenidos de Estudios de Caso, los cuales son bastante elevados dadas las características de aislación geográfica del área de estudio.
- Las labores de manejo derivadas de los cambios antes mencionados, varían en directa proporción al cambio de rendimiento de cada cultivo, en especial las de poda y cosecha en vid. Además se añaden jornadas de mano de obra y maquinaria en algunas labores acorde al aumento de dosis y de productos recomendados.

Es importante señalar que para lograr estos cambios se debe considerar que:

- El cambio en la estructura productiva variará con respecto a la Situación Actual será más significativo a medida que la superficie con 85% de seguridad de riego sea mayor a la registrada en la Situación Actual, lo

que dependerá de las alternativas de obras propuestas. Este planteamiento es replicable a la estimación de los márgenes agrícolas de cada cultivo.

- Se espera una progresiva adopción de nuevas tecnologías en el manejo de los cultivos tradicionales. Esto producto de la incorporación al proyecto del mencionado programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica. De esta forma se incrementan en el tiempo rendimientos y márgenes por hectárea en respuesta a estos cambios subiendo el nivel tecnológico de estos cultivos tradicionales.
- Posteriormente y en forma gradual ocurre la adopción de las nuevas alternativas de cultivo propuestas para Situación Con Proyecto, hortalizas y vid vinífera, con la correspondiente inversión en riego tecnificado de cintas y goteo asociado a programas crediticios y de subsidios al desarrollo. Esto se analiza numéricamente en el acápite de gradualidad de los cambios del presente estudio.
- Se detalla en el acápite de transferencia tecnológica y asistencia técnica las características de una fuerte campaña de capacitación de agricultores para lograr un satisfactorio desarrollo de estas alternativas de cultivo, logrando a través del uso masivo de riego por cintas en hortalizas y de goteo en frutales, un eficiente uso del recurso hídrico disponible, haciendo viable la expansión del área de estudio con agricultura de un nivel alto.
- En relación con lo anterior, el desarrollo agropecuario planteado debe sustentarse en el tiempo. Para ello, se debe asegurar que la incorporación de las nuevas superficies de frutales y hortalizas se realice en un lapso de tiempo determinado y que los cultivos se establezcan bajo parámetros técnicos aceptables, de calidad y productividad.
- En términos generales, el bajo nivel actual de agricultura en la zona (asociado al carácter ancestral de esta y a las limitantes de riego mencionadas) y las condiciones de mercado local asociadas principalmente a la demanda de productos agrícolas desde el sector turístico, hacen necesario también cambios en la gestión del negocio agrícola. En este contexto, los productores debiesen regularizar su situación tributaria, con el propósito de establecer una mejor plataforma de negociación con los intermediarios, o bien que ellos mismos comercialicen directamente su producción, en especial en el contexto de nuevos cultivos .
- El nivel tecnológico futuro del productor agrícola promedio, deberá ser acorde a los estándares de los agricultores de zonas semejantes al área de estudio (en términos de condiciones de adaptabilidad de cultivos) que

se destaquen en términos de su producción agrícola. Los programas complementarios estarán constituidos por la asistencia técnica a los productores, la capacitación a los trabajadores y el apoyo crediticio para los planes de inversión y necesidades de capital de operación de las empresas, en especial para las pequeñas.

- Es necesario que las organizaciones de usuarios de aguas en el área de estudio, apoyen en forma participativa la redefinición de las normas de operación del sistema de riego y sus obras, con el objeto de mejorar la distribución del agua.

La estructura de uso futuro del suelo se planteó suponiendo que se mantendrán los mismos factores y prioridades que definen el uso actual de la tierra, es decir, el uso de la tierra se adaptará a las condiciones hidrológicas esperadas y a la seguridad de riego asociada, información que se presenta en el Cuadro 8.7.1-2, en comparación con el uso del suelo de la Situación Actual.

CUADRO 8.7.1-2
COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO

Cultivo	SA-SSP		SCP - Alternativa 3-5	
	Ha	%	Ha	%
Maíz Choclo	134,5	19,0	71,7	10,1
Tomate Aire Libre	0,0	0,0	45,8	6,5
Zapallo Italiano	0,0	0,0	58,6	8,3
Zapallo Italiano / Lechuga	0,0	0,0	34,7	4,9
Lechuga	0,0	0,0	36,0	5,1
Lechuga / Maíz Choclo	0,0	0,0	24,8	3,5
Lechuga / Otros Cultivos	0,0	0,0	39,1	5,5
Chacra Casera	8,1	1,1	25,8	3,6
Otros Cultivos	7,8	1,1	35,0	4,9
Alfalfa	461,1	65,0	189,8	26,8
Otras Praderas	14,1	2,0	0,0	0,0
Durazno	0,0	0,0	29,4	4,1
Peral	16,9	2,4	28,0	3,9
Peral / Alfalfa	22,7	3,2	22,3	3,1
Vid Vinífera	3,7	0,5	52,3	7,4
Huerto Frutal	28,7	4,0	8,8	1,2
Huerto Frutal / Alfalfa	11,4	1,6	6,9	1,0
A) Total Riego	709	100,0	709,0	100,0
Riego con Agua Superficial	709	48,1	709,0	48,1
Forestado	7,9	0,5	7,9	0,5
Indirectamente productiva	107,7	7,3	107,7	7,3
Sin uso potencialmente Regable	632,3	42,9	632,3	42,9
Improductiva	17,2	1,2	17,2	1,2
Total Predial	1.474,20	100,0	1.474,2	100,0

Fuente: Elaboración propia.

8.7.2. Costos Indirectos y Gastos Generales

Los gastos indirectos generales corresponden a los mismos aspectos presentados en la Situación Actual, con un aumento porcentual dependiendo los supuestos de la Situación Con Proyecto:

8.7.3. Inversiones en Tecnificación del Riego

La incorporación de métodos tecnificados de riego en Situación Actual Optimizada y Futura con Proyecto implica una inversión para adquirir estos sistemas. De esta forma, los métodos de riego que son factibles de desarrollar en la zona de estudio corresponden a los siguientes, según el tipo de cultivo:

- Riego por goteo en frutales
- Riego por cinta en hortalizas

8.7.4. Habilitación de Terrenos

El costo de habilitación de terrenos para ser regados, está enfocado a suelos en los que nunca se han efectuado labores de tipo agrícola y, por lo tanto, en muchos casos hay que despedrarlos, desmontarlos y en algunos casos lavarlos.

8.7.5. Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica

La proposición de mejoramiento está basada en un programa para obtener los mejores beneficios económicos derivados de la posesión de recursos hídricos seguros en el tiempo que permitan una adecuada satisfacción de la demanda.

Se establece una asesoría técnica permanente para los agricultores de la zona. Esta asesoría logra enseñar e introducir mejoras en cuanto al manejo del riego (si fuera pertinente), manejo de nuevas técnicas de producción cultivos (especies, variedades, épocas de siembra, uso de insumos, épocas de aplicación, etc.) y gestión administrativa (contabilidad, comercialización, etc.).

El programa deberá contar con la participación directa de Ingenieros Agrónomos y un Técnico Agrícola. El Ingeniero Agrónomo será el Jefe del Programa y el técnico será de apoyo. Además se establecerá una oficina técnica y administrativa del Programa.

Se deberán implementar Módulos Demostrativos o MODEMS corresponden a unidades de trabajo ubicadas en las propiedades de los agricultores (beneficiarios del programa), donde se efectúan diversas actividades destinadas a validar nuevas tecnologías y a entregar transferencia a los agricultores. Además se establecerán Unidades de Validación o UVAL corresponden a parcelas en donde se establecen y demuestran tecnologías de riego aplicadas a sistemas productivos alternativos. Del trabajo efectuado en las UVAL se espera que se produzcan respuestas tanto en el corto como en el mediano plazo.

Las diferencias entre los programas en Situación Sin Proyecto y la Situación Con Proyecto radica esencialmente en la magnitud de la intervención, ya que con proyecto se estima que será necesario un equipo profesional más numeroso, mayor cantidad de reuniones y

material explicativo. Además los cultivos propuestos en los MODEMS tendrán un énfasis de exploración en explotaciones tecnificadas.

8.8. Demandas de Agua

Se realizó para la Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial: Para obtener la demanda bruta total del área regada se requiere de información correspondiente a evapotranspiración potencial, coeficientes de cultivo, precipitación efectiva, demandas netas de agua de riego, eficiencias y tasas de riego por cultivo., además de los requerimientos de lixiviación

Como conclusión, del Cuadro 8.8-1 se desprende que la demanda bruta total anual en la Situación Con Proyecto sería de 14,65 Hm³ para la alternativa 3-5, valor por debajo de los 17,92 Hm³ demandados en la Situación Actual, debido a la menor tasa de riego ponderada, gracias a la introducción de los sistemas de riego mencionados anteriormente.

CUADRO 8.8-1
DEMANDA BRUTA FINAL Y TASA DE RIEGO PONDERADA

Item	Demanda Bruta + Lixiviación (m3/mes)		Tasa de Riego Ponderada (m3/ha/mes)	
	SA-SSP	SCP 3-5	SA-SSP	SCP 3-5
Abr	360.280	651.666	508,1	919,1
May	48.458	335.153	68,3	472,7
Jun	35.933	297.930	50,7	420,2
Jul	28.943	182.944	40,8	258
Ago	32.872	203.944	46,4	287,6
Sep	284.234	1.020.768	400,9	1.439,70
Oct	1.547.820	1.504.377	2.183,00	2.121,80
Nov	2.509.236	1.599.061	3.539,00	2.255,30
Dic	3.276.772	2.128.133	4.621,50	3.001,50
Ene	3.632.962	2.408.139	5.123,90	3.396,40
Feb	3.461.327	2.306.520	4.881,80	3.253,10
Mar	2.701.074	2.012.994	3.809,60	2.839,10
TOTAL	17.919.910	14.651.629	25.274,00	20.664,50

8.9. Beneficios Agrícolas Netos del Proyecto

8.9.1. Determinación de Flujos Agroeconómicos

A partir de las margenes brutos por hectárea (unitarios) multiplicados por la estructura de cultivos de la superficie de riego y descontando los gastos indirectos generales considerados es posible obtener los margenes netos en la Situación Sin Proyecto y Con Proyecto.

Es importante recordar que, tanto para la Situación Sin Proyecto y la Situación Con Proyecto, el año cero (0) del horizonte de evaluación corresponde a la Situación Actual Agropecuaria.

Para evaluar el efecto de la seguridad de riego en el rendimiento y por ende en el margen económico de los diferentes cultivos, se utiliza la metodología propuesta en FAO 33, la cual utiliza funciones de producción a partir de la disponibilidad de agua.

Las funciones utilizadas son las propuestas por Doorenbos y Kassan (FAO 33, 1979), obtenidas en forma experimental. En ellas se presenta la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración en términos relativos, lo que permite utilizar estas ecuaciones en diferentes condiciones edafoclimáticas.

Es importante recordar que en la Situación Con Proyecto se presentan los resultados para ambos escenarios de mejoramiento de calidad de aguas maximizando la superficie de riego con 85% de seguridad de riego, dados los recursos hídricos disponibles. Posteriormente, en la evaluación económica final del proyecto, se estima el beneficio agroeconómico derivado de la construcción de distintas alternativas y tamaños de obras, con el fin de determinar el óptimo económico de las mismas.

El beneficio económico neto que la construcción de las obras puede traer a la actividad agrícola se obtiene de la sustracción entre los flujos de beneficios de la Situación Con Proyecto y Sin Proyecto. Este resultado se presenta para el área de estudio en los Cuadro 8.9.1-1 y 8.9.1-2 a precios de mercado y precios sociales, respectivamente.

CUADRO 8.9.1-1
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
PRECIOS DE MERCADO (VALORES EN \$)
ALTERNATIVA 3-5

Año	Situación Sin Proyecto						Situación Con Proyecto						Flujo Neto
	Margen Bruto	Costos Indirectos	Tecnificación del Riego	Habilitación de Suelos	Asistencia Técnica y TT	Margen Neto	Margen Bruto	Costos Indirectos	Tecnificación del Riego	Habilitación de Suelos	Asistencia Técnica y TT	Margen Neto	
0	149.362.462	111.389.967	0	0	0	37.972.495	149.362.462	111.389.967	0	0	0	37.972.495	0
1	116.626.390	111.389.967	0	0	118.211.547	-112.975.124	626.831.674	114.133.416	58.228.852	7.082.492	163.033.452	284.353.462	397.328.586
2	128.728.092	111.389.967	0	0	100.152.554	-82.814.429	622.604.682	116.876.865	59.807.289	6.197.128	144.974.459	294.748.941	377.563.370
3	310.617.937	111.389.967	0	0	100.152.554	99.075.416	974.555.176	122.363.764	125.405.246	13.279.620	144.974.459	568.532.087	469.456.671
4	281.381.234	111.389.967	0	0	100.152.554	69.838.713	1.174.318.750	127.850.663	131.197.835	12.394.255	144.974.459	757.901.539	688.062.826
5	330.708.681	111.389.967	0	0	100.152.554	119.166.160	1.568.804.441	138.631.851	231.578.746	23.532.057	144.974.459	1.030.087.328	910.921.168
6	368.838.247	111.389.967	0	0	62.821.471	194.626.810	2.016.452.638	149.605.648	277.439.777	26.559.239	144.974.459	1.417.873.515	1.223.246.705
7	348.557.309	111.389.967	0	0	0	237.167.343	2.282.820.011	155.285.156	247.593.019	18.962.896	144.974.459	1.716.004.481	1.478.837.138
8	259.233.757	111.389.967	0	0	0	147.843.790	2.335.784.481	160.772.054	243.585.534	15.935.714	54.871.285	1.860.619.894	1.712.776.104
9	277.594.996	111.389.967	0	0	0	166.205.029	2.545.131.783	166.066.344	236.459.838	12.908.532	6.189.386	2.123.507.684	1.957.302.655
10	308.821.786	111.389.967	0	0	0	197.431.819	2.629.036.723	166.258.953	171.150.598	3.027.182	4.403.986	2.284.196.004	2.086.764.185
11	284.477.108	111.389.967	0	0	0	173.087.141	2.677.571.576	166.258.953	166.612.579	1.770.729	0	2.342.929.315	2.169.842.174
12	288.512.484	111.389.967	0	0	0	177.122.517	2.746.075.505	166.258.953	152.668.265	0	0	2.427.148.288	2.250.025.771
13	275.212.778	111.389.967	0	0	0	163.822.811	2.649.054.766	166.258.953	152.668.265	0	0	2.330.127.549	2.166.304.737
14	347.101.583	111.389.967	0	0	0	235.711.617	2.881.047.926	166.258.953	152.668.265	0	0	2.562.120.709	2.326.409.092
15	252.611.051	111.389.967	0	0	0	141.221.084	2.361.165.913	166.258.953	152.668.265	0	0	2.042.238.695	1.901.017.611
16	405.782.568	111.389.967	0	0	0	294.392.601	3.064.451.607	166.258.953	152.668.265	0	0	2.745.524.389	2.451.131.788
17	274.061.048	111.389.967	0	0	0	162.671.081	2.792.911.744	166.258.953	152.668.265	0	0	2.473.984.526	2.311.313.445
18	286.922.178	111.389.967	0	0	0	175.532.212	2.784.001.468	166.258.953	152.668.265	0	0	2.465.074.251	2.289.542.039
19	317.681.418	111.389.967	0	0	0	206.291.451	2.891.560.541	166.258.953	152.668.265	0	0	2.572.633.323	2.366.341.872
20	337.938.743	111.389.967	0	0	0	226.548.777	2.923.376.427	166.258.953	152.668.265	0	0	2.604.449.210	2.377.900.433
21	255.555.917	111.389.967	0	0	0	144.165.950	2.667.541.434	166.258.953	202.867.714	0	0	2.298.414.768	2.154.248.817
22	306.815.709	111.389.967	0	0	0	195.425.742	3.019.244.257	166.258.953	197.077.045	0	0	2.655.908.260	2.460.482.518
23	414.347.674	111.389.967	0	0	0	302.957.707	3.203.632.615	166.258.953	247.276.494	0	0	2.790.097.169	2.487.139.462
24	305.429.026	111.389.967	0	0	0	194.039.059	3.003.265.898	166.258.953	239.122.848	0	0	2.597.884.097	2.403.845.038
25	254.005.737	111.389.967	0	0	0	142.615.771	2.512.736.102	166.258.953	314.200.890	0	0	2.032.276.259	1.889.660.489
26	215.309.435	111.389.967	0	0	0	103.919.469	2.439.946.973	166.258.953	332.432.819	0	0	1.941.255.201	1.837.335.732
27	361.479.773	111.389.967	0	0	0	250.089.806	3.039.750.950	166.258.953	282.880.430	0	0	2.590.611.567	2.340.521.761
28	238.940.901	111.389.967	0	0	0	127.550.934	2.649.955.705	166.258.953	262.285.525	0	0	2.221.411.226	2.093.860.292
29	270.147.653	111.389.967	0	0	0	158.757.686	2.713.739.386	166.258.953	241.690.621	0	0	2.305.789.813	2.147.032.127
30	254.474.764	111.389.967	0	0	0	143.084.797	2.797.029.118	166.258.953	173.263.169	0	0	2.457.506.996	2.314.422.199

Nota: Precios referidos a marzo de 2013
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 8.9.1-2
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
PRECIOS SOCIALES (VALORES EN \$)
ALTERNATIVA 3-5

Año	Situación Sin Proyecto						Situación Con Proyecto						Flujo Neto
	Margen Bruto	Costos Indirectos	Tecnificación del Riego	Habilitación de Suelos	Asistencia Técnica y TT	Margen Neto	Margen Bruto	Costos Indirectos	Tecnificación del Riego	Habilitación de Suelos	Asistencia Técnica y TT	Margen Neto	
0	282.331.168	111.389.967	0	0	0	170.941.201	282.331.168	111.389.967	0	0	0	170.941.201	0
1	251.601.894	111.389.967	0	0	118.211.547	22.000.380	782.481.923	114.133.416	58.228.852	7.082.492	163.033.452	440.003.711	418.003.331
2	268.474.588	111.389.967	0	0	100.152.554	56.932.067	782.488.729	116.876.865	59.807.289	6.197.128	144.974.459	454.632.988	397.700.921
3	453.620.627	111.389.967	0	0	100.152.554	242.078.106	1.143.494.965	122.363.764	125.405.246	13.279.620	144.974.459	737.471.876	495.393.769
4	429.351.867	111.389.967	0	0	100.152.554	217.809.347	1.353.998.247	127.850.663	131.197.835	12.394.255	144.974.459	937.581.036	719.771.690
5	483.647.258	111.389.967	0	0	100.152.554	272.104.737	1.778.532.143	138.631.851	231.578.746	23.532.057	144.974.459	1.239.815.030	967.710.293
6	524.419.854	111.389.967	0	0	62.821.471	350.208.416	2.263.381.011	149.605.648	277.439.777	26.559.239	144.974.459	1.664.801.888	1.314.593.471
7	504.775.149	111.389.967	0	0	0	393.385.182	2.554.859.179	155.285.156	247.593.019	18.962.896	144.974.459	1.988.043.649	1.594.658.467
8	417.044.214	111.389.967	0	0	0	305.654.247	2.629.032.616	160.772.054	243.585.534	15.935.714	54.871.285	2.153.868.029	1.848.213.782
9	433.812.835	111.389.967	0	0	0	322.422.869	2.856.108.567	166.066.344	236.459.838	12.908.532	6.189.386	2.434.484.468	2.112.061.600
10	465.039.626	111.389.967	0	0	0	353.649.659	2.944.534.169	166.258.953	171.150.598	3.027.182	4.403.986	2.599.693.450	2.246.043.791
11	440.694.947	111.389.967	0	0	0	329.304.980	2.996.574.277	166.258.953	166.612.579	1.770.729	0	2.661.932.015	2.332.627.035
12	444.730.323	111.389.967	0	0	0	333.340.356	3.066.804.890	166.258.953	152.668.265	0	0	2.747.877.672	2.414.537.316
13	431.430.617	111.389.967	0	0	0	320.040.651	2.972.303.109	166.258.953	152.668.265	0	0	2.653.375.891	2.333.335.240
14	504.912.040	111.389.967	0	0	0	393.522.074	3.206.639.190	166.258.953	152.668.265	0	0	2.887.711.973	2.494.189.899
15	408.828.890	111.389.967	0	0	0	297.438.923	2.686.912.156	166.258.953	152.668.265	0	0	2.367.984.939	2.070.546.015
16	562.000.407	111.389.967	0	0	0	450.610.440	3.390.657.787	166.258.953	152.668.265	0	0	3.071.730.570	2.621.120.129
17	430.278.887	111.389.967	0	0	0	318.888.921	3.119.299.108	166.258.953	152.668.265	0	0	2.800.371.890	2.481.482.970
18	443.140.018	111.389.967	0	0	0	331.750.051	3.110.368.224	166.258.953	152.668.265	0	0	2.791.441.006	2.459.690.955

**Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama,
Región de Antofagasta**

19	473.899.258	111.389.967	0	0	0	362.509.291	3.217.927.297	166.258.953	152.668.265	0	0	2.899.000.079	2.536.490.788
20	495.749.200	111.389.967	0	0	0	384.359.234	3.250.459.438	166.258.953	152.668.265	0	0	2.931.532.221	2.547.172.987
21	411.773.756	111.389.967	0	0	0	300.383.790	2.993.939.103	166.258.953	202.867.714	0	0	2.624.812.436	2.324.428.647
22	463.033.548	111.389.967	0	0	0	351.643.582	3.345.631.622	166.258.953	197.077.045	0	0	2.982.295.624	2.630.652.043
23	570.565.513	111.389.967	0	0	0	459.175.547	3.530.019.980	166.258.953	247.276.494	0	0	3.116.484.533	2.657.308.987
24	461.646.865	111.389.967	0	0	0	350.256.898	3.329.632.654	166.258.953	239.122.848	0	0	2.924.250.853	2.573.993.955
25	410.223.577	111.389.967	0	0	0	298.833.610	2.839.102.858	166.258.953	314.200.890	0	0	2.358.643.015	2.059.809.405
26	373.119.892	111.389.967	0	0	0	261.729.926	2.767.029.983	166.258.953	332.432.819	0	0	2.268.338.212	2.006.608.286
27	517.697.612	111.389.967	0	0	0	406.307.646	3.366.148.618	166.258.953	282.880.430	0	0	2.917.009.236	2.510.701.590
28	395.158.740	111.389.967	0	0	0	283.768.773	2.976.343.069	166.258.953	262.285.525	0	0	2.547.798.591	2.264.029.817
29	426.365.492	111.389.967	0	0	0	314.975.526	3.040.126.751	166.258.953	241.690.621	0	0	2.632.177.177	2.317.201.652
30	410.692.603	111.389.967	0	0	0	299.302.636	3.123.395.873	166.258.953	173.263.169	0	0	2.783.873.751	2.484.571.115

Nota: Precios referidos a marzo de 2013

Fuente: Elaboración propia

8.9.2. Balance de Mano de Obra

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola versus la Situación Actual. En el Cuadro 8.9.2-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento anual de un 22,3% del empleo permanente femenino mensual para la alternativa 3-5.

CUADRO 8.9.2-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA
ALTERNATIVA 3-5

Tipo Jornada	SA	SCP	Variación		
			Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales					
Masculinas	23.872	31.584	7.712	32,3%	1,8%
Femeninas	4.406	19.418	15.012	340,7%	9,7%
Jornadas Anuales Permanentes					
Masculinas	4.447	11.787	7.340	165,0%	6,3%

Femeninas	206	7.030	6.825	3320,9%	24,7%
Empleos Mensuales Permanentes					
Masculinos	16	41	25	156,3%	6,1%
Femeninas	1	25	24	2400,0%	22,3%
Jornadas Anuales Temporales					
Masculinas	19.425	19.797	373	1,9%	0,1%
Femeninas	4.201	12.388	8.187	194,9%	7,0%

Fuente: Elaboración propia

Como se hace mención anteriormente, la demanda de mano de obra producto del desarrollo de agricultura de riego en las dimensiones propuestas requiere de un análisis pertinente de abordar en un estudio posterior de factibilidad producto que la demanda de mano de obra supera largamente a la oferta de este recurso en la zona.

8. Calidad de Aguas

8.1. Introducción

Calidad del agua es un término relacionado a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias ya sea tóxicas o producidas por procesos naturales. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc.

El objetivo de este informe es realizar un estudio global sobre la calidad del agua y la contaminación de las aguas en la hoya del río San Pedro, en que se analicen y determinen las causas de la contaminación de ellas, principalmente debida al alto contenido salino que poseen, en forma especial las aguas que escurren a través del Río Salado, afluente del Río San Pedro.

Para efectos del estudio, el análisis se realiza según la sectorización que se indica en lo que sigue:

- Río San Pedro, desde su origen en la confluencia de los ríos Grande y Salado, hasta la última bocatoma de riego o cercano a su llegada a San Pedro de Atacama;
- Río Grande, desde el sector de la boca de salida del túnel San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Salado;

- Río Salado, desde el sector inmediatamente aguas arriba de la obra de captación para conducir sus aguas al túnel de trasvase San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Grande.

El capítulo se separa en seis subcapítulos, el presente de Introducción, el segundo en el que se realiza un diagnóstico de la calidad del agua para cada uno de los ríos, en los tramos de interés del proyecto mostrados anteriormente. El tercer capítulo presenta un análisis territorial sobre los resultados del diagnóstico, en el cuarto capítulo se realiza un análisis de las aguas destinadas a la vida acuática. Posteriormente se realiza un estudio específico sobre la salinidad en cada uno de los tramos de interés, para –en el siguiente capítulo– adentrarse en las posibles soluciones al problema diagnosticado, a través de tecnologías de tratamiento del agua, obras que eviten el contacto del agua con los sectores de mayor salinidad y la lixiviación de los suelos. Finalmente se presenta un capítulo de conclusiones y recomendaciones.

8.2. Diagnóstico de la Calidad del Agua en el área de Estudio

8.2.1. Introducción

El objetivo central del presente capítulo es realizar una evaluación en lineamientos generales, de la calidad de los recursos hídricos superficiales en los tramos que son de interés del proyecto. Para esto se realizará un análisis de la información proporcionada por la DGA con la estadística de la estación de calidad Río San Pedro en Cuchabrachi. Esta información será complementada con los muestreos puntuales realizados en la cuenca del río y la información de muestreos puntuales realizados en estudios anteriores.

8.2.2. Parámetros Físico-Químicos y Biológicos

8.2.2.1. Generalidades

Se realiza una selección de los parámetros físico-químicos y biológicos para el análisis espacial de la información, considerando los siguientes criterios:

- El uso principal de las aguas es el riego, por lo que se tomarán como base las normas NCh 1.333 y las recomendaciones de FAO para agua de regadío
- Para el análisis para consumo de agua potable se tomará como base la NCh409
- Para el análisis del agua para aguas destinadas a la vida acuática, se tomará como base la NCh 1.333, cuyos requisitos para este uso se encuentran en el Acápite 2.3 de la citada norma

Los valores que se tomaron en cuenta son los obtenidos a través de la DGA, quien proporcionó los datos de la Estación Río San Pedro en Cuchabrachi, además de los muestreos efectuados por la empresa consultora, tanto a través de medidores portátiles como de toma de muestras enviadas a laboratorio para su análisis.

8.2.2.2. Datos de Calidad de Aguas Estación Río San Pedro en Cuchabrachi

Para este análisis, se ha confeccionado el Cuadro 9.2.2.2-1, donde se presenta un listado de los parámetros físicos y químicos incluidos en dichas normas, los valores promedio, máximos y mínimos alcanzados en la estación Río San Pedro en Cuchabrachi y los límites máximos admisibles para cada uno de ellos. Los valores que exceden los límites se encuentran destacados en color rojo.

En el Anexo 9-1 se presentan los datos de calidad de aguas de la estación, con sus valores promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y número de datos.

CUADRO 9.2.2.2-1
VALORES ALCANZADOS Y LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Unidad	Expresión	Valores alcanzados			Límite Máximo		
			Mín.	Prom.	Máx.	Agua Potable	Riego	Riego FAO
ALUMINIO	MG/L	AL	0,12	9,1	228,8		5	5
AMONIACO	MG/L	N	-	-	-	0,25		
ARSÉNICO	MG/L	AS	0,000	0,217	2,525	0,05	0,1	0,1
BERILIO	MG/L	BE	-	-	-		0,1	
BORO	MG/L	B	1,0	2,1	14,3		0,75	3
BARIO	MG/L	BA	-	-	-		4	
CADMIO	MG/L	CD	0,002	0,010	0,010	0,01	0,01	
CIANURO	MG/L	CN ⁻	-	-	-	0,2	0,2	
CLORUROS	MG/L	CL ⁻	368,7	740,1	5.713,1	250	200	15
COBALTO	MG/L	CO	-	-	-		0,05	
COBRE TOTAL	MG/L	CU	0,00	0,05	1,28	1	0,2	0,2
COMPUESTOS FENÓLICOS	MG/L	FENOL	-	-	-	0,002		
CROMO	MG/L	CR	-	-	-		0,1(1)	
CROMO HEXAVALENTE	MG/L	CR ₆ ⁺	0,01	0,02	0,12	0,05		
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	(MS/CM)	CE	1.700	2.778	15.150		750(2)	3.000
DETERGENTES	MG/L	SAAM	-	-	-	0,5		
FLUORURO	MG/L	F ⁻	-	-	-	1,5	1	
FIERRO	MG/L	FE	0,03	3,9	119,73	0,3	5	5
LITIO	MG/L	LI	-	-	-		2,5	
MAGNESIO	MG/L	MG	17,2	40,1	302,0	125		
MANGANESO	MG/L	MN	0,01	0,40	8,05	0,1	0,2	0,2
MERCURIO	MG/L	HG	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	
MOLIBDENO	MG/L	MO	< 0,01	0,03	0,05		0,01	0,01
NÍQUEL	MG/L	NI	0,01	0,02	0,27		0,2	0,2

CUADRO 9.2.2.2-1

VALORES ALCANZADOS Y LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Unidad	Expresión	Valores alcanzados			Límite Máximo		
			Mín.	Prom.	Máx.	Agua Potable	Riego	Riego FAO
NITRATO	MG/L	NO ₃ ⁻	0,01	0,26	5,67	10		
NITRITOS	MG/L	NO ₂	0,003	0,005	0,007	1		
PH	UNIDAD	PH	7,0	8,1	9,3	6,0-8,5	5,5-9,0	7,5
PLATA	MG/L	AG	0,01	0,01	0,01		0,2	
PLOMO	MG/L	PB	0,01	0,03	0,11	0,05	5	5
RESIDUOS SÓLIDOS FILTRABLES	-		-	-	-	1000		
SELENIO	MG/L	SE	0,001	0,001	0,001	0,01	0,02	
SODIO PORCENTUAL (3)	%	NA	-	-	-		35	
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	MG/L	SS	-	-	-			2.000
SULFATOS	MG/L	SO ₄ ⁻²	68,69	309,21	1.025,00	250	250	20
VANADIO	MG/L	VA	-	-	-		0,1	
ZINC	MG/L	ZN	0,01	0,05	0,88	5	2	2

(1): En aguas destinadas a verduras y frutas que se desarrollan a ras del suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.

(2): Este valor representa a aquel valor referencial en que el agua comienza a tener efectos perjudiciales para la agricultura. Los estándares para CE y SDT se presentan en la NCh 1.333 en un cuadro específico.

(3): El sodio porcentual es la relación entre la concentración del ión sodio y la suma de las concentraciones de los iones sodio, calcio, magnesio y potasio expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo a la expresión siguiente:
 $Na\% = (Na / (Na+Ca+Mg+K)) \times 100$.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, NCh 1.333 y NCh 409 y
FAO 29 Water Quality for Agriculture, 1987.

Del análisis del cuadro precedente se observa que los parámetros que exceden los valores de la NCh 1.333 para riego son: Al, As, B, Cl⁻, Cu, CE, Fe, Mn, pH, Pb (para agua potable) y SO₄⁻².

8.2.2.3. Datos de Calidad de Muestras Puntuales

a) Ubicación

El Consultor, según los antecedentes recopilados y la observación en terreno, propuso a la CNR muestrear la calidad del agua, a través de la determinación de su calidad físico-química en laboratorio, en los puntos de toma de muestras mostrados en el Cuadro 9.2.2.3-1.

La distribución de estos puntos a lo largo del cauce, permite estimar si existen diferencias desde el punto de vista de calidad de aguas superficiales entre cada uno de ellos. Cada uno

de los sitios ha sido coordinado para realizar las muestras posteriores en el mismo lugar tal como se muestra en la Figura 9.2.2.3-1.

CUADRO 9.2.2.3-1
PUNTOS DE MUESTREO CALIDAD DE AGUAS

PUNTO MUESTRA	COORDENADAS UTM (m)		ALTURA (m.s.n.m.)
	E	S	
Río Salado camino a San Bartolo (C1)	579.424	7.488.458	2.910
Río Grande en Río Grande (C2)	585.448	7.494.912	3.226
Río San Pedro estación Cuchabrachi (C3)	582.055	7.475.442	2.552
Canales sector Hotel Tulor (C4)	581.740	7.465.913	2.440

Fuente: Elaboración propia.

b) Metodología de Muestreo

La toma de muestras es un proceso de importancia en la confiabilidad de las mediciones de calidad del agua. Esta calidad queda garantizada por el uso de envases adecuados, el procedimiento de toma de muestras, la preservación de las muestras y el tiempo desde que la muestra fue tomada hasta su análisis en laboratorio, todo lo que depende de los parámetros de análisis.

La toma de muestras se efectuó los días 4 y 6 de diciembre del año 2012 y el 6 de marzo de 2013, en los puntos anteriormente descritos, muestras que fueron enviadas al laboratorio a través de un servicio de envíos expresos. Se presentan en la Figura 9.2.2.3-2 un par de fotografías que representan el proceso de toma de muestras.

FIGURA 9.2.2.3-1
PUNTOS DE MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth.

c) Resultados

La primera campaña de toma de muestras se realizó entre los días 4 y 6 de diciembre de 2012. Los análisis fueron realizados por Agriquem, laboratorio certificado para realizar este tipo de ensayos. Por otra parte, la segunda campaña de toma de muestras se realizó el día 6 de marzo de 2013. Los análisis fueron realizados por Agriquem, laboratorio certificado para realizar este tipo de ensayos. En el Anexo 9-2 se presentan los informes de laboratorio completos del muestreo de calidad de agua realizados para los cuatro puntos seleccionados para el análisis.

Sobre la base de las normas NCh 1.333 para agua de riego, recomendaciones de FAO también para agua de riego y NCh 409 para agua potable, se ha confeccionado el Cuadro 9.2.2.3-2, donde se presenta el listado de los parámetros físicos-químicos y biológicos analizados en el laboratorio, que son incluidos en dichas normas y los límites máximos admisibles para cada uno de ellos, además de los valores muestreados para cada estación, determinando aquellos que sobrepasan la norma.

De los análisis y su comparación con las normas, se puede concluir que los parámetros que presentan valores mayores a ellas para la primera campaña son As, B, Cl-, Na, SO₄, CE y SDT. La misma situación se observa para la campaña 2.

FIGURA 9.2.2.3-2

FOTOGRAFÍAS TOMA DE MUESTRAS CALIDAD DE AGUAS



Fuente: Equipo Consultor.

**CUADRO 9.2.2.3-2
RESUMEN DE RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA**

Parámetro	Unidad	Campaña 1				Campaña 2				Límites Máximos		
		C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	NCh 1.333	NCh 409	FAO
pH	rango	8,15	8,0	7,88	8,20	7,80	8,00	8,40	7,80	5,5 – 9,0	6,0-8,5	7,5
Aluminio	mg/L	0,14	0,52	<0,01	<0,01	0,32	2,32	2,84	4,64	5		5
Arsénico	mg/L	0,02	0,179	<0,005	0,146	0,016	0,214	0,202	0,338	0,1	0,05	0,1
Bario	mg/L	0,033	0,022	0,032	0,033	0,030	0,021	0,063	0,041	4		
Berilio	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,1		
Boro	mg/L	0,233	1,940	2,640	2,480	0,347	4,108	5,441	5,900	0,75		3
Cadmio	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,01	
Calcio	mg/L	118,67	78,46	107,8	116,51	131	68,8	121	133			
Cianuro	mg/L	<0,04	<0,04	0,07	0,08	0,16	<0,04	0,10	<0,04	0,2	0,2	
Cloruros	mg/L	17,1	184,54	798,79	822,54	612	331	617	681	200	250	15
Cobalto	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05		
Cobre	mg/L	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	1	0,2
Cromo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,1		
Fierro	mg/L	<0,01	0,36	0,11	0,01	<0,01	2,07	4,23	0,06	5	0,3	5
Fluoruros	mg/L	0,13	0,18	0,18	0,19	0,32	0,41	0,32	0,42	1	1,5	
Litio	mg/L	0,047	0,343	0,390	0,401	0,034	0,214	0,272	0,487	2,5		
Magnesio	mg/L	6,15	35,41	32,05	32,51	8,26	24,7	26,7	46,0		125	
Manganeso	mg/L	<0,008	0,070	0,078	0,067	<0,008	0,073	0,204	0,187	0,2	0,1	0,2
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001		0,001
Molibdeno	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,01		0,01
Níquel	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,2		0,2
Plata	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2		
Plomo	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5	0,05	5
Potasio	mg/L	4,49	14,62	11,84	12,8	3,56	13,6	17,1	16,3			
Selenio	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,02	0,01	
Sodio	%	74,3	64,7	74,3	73,1	74,9	67,1	70,5	71,3	35		
Sulfatos	mg/L	251	278	290	314	299	231	309	396	250	250	20
Vanadio	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1		
Zinc	mg/L	0,022	0,026	<0,008	<0,008	<0,008	0,039	0,045	<0,008	2	5	2
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	30	50	13	<2	8	11	11	49	1.000		
Conductividad eléctrica	µS/cm	2.540	1.804	1.605	2.870	3.220	2.150	2.590	3.620	750		3.000
Sólidos disueltos totales	mg/L	1.476	692	2.032	2.048	1.614	1.086	1.614	1.856	500		2.000

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.4. Datos de Calidad de Agua Muestreo In Situ

Para el muestreo in situ de las variables físico-químicas pH, temperatura (C°), conductividad eléctrica (S/cm) y sólidos disueltos totales (ppt) se utilizó un sensor multiparamétrico 185-M6X1. El oxígeno disuelto fue medido con una Sonda Hanna, Modelo Oxycheck HI 9147. El primer muestreo se realizó entre los días 28 y 30 de octubre y el segundo muestreo entre el 04 y 06 de diciembre de 2012. El muestreo de la calidad del agua mediante sondas in situ, permiten obtener valores instantáneos de algunos parámetros de interés. Este tipo de muestreo ha permitido revisar en una mayor cantidad de puntos los parámetros de calidad. Los resultados obtenidos del muestreo in situ se presentan en el Cuadro 9.2.2.4-1.

**CUADRO 9.2.2.4-1
RESULTADOS MUESTREOS CALIDAD DEL AGUA**

Punto Muestra	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)	Cota (msnm)	pH	EC (S/cm)	T° 1 (°C)	Mv	Cf	TDS (ppm)	OD (%)	T° 2 (°C)
Río Grande en Río Grande (G1)	28-10-2012	19:50	585.448	7.494.912	3226	8,54	1,72	14,4	-0,26	17,3	1210	66,7	13,7
Río Salado en puente Hierbas Buenas (S1)	28-10-2012	20:15	579.222	7.492.892	3068	8,17	1,74	12,1	-2	-	1220	49,9	11,5
Río Salado camino a San Bartolo (S2)	29-10-2012	15:59	579.420	7.488.464	2911	8,76	2,51	24,3	-37	25,2	1760	80,6	23,6
Río Salado camino a San Bartolo más arriba (S3)	29-10-2012	16:50	579.496	7.488.934	2929	8,73	2,47	22,8	-34	24,8	1740	80,7	22,1
Río Salado aguas arriba junta Río	29-10-2012	17:24	581.766	7.478.792	2594	8,65	7,28	18,3	-30	71,9	5020	78,2	19

**Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama,
Región de Antofagasta**

Grande (S4)													
Río Grande aguas arriba junta Río Salado (G2)	29-10-2012	20:05	582.352	7.480.654	2642	8,59	2,69	18,1	-46	27	1890	75,9	17
Río San Pedro aguas abajo estación Cuchabrachi (P1)	30-10-2012	19:25	582.011	7.475.360	-	4,8	3,35	21,5	200	33,6	2350	81,2	21,8
Río San Pedro aguas abajo estación Cuchabrachi 2 (P2)	30-10-2012	19:40	580.326	7.471.321	-	5,75	3,61	21,2	192	362	2530	81,5	20
Río Grande en puente (G3)	04-12-2012	13:45	586.386	7.495.200	3254	5,5	1,77	18,7	148	17,8	1240	66,3	17,7
Río Grande en Río Grande (G1)	04-12-2012	14:00	585.448	7.494.912	3226	6	1,83	18,9	120	18,3	1280	70,2	18,3
Río Salado camino a San Bartolo (S2)	04-12-2012	15:35	579.424	7.488.458	2910	5,22	2,5	22,7	168	25,1	1750	71,6	23
Río San Pedro estación Cuchabrachi (P1)	06-12-2012	13:00	582.055	7.475.442	2552	4,3	3,25	23,7	240	32,5	2280	76,3	22,3
Canales sector Tulor	06-12-2012	14:30	581.740	7.465.913	2440	4	3,47	26,6	277	34,6	2420	73,2	25

Donde:

EC: Conductividad Eléctrica (S/cm)

Mv: Potencial eléctrico de óxido-reducción medido en milivolts (mV)

Cf: Factor de conductividad (Conductivity factor 1mS/cm = 10 CF)

TDS: Sólidos disueltos totales (por sus siglas en inglés)

OD: Oxígeno disuelto

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.5. Parámetros Seleccionados

Según los resultados obtenidos en los muestreos y de la estación de calidad Río San Pedro en Cuchabrachi, se presenta una breve noción de los efectos del exceso de los parámetros que superan las normas descritas, ya sea en la producción agrícola como en la salud pública:

- **Arsénico:** La exposición prolongada de concentraciones de arsénico en el agua está asociada a efectos crónicos, entre ellos problemas cutáneos tales como melanosis, queratosis y cáncer de piel; cáncer de vejiga, riñón y pulmón; enfermedades de los vasos sanguíneos de las piernas y pies, y posiblemente también diabetes, hipertensión arterial, trastornos reproductivos y menoscabo del desarrollo intelectual de los niños. La intoxicación por arsénico (arsenicismo) se manifiesta de forma característica a lo largo de un periodo de cinco a 20 años. Como algunos efectos de la exposición al arsénico son irreversibles, la principal medida de salud pública consiste en prevenir la exposición humana. El origen de este parámetro está en la gran cantidad de sales y metales presentes en la litología de la cuenca, presente en la zona es rica en arsénico, lo cual se manifiesta como un contaminante de importancia en la minería del cobre de la región.
- **Boro:** Su exceso se debe principalmente a factores naturales, ya que en la zona geomorfológica de desierto, la existencia de extensos mantos de caliche - Cordillera de la Sal - , adiciona lixiviados de boro junto a otros compuestos salinos hasta la desembocadura misma. Finalmente las recargas al río por aguas subterráneas aportan los lixiviados del subsuelo que se agregan en ciertos puntos desde donde emergen como vertientes. La utilización de altos niveles de Boro en riego podría provocar efectos en cultivos tolerantes como mora, durazno, cereza, uva, cebolla, ajo, camote, trigo, cebada, girasol, frutillar, alcachofa y porotos. Otros cultivos menos sensibles son pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa y pepino.
- **Cloruro:** Los efectos sobre la agricultura se podrían ver acrecentados en combinación con fertilizantes con este principio activo y en condiciones de sequía, viéndose afectados en su rendimiento cultivos de mayor sensibilidad al Cloruro. Entre los cultivos con mayor sensibilidad se encuentran cítricos, frutilla, soya, cebolla, lechuga, papa y tabaco; con una sensibilidad moderada se encuentran espinaca, alfalfa, tomate, brócoli, maíz.
- **Sulfatos:** Los sulfatos podrían contribuir a la acidificación de los suelos, pero no tiene efectos tóxicos importantes. Más bien presenta una influencia sobre la salinidad del agua, repercutiendo en los valores de conductividad eléctrica al ser el anión predominante en el agua de riego. Los factores son principalmente

naturales ya que se debe a la existencia de rocas sedimentarias constituidas por evaporitas (yesos y boratos), las cuales por procesos de disolución y lixiviación aportan constantemente sulfatos en la cuenca. En la parte alta el volcanismo es un factor importante en el aporte de sulfatos constituyente de las coladas, tobas y brechas fracturadas del macizo andino. Puede afectar cultivos sensibles y los problemas de infiltración/salinidad se pueden mitigar a través de buenas prácticas agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan en combinación con Calcio, pueden producirse efectos asociados al riego por aspersión, debido a la formación de depósitos e incrustaciones en los sistemas de riego.

- **Conductividad eléctrica:** Es una medida de la concentración de sales de una solución. Los altos valores de conductividad eléctrica podrían provocar efectos en cultivos sensibles, obstrucción en los sistemas de goteo y salinización del suelo. Esto se debe principalmente a factores naturales como la disolución y lixiviación de una gran cantidad de sales minerales y metales presentes en el suelo, además de la alta radiación que favorece la evaporación del agua. En la zona geomorfológica de desierto, se encuentran capas de sales minerales conocidas como caliches, las cuales son fuentes permanentes de aporte de iones a las aguas de la cuenca del Salar de Atacama. La cordillera de la Sal adiciona una gran cantidad de iones disueltos al río Salado el cual es tributario del río San Pedro de Atacama. El río San Pedro en su recorrido hacia el Salar de Atacama, es recargado en varios puntos por aguas subterráneas las cuales contienen lixiviados de iones y metales.

8.2.3. Análisis Territorial de las Aguas para Riego

8.2.3.1. Generalidades

A partir de la información antes descrita, se realiza un análisis territorial de los tramos de interés al proyecto, según lo descrito en los términos de referencia.

Los parámetros analizados se configuran analizando la información ya presentada, siendo necesario puntualizar qué información es utilizada para cada análisis. La salinidad es analizada a partir de los datos promedio de la estación San Pedro en Cuchabrachi, los muestreos puntuales y los muestreos in situ, estos últimos permiten realizar análisis por tramo en un mismo cauce.

Los diagramas de Stiff se realizan para representar el equilibrio entre los aniones y los cationes (o la falta de éste) y para su realización se utilizan los muestreos in situ. Esta misma información se utiliza para la clasificación del agua según el Unites States Laboratory Salinity Staff (USLSS).

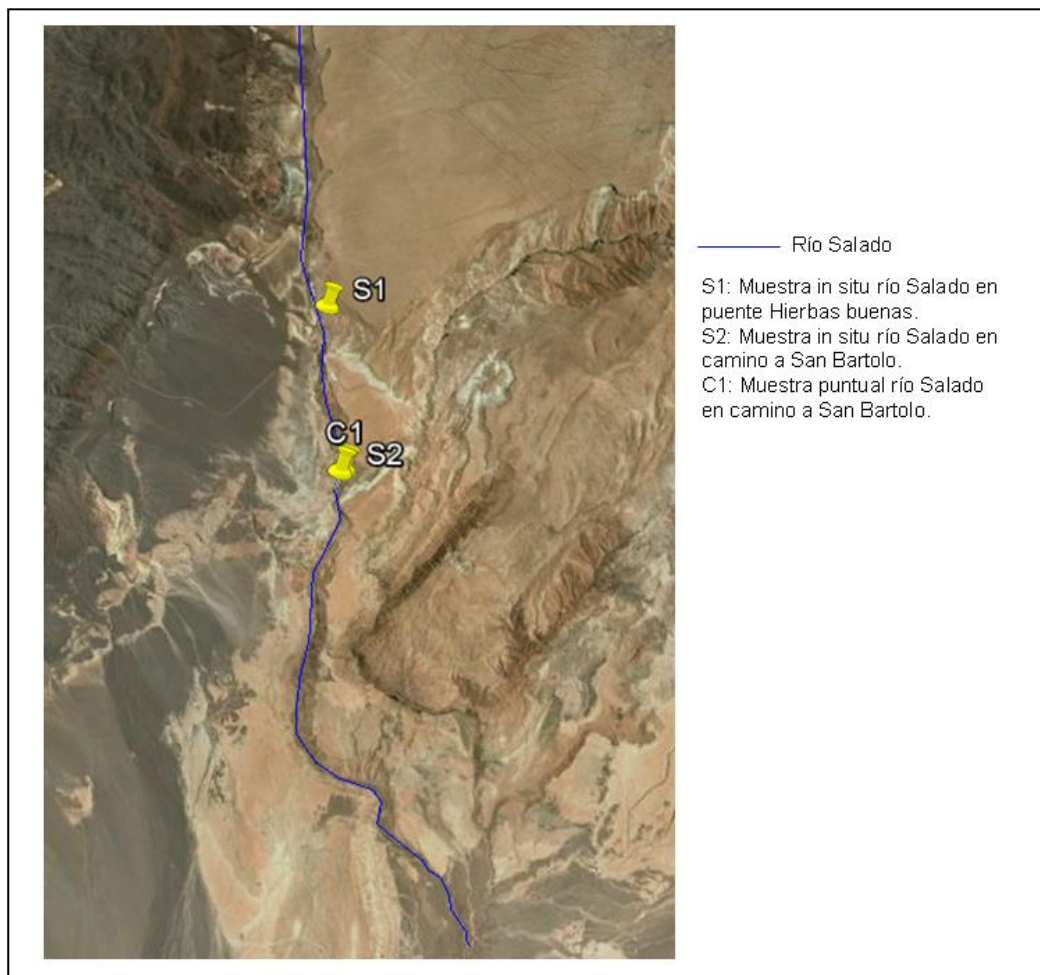
Respecto del cálculo de la cantidad de veces que la NCh 1.333 para riego es superada, se indica en el gráfico qué información fue utilizada, “muestreo 1” y “muestreo 2” son es la información de los muestreos in situ, “promedio” y “máximo” se refiere a los valores promedios y máximos calculados con la información de la estación San Pedro en Cuchabrachi.

Los puntos de muestreo especificados para cada uno de los tramos se encuentran en el Anexo 9-3 Kmz Puntos de Muestreo.

8.2.3.2. Río Salado

Para el análisis del río Salado se considera el tramo desde el sector inmediatamente aguas arriba de la obra de captación para conducir sus aguas al túnel de trasvase San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Grande, tal como se muestra en la Figura 9.2.3.2-1.

**FIGURA 9.2.3.2-1
PUNTOS DE MUESTREO RÍO SALADO**



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth.

El Salado en la primera parte de su curso tiene un contenido salino moderado, que corresponde a la clasificación de la NCh 1.333 para riego “agua que puede tener efectos adversos en muchos

cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso”, por su CE y SDT, con valores del orden de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.500 ppm respectivamente.

Poco después del cruce con el camino al Establecimiento San Bartolo, en donde existe un umbral de roca, el agua sufre un aumento brusco de salinidad, el que se produce en un corto trecho de menos de 1 km, lo que se explicaría con la aparición de una napa subterránea con fuerte concentración de sal (Dávila, 1960). En este sector se ubica la quebrada Salmuera.

Después de la quebrada de Pelón, el río Salado recorre unos 13 km por un cajón sumamente estrecho y abrupto, aumentando paulatinamente su salinidad (Dávila, 1960).

El agua llega al río San Pedro con un “agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos”, muy cercano al límite superior, con valores de CE de 7.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de SDT de 5.000 ppm.

Se observó en terreno que el suelo aledaño al curso de agua presenta una costra salina, más bien disgregada, que al aumentar el caudal es arrastrada por las aguas.

Se presenta en la Figura 9.2.3.2-2 un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibrio entre los cationes y los aniones.

Según el diagrama de Stiff las aguas en el primer muestreo son cloradas sódicas y las del segundo muestreo son sulfatadas sódicas.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es clasificada como C4S2, que indica un agua media en sodio¹⁴ y de muy alta salinidad¹⁵. En el caso del segundo muestreo, el agua es clasificada como C4S3¹⁶ alta en sodio y muy alta en salinidad.

Respecto de las normas de calidad indicadas, se realiza un análisis gráfico que permite visualizar la cantidad de veces que es superada la NCh 1.333 para riego, el que se encuentra en la Figura 9.2.3.2-3.

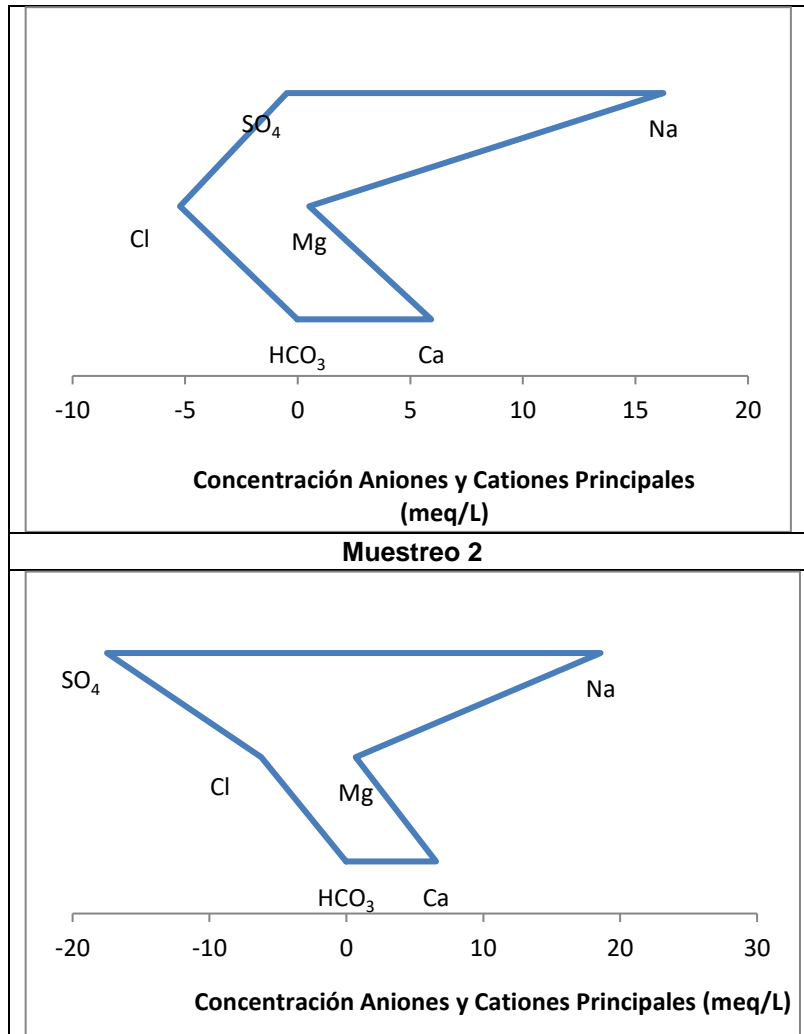
FIGURA 9.2.3.2-2 DIAGRAMAS DE STIFF RÍO SALADO

Muestreo 1

¹⁴ En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable especialmente si dichos suelos presentan una alta capacidad de intercambio de cationes. Esta agua solo puede emplearse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

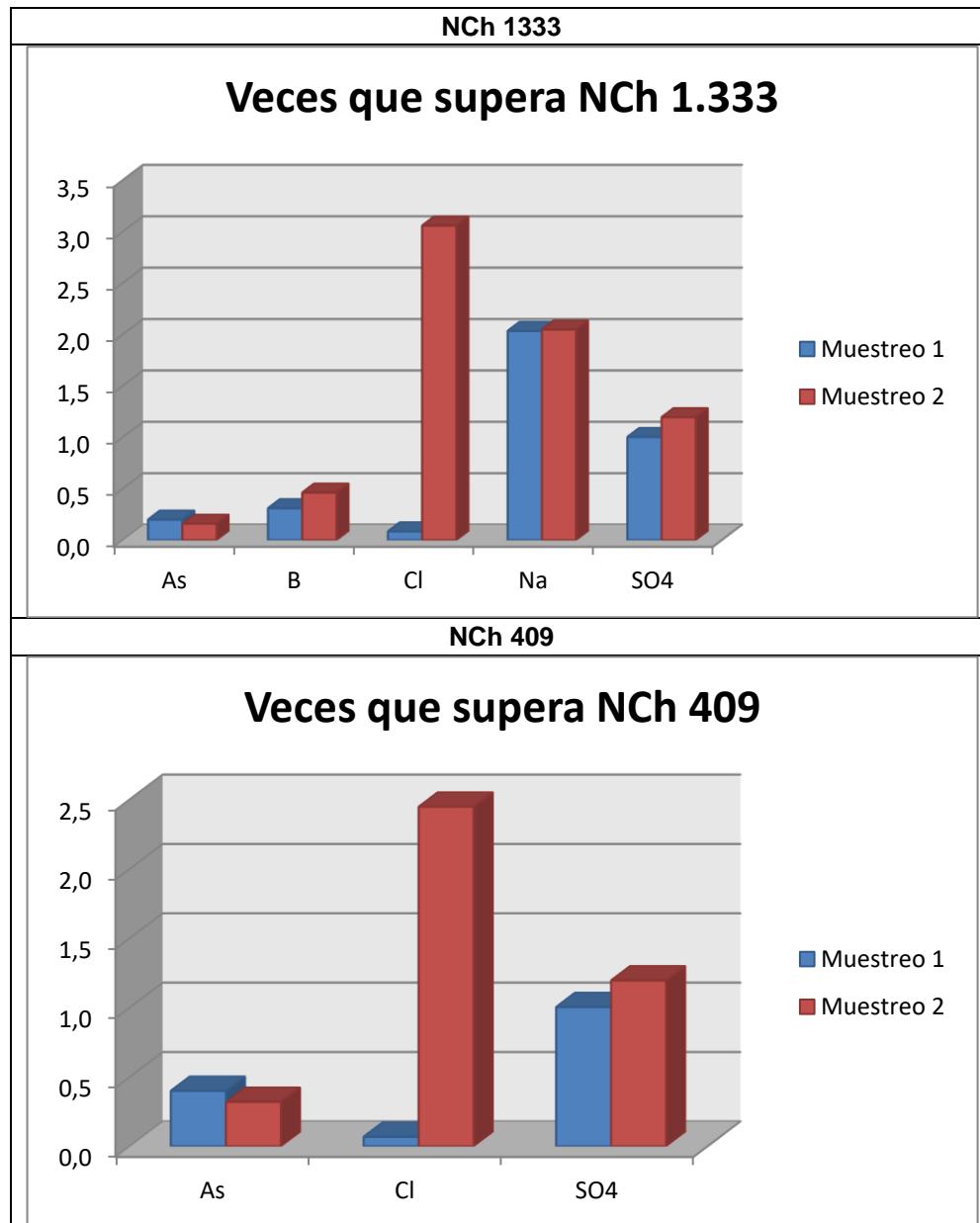
¹⁵ No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiéndose, por lo tanto seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales.

¹⁶ Agua alta en sodio. Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9.2.3.2-3
CANTIDAD DE VECES QUE SE SUPERA NORMA PARA CADA PARÁMETRO
RÍO SALADO



Fuente: Elaboración propia.

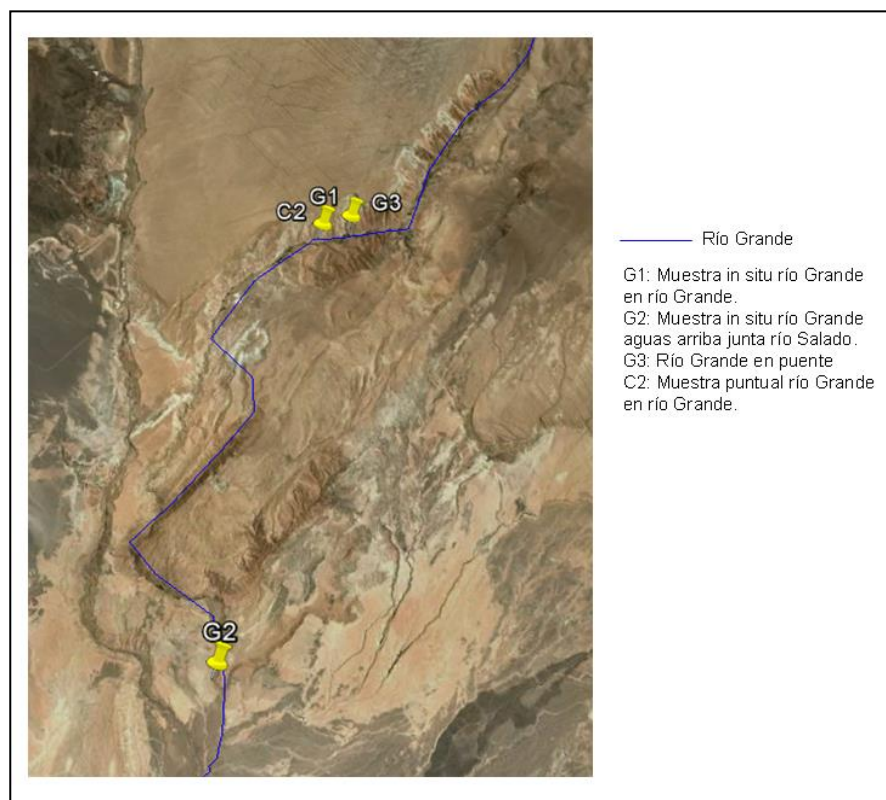
En el primer muestreo la norma para riego es superada para sodio y sulfatos. En el segundo muestreo se superan los cloruros, el sodio y los sulfatos. Estos datos se relacionan con el análisis de los diagramas de Stiff en el que se evidencia un alto contenido de sales cloradas sódicas en el primer muestreo y sulfatadas sódicas en el segundo muestreo. También muestra relación con el alto índice de CE y SDT ya analizado.

Como se puede observar en los gráficos, para la NCh 1.333 el parámetro que presenta mayores problemas de control son los cloruros, que superan por 3 veces la norma en el segundo muestreo, el sodio supera 2 veces la norma en ambos muestreos y los sulfatos superan la norma, sin embargo supera por poco el valor normado. Respecto de la NCh 409, los parámetros que superan la norma son los cloruros y los sulfatos.

8.2.3.3. Río Grande

Para el análisis del río Grande se considera el tramo desde el sector de la boca de salida del túnel San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Salado, según se muestra en la Figura 9.2.3.3-1.

**FIGURA 9.2.3.3-1
PUNTOS DE MUESTREO RÍO GRANDE**



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth.

El agua en el río Grande, aguas arriba de la comunidad del mismo nombre, es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), tanto por su CE como por los SDT, cuyos valores son 1.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.240 ppm respectivamente. En el cruce del camino en el poblado de río Grande, el agua tiene una calidad bastante similar. Antes de reunirse con el río Salado, ha aumentado moderadamente la CE (2.690 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y los SDT (1.890 ppm), sin embargo los valores siguen en la misma clasificación. En el muestreo efectuado en el estudio de Arrau (2000), se observa un aumento paulatino de la conductividad eléctrica de aguas arriba a aguas abajo, con valores bastante similares al muestreo efectuado en la presente consultoría.

Observaciones de terreno indican que en las riberas de los cauces es común encontrar sectores de aspecto blanquecino producto de depositaciones de sales, razón por la que si aumentan los caudales, se produce un lavado de estas sales, las que son incorporadas a la corriente natural, aumentando de esta forma la concentración salina de las aguas (Arrau, 2000).

Se presenta en la Figura 9.2.3.3-2 un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibrio entre los cationes y los aniones.

Según el diagrama de Stiff las aguas en el primer muestreo tienen un leve predominio de las sales cloradas sódicas, sobre las sulfatadas sódicas y las del segundo muestreo son sulfatadas sódicas.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es C3S1, que indica un agua de salinidad alta¹⁷ y baja en sodio¹⁸ y en el segundo muestreo es clasificada como C3S2, que indica un agua alta salinidad y agua media en sodio.

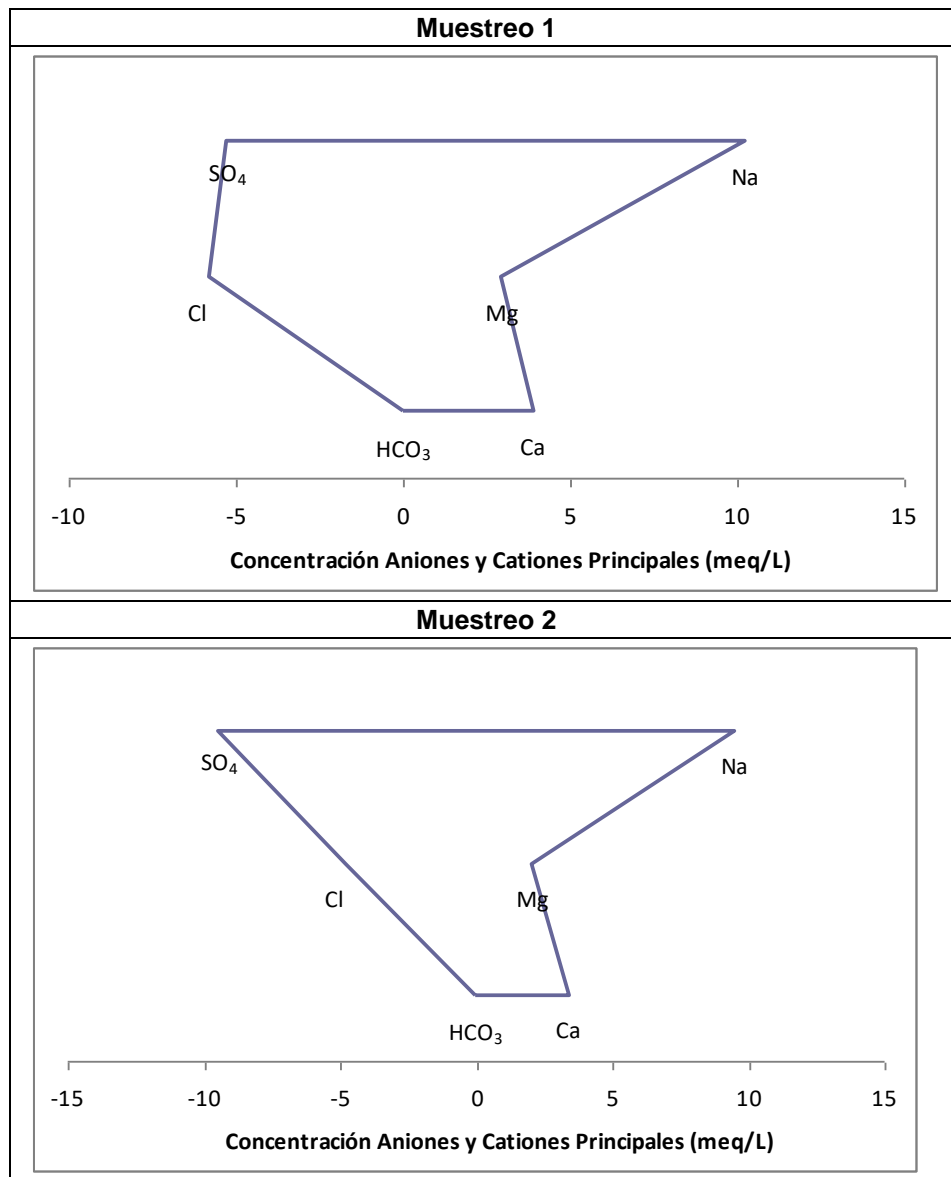
Respecto de las normas de calidad indicadas, se realiza un análisis gráfico que permite visualizar la cantidad de veces que es superada la norma, el que se encuentra en la Figura 9.2.3.3-3.

En el río Grande se puede observar que en el primer muestreo se superan Arsénico, Boro, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan estos mismos parámetros además de Cloruros y Fierro.

¹⁷ No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales.

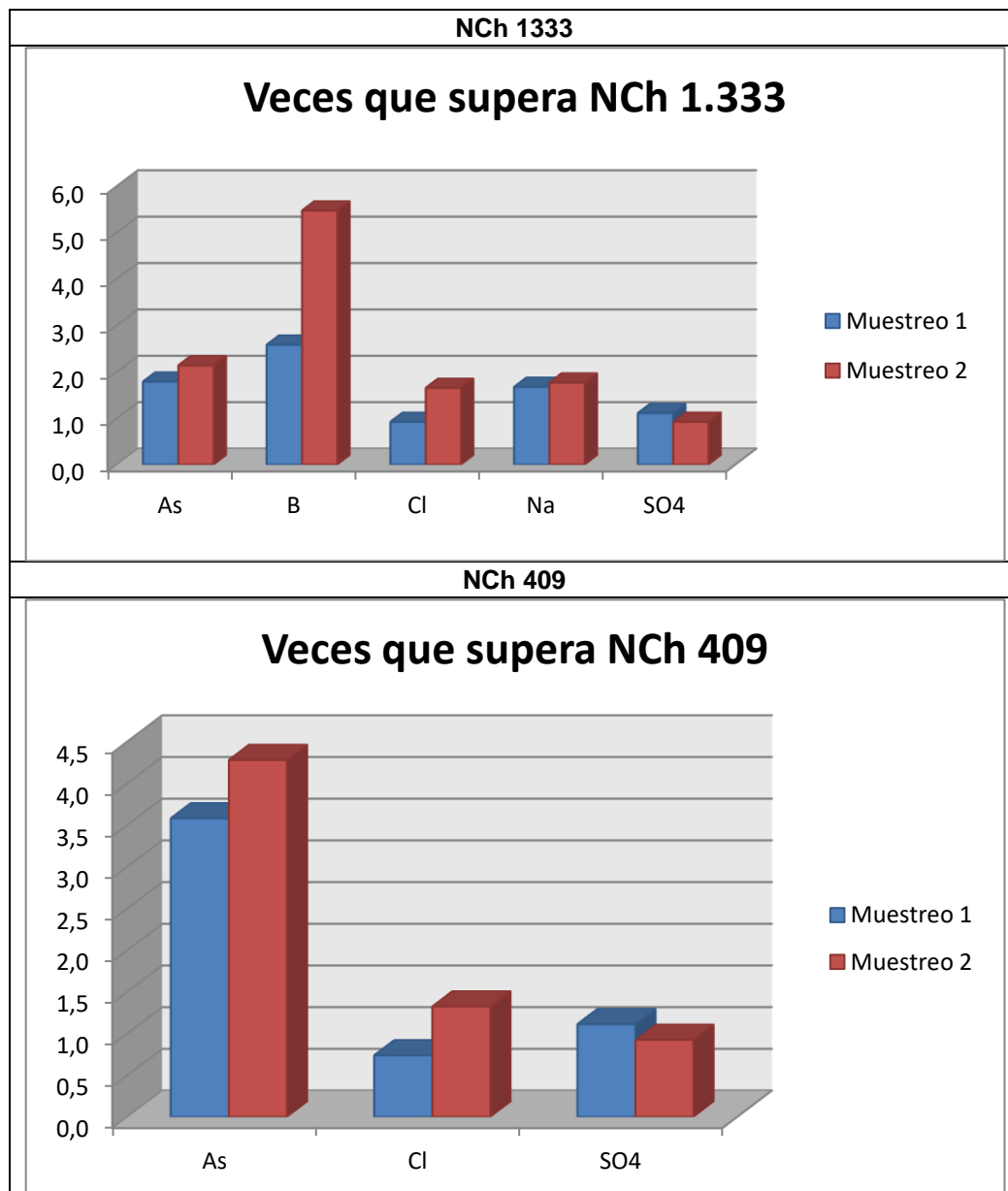
¹⁸ Puede utilizarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

FIGURA 9.2.3.3-2
DIAGRAMAS DE STIFF RÍO GRANDE



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9.2.3.3-3
CANTIDAD DE VECES QUE SE SUPERA NORMA PARA CADA PARÁMETRO
RÍO GRANDE



Fuente: Elaboración propia.

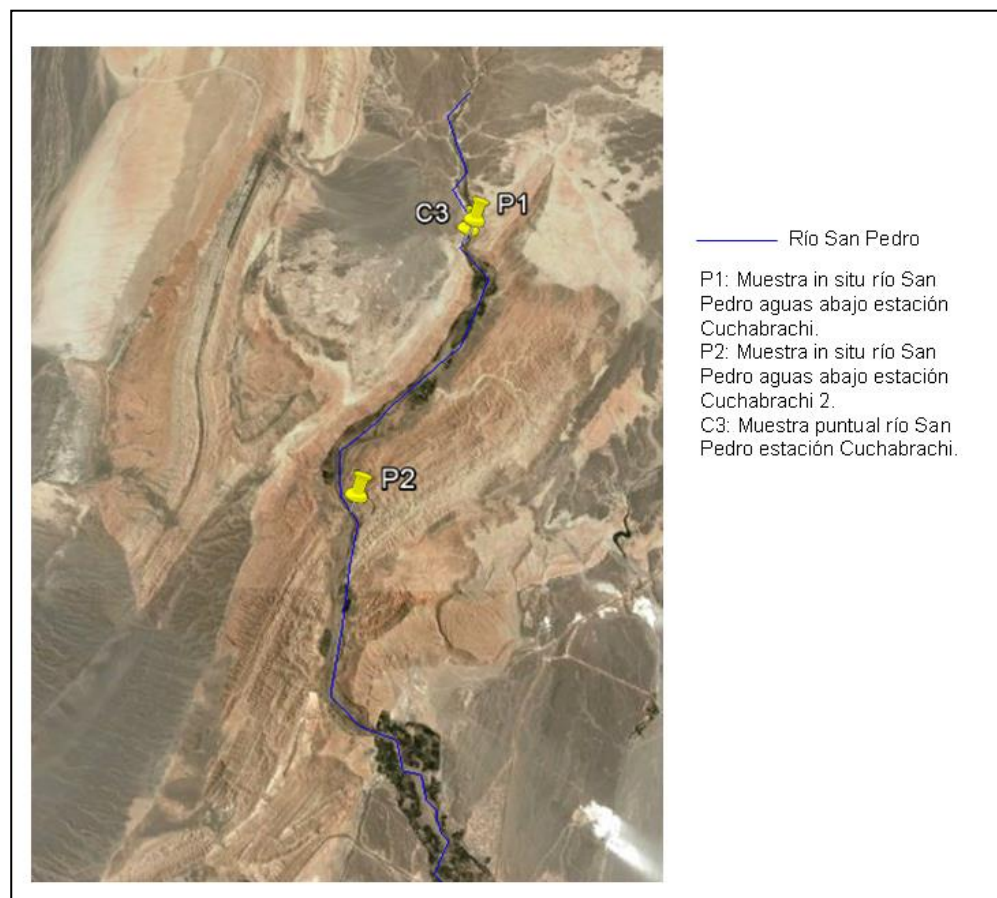
Los parámetros que superan mayor cantidad de veces la norma corresponden al Sodio y al Boro, sin embargo el Arsénico es superado por cerca de dos veces. La NCh 409 es superada por cerca de

4 veces en ambos muestreos, lo que muestra que la potabilización del agua se dificulta debido a la necesidad de reducir la cantidad de arsénico mediante plantas de tratamiento especializadas.

8.2.3.4. Río San Pedro

El Río San Pedro es estudiado desde su origen en la confluencia de los ríos Grande y Salado, hasta la última bocatoma de riego o cercano a su llegada a San Pedro de Atacama. Es el sector donde más información se obtiene para el análisis, ya que se cuenta con datos históricos y periódicos de la estación Río San Pedro en Cuchabrachi, tal como se ha indicado anteriormente, y se muestra en la Figura 9.2.3.4-1.

**FIGURA 9.2.3.4-1
PUNTOS DE MUESTREO RÍO SAN PEDRO**



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth.

El agua en el río San Pedro, en el sector de Cuchabrachi, respecto de la CE (valores promedio datos BNA) y SDT (promedio muestreos), es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), cuyos

valores son 2.778 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.823 ppm respectivamente. Aguas debajo de la bocatoma del canal San Pedro, el agua tiene una calidad “agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de trabajo cuidadosos” (muestreo puntual in situ) con una CE de 3.610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y SDT 2.530 ppm.

En la Figura 9.2.3.4-2 se presenta un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibrio entre los cationes y los aniones.

Según el diagrama de Stiff las aguas son sulfatadas sódicas en ambos muestreos.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es C3S2, que indica un agua de salinidad alta y media en sodio y en el segundo muestreo es clasificada como C4S2, que indica un agua de salinidad muy alta y agua media en sodio. Respecto de las normas de calidad indicadas, se realiza un análisis gráfico que permite visualizar la cantidad de veces que es superada la norma, el que se encuentra en la Figura 9.2.3.4-3.

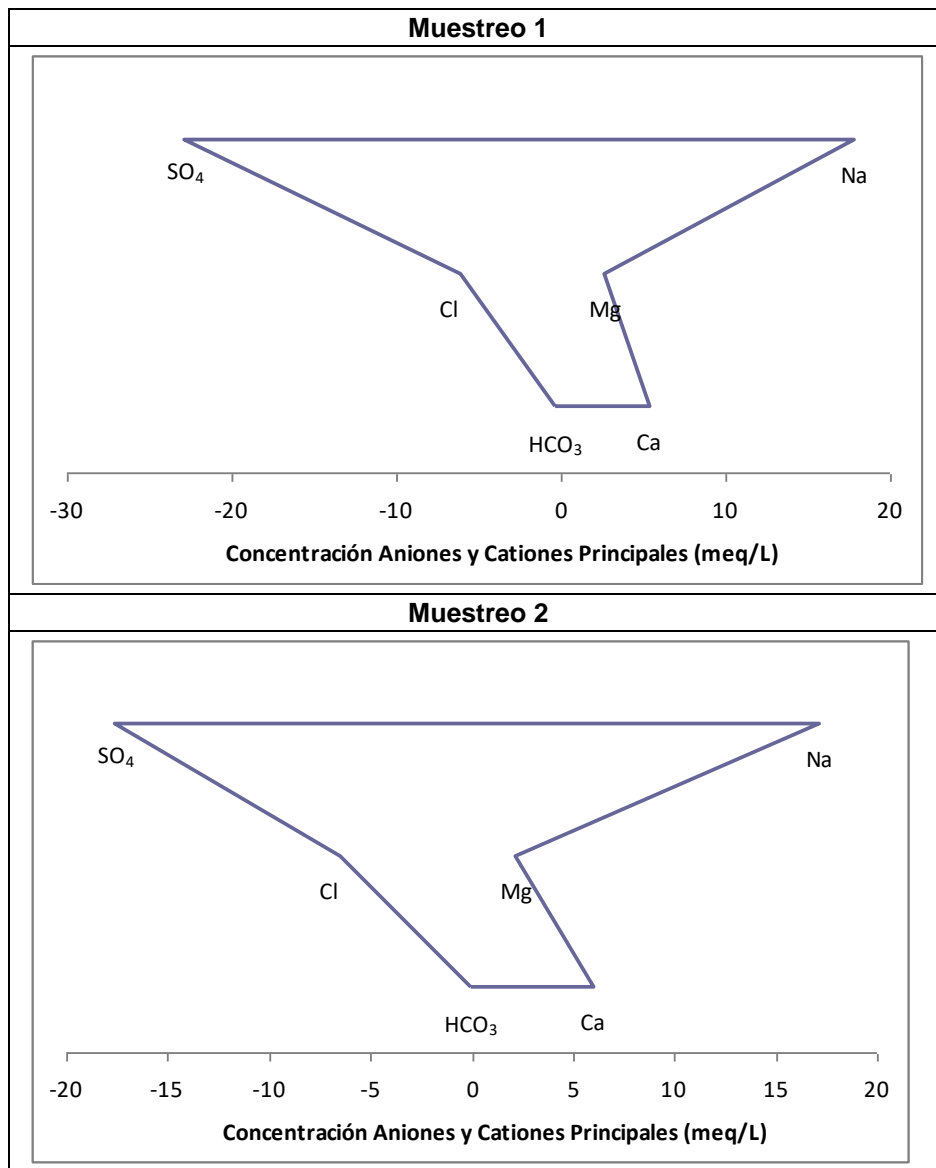
En el río San Pedro en el primer muestreo se superan los parámetros Boro, Cloruros, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan los parámetros Arsénico, Boro, Cloruros, Manganeso, Sodio y Sulfatos.

Se puede observar que el parámetro de los muestreos realizados en la presente consultoría que supera mayor cantidad de veces la norma corresponde al Boro. Respecto de los valores promedio, todos los parámetros superan la norma, pero ninguna se supera por más de 5 veces, sin embargo los valores máximos superan con creces los valores de ambas normas para Arsénico y Cloruros, además del Boro en el caso de la NCh 1.333.

Respecto de los valores analizados de la estación San Pedro en Cuchabrachi, se realiza un análisis respecto de la NCh 1.333 para riego, analizando el total de las muestras históricas con las que se cuenta.

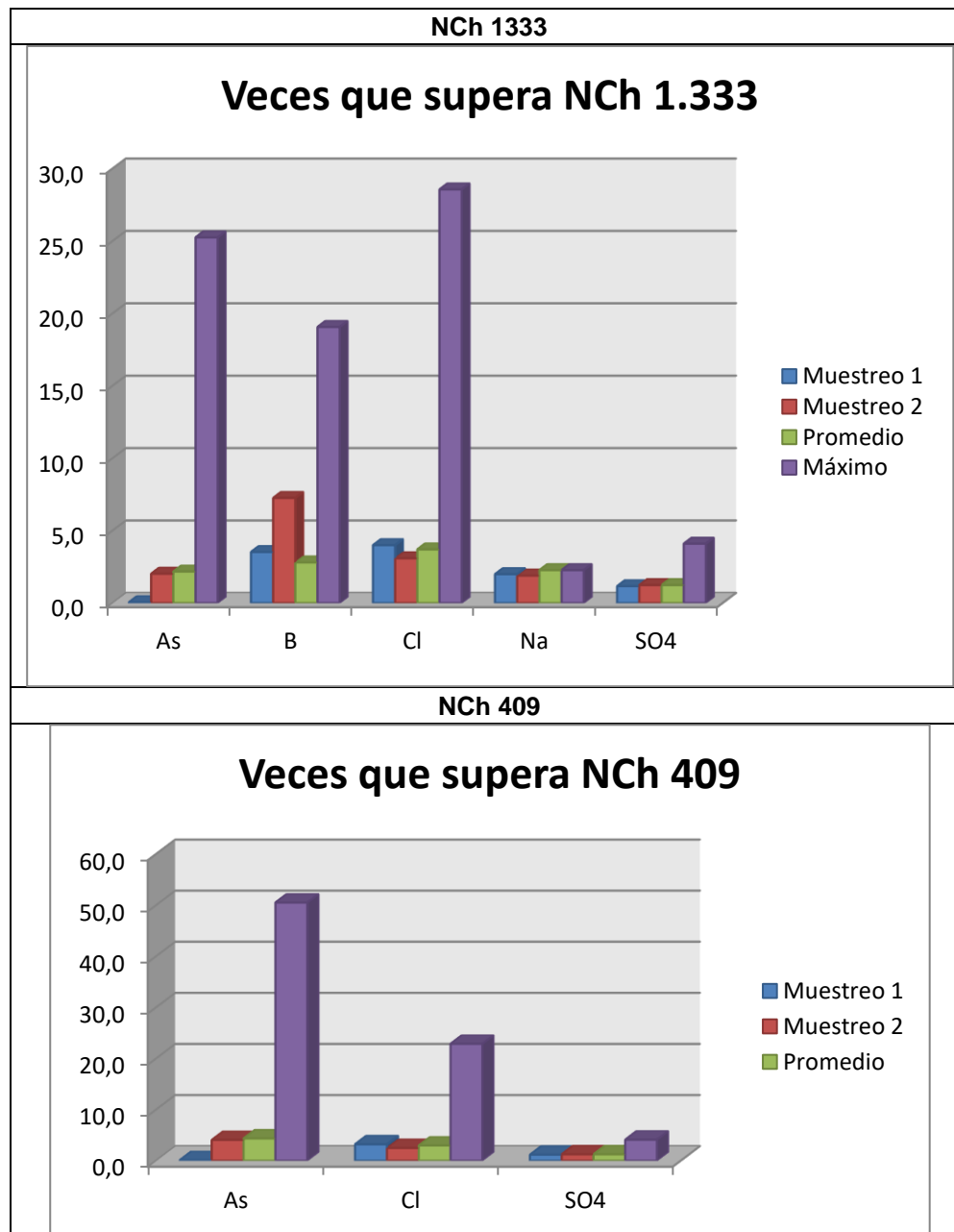
La norma establecida para el Aluminio es de 5 mg/L. Se han considerado 43 muestras a contar del año 1995, de las cuales el 23% sobrepasa la NCh 1.333 para riego, al igual que el valor promedio de las muestras.

FIGURA 9.2.3.4-2
DIAGRAMAS DE STIFF RÍO SAN PEDRO



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9.2.3.4-3
CANTIDAD DE VECES QUE SE SUPERA NORMA PARA CADA PARÁMETRO



Fuente: Elaboración propia.

La norma establecida para el Arsénico para riego es de 0,1 mg/L y para agua potable es de 0,05 mg/L. Se han considerado 86 muestras a contar del año 1968, de las cuales el 74% sobrepasa la

NCh 1.333 para riego y el 86% sobrepasa la NCh 409. El valor promedio de las muestras supera la norma.

La norma establecida para el Boro es de 0,75 mg/L. Se han considerado 94 muestras a contar del año 1967 y se sobrepasa el 100% de las veces la NCh 1.333 el valor promedio supera la norma.

La norma establecida para Cloruros es de 200 mg/L. Se han considerado 83 muestras a contar del año 1967, para éstas se sobrepasa la norma en el 100% de los casos, con un valor promedio que supera la norma cerca de 4 veces y el valor máximo de la serie supera cerca de 30 veces la norma. El valor máximo ocurre en el verano de 2002.

La norma establecida para CE está definida por rangos, los que caracterizan la calidad del agua asociando los valores de este parámetro con los SDT. El número de datos es de 107 muestras a partir del año 1967. El 100% de los datos presenta valores de restricción para cierto tipo de cultivos. El valor máximo establecido en la norma es de 7.500 mmhos/cm, el que es superado en uno de los casos correspondiente al año 2012.

La norma establecida para fierro es de 5 mg/L. se han considerado 64 muestras a partir de 1978, en que el 11% de los casos supera la norma. El valor promedio no supera la norma.

La norma establecida para Manganeseo es de 0,2 mg/L. Se han considerado 41 datos a partir de 1997, donde la norma es superada un 12% de las veces. El valor promedio supera norma.

La norma establecida para Sulfatos es de 250 mg/L. Se han considerado 80 datos obtenidos a partir de 1967, superando el valor normado un 82,5% de las veces. El valor promedio supera norma.

Respecto de los valores alcanzados en crecidas, se tiene el registro de la estación Cuchabrachi en marzo de 2012, luego de la gran crecida ocurrida ese año. Los valores alcanzados para CE fueron del orden de los 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superando ampliamente el valor sugerido para el uso en riego. Cabe destacar que la crecida ocurrió a mediados de febrero, lo que muestra que el efecto de ésta en la salinidad fue mayor a un mes.

Además se tomaron muestras durante la crecida ocurrida en el presente año (7 de febrero), obteniendo valores de Cloruros (2.462 mg/L) y de SDT (4.882 mg/L), por lo que se estiman valores cercanos a los 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En muestras posteriores, los días 9 y 14 de febrero se presentan valores de CE y SDT normales para la zona, con 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.780 ppm el día 9 y 2.080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.480 ppm el día 14.

A pesar que no se cuenta con registros de crecidas anteriores, lo transmitido oralmente por los regantes, es que al haber una crecida prueban el sabor del agua, la que generalmente se pone salada, lo que les indica que no deben regar y la dejan pasar por el río a la “playa” (la dejan correr hacia el salar), esto hasta que nuevamente adquiere un sabor no salado, lo que indica que nuevamente pueden regar. Esta ausencia de riego puede durar hasta unas 3 semanas, lo que indica que las condiciones de calidad regular del agua no mejoran automáticamente al finalizar la crecida.

8.2.3.5. Sector Pueblo San Pedro de Atacama

El Canal San Pedro es estudiado ya que es el agua que ha pasado por cierta parte del sector de riego y podría presentar problemas biológicos, especialmente por los resultados de estudios anteriores, tal como se muestra en la Figura 9.2.3.5-1. Afortunadamente se ha registrado un valor

muy bajo de coliformes fecales en ambos muestreos. El sector muestreado corresponde a las cercanías de hoteles de importancia en el pueblo.

El agua en el canal San Pedro, en el sector del Pueblo, respecto de la CE y SDT, es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), cuyos valores son 2.848 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2.048 ppm respectivamente.

En la Figura 9.2.3.5-2 se presenta un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibrio entre los cationes y los aniones.

Según el diagrama de Stiff las aguas son sulfatadas sódicas en ambos muestreos.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer y en el segundo muestreo es C3S3, que indica un agua de salinidad alta y alta en sodio.

Respecto de las normas de calidad indicadas, se realiza un análisis gráfico que permite visualizar la cantidad de veces que es superada la norma, el que se encuentra en la Figura 9.2.3.5-3.

Se puede observar los parámetros que superan la NCh 1.333 en el primer muestreo son Arsénico, Boro, Cloruros, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan los mismos parámetros además del manganeso.

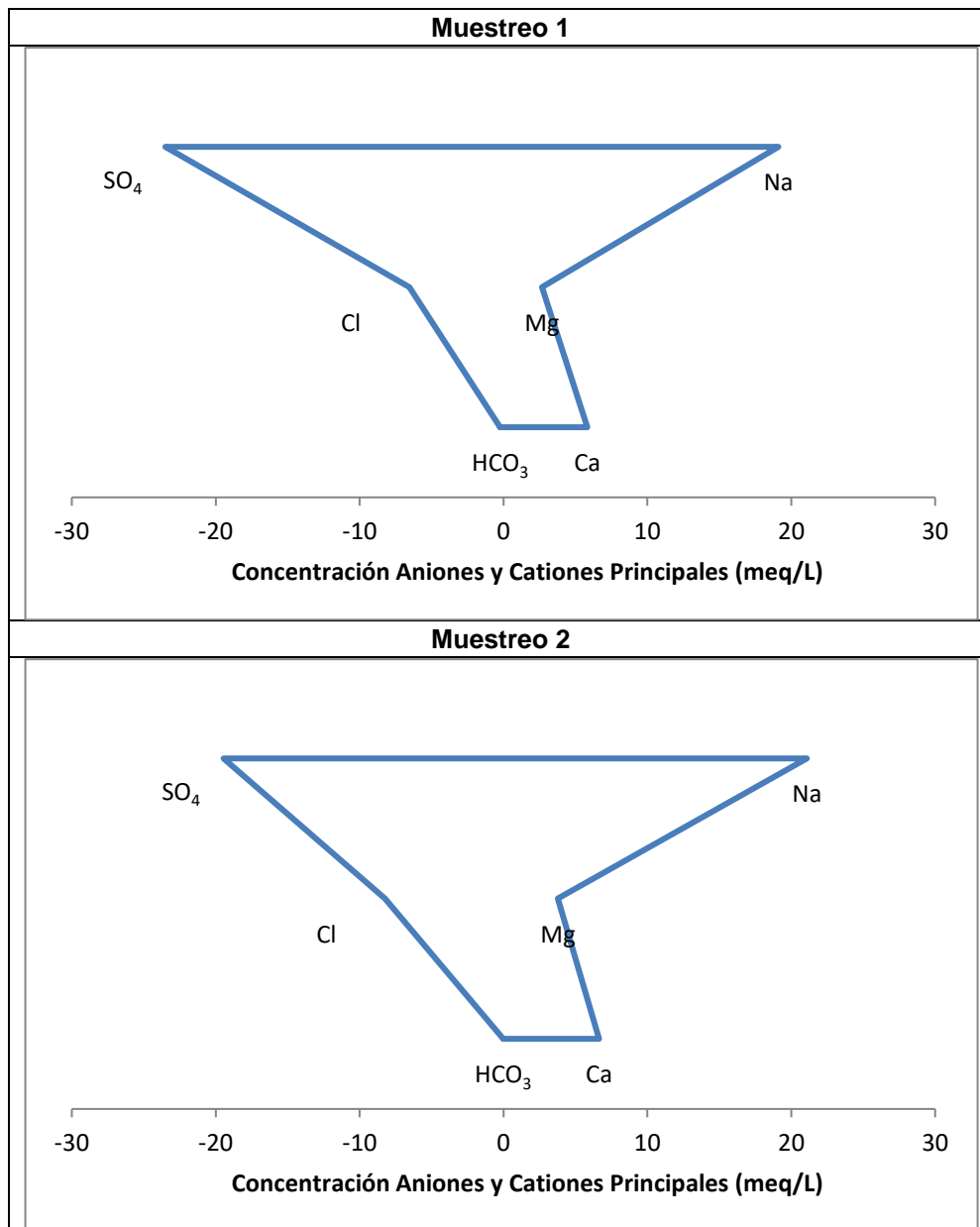
FIGURA 9.2.3.5-1
PUNTO DE MUESTREO
SECTOR PUEBLO SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen Google Earth.

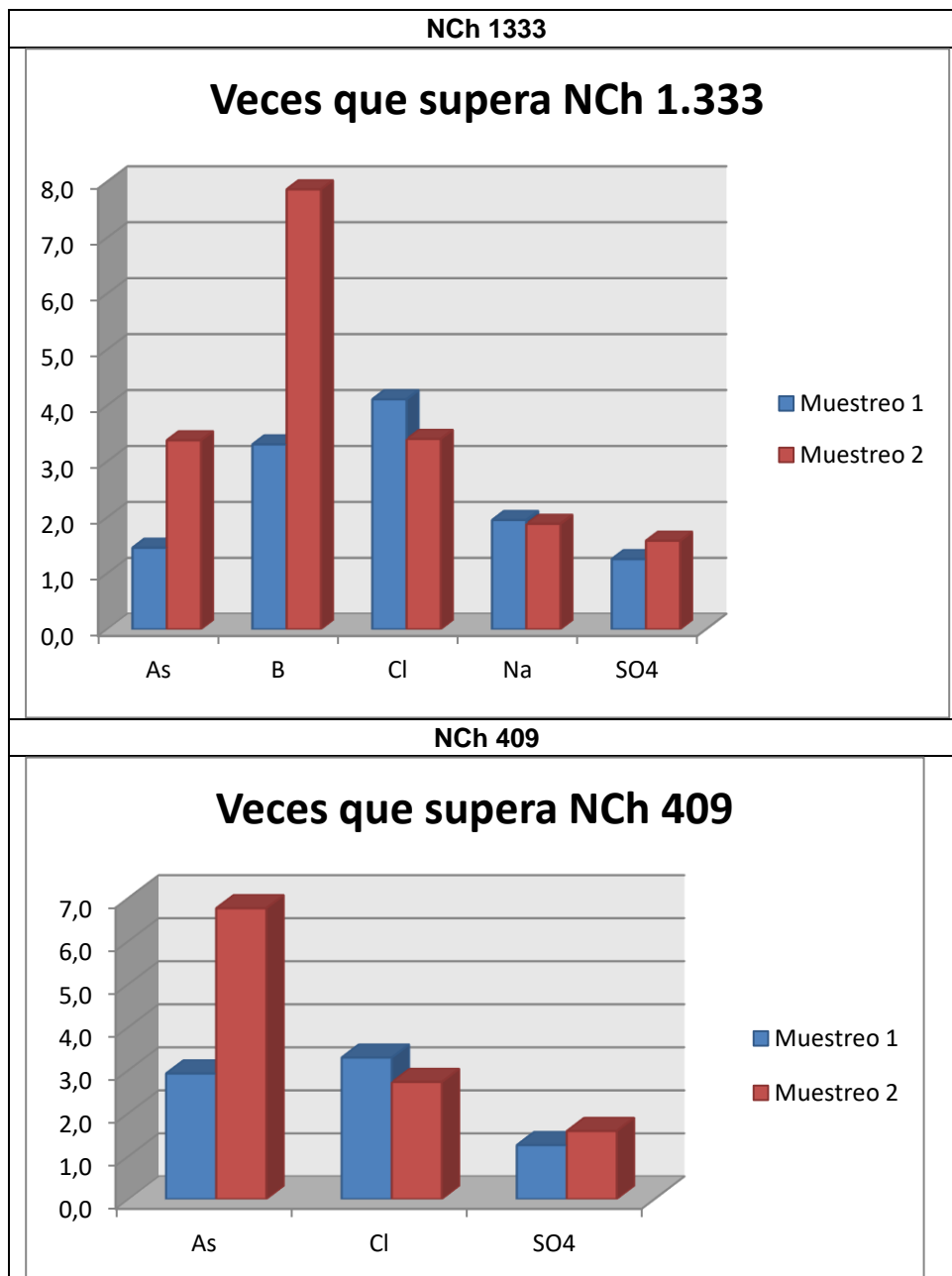
El Boro es superado más de 7 veces respecto de la NCh 1.333 para riego en el primer muestreo y 3 veces en el segundo. El arsénico es superado en el segundo muestreo cerca de 3 veces y el cloruro supera 3 y 4 veces la norma en el primer y segundo muestreo, respectivamente. En el caso de la NCh 409 el Arsénico y el Cloruro superan la norma, en el segundo muestreo el Arsénico supera más de 6 veces la norma.

FIGURA 9.2.3.5-2
DIAGRAMAS DE STIFF PUEBLO SAN PEDRO



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9.2.3.5-3
CANTIDAD DE VECES QUE SE SUPERA NORMA PARA CADA PARÁMETRO



Fuente: Elaboración propia.

8.2.3.6. Síntesis de la Información

A continuación se presenta una síntesis de la información a través de un cuadro, en el que se presentan las principales características de los cursos de agua estudiados.

**CUADRO 9.2.3.6-1
SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN**

Curso de Agua	Sector	USLSS	NCh 409	NCh 1.333
RÍO SALADO	PARTE ALTA	C4S2 AGUA SALINIDAD MUY ALTA Y MEDIA EN SODIO. C4S3 AGUA SALINIDAD MUY ALTA Y ALTA EN SODIO	SE SUPERAN: CLORUROS, SULFATOS Y EN MENOS MEDIDA AS.	AGUA QUE PUEDE TENER EFECTOS ADVERSOS EN MUCHOS CULTIVOS Y NECESITA DE MÉTODOS DE MANEJO CUIDADOSO. SE SUPERAN: CLORUROS, SODIO, SULFATOS.
	ANTES JUNTA RÍO GRANDE	-	-	AGUA QUE PUEDE SER USADA PARA PLANTAS TOLERANTES EN SUELOS PERMEABLES CON MÉTODOS DE MANEJO CUIDADOSOS.
RÍO GRANDE	ANTES DE LOCALIDAD RÍO GRANDE	C3S1 AGUA BAJA EN SODIO Y SALINIDAD ALTA C3S2 AGUA MEDIA EN SODIO Y SALINIDAD ALTA	SE SUPERA AS, CL Y SO4.	AGUA QUE PUEDE TENER EFECTOS ADVERSOS EN MUCHOS CULTIVOS Y NECESITA MÉTODOS DE MANEJO CUIDADOSO SE SUPERA B, AS, FE, NA, CL Y SO4
	ANTES DE LA JUNTA CON EL RÍO SALADO	-	-	AGUA QUE PUEDE TENER EFECTOS ADVERSOS EN MUCHOS CULTIVOS Y NECESITA MÉTODOS DE MANEJO CUIDADOSO
RÍO SAN PEDRO	CUCHABRACHI	C3S2 AGUA ALTA EN SODIO Y SALINIDAD MEDIA C4S2 AGUA MUY ALTA EN SODIO Y SALINIDAD MEDIA	SE SUPERA LEVEMENTE AS, CL Y SO4; EN CRECIDA SE SUPERA EL AS CERCA DE 50 VECES Y LOS CLORUROS CERCA DE 20 VECES.	AGUA QUE PUEDE TENER EFECTOS ADVERSOS EN MUCHOS CULTIVOS Y NECESITA MÉTODOS DE MANEJO CUIDADOSO. SE SUPERAN: B, CLORUROS, AS, NA Y SO4. EN LA CRECIDA DE 2012 SE SUPERAN 20 VECES AS, B Y CLORUROS.
	BAJO BOCATOMA CANAL SAN PEDRO	-	-	AGUA QUE PUEDE SER USADA PARA PLANTAS TOLERANTES EN SUELOS PERMEABLES CON MÉTODOS DE TRABAJO CUIDADOSOS

Fuente: Elaboración propia.

Para representar la CE se utilizarán distintos colores, los que han sido clasificados según la clasificación que se presenta en la NCh 1.333 y se presentan en el Cuadro 9.2.3.6-2.

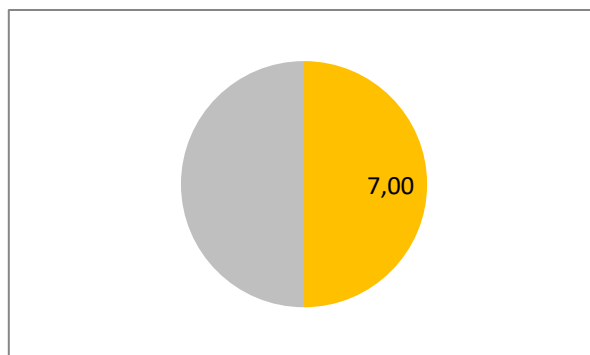
El pH se presenta como una circunferencia, en que el 100% representa el valor 14 y los valores se van rellenando en el sentido de las aguas del reloj, por lo que el valor 7 representaría un equivalente a las 6 en un reloj, tal como se presenta en la Figura 9.2.3.6-1.

CUADRO 9.2.3.6-2 CLASIFICACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Clasificación	CE	Color
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$CE < 750$	Verde
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < CE < 1.500$	Amarillo
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso	$1.500 < CE < 3.000$	Naranja
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3.000 < CE < 7.500$	Rojo

Fuente: NCh 1.333 para uso en riego.

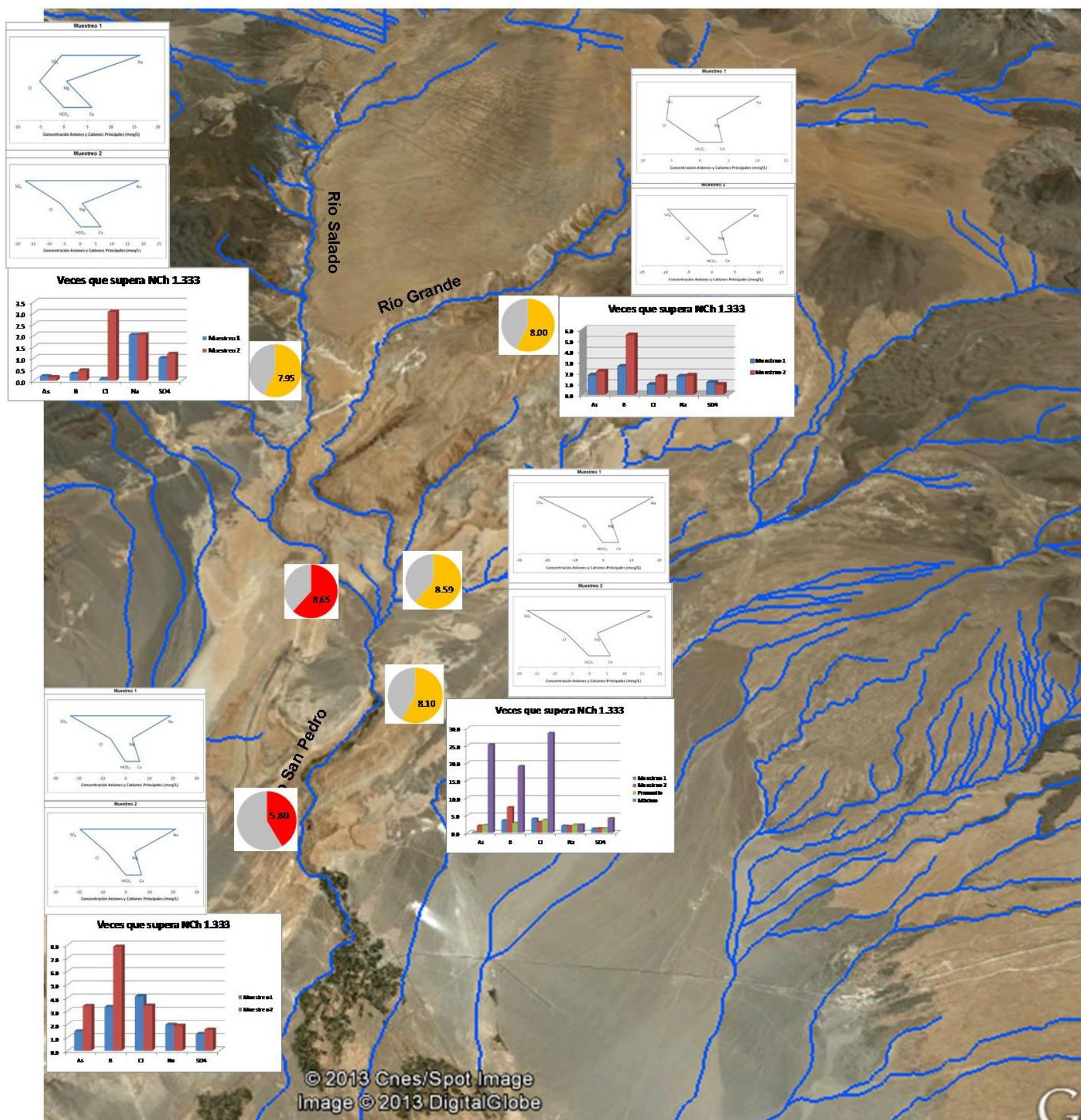
FIGURA 9.2.3.6-1 EJEMPLO DIAGRAMA pH



Fuente: Elaboración propia.

Para representar la información en forma gráfica, se ha generado la Figura 9.2.3.6-2 que tiene como base una imagen de Google Earth y en ella se representan la Conductividad Eléctrica promedio, el pH promedio, el diagrama de Stiff y el diagrama de barras que indica la cantidad de veces que se ha superado la NCh 1.333. De los datos analizados y del análisis territorial realizado se puede concluir que el tramo que tiene una mejor calidad de agua es el río Salado aguas arriba del camino San Bartolo, ya que aguas abajo de éste se produce un fuerte proceso de salinización del agua. Se recomienda el uso de esa agua para el riego, ya que a pesar de superar la NCh 1.333 para estos efectos en algunos parámetros, los cultivos de la zona se encuentran adaptados a estas características; además el parámetro que presenta mayores complicaciones para su tratamiento es el arsénico, el que no supera la NCh 1.333 (ni la NCh 409) en ninguno de los dos muestreos. Sin embargo se recomienda un análisis más minucioso de la calidad del agua en crecidas, ya que con los datos analizados no se puede concluir que el agua durante este tipo de fenómenos vaya a conservar las características estudiadas. Las aguas en los tramos estudiadas en el río Grande y en el río San Pedro presentan limitaciones, especialmente relacionadas con la presencia de Arsénico.

FIGURA 9.2.3.6-2
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA PROMEDIO; PH; DIAGRAMA DE STIFF



Fuente: Elaboración propia.

Análisis Aguas Destinadas a la Vida Acuática

En el Cuadro 9.2.4-1 se presentan los parámetros muestreados para evaluar las aguas destinadas a la vida acuática. Los valores utilizados provienen del muestreo puntual 1 y del muestreo in situ.

Los valores de Oxígeno Disuelto (OD) en todos los puntos indican una calidad de agua aceptable, la que está relacionada con la alta salinidad y la menor presión atmosférica asociada a la altura sobre el nivel del mar. No se visualizan fuentes puntuales de contaminación que hagan suponer que el origen de los valores de OD son antrópicos. Los valores presentados en el estudio DGA-2004¹⁹ correspondiente a una campaña de monitoreo, son cercanos a 7 mg/L durante los meses de verano, lo que hace suponer que los valores de este parámetro se mantienen aceptables para la vida acuática en forma constante.

La temperatura promedio en verano en la estación San Pedro en Cuchabrachi corresponde a los 20 °C, los que se comparan con los valores medidos, que se consideran normales, a excepción de los valores medidos en el pueblo de San Pedro, que han aumentado más de 5º C respecto del valor promedio; sin embargo no se presentan descargas que puedan hacer suponer un aumento de la temperatura por fuentes puntuales, mas bien se supone un efecto del embalsamiento de las aguas en el tranque Guachar y el transporte del agua por medio de canales revestidos, asociado a una alta radiación solar.

¹⁹ DGA, 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca Salar de Atacama.

Todos los valores alcalinidad medidos hacen ver que el agua tiene una alta capacidad amortiguadora para resistir caídas del pH (neutralización de ácidos).

El resto de los parámetros observados indican valores y/o aspectos cualitativos asociados a una adecuada calidad del agua para la vida acuática, según lo expresado en la NCh 1.333 para este uso.

CUADRO 9.2.4-1
AGUAS DESTINADAS A LA VIDA ACUÁTICA

Características	Unidad	Requisito	Observado en terreno			
			C1	C2	C3	C4
Oxígeno Disuelto	mg/L	5 mínimo	6,1	6,5	6,5	6,0
pH	-	6,0 a 9,0	8,15	8,0	7,88	8,20
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	20 mínimo	127,47	159,46	179,90	188,33
Turbiedad debido a descarga	Unidades Escala Sílice	No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades	0,90 No hay presencia de descargas	53,40 No hay presencia de descargas	25,5 No hay presencia de descargas	65,4 No hay presencia de descargas
Temperatura	°C	En flujos de agua corriente, no debe aumentar en más de 3 grados	22,7	18,3	23,7	26,6
Color		Ausencia de colorantes artificiales	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales		Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos sedimentables		No deben exceder el valor natural	< 0,10 mL/L	0,20 mL/L	0,10 mL/L	< 0,10 mL/L
Petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo		No debe haber detección visual. No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o	No se detecta	No se detecta	No se detecta	No se detecta

CUADRO 9.2.4-1
AGUAS DESTINADAS A LA VIDA ACUÁTICA

Características	Unidad	Requisito	Observado en terreno			
			C1	C2	C3	C4
		ribera. No debe haber olor perceptible.				

Fuente: NCh 1.333, MOP 1978.

8.3. Diagnóstico Base para el Tratamiento de Salinidad de las Aguas en Hoya del Río San Pedro

8.3.1. Introducción

En el presente capítulo, se da cuenta de las actividades efectuadas y los resultados para la evaluación en detalle de la salinidad en la cuenca del río San Pedro.

8.3.1.1. Objetivos

Los objetivos que se plantean para este análisis son los siguientes:

- Levantar perfiles de conductividad para los tramos de los ríos Grande, Salado y San Pedro, para localizar todas las zonas de contaminación de los ríos antes nombrados.
- Determinar obras a diseñar para dar solución al tratamiento de la calidad de las aguas.
- Elaborar un diagnóstico de las obras factibles de llevar a cabo para el tratamiento de las aguas.

8.3.1.2. Metodología

Para la realización del presente diagnóstico se efectuó una evaluación de los resultados de la calidad del agua superficial para cada uno de los tramos estudiados, los que corresponden a:

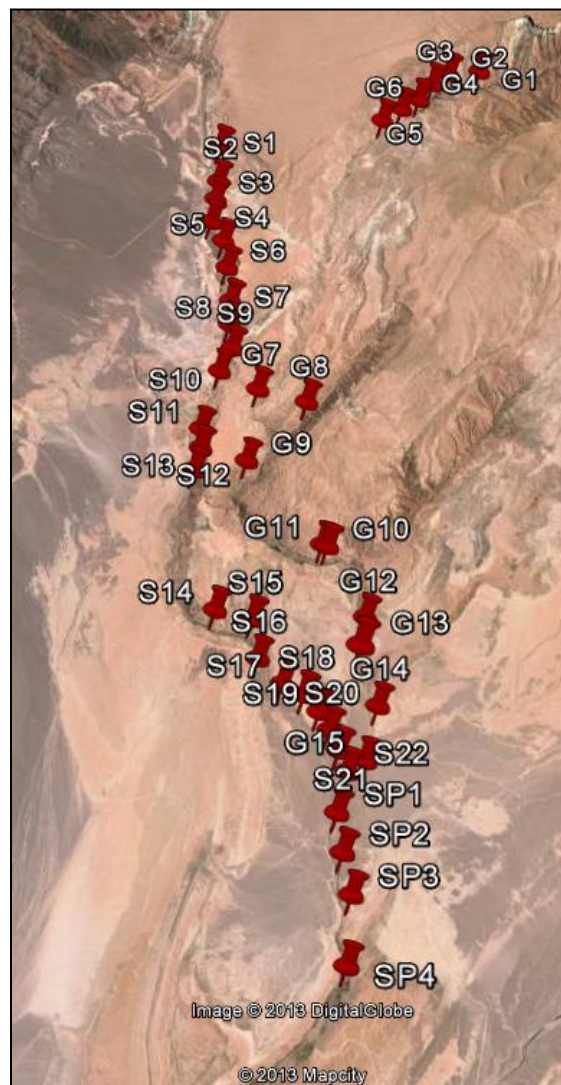
- Río San Pedro, desde su origen en la confluencia de los ríos Grande y Salado, hasta la última bocatoma de riego o cercano a su llegada a San Pedro de Atacama.
- Río Grande, desde el sector de la boca de salida del túnel San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Salado.
- Río Salado, desde el sector inmediatamente aguas arriba de la obra de captación para conducir sus aguas al túnel de trasvase San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Grande.

Se establecieron puntos de muestreo, considerando los siguientes criterios:

- Distancia entre puntos: 500 a 1.000 m.
- Acceso viable a los puntos de muestreo.

En la Figura 9.3.1.2-1 se presentan los puntos establecidos en gabinete para toda la cuenca, sin considerar su accesibilidad.

FIGURA 9.3.1.2-1
PUNTOS DE MUESTREO SALINIDAD RÍO SALADO



Fuente: Elaboración propia, en base a una imagen Google Earth.

El muestreo fue realizado con un sensor multiparamétrico 185-M6X1, entre el 15 y el 20 de junio de 2013, con el que se midieron los valores de CE en todos los puntos.

Una vez en gabinete, se efectuaron gráficos en que se relaciona la distancia al primer punto medido en cada uno de los cauces, de manera de efectuar un perfil de conductividad.

Luego se clasificaron los puntos según la amenaza, como componente para la evaluación del riesgo de contaminación del agua frente a factores naturales, la que se ha clasificado en 4 categorías, basándose en la clasificación de rangos de Conductividad Eléctrica (CE) presentes en la NCh 1.333 para aguas de riego, suponiendo que los valores altos se presentan en sectores donde fuentes naturales de contaminación contribuyen a un aumento de los valores medidos. Esta clasificación se presenta en el Cuadro 9.3.1.2-1.

Posteriormente, para entregar la información en forma visual, se han clasificado los puntos por color, según los valores de CE obtenidos, lo que también se presenta en el Cuadro 9.3.1.2-1.

CUADRO 9.3.1.2-1
CATEGORÍAS CLASIFICACIÓN AMENAZA PARA EL RIESGO DE
CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Clasificación	CE	Color
Baja	CE < 750	
Media	750 < CE < 1.500	
Alta	1.500 < CE < 3.000	
Muy alta	3.000 < CE < 7.500	

Fuente: Elaboración propia, a partir de los valores de la NCh 1.333 de agua para riego.

8.3.2. Diagnóstico Salinidad Río Salado

Los resultados del muestreo efectuado en el río Salado se presentan en el Cuadro 9.3.2-1.

En la Figura 9.3.2-1 se presenta el perfil de conductividad realizado en el río Salado.

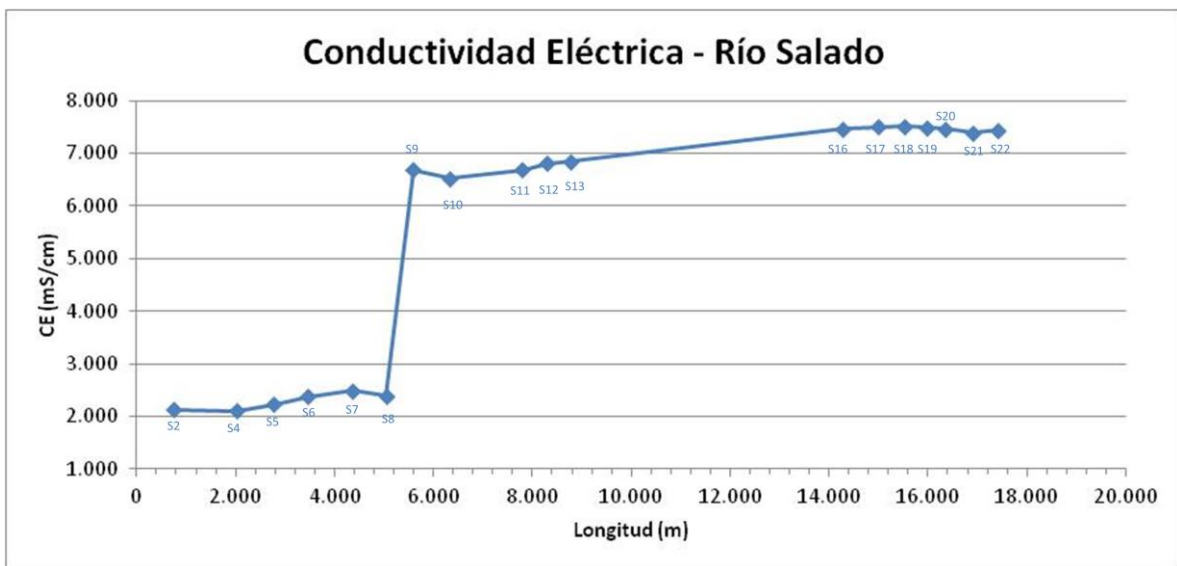
Tal como se observa en gráfico, la salinidad aumenta bruscamente entre el punto S8 y S9, sector donde se encuentra la quebrada Salmuera y el sector donde se encontraría emplazado el Túnel 2. Este cambio puede deberse a un aporte de aguas subsuperficiales de mayor salinidad, ya que no se observa un aporte superficial que pudiera explicar el aumento. Desde ese punto hacia abajo, se mantienen los valores altos, presentándose un ligero aumento en la CE.

CUADRO 9.3.2-1
RESULTADO MUESTREO SALINIDAD RÍO SALADO

NOMBRE PUNTO	CE (μS/cm)	LONGITUD (m)	Clasificación
S2	2.130	750	Alta
S4	2.100	2.022	Alta
S5	2.230	2.783	Alta
S6	2.380	3.465	Alta
S7	2.490	4.371	Alta
S8	2.390	5.046	Alta
S9	6.690	5.584	Muy Alta
S10	6.530	6.345	Muy Alta
S11	6.690	7.804	Muy Alta
S12	6.810	8.303	Muy Alta
S13	6.840	8.786	Muy Alta
S16	7.460	14.289	Muy Alta
S17	7.500	15.001	Muy Alta
S18	7.510	15.531	Muy Alta
S19	7.490	15.991	Muy Alta
S20	7.460	16.353	Muy Alta
S21	7.390	16.924	Muy Alta
S22	7.440	17.419	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia.

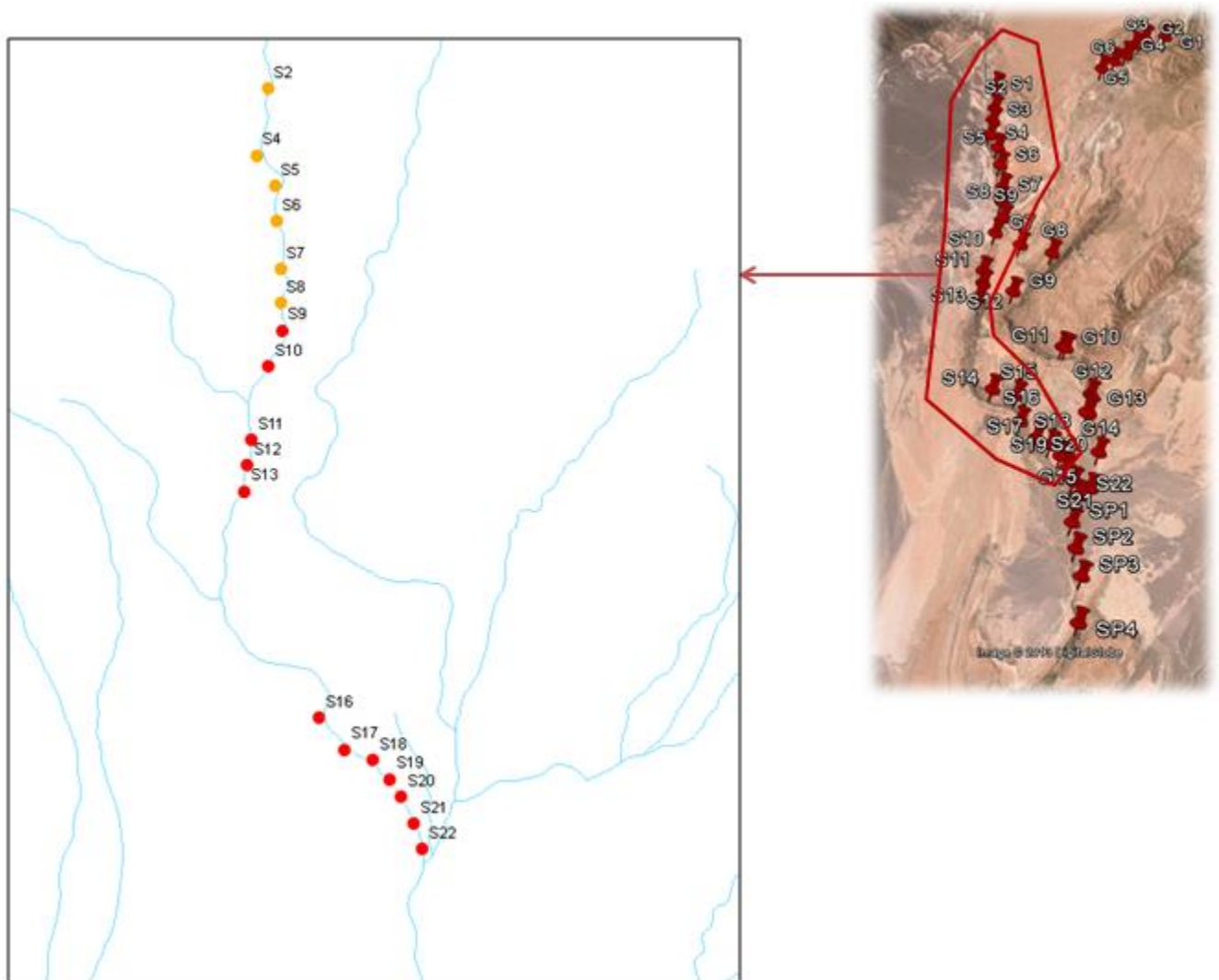
FIGURA 9.3.2-1
PERFIL DE CONDUCTIVIDAD RÍO SALADO



Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación de amenaza, el paso del agua desde el punto S9 hacia aguas abajo representa una amenaza muy alta para la calidad del agua, por lo que se deben planificar obras que disminuyan la sensibilidad del sistema, cosa de tener un bajo riesgo de contaminación del agua.

FIGURA 9.3.2-2
PUNTOS DE MUESTREO CLASIFICADOS RÍO SALADO



Fuente: Elaboración propia.

8.3.3. Diagnóstico Salinidad Río Grande

Los resultados de los muestreos realizados en el río Grande se presentan en el Cuadro 9.3.3-1.

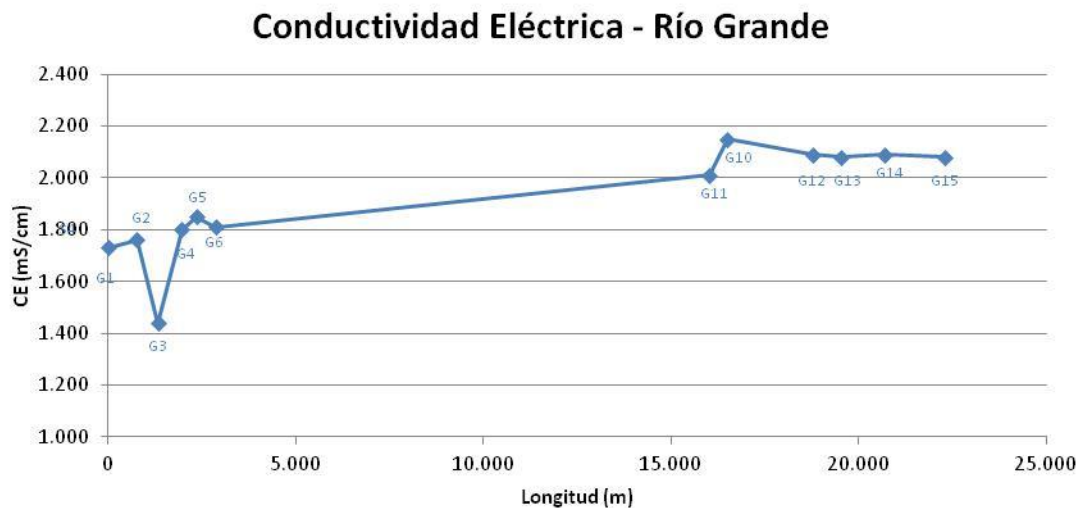
**CUADRO 9.3.3-1
RESULTADO MUESTREO SALINIDAD RÍO GRANDE**

NOMBRE PUNTO	CE ($\mu\text{S/cm}$)	LONGITUD (m)	Clasificación
G1	1.730	0	Alta
G2	1.760	778	Alta
G3	1.440	1.335	Media
G4	1.800	1.965	Alta
G5	1.850	2.357	Alta
G6	1.810	2.864	Alta
G11	2.010	16.015	Alta
G10	2.150	16.493	Alta
G12	2.090	18.765	Alta
G13	2.080	19.543	Alta
G14	2.090	20.687	Alta
G15	2.080	22.304	Alta

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 9.3.3-1 se presenta el Perfil de Conductividad realizado en el río Grande.

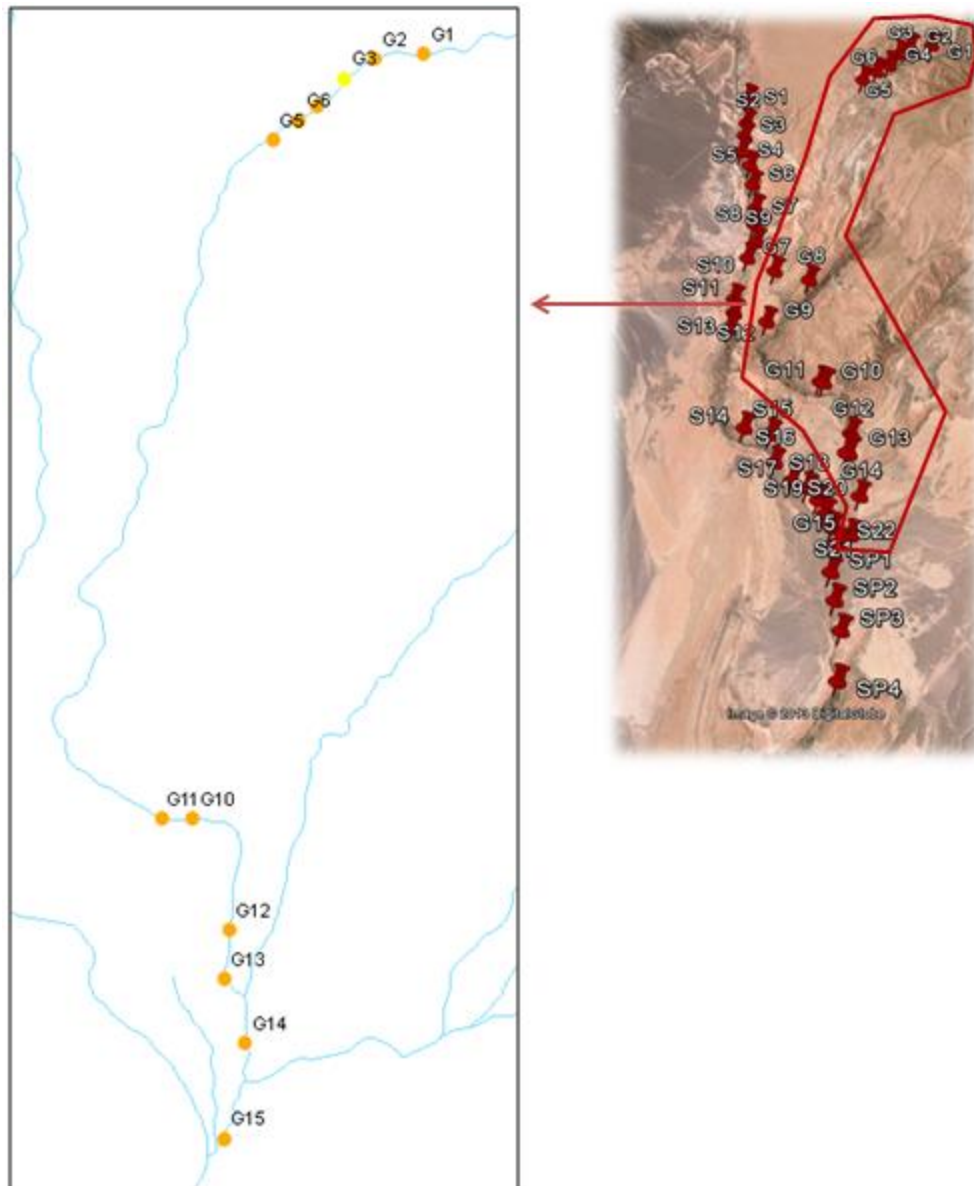
**FIGURA 9.3.3-1
PERFIL DE CONDUCTIVIDAD RÍO GRANDE**



Fuente: Elaboración propia.

Los valores que se presentan en el río Grande corresponden a una CE alta, pero estos a pesar de presentar una tendencia creciente, no sobrepasan por mucho los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que son valores con los que usualmente se riega en San Pedro de Atacama.

FIGURA 9.3.3-2
PUNTOS DE MUESTREO CLASIFICADOS RÍO GRANDE



Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación de amenaza, se observa que en general para el río Grande la amenaza de contaminación es Alta, pero la calidad inicial del agua tiene una CE mayor a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

8.3.4. Diagnóstico Salinidad Río San Pedro

Los resultados del muestreo efectuado en el río San Pedro se presentan en el Cuadro 9.3.4-1.

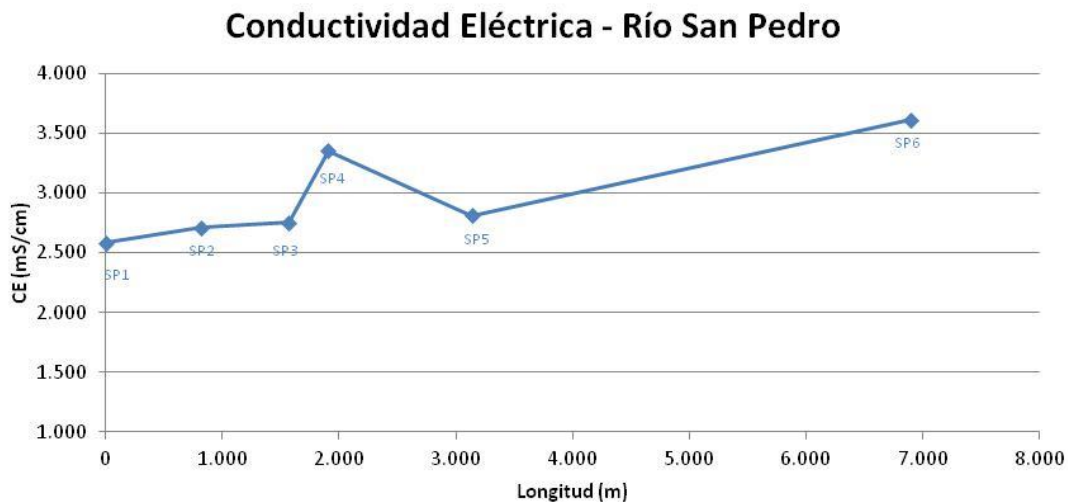
**CUADRO 9.3.4-1
RESULTADO MUESTREO SALINIDAD RÍO SALADO**

NOMBRE PUNTO	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	LONGITUD (m)	Clasificación
SP1	2.580	0	Alta
SP2	2.710	819	Alta
SP3	2.750	1.569	Alta
SP4	3.350	1.904	Muy Alta
SP5	2.810	3.140	Alta
SP6	3.610	6.899	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9.3.4-1 se presenta el Perfil de Conductividad realizado en el río San Pedro.

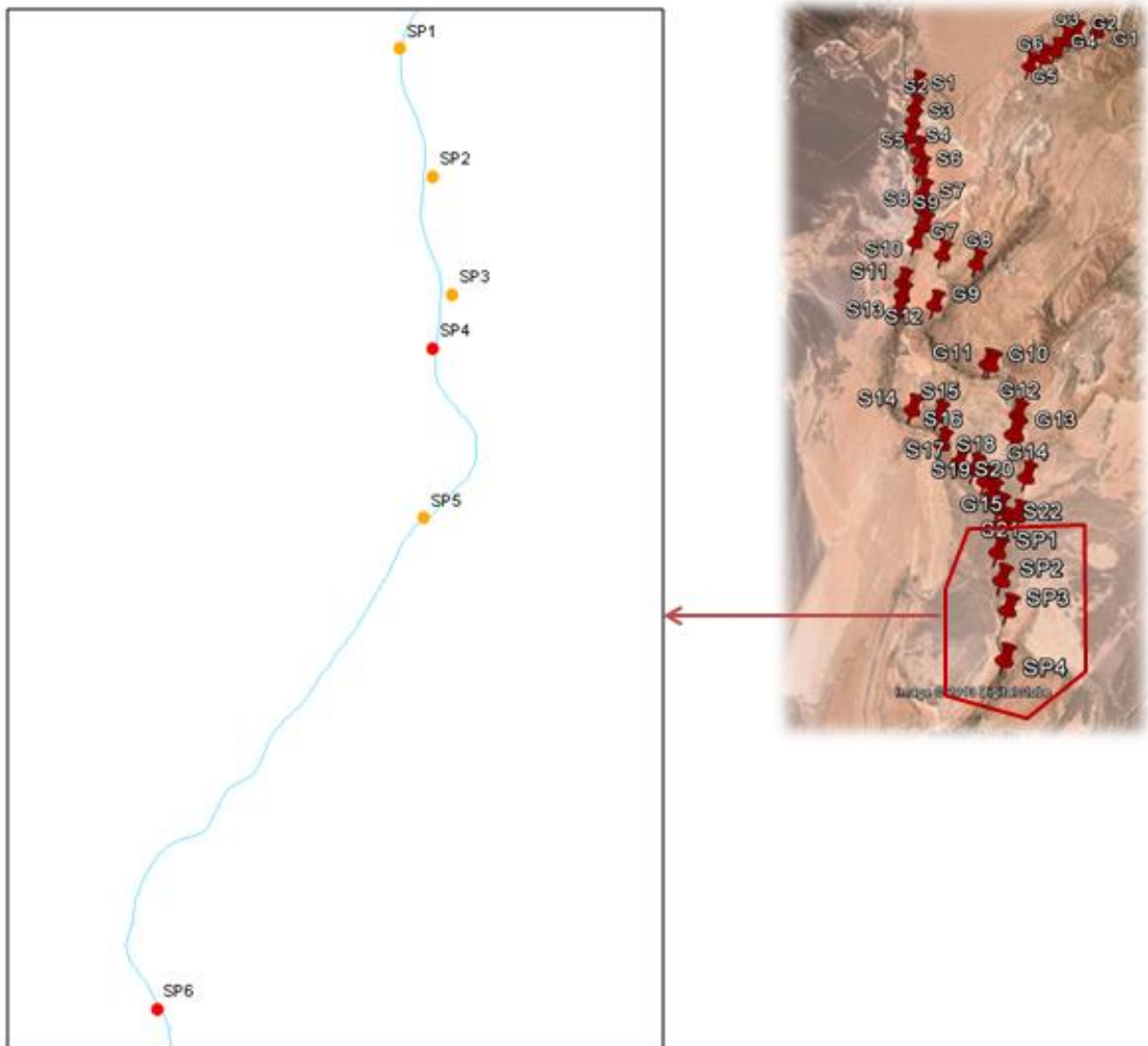
**FIGURA 9.3.4-1
PERFIL DE CONDUCTIVIDAD RÍO SAN PEDRO**



Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en gráfico, la salinidad aumenta con la distancia, alcanzando valores superiores a los 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores presentan una amenaza muy alta, según la clasificación presentada anteriormente.

FIGURA 9.3.4-2
PUNTOS DE MUESTREO CLASIFICADOS RÍO GRANDE



Fuente: Elaboración propia.

8.3.5. Diagnóstico de la Calidad del Agua en Régimen de Crecidas

En el Estudio de las Crecidas año Hidrológico 1976 – 1977, de la Investigación de Recursos Hidráulicos en el Norte Grande²⁰, se presentan datos de mediciones de CE realizadas en régimen de crecida, valores que se presentan en el Cuadro 9.3.5-1. El total de las mediciones realizadas en aquel estudio, para el área de estudio, se presentan en los Anexos 9-4 y 9-5, correspondientes al volumen 8 y volumen 10 respectivamente²¹.

CUADRO 9.3.5-1
VALORES DE CE PRESENTADOS EN RÉGIMEN DE CRECIDAS

Punto	Fecha	Conductividad	Caudal
		$\mu\text{S/cm}$	L/s
San Pedro en Cuchabrachi	19/02/1977	12.000	2.738
	19/02/1977	6.400	2.603
	13/02/1977	2.400	852
Río Grande en Pueblo	17/02/1977	1.440	320
Río Grande en Estación	15/03/1977	1.180	1.120

Fuente: Elaboración propia, en base al Estudio de las Crecidas año Hidrológico 1976-1977.

A través de estos datos se puede observar que el aumento del caudal en la parte alta del río Grande (sector Túnel 1) no está correlacionado con un aumento de la CE, al contrario de lo ocurrido en la parte baja, donde un aumento del caudal se puede relacionar con valores altos de CE, lo que se corrobora con el registro de la Estación del río San Pedro en Cuchabrachi para la crecida ocurrida en el año 2012, registro que entregó un valor de 15.150 $\mu\text{S/cm}$ (DGA, 2013)²².

Esto permite suponer que la captación de aguas en crecida no representaría un riesgo para el agua embalsada, sin embargo esto debe ser corroborado con estudios más acabados durante las crecidas.

8.4. *Mejoramiento de la Calidad del Agua*

8.4.1. Introducción

En este capítulo se presentan las alternativas de tratamiento evaluadas para el mejoramiento de la calidad del agua asociada al mejoramiento del sistema de riego en el río San Pedro. En primer lugar se ha estudiado el estado del arte en lo que se refiere a

²⁰ CORFO, DGA, ONU. Investigación de Recursos Hidráulicos en el Norte Grande.

²¹ Volumen 8. Estudio de las crecidas Año Hidrológico 1976 – 1977, Volumen 10: Antecedentes Hidroquímicos.

²² Valor registrado en la Estación DGA Río San Pedro en Cuchabrachi el 14 de marzo de 2012. La base de datos de la DGA completa se puede ver en el Anexo 9-1.

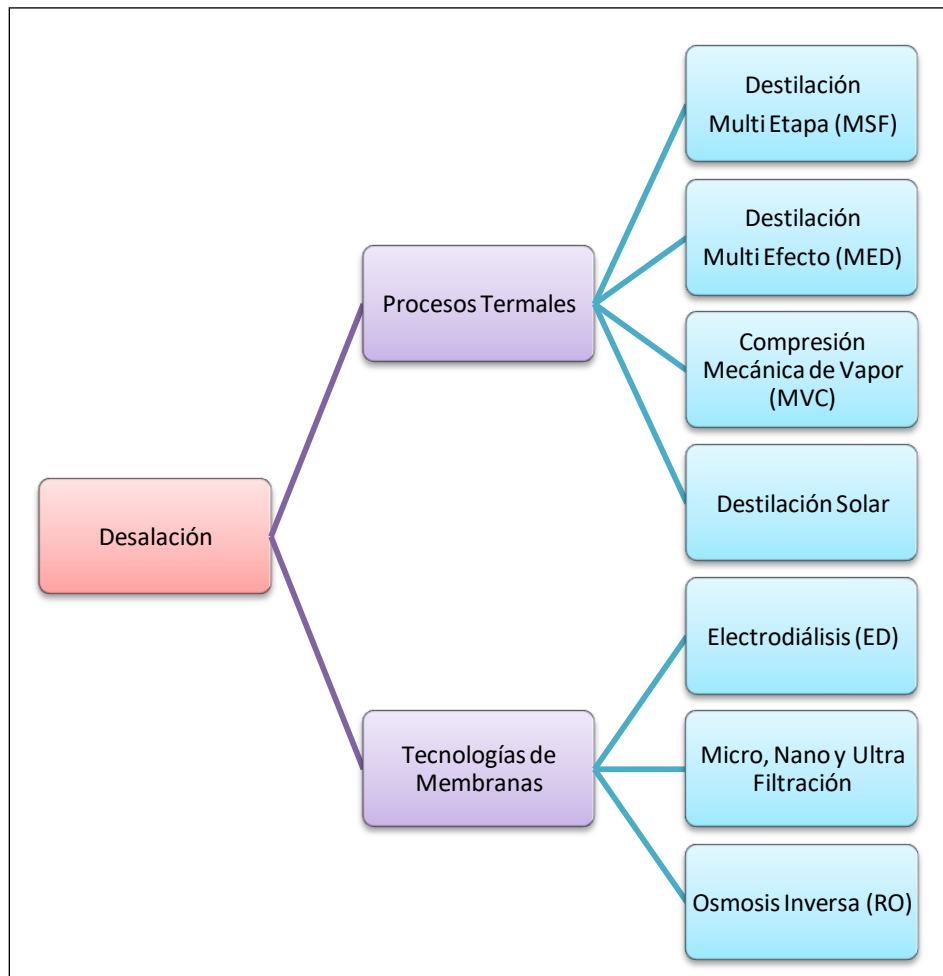
tecnologías de desalinización, sus aplicaciones y su uso en Chile. En segundo lugar se han estudiado las obras factibles de llevar a cabo para mejorar la calidad del agua y los efectos esperados.

8.4.2. Mejoramiento a Través de Tecnologías de Desalación

8.4.2.1. Generalidades

Como punto de partida se muestra en la Figura 9.4.2.1-1 un esquema que muestra los diferentes tipos de tecnologías de desalación, las que se dividen en 2 grandes grupos: procesos termales y tecnologías de membranas. En lo que sigue del capítulo se presenta una breve descripción de cada una de estas tecnologías, separadas en procesos termales y tecnologías de membranas.

**FIGURA 9.4.2.1-1
TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**



Fuente: Elaboración propia a partir información "Water Treatment Solutions Lenntech.
<http://www.lenntech.es/desalacion/desalacion.htm>

8.4.2.2. Antecedentes Bibliográficos

Para el desarrollo de este capítulo, se identificó y analizó bibliografía disponible en internet y otras fuentes. Los documentos considerados para el análisis se presentan electrónicamente en el Anexo 9-6, y se listan en lo que sigue:

#	Tema	Link o Fuente
1	Procesos de Desalación	http://www.ecoagua.com/files/published-articles/Procesos_Desalacion.pdf
2	Guía de Desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano	http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/agencia_andaluza_del_agua/ciclo_integral_del_agua_urbana/desalacion/ministerio_sanidad_guia_desalacion.pdf
3	Destilación Multi Etapa (MSF)	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_msf1.pdf
4	Compresión Mecánica de Vapor (MVC)	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_cv4.pdf
5	Osmosis Inversa	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ro3.pdf
6	Electrodiálisis	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ed6.pdf
7	Destilación Solar	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_solar5.pdf
8	Micro filtración, Ultrafiltración y Nano filtración	http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_filt7.pdf
9	Desalinización en sistemas de agua potable rural	DOH
10	Agua potable Lluta, Azapa, Pampa del Tamarugal	Aguas del Altiplano
11	Desalinización de Aguas	http://www.cnea.gov.ar/pdfs/revista_cnea/9/desalinizacion_de_aguas.pdf
12	Comparación Económica de Procesos de Desalación de Agua de Mar: El Reto de la Destilación Multi-Efecto con Energía Solar	http://www.psa.es/webeng/aquasol/files/Congresos/Alarcon%20-%20Congreso%20Iberico%20(04.11.2002).pdf
13	Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica	http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen11/analisis_de_los_procesos.pdf
14	El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar	http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2524/11.pdf
15	Purificación del Agua por Osmosis Inversa	http://www.excelwater.com/esp/b2c/water_tech_5.php
16	La Desalación como Alternativa al PHN	http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf
17	Cost Guidance for Seawater Desalination Facilities in Texas	https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/numbered_reports/doc/R363/C13.pdf
18	Tecnologías de Membrana-Nanofiltración	http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_23.pdf
19	History of Desalination Cost Estimations	http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/IDS/71.pdf

#	Tema	Link o Fuente
20	Consideraciones Básicas y Viabilidad de Procesos de Membranas de Ósmosis Inversa y Nanofiltración Como Alternativa Para el Tratamiento de Agua en Colombia	http://www.bdigital.unal.edu.co/1924/1/williamramirezgomez.2006.pdf
21	Análisis Comparativo de los Procesos de Desalinización del Agua: Destilación Súbita Por Efecto Flash (MSF) Frente Osmosis Inversa (OI), Bajo la Metodología de Evaluación de Ciclo de Vida	http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13424/1/Tesis.pdf
22	Costes Económicos y Medioambientales de la Desalación de Agua de Mar	http://departamento.us.es/ciberico/archivos_acrobat/ManuelLatorre.pdf
23	Plantas de Tratamiento Boroless para Abatimiento de Boro en Solución Acuosa	Folleto comercial, facilitado por la CNR
24	Desalinización de Aguas Salobres Mediante Electrodiálisis y Energía Solar Fotovoltaica para Consumo Humano y Uso Agrícola	Perfil del Proyecto, facilitado por la CNR

8.4.2.3. Procesos Termales

a) Generalidades

Los procesos termales son aquellos en los que la producción de agua se produce por calentamiento del agua cruda. En lo que sigue se describen 4 procesos termales.

b) Destilación Solar

El esquema típico de este proceso se presenta en la Figura 9.4.2.3-1. Para este proceso, la fuente energética es el sol, y se requieren grandes superficies para el tratamiento. El sistema es similar a un invernadero, y tiene un bajo rendimiento, produciendo entre 1 y 4 L/día/m² de superficie. Es útil en zonas con altas radiaciones y gran cantidad de horas de sol.

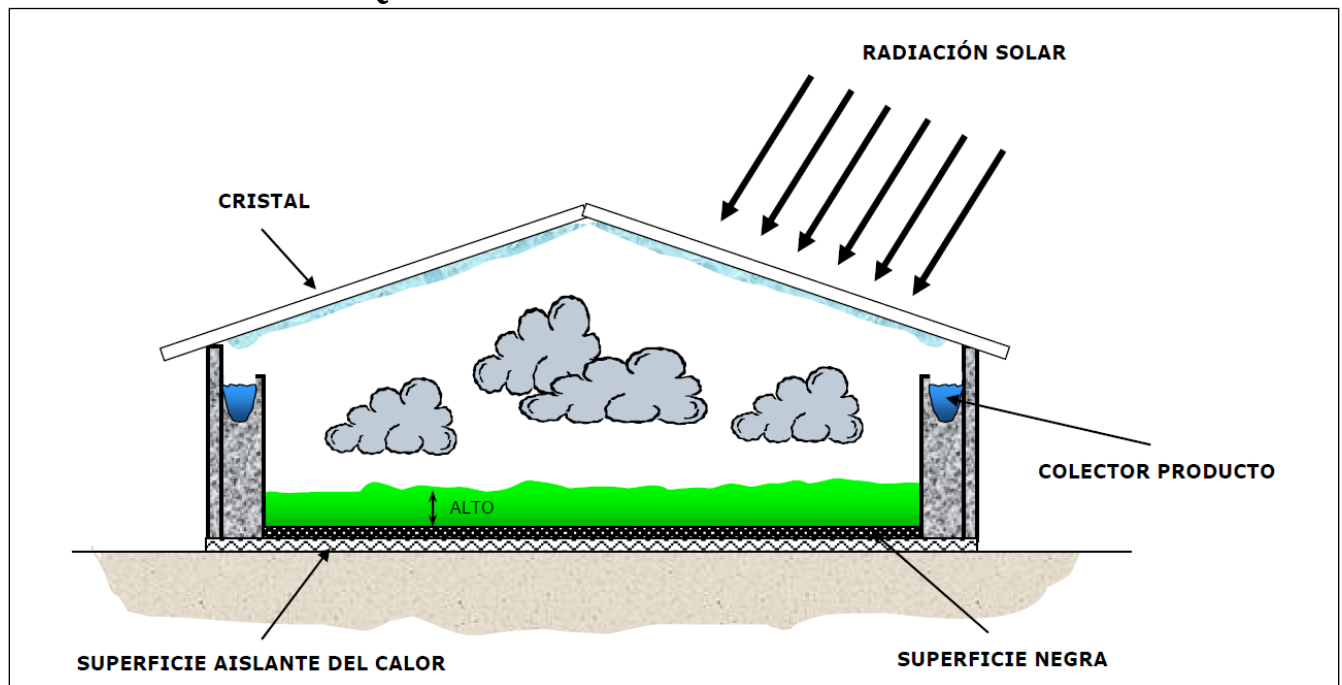
c) Destilación Multi Etapa (MSF)

Este proceso se presenta gráficamente en la Figura 9.4.2.3-2. Esta técnica consiste en destilar agua de mar, para luego condensarla, utilizando el calor residual para calentar más agua para luego evaporarla. El proceso se repite muchas veces, de manera de aprovechar el calor en mejor forma. Dependiendo de la composición físico-química del agua, en algunos casos es necesario agregar elementos químicos para precipitar sales e incrustantes que hacen ineficiente el proceso.

d) Destilación Multi Efecto (MED)

En el proceso MED el agua a desalinizar pasa a través de una serie de evaporadores puestos en serie. El vapor de una de las celdas se usa para evaporar el agua de la siguiente mientras que el aporte de energía primaria se hace sobre la primera de las celdas o etapas. El proceso MED utiliza el mismo principio que el proceso MSF. La diferencia principal entre el proceso MED y el MSF radica en la forma en que se lleva a cabo la evaporación. En las plantas de MED se utilizan varios evaporadores del tipo de película delgada (la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo), con los cuales se logran mejores coeficientes de transferencia de calor que los que se pueden obtener en las plantas de MSF donde se produce la evaporación súbita en forma directa.

FIGURA 9.4.2.3-1
ESQUEMA SISTEMA DESTILACIÓN SOLAR



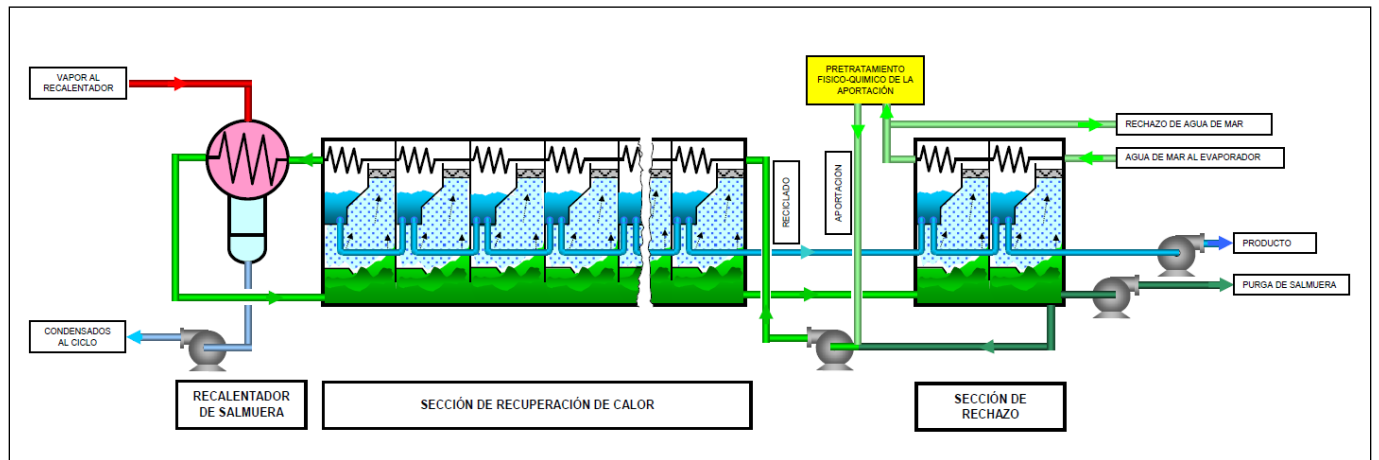
Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_solar5.pdf.

e) Compresión Mecánica de Vapor (CMV)

Este proceso consiste en la evaporación del agua a base de suministrarle calor procedente de la compresión de vapor, en vez de transmitir el calor mediante contacto directo con un cuerpo sólido caliente, tal como se muestra en la Figura 9.4.2.3-3. Este tipo de plantas se diseñan para que funcionen reduciendo el punto de ebullición del agua mediante disminución de la presión. El compresor crea vacío en un extremo de un recipiente por donde extrae el vapor de agua formado, pero por el otro extremo comprime dicho vapor formado y lo condensa en el interior de unos tubos. El agua cae sobre estos tubos calientes

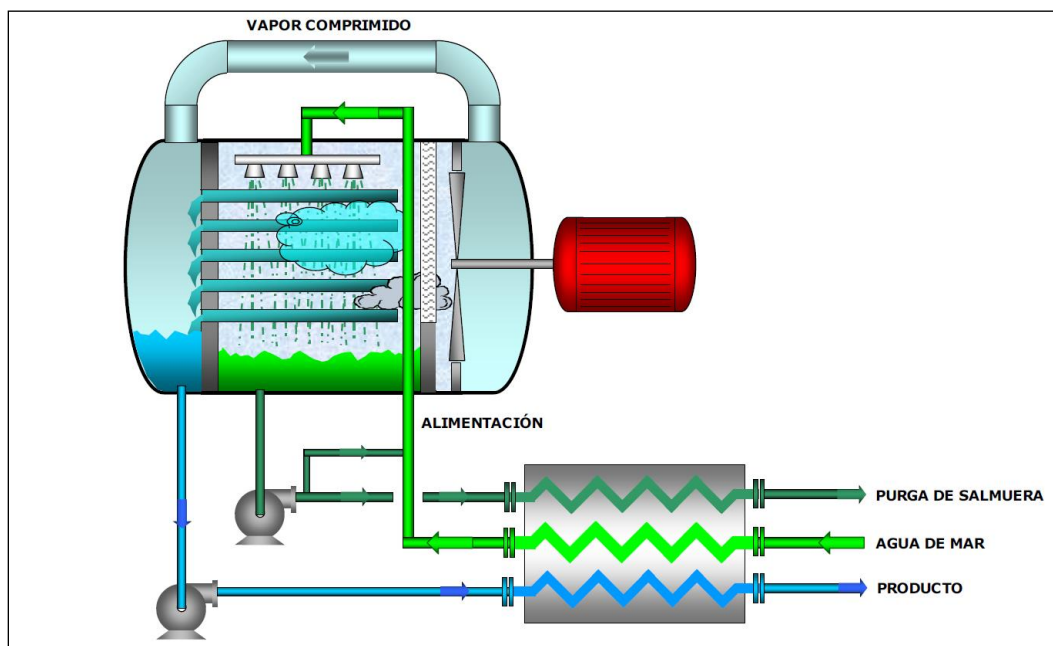
y se evapora. Posteriormente, mediante compresión del vapor y puesta en contacto de este con el agua alimento, se logra la evaporación del agua y la eliminación de las sales en una salmuera muy concentrada.

FIGURA 9.4.2.3-2
ESQUEMA DESTILACIÓN MULTI ETAPA (MSF)



Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_msf1.pdf.

FIGURA 9.4.2.3-3
ESQUEMA COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR



Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_cv4.pdf.

8.4.2.4. Tecnologías de Membranas

a) Generalidades

Este tipo de tecnología se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios. Su principal característica es que no requiere la adición de productos químicos, aunque su adición mejora el proceso, un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos. El principio de funcionamiento es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que deja pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias.

b) Micro, Ultra y Nano Filtración

Los procesos de Micro, Ultra y Nano Filtración son procesos que se diferencian en el tamaño de las partículas que se deben remover, es decir, su uso depende del tipo de agua a tratar, y del uso que se le debe dar, según se muestra en la Figura 9.4.2.4-1, en que se muestra el rango de aplicación de estas tecnologías desde 1 μm hasta partículas de 1 nm de diámetro.

c) Electrodialisis

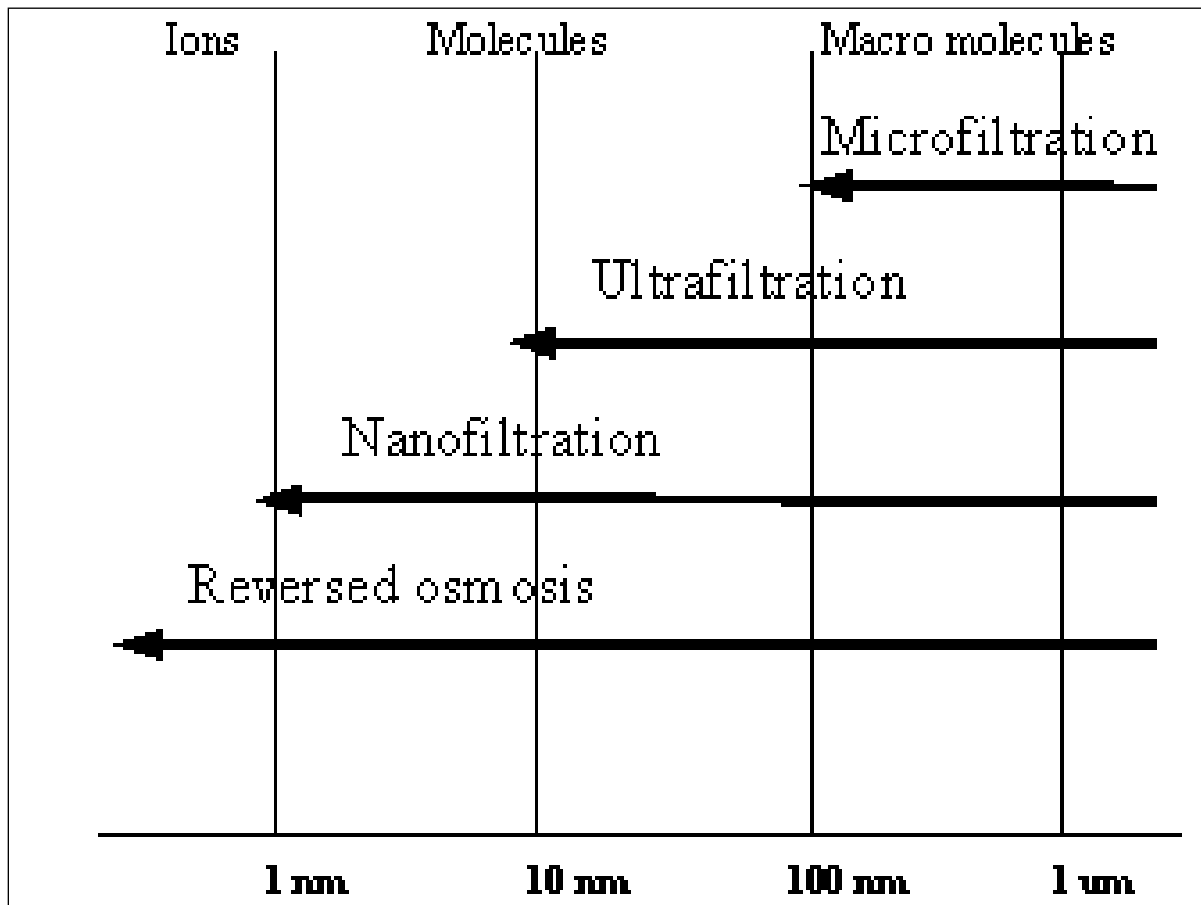
En este proceso mostrado en la Figura 9.4.2.4-2, se utiliza energía eléctrica para generar un campo eléctrico, el que permite separar los cationes y aniones presentes en el agua mediante membranas especializadas en capturar las partículas positivas y negativas en forma separada.

La Universidad Católica del Norte (UCN) implementó una experiencia piloto con esta tecnología en la comuna de Quillagua en que se buscaba tener un prototipo de un sistema de desalinización para la zona, se realizara una evaluación técnica y económica para uso en agua potable.

d) Osmosis Inversa

El proceso de osmosis inversa es una técnica modelada a partir del proceso biológico de osmosis, en el que en las células los elementos químicos disueltos en la sangre y otros fluidos se mueven a través de las paredes de las células, moviéndose desde una zona a la otra. En el proceso de osmosis inversa, lo que se transfiere es la parte líquida, quedando en un lado de la membrana los iones concentrados. En la Figura 9.4.2.4-3 se muestra en forma esquemática este proceso, en el que se muestra en primer lugar un set de estanques en equilibrio, el que luego de aplicar presión se produce un flujo en la dirección inversa. Este proceso es altamente intensivo en el uso de energía para provocar el flujo, además de mover el flujo hacia las membranas y desde ellas. Adicionalmente, dependiendo de la calidad del agua cruda, se hace necesario realizar un pretratamiento químico del agua.

FIGURA 9.4.2.4-1
APLICACIÓN MICRO, ULTRA Y NANO FILTRACIÓN

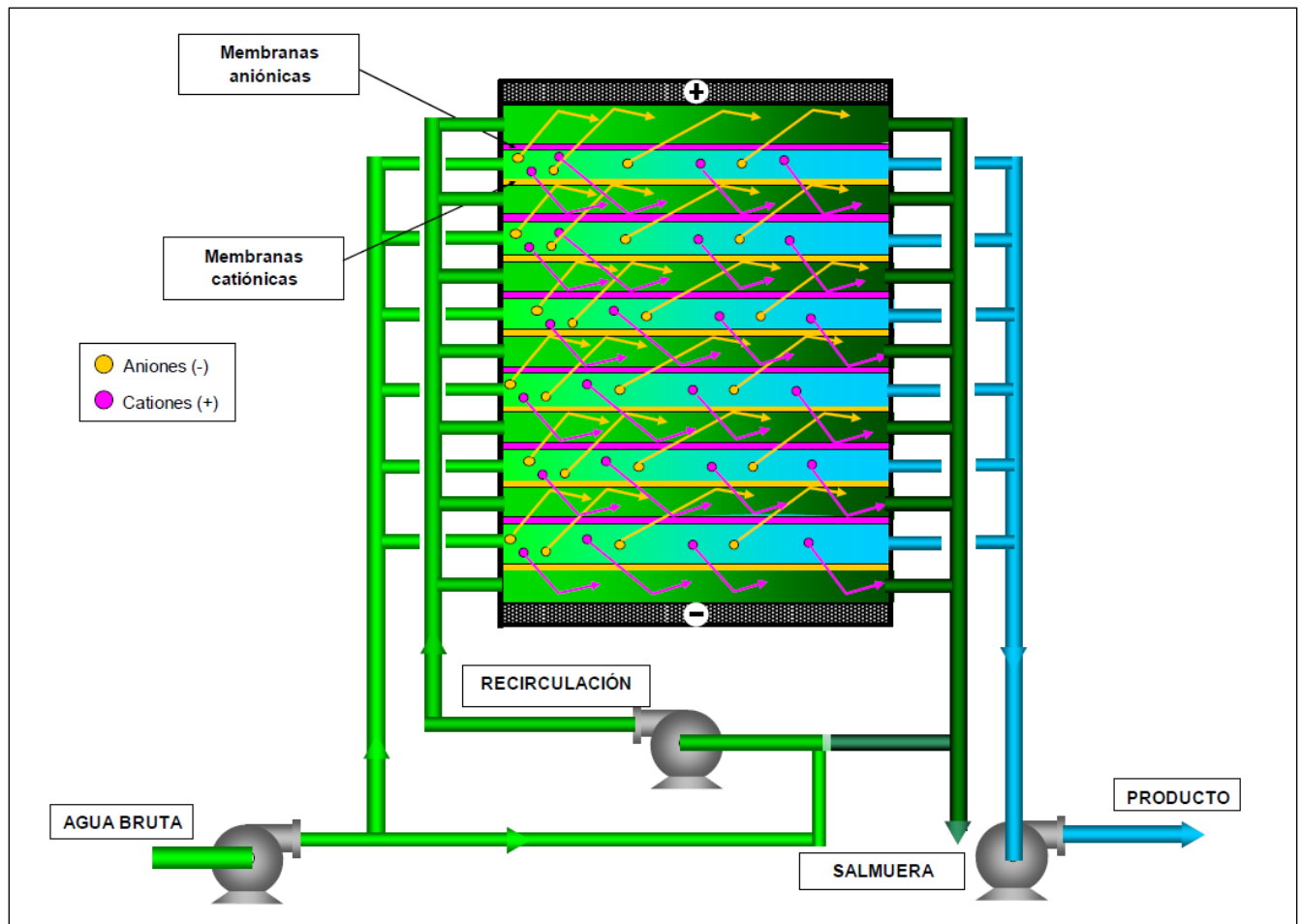


Fuente: <http://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm>.

e) Plantas de Tratamiento BOROLESS®

Otro tipo de tratamiento posible de usar es la tecnología BOROLESS® desarrollada en Chile por la empresa ASITEC Innovación Ltda. Esta tecnología permite el abatimiento de agua con altas concentraciones de boro a un bajo costo. Desafortunadamente requiere para su operación ácido sulfúrico y soda cáustica, en cantidades que hace que la tecnología sea difícil de implementar, especialmente por el riesgo del transporte de los elementos químicos indicados en una zona turística como es San Pedro de Atacama. Su aplicación está limitada fundamentalmente al tratamiento intrapredial.

FIGURA 9.4.2.4-2
ESQUEMA ELECTRODIÁLISIS

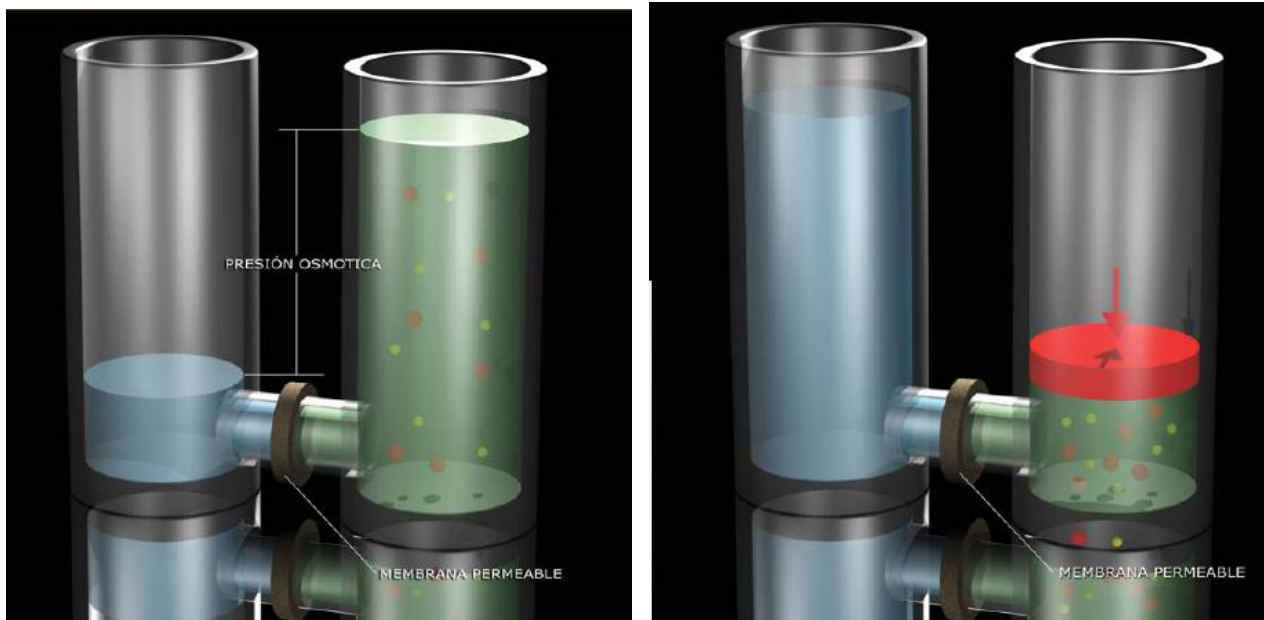


Fuente: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_ed6.pdf.

f) Tecnología ABAR

Esta tecnología también es útil para el tratamiento del boro, aunque trabaja en forma diferente tiene las mismas limitaciones que la tecnología indicada en el acápite anterior, por lo que su uso en gran escala no es adecuado.

**FIGURA 9.4.2.4-3
PROCESO DE OSMOSIS INVERSA**



Fuente: http://www.ecoagua.com/files/published-articles/Procesos_Desalacion.pdf.

**FIGURA 9.4.2.4-4
PLANTA DE TRATAMIENTO BOROLESS**

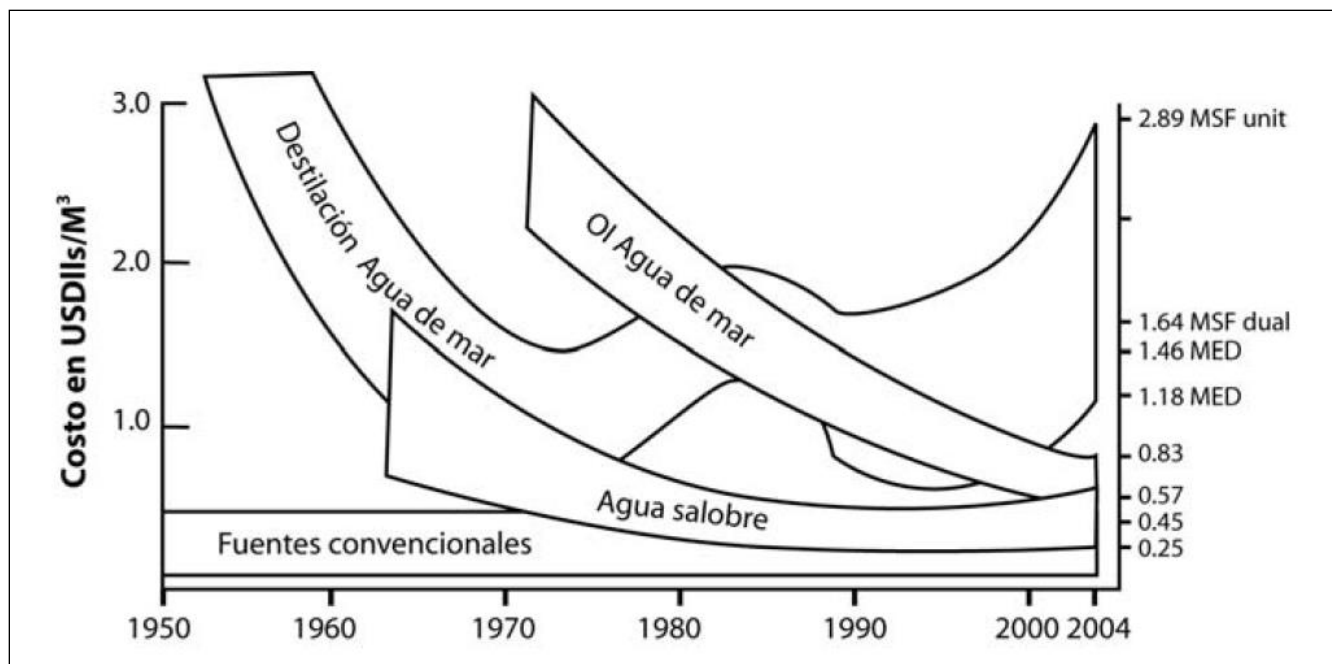


Fuente: Asitec Innovación, 2012.

8.4.2.5. Evolución del Costo de los Procesos de Desalación

Históricamente las metodologías de desalación han sido más costosas que las técnicas tradicionales para la obtención de agua, pero el tiempo muestra que el desarrollo alcanzado ha hecho que el costo de desalación sea cada vez más económico. Esto se muestra en forma esquemática en la Figura 9.4.2.5-1. La figura muestra claramente el descenso en el costo de la producción de agua con osmosis inversa en el tiempo. En todo caso, el problema que persiste es el del tamaño de las obras necesarias.

**FIGURA 9.4.2.5-1
EVOLUCIÓN DEL COSTO DE DESALACIÓN**



Fuente: El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar
<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2524/11.pdf>.

8.4.2.6. Análisis Comparativo de los Métodos de Desalación de Aguas

En lo que sigue se presenta información más detallada de costos de desalación de agua de mar, lo que en general representa el extremo superior del costo de tratamiento, dado que el desalamiento de aguas salobres es en general más barato que el de agua de mar. En primer lugar se presenta en el Cuadro 9.4.2.6-1 un resumen con algunos parámetros, fuente de energía y tendencia mundial de uso. El cuadro muestra claramente que las tecnologías termales están en retirada, con excepción de la tecnología de destilación solar que está con un pequeño grado de crecimiento. Por otra parte, las tecnologías de membrana están en crecimiento ya que la tecnología ha madurado lo suficiente, con lo cual el costo de aplicación e instalación de las tecnologías ha disminuido notablemente.

En términos de superficie utilizada, las tecnologías de desalación requieren una superficie proporcional al flujo a obtener, siendo mayor a mayor flujo. Por otra parte, para las otras tecnologías, existen rangos de flujo, para los cuales la superficie requerida es relativamente constante, creciendo desde un cierto valor en adelante. Esto se ilustra en la Figura 9.4.2.6-1.

**CUADRO 9.4.2.6-1
 COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**

Tecnología	Parámetro a Comparar			
	Consumo de	Costos Unitarios	Tendencias	Fuentes de

	Energía Fósil		Mundiales	Energía
Destilación Solar	-	28 USD/m ³	Estático – Creciente	Solar
Evaporación de múltiples etapas (MSF)	De 5 a 8 kwh/m ³	1,10 USD/m ³	Decreciente	Eléctrica/Calórica
Destilación de Múltiple Efecto (MED)	De 3 a 4 kwh/m ³	1,5 USD/m ³	Decreciente	Eléctrica/Calórica
Compresión Mecánica de Vapor	De 9 a 12 kwh/m ³	1,5 USD/m ³	Decreciente	Eléctrica/Calórica
Micro, Ultra y Nano Filtración	De 1 a 3 kwh/m ³	0,4 - 1,5 USD/m ³	Crecimiento	Eléctrica
Electrodialisis	De 16 a 19 kwh/m ³	58 USD/m ³	Estático	Eléctrica
Osmosis Inversa	De 2 a 2,8 kwh/m ³	0,4 - 1,5 USD/m ³	Crecimiento	Eléctrica

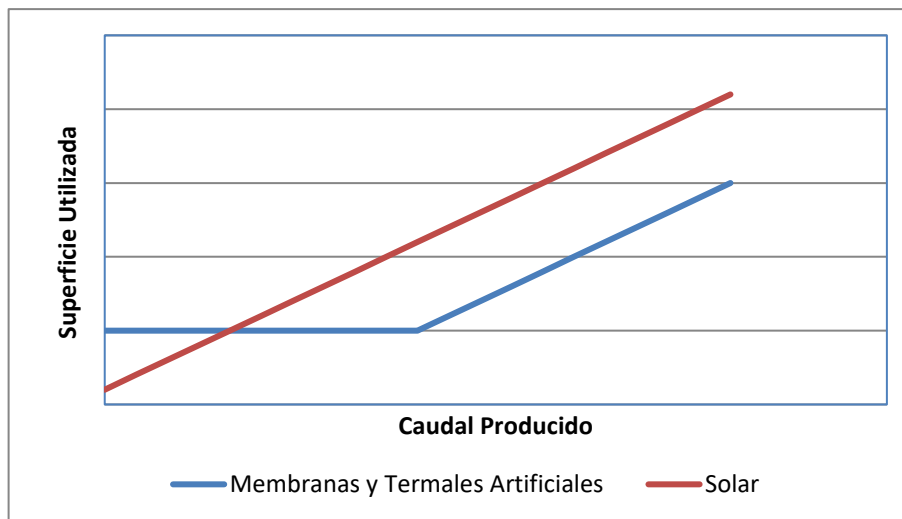
Nota: Moneda año 2001

Fuente: Adaptado de "Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica", y "El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar".

Con el fin de comparar las tecnologías principales, en el documento " Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica" se presenta un análisis FODA, el cual fue adaptado y simplificado y se presenta en el Cuadro 9.4.2.6-2.

En el Cuadro 9.4.2.6-2 se muestra claramente que las tecnologías termales están en retroceso frente a las tecnologías de membranas. Por otra parte, osmosis inversa es la tecnología de mayor aplicabilidad ya que resuelve problemas de mayor envergadura, especialmente porque el avance tecnológico de esta tecnología la está haciendo cada vez más rentable y económica.

**FIGURA 9.4.2.6-1
COMPARACIÓN SUPERFICIES REQUERIDAS PARA INSTALACIÓN PLANTAS DE
DESALACIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 9.4.2.6-2
ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN**

Procesos	Fuerzas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Destilación Solar	Se vale de la energía solar para calentar el agua salada. Captura el vapor del agua condensado como agua pura.	Tiene gran potencial para proyectos pequeños en lugares con condiciones favorecedoras.	Es aplicable principalmente a proyectos de menor escala debido a su simplicidad e independencia. Tiene altos costos de operación.	Los factores climáticos pueden influir en el desempeño del proceso.
Evaporación de múltiples etapas (MSF)	Aplicable a proyectos de mediana o grande escala	Puede utilizar energías alternas, y	El mantenimiento costoso de maquinaria.	El crecimiento de los procesos por ósmosis inversa.
Destilación de Múltiple Efecto (MED)			Genera muchos residuos con alto contenido mineral, los cuales requieren un	

CUADRO 9.4.2.6-2
ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

Procesos	Fuerzas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Compresión Mecánica de Vapor			<p>manejo especial.</p> <p>Consume gran cantidad de energía</p> <p>Emiten CO₂</p>	
Micro, Ultra y Nano Filtración	<p>Es aplicable a proyectos de mediana o grande escala.</p>	<p>Puede utilizar diferentes fuentes de energía eléctrica (combustibles fósiles o renovables como solar o eólica).</p>	<p>El agua empleada usualmente necesita ser pre tratada para remover inicialmente las partículas contaminantes y prolongar la vida de la membrana</p>	<p>El crecimiento de los procesos por ósmosis inversa.</p>
Electrodialisis	<p>Maneja a base de membranas para separar las sales.</p>		<p>El desecho de la salmuera debe ser tratado con mucho cuidado para no impactar nocivamente el ambiente.</p>	

CUADRO 9.4.2.6-2
ANÁLISIS FODA ENTRE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

Procesos	Fuerzas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Osmosis Inversa	<p>Es aplicable a proyectos de mediana o grande escala.</p> <p>Este proceso puede hacer uso de prácticamente cualquier tipo de agua sin importar su origen.</p> <p>Permite remover con cierta sencillez contaminantes orgánicos e inorgánicos.</p>	<p>Buscar alternativas para mejorar los materiales de las membranas que efficienten su limpieza pues el proceso es muy dependiente de ellas.</p>	<p>El único factor complicado es encontrar o producir un suministro limpio que minimice la limpieza frecuente de la membrana.</p> <p>El agua empleada usualmente necesita ser pre tratada para remover inicialmente las partículas contaminantes y prolongar la vida de la membrana</p> <p>El desecho de la salmuera debe ser tratado con mucho cuidado para no impactar nocivamente el ambiente.</p>	

Fuente: Adaptado de "Análisis de los Procesos Para Desalinización de Agua de Mar Aplicando la Inteligencia Competitiva y Tecnológica", en conjunto con "El Impacto Social y Económico de la Desalación de Agua de Mar".

Por último, en el Cuadro 9.4.2.6-3 se muestra un resumen con los principales elementos que permiten definir el costo del tratamiento del agua. La última fila del cuadro muestra el costo combinado del tratamiento, el que muestra que en general osmosis inversa tiene un costo menor. Se hace notar en todo caso, que el costo real del tratamiento es función de las características del agua cruda, y del volumen a tratar, por lo que no es posible definir a priori que tecnología es mejor. En todo caso, tal como lo muestra el análisis FODA, osmosis inversa permite tratar un rango más amplio de agua cruda, por lo que se acomoda fácilmente a las variaciones en el agua cruda, especialmente después de las crecidas que movilizan gran cantidad de contaminantes, cambiando en poco tiempo la calidad del agua cruda.

CUADRO 9.4.2.6-3

ANÁLISIS DE COSTO TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

Parámetro	MSF	MED	MVC	RO
Costes de instalación (€/m ³ /día)	1.080-1.690	780-1.080	1.020-1.500	660-1.200
Consumo energético (MJ/m ³) _b	194-291	145-194	0	0
Consumo eléctrico (kWh/m ³)	3,5-4,0	1,5-2,0	9-11	3,0-4,5
Operación y mantenimiento (€/m ³)	0,05-0,07	0,04-0,07	0,05-0,08	0,05-0,10
Recambios y prod. químicos (€/m ³)	0,02-0,04	0,02-0,03	0,02-0,04	0,02-0,05
Reemplazo de membranas (€/m ³)	0	0	0	0,01-0,04
Costo Producción Combinado (€/m ³)	1,0-1,2	1,0-1,1	1,2-1,4	0,8-0,9

Nota: Moneda año 2001

Fuente: Adaptado de [http://www.psa.es/webeng/aquasol/files/Congresos/Alarcon%20-%20Congreso%20Iberico%20\(04.11.2002\).pdf](http://www.psa.es/webeng/aquasol/files/Congresos/Alarcon%20-%20Congreso%20Iberico%20(04.11.2002).pdf).

8.4.3. Análisis del Tratamiento de las Aguas del Río San Pedro

8.4.3.1. Introducción

El análisis se realizará para los 3 tramos del río definidos:

- **Tramo A:** Río Salado, desde el sector inmediatamente aguas arriba de la obra de captación para conducir sus aguas al túnel de trasvase San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Grande
- **Tramo B:** Río Grande, desde el sector de la boca de salida del túnel San Bartolo, hasta su confluencia con el Río Salado
- **Tramo C:** Río San Pedro, desde su origen en la confluencia de los ríos Grande y Salado, hasta la última bocatoma de riego o cercano a su llegada a San Pedro de Atacama

8.4.3.2. Breve Caracterización Calidad de Aguas por Tramo

A modo de resumen, la calidad de agua de los diferentes tramos se puede calificar de la siguiente manera:

- **Tramo A:** En este tramo la salinidad del agua es bastante variable moviéndose en promedio entre 2.000 y 7.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte los sólidos disueltos también muestran grandes variabilidades (entre 1.500 y 5.000 ppm). En forma específica los cloruros y los sulfatos superan la norma de agua potable, y la norma de riego queda sobrepasada por los cloruros.
- **Tramo B:** En este tramo se presenta una salinidad variable de entre 1.700 y 2.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en promedio. En paralelo, los sólidos disueltos varían entre 1.200 y 1.800 ppm. En términos de violaciones de las normas, se observa que en el caso del riego, el agua presenta problemas especialmente con el Boro. Por otra parte, en el caso del agua potable, el parámetro más problemático es el arsénico.
- **Tramo C:** En este tramo se observa el mismo tipo de problemas anteriores, e incluso los problemas se incrementan producto de la combinación de las aguas y de efectos locales. En este tramo los problemas con el arsénico se incrementan rápidamente.

8.4.3.3. Evaluación Preliminar de Costos

Utilizando la información recopilada, se preparó el Cuadro 9.4.5.3-1, en el que se muestra el costo de instalación de una planta de osmosis inversa, el cálculo se basa en el uso de los valores promedio tipo para los diferentes elementos. Para la instalación, se consideró un valor de 1.000 €/m³/día, y para el costo de operación, mantenimiento y suministros un valor de 0,19 €/m³. Se observa que el costo unitario varía con el tiempo de uso de la planta desde un valor cercano a los € 3 para un año de funcionamiento de la planta, hasta € 0,3 para un funcionamiento de 20 años. Se hace notar que para esta evaluación simplificada preliminar no se tomaron en cuenta efectos de escala, por lo que un análisis más detallado debería entregar valores mayores para caudales más bajos. Los cálculos se presentan en el Anexo 9-7.

Tal como se esperaba, los costos totales son muy altos, disminuyendo en el tiempo el costo de producción.

CUADRO 9.4.5.3-1
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE COSTOS
INSTALACIÓN PLANTA DE OSMOSIS INVERSA

Q (L/s)	Q (m ³ /día)	Instalación (millones €)	Operación, Mantenimiento y Suministros (millones €)					Costo Unitario (€/m ³)				
			1	5	10	15	20	1	5	10	15	20
100	8.640	8,64	0,47	2,37	4,73	7,10	9,47	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
200	17.280	17,28	0,95	4,73	9,47	14,20	18,93	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
300	25.920	25,92	1,42	7,10	14,20	21,30	28,40	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
400	34.560	34,56	1,89	9,47	18,93	28,40	37,87	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
500	43.200	43,20	2,37	11,83	23,67	35,50	47,34	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
600	51.840	51,84	2,84	14,20	28,40	42,60	56,80	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
700	60.480	60,48	3,31	16,57	33,14	49,70	66,27	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
800	69.120	69,12	3,79	18,93	37,87	56,80	75,74	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
900	77.760	77,76	4,26	21,30	42,60	63,90	85,21	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29
1000	86.400	86,40	4,73	23,67	47,34	71,00	94,67	2,89	0,70	0,42	0,33	0,29

Fuente: Elaboración propia

8.4.3.4. Proposición de Tratamiento

Utilizando la información presentada en los acápitales anteriores, se proponen las siguientes consideraciones para el tratamiento del agua:

- **Tramo A:** Dado que el agua cruda presenta variaciones temporales y espaciales, en general el método más adecuado de tratamiento es algún tipo de tecnología de membrana, desde la filtración en alguna de sus variedades hasta la osmosis inversa.
- **Tramo B:** En este caso como se presentan problemas muy específicos con algunos parámetros, en particular el arsénico. Lo anterior obliga a utilizar osmosis inversa, ya que es la única tecnología capaz de resolver el problema a un costo razonable.
- **Tramo C:** Al igual que en el Tramo B, lo aconsejable es utilizar osmosis inversa.

Es necesario hacer notar también que para la elección del tipo de tratamiento se debe considerar el uso que se le desea dar al agua. Por ejemplo, si se va a utilizar el agua para riego, lo que interesa es comenzar con agua salobre, y obtener al final del tratamiento agua menos salobre, y no necesariamente agua pura o de calidad potable.

8.4.4. Mejoramiento a Través de Alternativas de Obras

8.4.4.1. Introducción

El análisis que se presenta a continuación considera los distintos escenarios de evaluación de alternativas de obras que – de materializarse – pudieran significar una mejora en la calidad del agua.

8.4.4.2. Elementos que Forman Parte de las Alternativas

A continuación se presentan los elementos que forman parte de las alternativas analizadas y que se plantean con la finalidad de mejorar la calidad del agua.

- **Túnel 1 de Trasvase:** By pass que trasvasa agua desde el río Grande hasta el río Salado.
- **Embalse en el río Salado:** Obra de acumulación ubicada en el río Salado, entre el Túnel de Trasvase 1 y el sector aguas arriba de la quebrada Salmuera.
- **Túnel 2 de Trasvase:** By pass que trasvasa agua desde el río Salado, hasta el río Grande, en el sector San Bartolo. Se complementa con una tubería que tiene como finalidad hacer un by pass en el sector del embalse retenedor de crecidas.
- **Tubería de Conducción:** Obra de conducción desde el Embalse en el río Salado hasta la bocatoma del canal San Pedro.
- **Retenedor de Crecidas:** Embalse de retención de crecidas - ubicado en el río Grande - con retardo en la entrega del agua de crecida.
- **Conducción Aguas Salinas:** Tubería que capta las aguas en el río Salado justo antes de su confluencia con el río Grande, y las transporta al río San Pedro aguas abajo de la última bocatoma de los canales de riego.

8.4.4.3. Evaluación de Alternativas

a) Aspectos Básicos

Las alternativas que se evaluarán son las presentadas en el Capítulo 6. Las alternativas consideradas no incluyen la variante del retenedor de crecidas, ya que ellas se han evaluado en condición de escurrimiento normal.

Con el fin de mejorar la calidad del agua entrante a la zona de riego, se han analizado estas alternativas de obras. Algunas de estas obras permiten evitar las zonas contaminantes, o bien, conservar una buena calidad del agua a un volumen significativo de ella, permitiendo entregarla en la bocatoma con valores aceptables.

Para esto se analizará cada una de las alternativas propuestas, a través de un esquema que representa las variaciones en la CE. Esto se ha realizado efectuando un Balance Másico que relaciona la calidad del agua al caudal aportado; los caudales considerados corresponden a los valores entregados por el Modelo de Simulación Operacional para cada una de las alternativas.

Los resultados entregan una idea de lo que ocurre con la calidad del agua, puesto que los caudales considerados corresponden a promedios anuales y la calidad del agua a muestras puntuales. Cabe señalar que los volúmenes y caudales de agua son analizados en el Capítulo 7.

b) Situación Actual

El escenario base es la situación actual corresponde a valores de CE en la bocatoma del canal San Pedro de 2.670 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

c) Alternativa 1

En esta alternativa se contempla un trasvase de agua desde el río Salado al río Grande a través de un túnel denominado Túnel 2 (en el sector San Bartolo), para luego captar el agua en la bocatoma del canal San Pedro. Estas obras permiten captar las aguas de mejor calidad del río Salado, antes de entrar en el sector crítico de la quebrada Salmuera, y ser conducidas por el río Grande al río San Pedro, donde serían captadas en la bocatoma del Canal San Pedro.

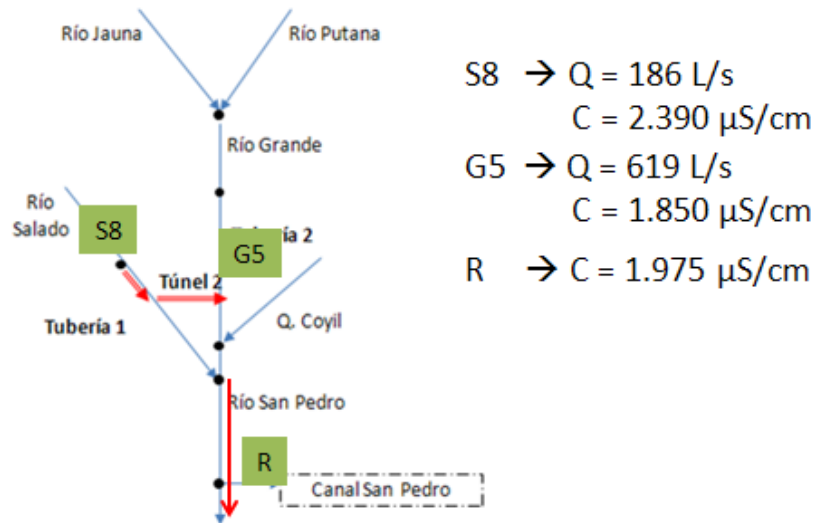
Para el análisis de la calidad del agua se consideran 2 nodos de información: en el río Salado el nodo S8 y en el río Grande el nodo G5, estos se muestran en la Figura 9.4.4.3-1, con los valores de conductividad considerados y los caudales del modelo de calidad de aguas. El valor R representa el valor final de calidad que llega a la bocatoma.

d) Alternativa 2

En esta alternativa se contempla captar a través de una tubería el agua en el río Salado, de manera de “evadir” los sectores que aumentan la salinidad, bajo la quebrada Salmuera, la que termina en la bocatoma del canal San Pedro. En este punto también se captarían las aguas conducidas por el río San Pedro.

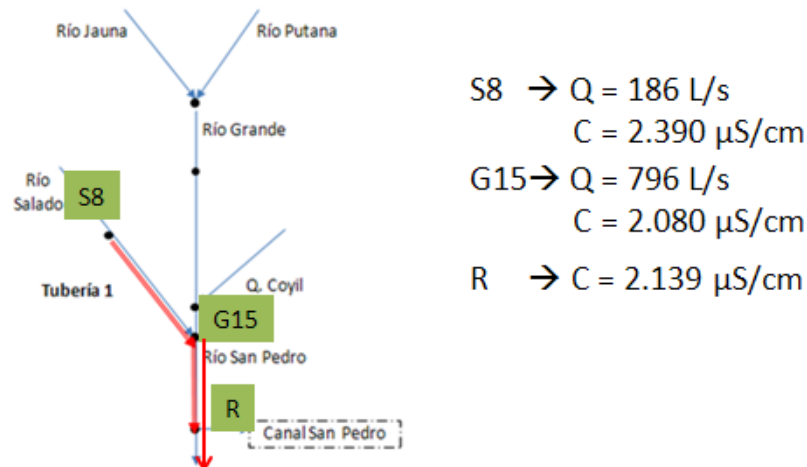
Se consideran 2 nodos de información de calidad de aguas, en el río Salado el nodo S8 y en el río Grande G15, estos se muestran en la Figura 9.4.4.3-2. El valor R representa el valor final de calidad que llega a la bocatoma.

Figura 9.4.4.3-1
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.4.4.3-1
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 2



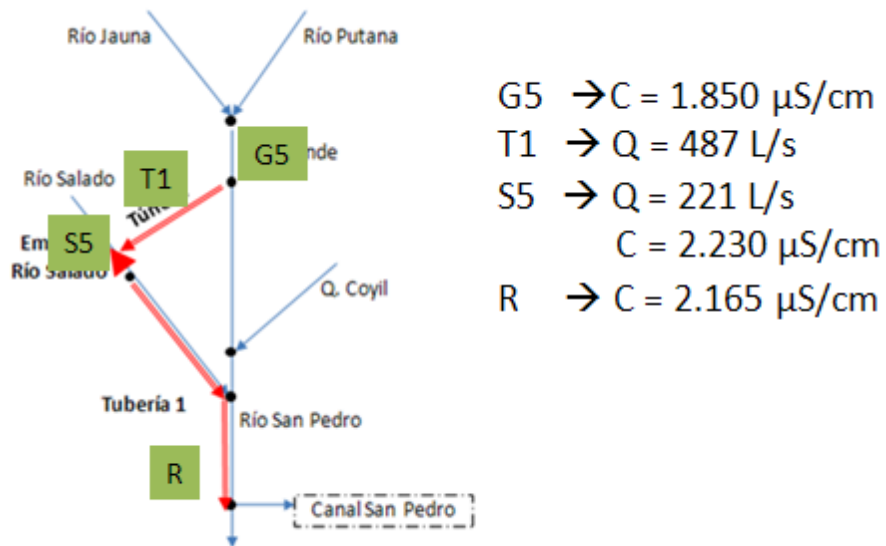
Fuente: Elaboración propia.

e) Alternativa 3

La Alternativa 3 considera el desvío de las aguas del Río Grande (aguas abajo del pueblo Río Grande) a través del Túnel 1 para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza a través de una conducción en canal revestido y entubado en zonas de cruce de quebrada hasta la bocatoma del Canal San Pedro por el río del mismo nombre. Esta alternativa también se analizará sin embalse.

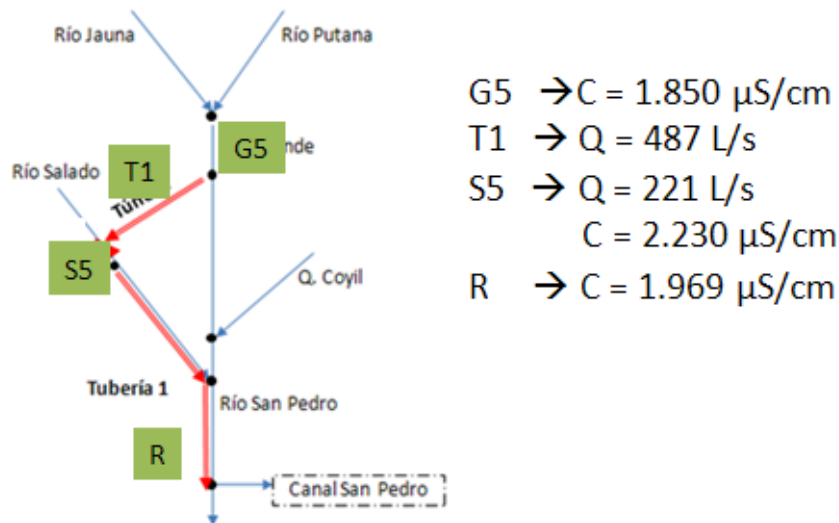
En la alternativa con embalse se considera un aumento de un 10% de la salinidad, por efecto del contacto del agua con el suelo, tanto en la base como en las paredes del embalse. En esta alternativa se consideran 3 nodos de información de calidad de aguas, en el río Salado el nodo S5 y en el río Grande el nodo G5 y el nodo T1, estos se muestran en la Figura 9.4.4.3-3 y 9.4.4.3-4. El valor R representa el valor final de calidad que llega a la bocatoma.

Figura 9.4.4.3-3
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 3 con Embalse



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.4.4.3-4
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 3 sin Embalse



Fuente: Elaboración propia.

f) Alternativa 4

Esta alternativa considera el trasvase de las aguas del río Grande al río Salado a través del Túnel 1, que se reúnen con las aguas del río Salado, donde las aguas serían embalsadas. La Entrega se realiza a través de una conducción entubada hasta el Túnel 2, que trasvasa las aguas al Río Grande.

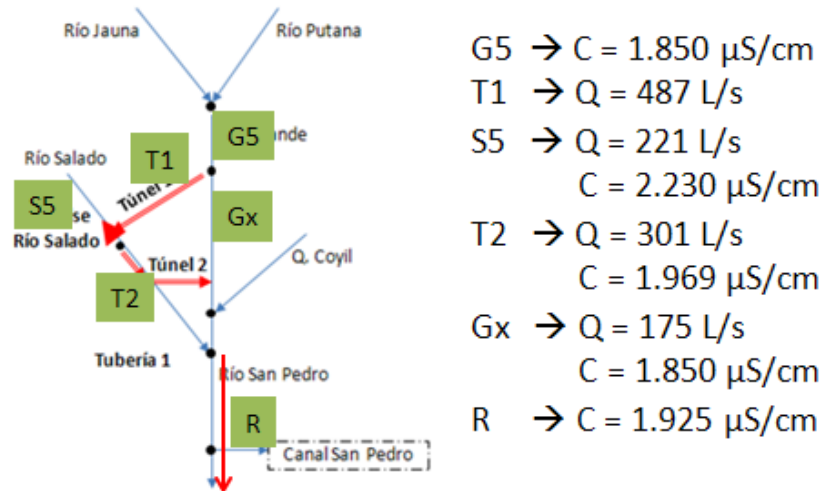
En esta alternativa se consideran 6 nodos de información de calidad de aguas, en el río Salado el nodo S5 y T2 y en el río Grande el nodo G5, Gx y Gy, estos se muestran en la Figura 9.4.4.3-5. El valor R representa el valor final de calidad que llega a la bocatoma.

g) Alternativa 5

Esta alternativa considera el trasvase de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza en forma directa al Río Salado. El aumento de conductividad se debe fundamentalmente a que la disposición de las obras tiende a concentrar el agua de mala calidad.

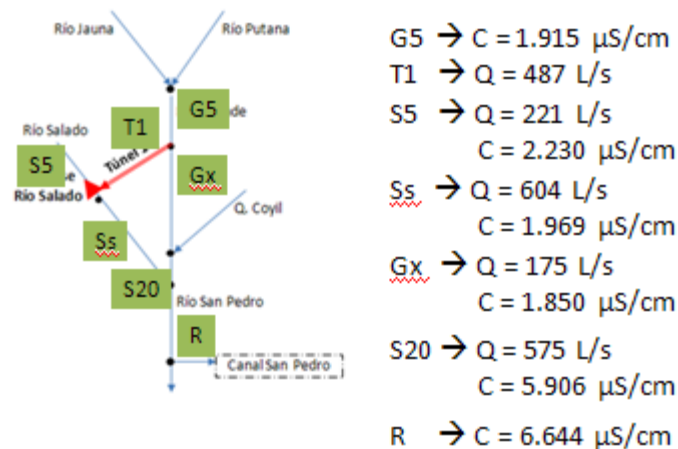
En esta alternativa se considera 3 nodos de información de calidad de aguas, en el río Salado: el nodo S5, S8 y S20 y en el río Grande el nodo G5, Gx y Gy, estos se muestran en la Figura 9.4.4.3-6. El valor R representa el valor final de calidad que llega a la bocatoma.

Figura 9.4.5.3-5
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.4.5.3-6
Nodos Modelo Calidad Aguas
Alternativa 5



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9.4.4.3-1 se presenta un resumen de los resultados para cada alternativa.

CUADRO 9.4.4.3-1
RESUMEN ANÁLISIS ALTERNATIVAS
CALIDAD DE AGUAS

Alternativa	Resultado CE en Bocatoma ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Sin proyecto	2.670
1	1.975
2	2.139
3 con embalse	2.165
3 sin embalse	1.969
4	1.925
5	6.644

Fuente: Elaboración propia.

Las alternativas que favorece en mayor medida la entrega de agua de mejor calidad a la actual son la Alternativa 1, la Alternativa 3 sin embalse y la Alternativa 4, que entregaría en bocatoma agua con valores de CE cercanos a los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que mejora los valores actuales, aunque igual se mantiene en valores que representan niveles altos de contaminación y que corresponden a agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso según la NCh 1.333.

El análisis mostrado sugiere que la alternativa 5 no debería continuar en análisis ya que no permite mejorar la calidad del agua, mejoras que sólo se obtendrían con el uso de sistemas de tratamiento que hacen la solución aún más onerosa.

8.4.5. Mejoramiento a Través de la Lixiviación para Disminuir la Salinidad

Una forma de disminuir la salinidad del suelo es el uso de altas tasas de riego, para evitar que se almacene el sodio en los suelos y de este modo disminuir el estrés salino en cultivos hortícolas. Este proceso se denomina lixiviación y se usa especialmente cuando el agua de riego contiene cantidades apreciables de sales, como es el caso, con lo cual se consigue mantener las sales en movimiento, desplazándolas de la zona de desarrollo de raíces o rizósfera de las plantas hasta zonas más profundas del terreno.

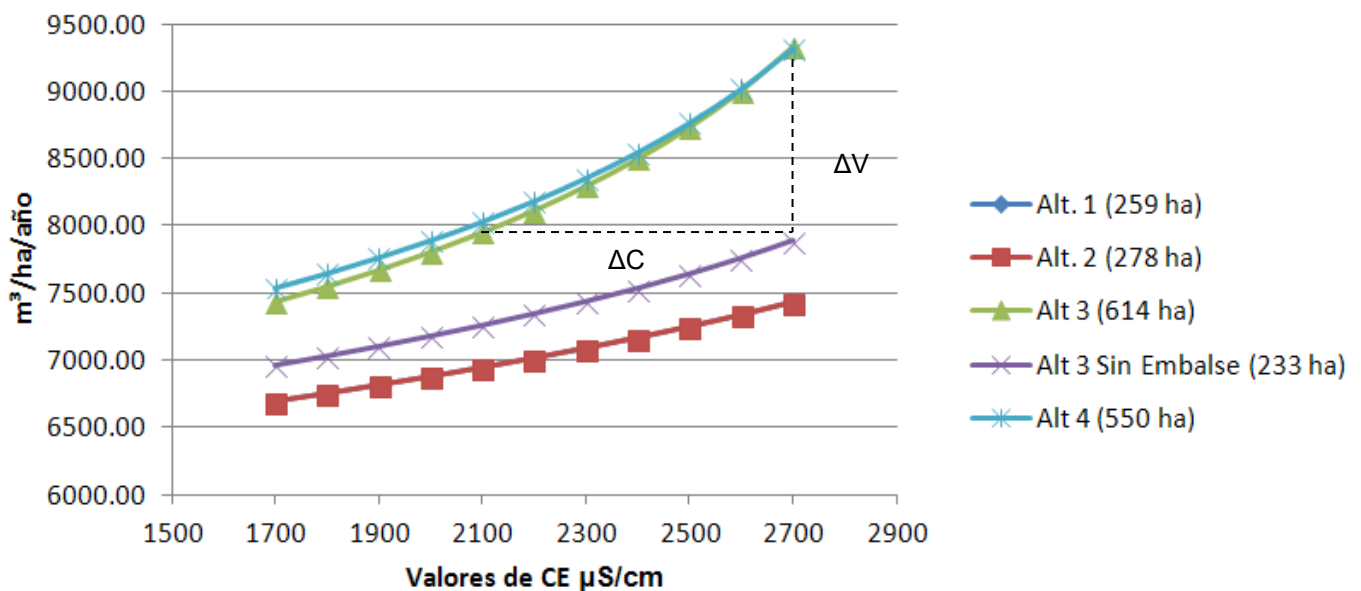
El valor a obtener para calcular la demanda de riego ha sido calculado en el estudio Agroeconómico y para eso se han considerado los siguientes factores:

- Salinidad agua de Riego.
- Salinidad tolerable por el(los) cultivo(s).
- Evapotranspiración Anual Cultivo.

La calidad del agua inicial en el agua de riego influencia directamente la cantidad de agua a aplicar para efectuar el lavado de sales, siendo necesarias, mayores aplicaciones a medida que los niveles de sales en el agua de riego sean mayores.

Para estimar los efectos que tiene una mejor calidad de agua inicial en el sistema de riego, se ha calculado la tasa de lixiviación necesaria para algunos objetivos de distintos valores de CE, obteniendo una curva de demanda anual, según se muestra en el Cuadro 9.4.5-1. Se han tomado como base los cálculos efectuados para el estudio Agroeconómico, en situación con proyecto.

FIGURA 9.4.5-1
VOLUMEN DE AGUA PONDERADO PARA LIXIVIACIÓN
SEGÚN CE EN SAN PEDRO DE ATACAMA



Fuente: Elaboración propia, según Estudio Agroeconómico.

En el gráfico se puede apreciar el volumen anual necesario para lixiviación frente a distintos valores de CE, lo que permite visualizar el cambio volumétrico ΔV (o ahorro de agua) que habría al mejorar la calidad del agua ΔC en la entrada del sistema de riego. Para el ejemplo que aparece en el gráfico, se observa que mejorar de 2.700 $\mu\text{S/cm}$ a 2.100 $\mu\text{S/cm}$ produciría un ahorro de aproximadamente 1.300 $\text{m}^3/\text{ha/año}$.

8.5. Conclusiones y Recomendaciones

Al considerar en conjunto los resultados de calidad, se observa lo siguiente:

- Las aguas del Río San Pedro en sus distintos tramos presentan claros problemas de contaminación, lo que se manifiesta en altas salinidades detectadas, y otros parámetros fuera de rango en relación a sus valores normados, ya sea como agua para riego o agua potable. En particular el boro y el arsénico muestran los problemas mayores.
- Si bien se ha realizado un completo diagnóstico de las aguas en situación de escurrimiento normal, la falta de datos sobre el comportamiento en régimen de crecidas, tanto de los volúmenes, como de los datos de calidad; se recomienda la instalación de una red de medición en la cuenca, que permita conocer el comportamiento de los parámetros de importancia en distintos puntos y en su relación con el caudal. La recolección de los datos, debería efectuarse en forma automática (a excepción de aquellos parámetros que requieren de análisis de laboratorio) y ser almacenados en un Data Logger. Los parámetros a analizar que se pueden medir en forma automática *in situ* son: pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales; aquellos que no son de medición automática son Boro, Arsénico, Cloruros, Sodio, Sulfatos, además del Mercurio (que presenta niveles que deben ser investigados con mayor profundidad), podrían colectarse por medio de un muestreador automático que de aviso a un teléfono celular que la muestra fue tomada, para que esta sea llevada a laboratorio; otra opción para abaratar los costos es efectuar los muestreos puntuales durante los eventos de crecidas, lo que aumenta el riesgo que el muestreo no se realice, ya que en la emergencia, es posible que la institución a cargo tenga prioridades propias de la emergencia. Además es menester que estos datos sean analizados en correlación con los datos de caudales. Los puntos recomendados son: en el río Grande aguas arriba del pueblo de Río Grande y en San Bartolo; en el río Salado 1 km aguas arriba del camino a San Bartolo y 1 km antes de la confluencia con el río Grande; en el río San Pedro: en la estación río San Pedro en Cuchabrachi, 1 km aguas arriba de la bocatoma del canal San Pedro y a la altura del hotel Alto Atacama.
- Las tecnologías estudiadas son útiles, pero los costos del tratamiento son altísimos, lo que lo hace inviable para los grandes caudales para riego, especialmente por la inaccesibilidad del terreno, entre otros factores ya explicados, no se recomienda un sistema de desalinización solar para las aguas del río Salado, ya que los existentes son para un volumen inferior de agua a tratar. Cabe señalar que no se excluye la tecnología en el tratamiento de caudales menores, que permitan un manejo intrapredial o para varios predios.

- Dados los altos costos de instalación que tendría una obra de este tipo, lo que se aconseja a priori es que el embalse en el río Grande sea sólo para controlar crecidas. Adicionalmente (en el Capítulo 14), se analiza la posibilidad de instalar una planta de osmosis inversa al pie del embalse, en conjunto con una Mini Central Hidroeléctrica (MCH) para usos complementarios al riego (agua potable). Por lo tanto, la viabilidad del proyecto estaría dada por la capacidad de generación de la MCH, ya que si la energía generada no es suficiente para hacer funcionar la planta de tratamiento, el tratamiento de las aguas no sería viable.
- Las obras a implementar estudiadas entregan buenos resultados en condiciones normales de escurrimiento, recomendando como mejor alternativa la n° 4, sin embargo todas las alternativas dan resultados aceptables en el supuesto de escurrimiento normal. Sin embargo es menester investigar en las próximas etapas de este proyecto las crecidas y sus efectos en toda la cuenca, cosa ya detallada, además de un estudio hidrogeológico del sector donde se propone implementar el embalse de acumulación, para poder estudiar el efecto sobre la salinidad y concentración de otros parámetros, que pudiera tener el suelo siendo fondo y paredes del embalse propuesto.
- El mejoramiento mediante lixiviación es la forma que en que se ha efectuado el riego en la zona tradicionalmente, pero requiere de grandes volúmenes de agua dedicados a este fin, por lo que una mejora en la calidad del agua en la bocatoma permitiría ahorrar grandes volúmenes de agua.

9. DIMENSIONAMIENTO GENERAL Y CÁLCULO HIDRÁULICO

9.1. *introducción*

En el presente capítulo, se indican las obras civiles que considera cada alternativa, incluyendo los usos de riego y control de crecidas. No obstante, se aclara que a todas las alternativas se les ha considerado la posibilidad de generación hidroeléctrica, con características de altura de generación y caudales diferentes según sea el caso.

9.2. DISEÑOS ALTERNATIVA 1

9.2.1. Aspectos Generales

La Alternativa 1 se separa en dos sub alternativas: 1a y 1b.

La Alternativa 1a contempla las siguientes obras a diseñar:

- Túnel 2 (San Bartolo)
- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama

La alternativa 1b contempla lo siguiente:

- Túnel 2 (San Bartolo)
- Muro retenedor y controlador de crecidas
- Conducción aguas por el río Grande hasta aguas abajo del retenedor de crecidas.
- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama

9.2.2. Obra de Toma en Río Salado

9.2.2.1. Consideraciones Básicas

El río Salado, si bien no presenta crecidas tan fuertes como el río Grande, de todas formas deberá contemplar con una bocatoma de alta montaña para poder soportar crecidas, ya que siguiendo los criterios de Horacio Mery para el diseño de estas obras:

- Las características que marcan el diseño de estas bocatomas son:
- Es imposible efectuar una mantención continuada durante el año.
- Deben captar escurrimientos rápidos o torrenciales.
- Los torrentes cordilleranos presentan grandes acarrees de sólidos durante las crecidas.
- Las obras están expuestas a aluviones y derrumbes de los cerros cercanos.
- Hay una marcada diferencia entre los caudales máximos y mínimos durante el año.
- Existe una gran variedad en los diseños de estas obras. En este estudio se hará referencia exclusivamente a las captaciones tipo sumidero que se han utilizado en el país, principalmente por ENDESA y CODELCO (El Teniente). Chile como país

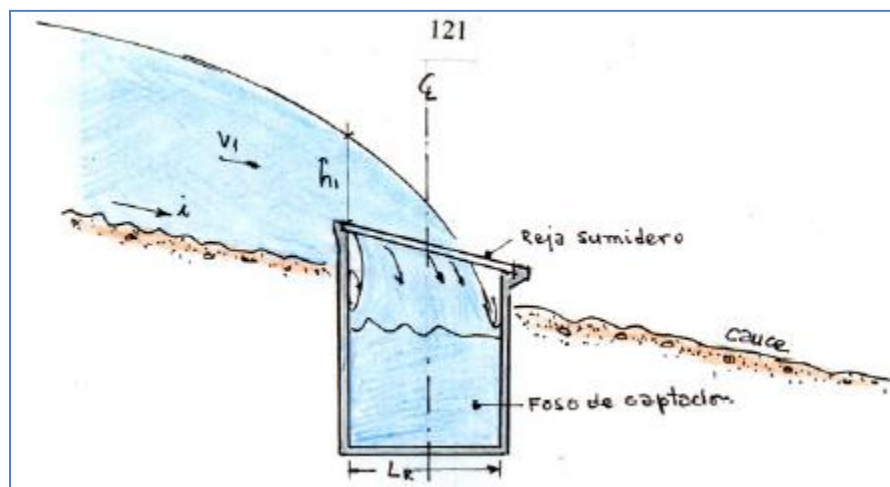
cordillerano cuenta con un gran conjunto de recursos hídricos de montaña los que se pueden explotar haciendo uso de estas obras.

De esta forma el diseño será una bocatoma tipo sumidero con las características mostradas en el Acápite 10.2.2.2.

9.2.2.2. Características de una Captación Tipo Sumidero

Una estructura receptora del caudal líquido que consiste en una fosa excavada en lecho del torrente que se capta. Esta fosa se dispone normalmente atravesada al escurrimiento y está cubierta por una reja gruesa y robusta con sus barras en el sentido del escurrimiento. La Figura 10.2.2.2-1 muestra un esquema de este tipo de sumidero.

FIGURA 9.2.2.2-1
ESQUEMA TIPO DE CAPTACION TIPO SUMIDERO

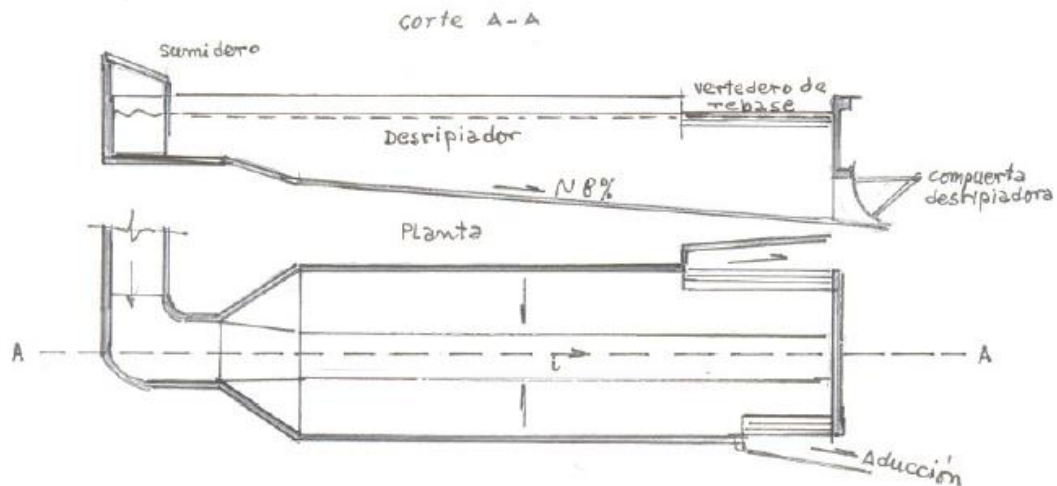


Fuente: Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, Horacio Mery.

La reja debe tener una inclinación importante para contribuir a que las piedras arrastradas por el torrente se deslicen sobre ella y no entren a la fosa de captación.

Desde la fosa de captación el escurrimiento pasa a un canal desripiador ó desarenador de arena gruesa. Esta obra es básicamente un ensanche del canal con disminución de la velocidad longitudinal del flujo lo cual permite la decantación de las partículas sólidas que entran a la fosa. El agua sin sedimentos pasa por un rebase superior al canal de aducción. La Figura 10.2.2.2-2 muestra una disposición usual de este tipo de captación.

FIGURA 9.2.2.2-2
DISPOSICIÓN EN PLANTA DEL DESRIPIADOR DE UNA CAPTACIÓN DE MONTAÑA



Fuente: Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, Horacio Mery.

Compuerta de purga de abertura rápida y automática. Los materiales depositados en el desripiador deben ser extraídos cuando tienen un espesor importante. Para efectuar la limpieza, debe abrirse lo más rápidamente la compuerta ubicada en el extremo de aguas abajo del tanque desripiador y crear una corriente enérgica que pueda movilizar a los sedimentos depositados.

Este tipo de captación debe contar con un sistema de seguridad para limitar el caudal máximo captado que impida el rebase en las obras de conducción. Normalmente se dispone una sección estrecha entre la salida de la fosa de captación y la conducción hacia el tanque desripiador.

Una obra de conducción desde la salida del desripiador hacia el punto de utilización del caudal captado.

9.2.3. Diseño túnel 2 (Túnel san Bartolo)

9.2.3.1. Introducción

El Túnel 2 es el que corresponde al túnel que trasvasará las aguas desde el río Salado al río Grande.

9.2.3.2. Antecedentes de Diseño

Para el diseño del Túnel 2, se tiene como antecedente el Estudio Definitivo Embalse Coyil, 2000 - SMI. En este estudio se realizó un diseño completo de dicho túnel. Se hicieron prospecciones en el portal de entrada y al medio del túnel.

Para el presente estudio, se utilizará el diseño realizado en el estudio del embalse Coyil y se adaptará a los criterios definidos en el acápite siguiente, dado que ha sido revisado por este Consultor y validado a nivel de pre factibilidad.

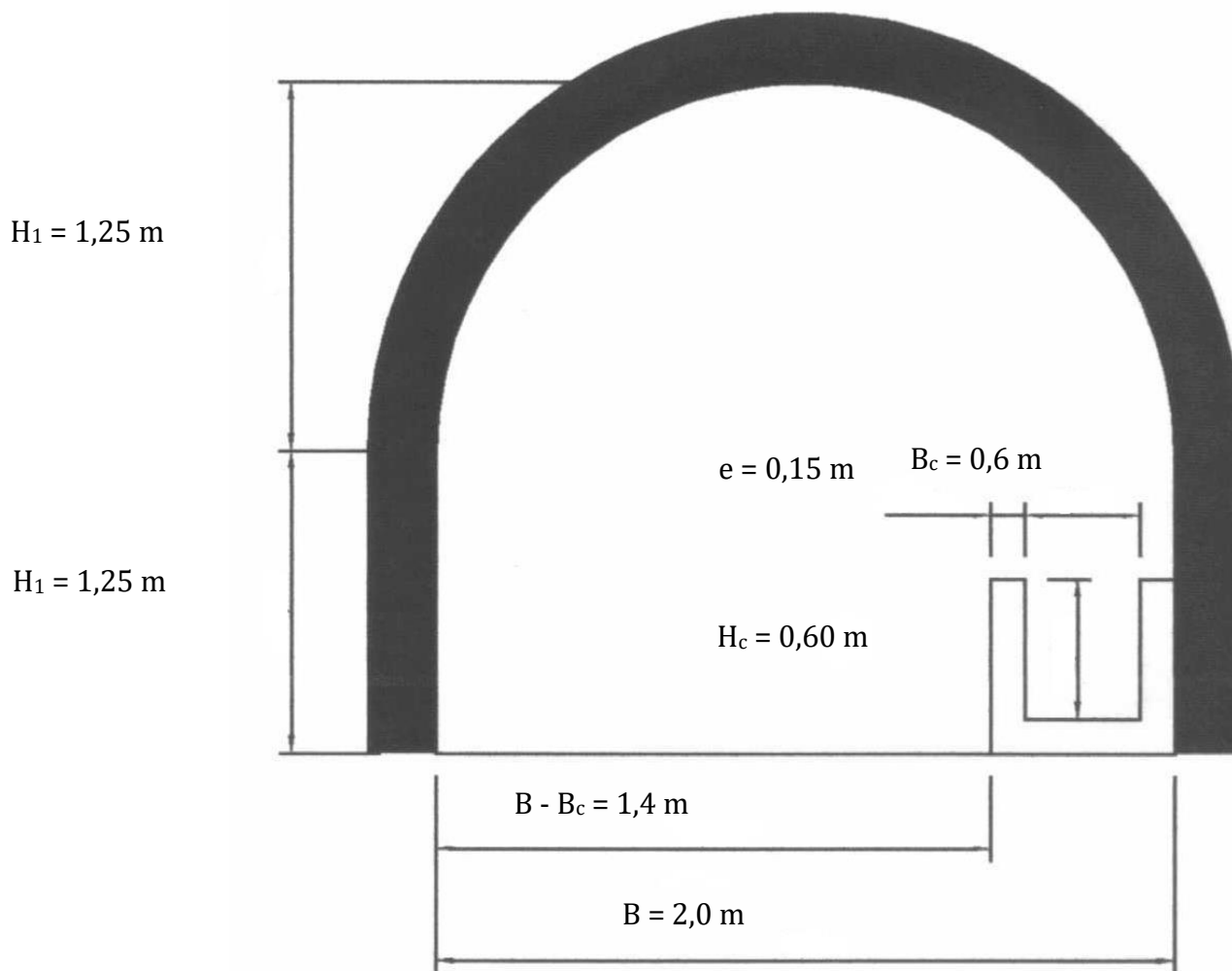
9.2.3.3. Túnel

Se han definido los siguientes criterios de diseño para el Túnel 2

- La sección transversal del túnel será del tipo arco de medio punto, con un ancho de 2,0 m y alto de 2,50 m, estas dimensiones están sujetas a las dimensiones mínimas constructivas. Se deberá construir portales de entrada y salida con el objetivo de incorporar los correspondientes soportes, para evitar derrumbes.
- Una de las principales condiciones impuestas al escurrimiento a través del túnel es la necesidad de evitar el contacto del agua con el terreno natural, correspondiente a la formación salina San José, caracterizada en el estudio geológico. Esto implica necesariamente revestir la sección mojada.

En la Figura 10.2.3.3-1 se puede apreciar un bosquejo de la sección transversal del Túnel.

FIGURA 9.2.3.3-1 SECCIÓN TIPO DEL TÚNEL DE TRASVASE



Fuente: Elaboración Propia. a partir de Estudio Definitivo Embalse Coyil, 2000 - SMI

9.2.3.4. Obra de Salida

La obra de salida corresponde a una continuación de la canaleta y por un rápido de descarga, el cual llegará hasta un enrocado consolidado para recibir las aguas que provienen del túnel.

9.2.4. Conducción Río Grande

9.2.4.1. Consideraciones Básicas

Con una longitud de 11 km, correspondiente a la distancia desde el Portal de Salida del Túnel 2 y aguas abajo del muro retenedor de crecidas, la Alternativa 1b contempla una

conducción por el río Grande, con el propósito absoluto de evitar la contaminación de las aguas con las crecidas. Se ha verificado, en terreno y por medio de fotos satelitales, que en este tramo el río Grande es muy sinuoso, de modo que la experiencia del consultor recomienda una conducción cerrada. Por esta razón, se ha diseñado las siguientes obras para poder comparar las alternativas más adelante:

- Tubería de acero, PRFV y HDPE en presión, para efectos de generar electricidad en la salida de esta tubería. Los materiales serán comparados para determinar, en base a costo de suministro y transporte, cual es el más conveniente.
- Acueducto en tubería de HDPE, ya que es el mejor material para este tipo de conducciones.
- Caudal de diseño de $Q = 250$ L/s que corresponden al caudal medio mensual máximo del río Salado, menos el caudal ecológico necesario.

9.2.4.2. Diseño Conducciones en Presión

Para la tubería en presión se utilizaron los siguientes criterios:

- Se diseñó la tubería en tres materiales distintos, ACERO, PRFV y HDPE
- Coeficiente de Hazen Williams de $C = 130$ para el acero, y $C = 150$ para PRFV y HDPE, según el fabricante.
- Rugosidad de manning $n = 0,011$ para el acero, $n = 0,009$ para PRFV y HDPE según el fabricante.
- La velocidad máxima para evitar desgaste de las tuberías y recomendada por el fabricante es de $v = 5$ m/s para el acero, $v = 3,5$ m/s para el HDPE y $v = 3$ m/s para PRFV
- Se consideró un 10% de pérdida de energía por efecto de singularidades.
- Se considera el precio indicado por el fabricante a la fecha de las cotizaciones realizadas para cada uno de los materiales. Estas se encuentran en el Anexo Capítulo 12.
- Se ha calculado el golpe de ariete para las conducciones y se ha realizado una optimización del espesor ó PN (presión nominal), verificado que el diseño cumpla con este criterio.
- Se ha agregado también el precio de transporte de las tuberías al lugar de emplazamiento.

- Se consideró como criterio de elección de los diámetros de las tuberías una generación eléctrica del 65% aproximadamente de la potencia teórica que se podría obtener.

Los cálculos hidráulicos se pueden ver en el Anexo 10-1, así como también la comparación económica entre los tres materiales escogidos. El HDPE no se presenta porque no es capaz de resistir las presiones al final del tramo, no es factible diseñar con HDPE. En el Cuadro 10.2.4.2-1 se resume lo anterior.

CUADRO 9.2.4.2-1 COMPARACION ECONÓMICA ENTRE MATERIALES ESCOGIDOS

Material	Conducción	Costo
PRFV	Río Salado (Q=250 L/s)	\$ 2.627.855.889
ACERO	Río Salado (Q=250 L/s)	\$ 1.067.081.163

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados arrojan que el costo del acero es menor, de modo que será el material recomendado por este Consultor para el diseño de esta y las otras alternativas. Además, debido a la experiencia y consultas con distintos fabricantes se ha determinado que para diámetros menores a 16 pulgadas, el PRFV resulta ser una muy buena opción, sin embargo, para diámetros mayores, el acero resulta en la actualidad más económico.

9.2.4.3. Conducciones en Acueducto

Para la tubería en acueducto se utilizaron los siguientes criterios:

- Pendiente de diseño máxima de $i = 1/1000$ ya que la pendiente del río es mucho mayor lo que provocaría, si es que se proyecta el trazado por la caja del río, que el agua dentro de la tubería vaya a velocidades cercanas a los 20 m/s, lo cual está totalmente fuera de tolerancia.
- Por la razón anterior, el acueducto y el río se irán distanciando en sus cotas, de modo que se proyectarán descargas y disipadores de energía. Este efecto traerá consigo una peor generación eléctrica si se compara con las conducciones presurizadas.

9.3. DISEÑOS ALTERNATIVA 2

9.3.1. Aspectos Generales

La Alternativa 2 se divide en dos sub alternativas: 2a y 2b. La Alternativa 2a contempla los siguientes diseños:

- Conducción de las aguas del río Salado desde antes de la quebrada salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro.

La alternativa 2b contempla lo siguiente para el diseño:

- Conducción de las aguas del río Salado desde antes de la quebrada salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro.
- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama
- Muro retenedor y controlador de crecidas

9.3.2. Obra de Toma en Río Salado

Esta obra tendrá las mismas características que las indicadas en el Acápite 10.1.1

9.3.3. Diseño Conducción Río Salado

9.3.3.1. Condiciones de Diseño

Como se ha explicado anteriormente, para evitar el contacto de las aguas de riego con los sectores de contaminación salina, es necesario conducir las aguas fuera del cauce del río. El diseño de esta conducción se puede realizar de tres formas, en canal abierto, en tubería presurizada y tubería acueducto. En esta alternativa, es posible considerar una generación hidroeléctrica antes de la entrega al canal de riego. En este acápite se realizará un diseño preliminar de cada una de las alternativas de conducción y en distintos materiales, para poder compararlas más adelante. La longitud de la conducción es de 26 km.

9.3.3.2. Diseño en Canal Abierto

Los criterios de diseño de este tipo de conducciones son los siguientes:

- El caudal de diseño para esta alternativa es de $Q = 250$ L/s que corresponden a el caudal medio mensual máximo del río Salado, menos el caudal ecológico necesario.
- La velocidad del canal debe ser mayor que $v = 0.4$ m/s para evitar embancamientos.
- La energía normal (En) debe ser 10% mayor que la energía crítica (Ec) del flujo. Esto es $\frac{En}{Ec} > 1,10$.
- La pendiente de diseño de los canales se ha obtenido de la topografía del terreno, y será ajustada para lograr un régimen subcrítico, la pendiente mínima de diseño será de 1/1000

- La rugosidad del canal será de $n = 0.013$, considerando un revestimiento de hormigón armado de categoría media.
- Se ha considerado una sección rectangular con un ancho de $b = 0,6 m$.

9.3.3.3. Diseño en Tubería Acueducto

Para el diseño de una tubería como acueducto sin presión se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- El caudal de diseño será de $Q = 250 L/s$
- Se utilizarán las mismas características hidráulicas del material HDPE, indicado en el Acápite 10.2.4.2
- Se utilizarán los criterios indicados en 10.2.4.3

9.3.3.4. Diseño en Tubería Presurizada

Para la tubería en presión se utilizaron los siguientes criterios:

- Se diseñó la tubería en tres materiales distintos, acero, PRFV y HDPE
- Coeficiente de Hazen Williams de $C = 130$ para el acero, y $C = 150$ para PRFV y HDPE, según el fabricante.
- Rugosidad de manning $n = 0,011$ acero y $n = 0,009$, PRFV y HDPE según el fabricante.
- La velocidad máxima para evitar desgaste de las tuberías y recomendada por el fabricante es de $v = 5 m/s$ para el acero, $v = 3,5 m/s$ para el HDPE y $v = 3 m/s$ para PRFV
- Se consideró un 10% de pérdida de energía por efecto de singularidades.
- Se considera el precio indicado por el fabricante a la fecha de las cotizaciones realizadas para cada uno de los materiales. Estas se encuentran en el Anexo Capítulo 12 de este informe.
- Se ha calculado el golpe de ariete para las conducciones y se ha realizado una optimización del espesor ó PN (presión nominal), verificado que el diseño cumpla con este criterio.

- Se ha agregado también el precio de transporte de las tuberías al lugar de emplazamiento.
- Se consideró como criterio de elección de los diámetros de las tuberías una generación eléctrica del 65% aproximadamente de la potencia teórica que se podría obtener.

9.3.4. Muro Controlador de Crecidas

El diseño completo de esta estructura se presenta en el Acápite 10.7.

9.4. DISEÑOS ALTERNATIVA 3

9.4.1. Aspectos Generales

La alternativa 3 se divide, también en dos sub alternativas, 3a y 3b. La alternativa 3a contempla los siguientes diseños:

- Diseño del Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado.
- Embalse de regulador para riego en el río Salado.
- Conducción aguas fuera del cauce río Salado hasta la bocatoma del canal San Pedro (tubería 1).
- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama

La Alternativa 3b contempla lo mismo que la alternativa 3a pero se le agrega el diseño del retenedor de crecidas.

9.4.2. Obra de Toma en Río Grande

Se dispondrá de una bocatoma al igual que en el Acápite 10.1.1. Sin embargo, se deberá refinar el cálculo para un caudal mayor, ya que las crecidas en el río Grande son muchísimo más violentas que en el río Salado.

9.4.3. Diseño Túnel 1

Para el diseño del Túnel 1 se utilizarán los mismos criterios que para el diseño del Túnel 2 descrito en el Acápite 10.1.2, ya que se verificó en terreno, y estudios realizados que la geología y geotecnia de ambos sitios es prácticamente la misma.

9.4.4. Diseño Conducción Río Salado

Este diseño atiende a las mismas características que para la alternativa N° 2. Sin embargo como esta alternativa incluye un embalse que su tamaño aún no está determinado, se han supuesto tres tamaños de embalse, y con ellos se ha determinado la tasa de riego máxima según cuantas hectáreas podrían regar dichos embalses. Estos cálculos han llevado a calcular esta conducción para tres caudales distintos. Estos caudales se indican en el Cuadro 10.4.4-1.

CUADRO 9.4.4-1
CAUDALES DE DISEÑO ALTERNATIVA 3

Tamaño del Embalse	Q diseño (L/s)
H = 35 metros	650
H = 45 metros	850
H = 55 metros	1.050

Fuente: Elaboración Propia.

De igual forma que para las alternativas anteriores, se realizó el cálculo para cada tipo de conducción, en canal abierto, tubería presurizada y acueducto, considerando siempre la generación hidroeléctrica al fin del trazado de ésta.

9.5. *DISEÑOS ALTERNATIVA 4*

9.5.1. Aspectos Generales

La Alternativa 4 se divide, al igual que las otras alternativas anteriores, en dos sub-alternativas. La Alternativa 4a contempla los siguientes elementos:

- Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado
- Embalse de regulador para riego en el río salado.
- Túnel 2 (San Bartolo)
- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama

La Alternativa 4b contempla los mismos diseños que lo descrito anteriormente y se le agregan los siguientes:

- Muro retenedor y controlador de crecidas
- Conducción aguas por el río Grande hasta aguas abajo del retenedor de crecidas

- Conducción de las aguas salinas del río Salado hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama

Ambas alternativas, 4ª y 4b, presentan diferentes calidades de agua, siendo levemente mejor la calidad de la alternativa 4b. Sin embargo, se ha obviado esta pequeña diferencia ya que en términos de caudales, la diferencia de estos son unos cuantos litros más, de modo que se ha realizado solo el diseño para la alternativa 4b solamente.

9.5.2. Obra de Toma Río Grande

Se dispondrá de una bocatoma con las mismas características indicadas en el Acápito 10.3.1.

9.5.3. Conducción Río Grande

Este diseño atiende a las mismas características que para la alternativa 1. Sin embargo como esta alternativa incluye un embalse que su tamaño aún no está determinado, se han supuesto tres tamaños de embalse, y con ellos se ha determinado la tasa de riego según cuantas hectáreas podrían regar dichos embalses. Estos cálculos han llevado a determinar esta conducción para tres caudales distintos. Estos caudales se indican en el Cuadro 10.5.3-1.

CUADRO 9.5.3-1
CAUDALES DE DISEÑO ALTERNATIVA 4

Tamaño del Embalse	Q diseño (L/s)
H = 35 metros	600
H = 45 metros	800
H = 55 metros	1.000

Fuente: Elaboración Propia.

De igual forma que para las alternativas anteriores, se realizó el cálculo para cada tipo de conducción, en canal abierto, tubería presurizada y acueducto, considerando siempre la generación hidroeléctrica al fin del trazado de esta.

9.6. DISEÑOS ALTERNATIVA 5

La Alternativa 5a contempla los siguientes diseños:

- Diseño del Túnel 1, trasvase desde el río Grande hacia el río Salado.
- Embalse regulador para riego en el río salado.

La Alternativa 5b contempla lo mismo que lo anterior pero se le suma el retenedor de crecidas.

9.7. **DISEÑO MURO CONTROLADOR DE CRECIDAS RÍO GRANDE**

9.7.1. **Introducción**

El estudio desarrollado corresponde a un análisis geotécnico realizado para un embalse de control de crecidas ubicado en el Río Grande, a aproximadamente 15 km al norte de la ciudad de San Pedro de Atacama. La ubicación del embalse se muestra en la Figura 10.7.1-1. Se tienen dos alternativas de ubicación para la construcción de la presa. En el Cuadro 10.7.1-1 se muestran las coordenadas de la ubicación de estos muros.

FIGURA 9.7.1-1
UBICACIÓN DEL EMBALSE DE CONTROL DE CRECIDAS



Fuente: Elaboración Propia. a partir de Google Earth.

El análisis comenzó con una recopilación de antecedentes geotécnicos del sector y la ejecución del plan de prospección, el que consistió en la ejecución de 5 sondajes con profundidades comprendidas entre los 20 y 50 m, además de la excavación de 3 pozos de exploración de entre 2,0 m de profundidad en el sector del muro. En el sector de yacimientos se excavaron 16 pozos de exploración de entre 3,8 m y 5,0 m de profundidad respecto de la superficie actual de terreno.

De los pozos y sondajes se obtuvo la descripción estratigráfica del subsuelo de los distintos sectores y las muestras de suelo para su análisis en laboratorio.

CUADRO 9.7.1-1 UBICACIÓN PRELIMINAR PRESA DE CONTROL DE CRECIDAS

Sitio Presa	Este (m)	Norte (m)
Sitio 1	582.692	7.480.083
Sitio 2	582.684	7.479.327

Fuente: Elaboración Propia.

9.7.2. Antecedentes Utilizados

- Estratigrafía de los pozos de exploración. Sondajes geotécnicos Georotación Ltda., enero de 2013.
- Resultados de ensayos de infiltración in-situ. Sondajes geotécnicos Georotación Ltda., abril de 2013.
- Registro de perforación y actividades diarias. Sondajes geotécnicos Georotación Ltda., enero de 2013.
- Resultados de análisis de estabilidad de taludes con el programa computacional SLOPE/W. Geofun Ltda., agosto de 2013.
- Cálculo de desplazamientos sísmicos según método de Makdisi y Seed. Geofun Ltda., agosto de 2013.
- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de Presas Pequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.
- Gobierno Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: "Manual de Carreteras, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño, Parte II.
- F.I. Makdisi and H. Bolton Seed, "A Simplified Procedure for Estimating Earthquake-Induced Deformations in Dams and Embankments", Report N° UCB/EERC-77/19, August 1977, University of California.
- Giovanni Lombardi, "Presas de Enrocado con Cara de Hormigón. Uso de los Criterios GIN para consolidación e Impermeabilización de la Roca., octubre de 2001"

9.7.3. Propiedades del Suelo de Fundación

9.7.3.1. Antecedentes Geológicos

Del Estudio Geológico de este Informe, se han rescatado los siguientes antecedentes. El terreno correspondiente al emplazamiento del proyecto es de origen volcanoclástico, correspondiente a extensos flujos ignimbríticos, correspondientes a las denominadas Ignimbritas Artola, Sifón, Yervas Buenas, Pelón y Puripicar y sedimentarios, formaciones San Pedro y Vilama, se observan recorridas por un discontinuo patrón de estructuras del tipo fallas y fotolineamientos que, en general, se disponen paralelos o en continuidad con rumbos preferenciales norte a norte 35 a 40° E; esencialmente, se trata de fallas normales y de rumbo con escasos desplazamientos o rechazos que, en sectores, ejercen un determinante control respecto de los sistemas locales de drenaje. Los pequeños movimientos se expresan en la ausencia de abruptos y penetrativos contactos planares, entre materiales litológicamente diferentes.

En los terrenos correspondientes al interfluvio entre los ríos Salado y Grande los materiales volcanoclásticos, especialmente tobas e ignimbritas de la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, con moderado a alto grado de litificación y competencia geomecánica, habrían respondido a las esfuerzos de campo mediante el desarrollo de complejos sistemas de discontinuidades del tipo fracturas y fallas de escasa continuidad. Sea como fuere, se trata de elementos estructurales que, en las empinadas es rocosas de ambas vertientes de los ríos Salado, Grande y San Pedro ejercen decisivo control respecto del desarrollo de recurrentes procesos de remociones en masa: desprendimientos, deslizamientos, avalanchas de rocas y coluvios que, en su conjunto, crean ambientes muy inestables.

Mientras tanto, en las secuencias sedimentarias semiconsolidadas, poco competentes de las formaciones San Pedro y Vilama, *Tsp* y *Qvi*, respectivamente, en plano GEO - RSP 1, tales acciones habrían condicionado el desarrollo local de deformaciones, representadas por plegamientos de variada intensidad: sinclinales y anticlinales; Los mayores rasgos deformativos locales, correspondientes a estructuras anticlinales, afectando a materiales de la formación San Pedro, *Tsp*, se ubican al torno al margen sureste de la quebrada Abra Pampa.

Se estima que, en la zona objeto de estudio, la ausencia de cuerpos intrusivos de gran extensión areal, habría contribuido decisivamente a atenuar el desarrollo de rasgos deformativos.

En los Cuadros 10.7.3.1-1 al 10.7.3.1-2 se detalla la ubicación y profundidad de las prospecciones realizadas.

CUADRO 9.7.3.1-1
UBICACIÓN DE SONDAJES

Nº	Sondajes	Coordenadas		Profundidad Máxima (m)
		Este (m)	Norte (m)	
1	S-1	582.641	7.480.193	20
2	S-2	582.696	7.480.090	40
3	S-3	582.703	7.480.058	20
4	S-4	582.626	7.480.026	20
5	S-5	582.628	7.479.421	50

Fuente: Elaboración Propia.

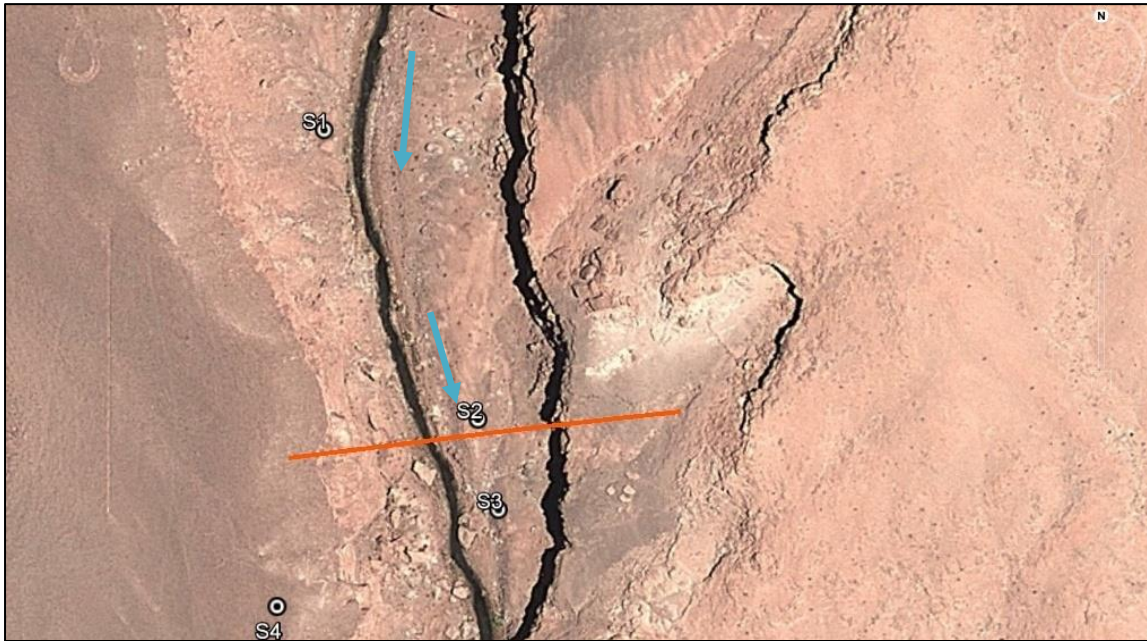
CUADRO 9.7.3.1-2
UBICACIÓN DE CALICATAS EN SECTOR DEL MURO

CALICATAS SECTOR MURO		
Código	Este (m)	Norte (m)
CM-1	582.703	7.480.058
CM-2	582.668	7.480.068
CM-3	582.694	7.479.323

Fuente: Elaboración Propia.

Adicionalmente en las Figuras 10.7.3.1-1 y 10.7.3.1-2, se muestra la ubicación de los pozos de exploración y sondajes, tanto en el muro como en el sector de yacimientos.

FIGURA 9.7.3.1-1
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE SONDAJES



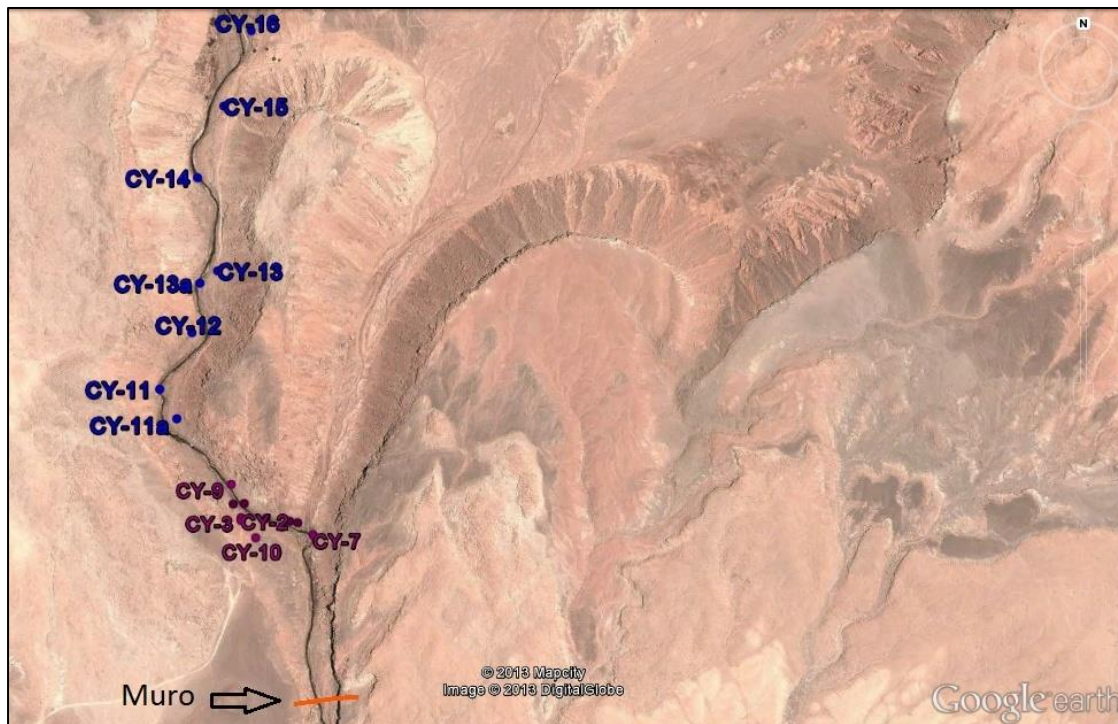
Fuente: Elaboración Propia. a partir de Google Earth.

FIGURA 9.7.3.1-2
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE CALICATAS EN SECTOR DEL MURO



Fuente: Elaboración Propia. a partir de Google Earth.

FIGURA 9.7.3.1-3
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE CALICATAS EN SECTOR DE YACIMIENTOS



Fuente: Elaboración Propia. a partir de Google Earth.

9.7.3.2. Estratigrafía Sector Muro

Se ejecutó un total de 5 sondajes, de los cuales 4 fueron realizados en el eje del muro alcanzando una profundidad máxima de 40 m, mientras que el 5^{to} sondaje fue ejecutado a cerca de 600 m al sur del sector anterior, con el objetivo de estudiar la factibilidad de una 2^{da} ubicación para el muro. Dicho sondaje alcanzó una profundidad de 50 m.

A partir de la exploración ejecutada, se puede adoptar el siguiente modelo estratigráfico para el área de emplazamiento del muro, indicado en el Cuadro 10.7.3.2-1

**CUADRO 9.7.3.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO ZONA DEL MURO**

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.00 – 1.70	Arena gravosa algo limosa, de color marrón, humedad baja, compacidad baja. Gravitas de cantos redondeados a sub redondeados, de tamaño máximo 2”.
H-2	1.70 - 6.00	Arenisca, color gris blanquizo, fuertemente cementada, con limos de plasticidad baja, humedad baja. Se observan gravitas de cantos redondeados a sub redondeados entre los 3,8 a 4,7 m, de tamaño máximo 1 ½ ”.

H-3	6.00 –10.40	Bolones, gravas, y arenisca cementada. Se aprecian bolones de hasta 30". Humedad baja, arenas de grano medio a grueso.
H-4	10.40 – 40.00	Arena fina limosa fuertemente cementada, de color marrón rojizo, compacidad alta a media en algunos tramos, humedad baja, finos de baja plasticidad, se observa tramos de arena de grado medio.

OBS: No se detectó presencia de nivel freático durante la ejecución de los sondajes (enero y febrero de 2013)

Fuente: Trabajos de Terreno Etapa 2A

9.7.3.3. Estratigrafía Sector Yacimientos

Se ha establecido al sector de yacimientos como el emplazamiento correspondiente a las calicatas CY-1 a la CY-9. En dicho sector, se excavaron 10 pozos de exploración de entre 2.0 y 6.0 m de profundidad cada uno. El Cuadro 10.7.3.3-1 muestra el modelo estratigráfico de la zona de yacimientos.

Se presentan en el Cuadro 10.7.3.3-2 las profundidades de nivel freático registradas en las calicatas del sector del yacimiento:

CUADRO 9.7.3.3-1 MODELO ESTRATIGRÁFICO DE YACIMIENTOS

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.0 – 0.60	Limo arcillo gravoso, de color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogénea, consistencia media.
H-2	0.60-6.00	Grava arenosa algo arcillosa, de color gris café, humedad media, finos de baja plasticidad, compacidad media, gravas de cantos redondeados y sub redondeados de tamaño máximo 30”.

OBS: Se detectó la presencia de nivel freático a una profundidad variable entre los 1.5 y 3.9 m.

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 9.7.3.3-2 PROFUNDIDADES NIVEL FREATICO

CALICATA	Profundidad Nivel Freático (m)
CY-1	3
CY-2	-
CY-3	-
CY-3A	1,8
CY-4	1,5
CY-5	1,9
CY-6	2
CY-7	3,5
CY-8	2
CY-9	-

Fuente: Elaboración Propia.

9.7.3.4. Ensayes de Infiltración

En los sondajes, se ejecutaron ensayes de infiltración según el método Lefranc Mandel y Lugeon.

Ensayo Lefranc: El ensayo Lefranc con carga constante, consiste en lo siguiente. Durante la ejecución del sondaje, en un momento dado, se levanta la tubería de entibación (impermeable) una altura (en este caso 1,0 m), y se llena de agua la cual fluye hacia el sondeo. Se prosigue hasta que se comprueba que el régimen es estacionario ó el caudal es

constante. Si no resulta conveniente llenar el tubo hasta arriba, se recurre a la carga hidráulica variable, tal como se muestra en las siguientes Figuras 10.7.3.4-1 y 10.7.3.4-2.

FIGURA 9.7.3.4-1
ENSAYE LEFRANC CON CARGA
CONSTANTE

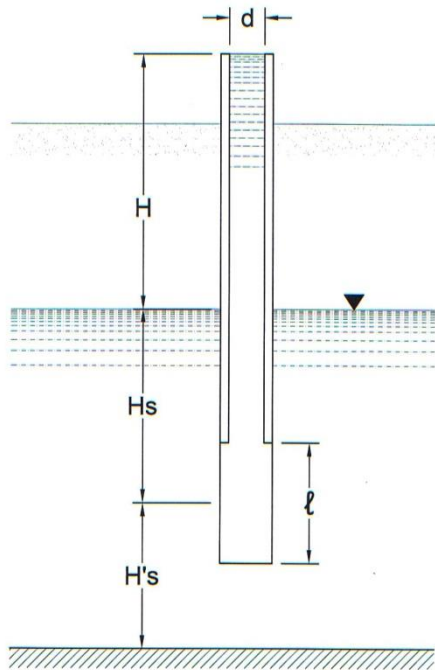
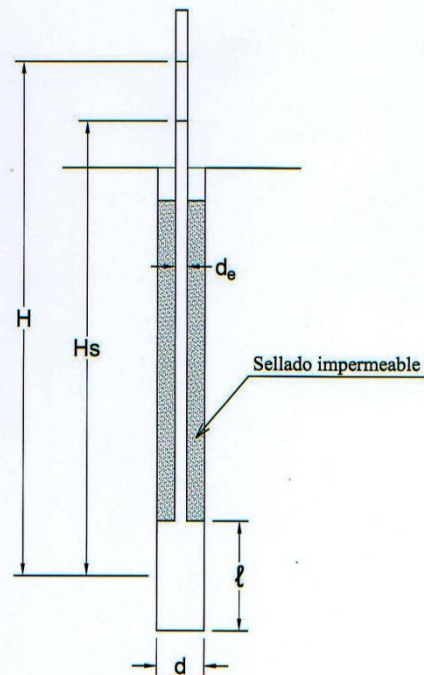


FIGURA 9.7.3.4-2
ENSAYE LEFRANC CON CARGA
VARIABLE



$$K = m \frac{Q}{H}$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{2l}{d}\right)}{2\pi l}$$

$$k = \frac{d_e^2 \ln\left(\frac{2l}{d}\right)}{8l \cdot t} \ln\left(\frac{H}{H_s}\right)$$

Siendo t el tiempo transcurrido entre las medidas de las alturas H1 y H2

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 9.7.3.4-1
RESULTADOS ENSAYES LEFRANC-MANDEL SONDAJES

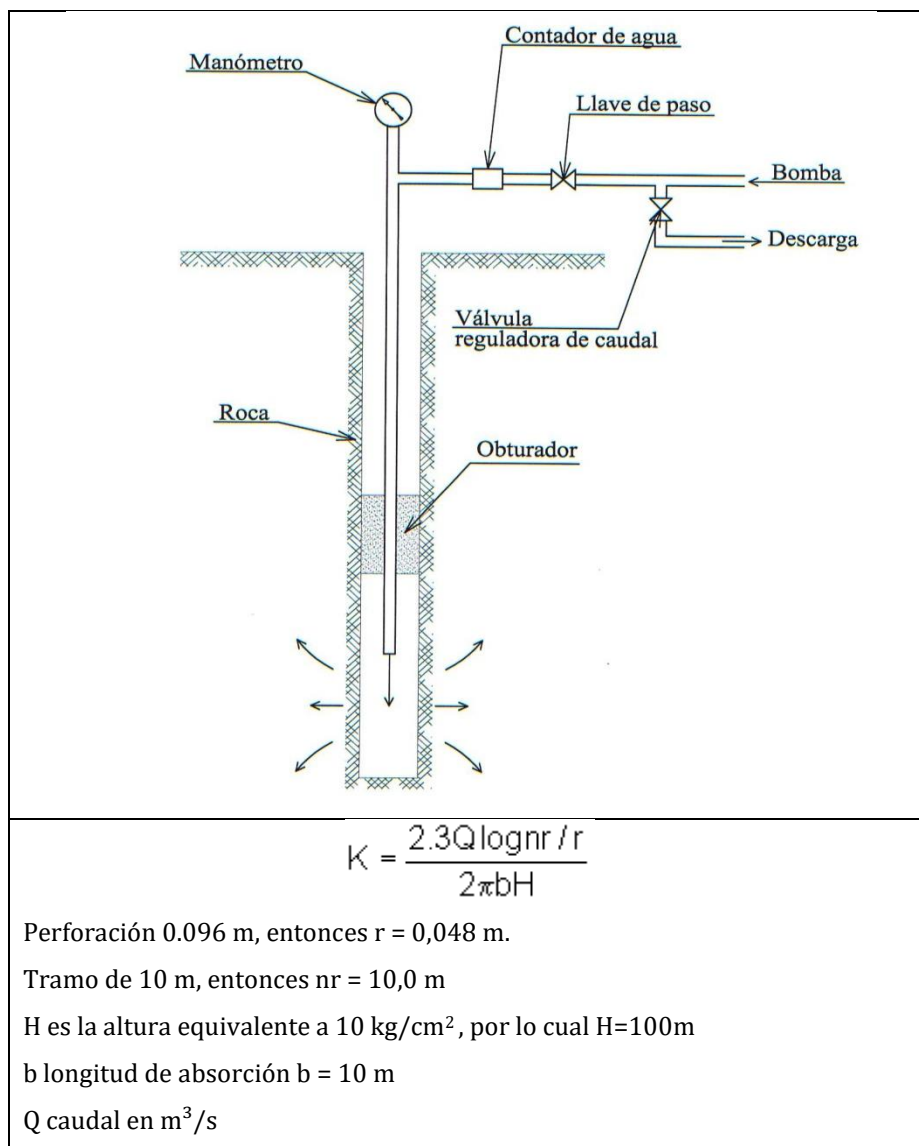
Sondaje	Cota ensayo (m)	Permeabilidad de Carga Variable (m/s)	Permeabilidad de Carga Constante (m/s)
1	4,00 - 5,00	N.A.	N.A.
	9,00 - 10,00	$8,23 \cdot 10^{-9}$	$2,97 \cdot 10^{-9}$
	14,00 - 15,000	$7,42 \cdot 10^{-9}$	$2,61 \cdot 10^{-9}$
	19,00 - 20,00	$6,51 \cdot 10^{-9}$	$2,02 \cdot 10^{-9}$
2	4,00 - 5,00	$1,73 \cdot 10^{-7}$	$1,99 \cdot 10^{-8}$
	9,00 - 10,00	$1,01 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^{-8}$
	14,00 - 15,000	$1,15 \cdot 10^{-8}$	$2,56 \cdot 10^{-9}$
	19,00 - 20,00	$1,31 \cdot 10^{-8}$	$1,98 \cdot 10^{-9}$
	24,00 - 26,00	$8,77 \cdot 10^{-9}$	$1,51 \cdot 10^{-9}$
	34,00 - 35,00	$7,28 \cdot 10^{-9}$	$8,87 \cdot 10^{-10}$
	39,00 - 40,00	$5,37 \cdot 10^{-9}$	$6,73 \cdot 10^{-10}$
3	4,00 - 5,00	$7,47 \cdot 10^{-8}$	$8,23 \cdot 10^{-9}$
	9,00 - 10,00	$2,07 \cdot 10^{-8}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$
	14,00 - 15,000	$1,08 \cdot 10^{-8}$	$2,00 \cdot 10^{-9}$
	19,00 - 20,00	$1,05 \cdot 10^{-8}$	$1,53 \cdot 10^{-9}$
4	4,00 - 5,00	$6,27 \cdot 10^{-8}$	$8,23 \cdot 10^{-9}$
	9,00 - 10,00	$5,14 \cdot 10^{-9}$	$2,03 \cdot 10^{-9}$
	14,00 - 15,000	$9,43 \cdot 10^{-9}$	$2,06 \cdot 10^{-9}$
	19,00 - 20,00	$1,20 \cdot 10^{-8}$	$9,50 \cdot 10^{-10}$
5	4,00 - 5,00	$1,97 \cdot 10^{-8}$	$3,40 \cdot 10^{-9}$
	9,00 - 10,00	$1,44 \cdot 10^{-8}$	$2,37 \cdot 10^{-9}$
	14,00 - 15,000	$1,08 \cdot 10^{-8}$	$1,06 \cdot 10^{-9}$
	19,00 - 20,00	$6,50 \cdot 10^{-9}$	$7,44 \cdot 10^{-10}$
	24,00 - 26,00	$7,94 \cdot 10^{-10}$	$9,21 \cdot 10^{-10}$

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo Lugeon: El ensayo Lugeon típico se realiza directamente en la roca y inyectando agua a presiones bastante altas, siendo normal la de 10 kg/cm². Se aplica la presión indicada durante 10 minutos y se mide el caudal infiltrado. Este ensayo permite medir la permeabilidad in-situ, en honor a su inventor, la Unidad Lugeon, se define como la pérdida de un litro por minuto y por metro lineal de perforación para una presión de 10 kg/cm². Los ensayos suelen hacerse escalonados. Elevando progresivamente la presión, y luego disminuyendo, registrando el caudal para las distintas presiones consideradas.

Según estos resultados, la roca es prácticamente impermeable, por lo que no se requiere inyecciones de consolidación ni de impermeabilización.

**FIGURA 9.7.3.4-3
ENSAYO LUGEON CON OBTURADOR SIMPLE**



Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 9.7.3.4-2
RESULTADOS ENSAYES LUGEON**

Sondaje	Cota	Admisión en Litros/min/m (U.L)
---------	------	--------------------------------

	(m)	(para 10 kg/cm ²)
S-5	25-35	0,007
	40-50	0,006

Fuente: Elaboración Propia.

9.7.3.5. Conclusiones de la Exploración y de los Ensayes

De la exploración efectuada y de los ensayos de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

- a. Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro de control de crecidas, y considerando los resultados de la exploración ejecutada y ensayos de laboratorio efectuados, se concluye que es posible plantear una presa del tipo homogénea, con protección del talud de aguas abajo mediante bloques cuyo tamaño dependerá de la velocidad de escurrimiento del agua. En consideración al uso eventual por tratarse de una presa para control de crecidas, se ha estimado y decidido que se emplazará una presa homogénea de rocas con una pared frontal de hormigón armado, ya que así se mejorará la condición estructural de la presa.
- b. Respecto del suelo de fundación del muro del embalse, este corresponderá al horizonte H-2 de la modelación estratigráfica de la zona del muro, consistente en una roca arenisca que posee características de resistencia al corte y deformación adecuadas para las cargas asociadas a la construcción de la presa. Además, el material es impermeable, y no requiere inyecciones, en principio.

9.7.4. Diseño Hidráulico

En los Cuadros 10.7.4-1 y 10.7.4-2, se resumen las características hidráulicas de cada una de las alternativas de altura de muro. En particular se obtuvieron:

- Diseños hidráulico de Obras de Evacuación de Crecidas
 - Revancha del Embalse proyectado
 - Canal Colector y Grada
 - Canal de Descarga
- Diseño hidráulico de Obras Anexas
 - Túnel de Desvío y Ataguía

Los criterios de diseño y desarrollo de los cálculos se encuentran en el Anexo 10-2.

CUADRO 9.7.4-1

RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro			
		Sitio 1			Sitio 2
		33 m	35 m	38 m	27 m
Caudales	Qd = Caudal de Diseño (m ³ /s)	530			
	Qv = Caudal de Verificación (m ³ /s)	1.381			
Revancha del Embalse proyectado	Tipo Vertedero (Forma)	Ogee			
	Largo Vertedero Lateral (m)	45			
	Revancha por Carga, Qd (m)	2,84			
	Revancha por Asentamiento (m)	0,33	0,35	0,38	0,27
	Rt = Revancha Total (m)	3,19	3,19	3,22	3,21
	Rqv = Revancha por Carga, Qv (m)	5,39			
	Revancha Adoptada Máx(Rt,Rqv) (m)	5,5			
Canal Colector	Largo (m)	45			
	Pendiente (m/m)	Sin Pendiente			
	Ancho base Inicial (m)	5			
	Ancho base Final (m)	15			
	Taludes (H:V)	0,5			
	Altura (m)	11,4			
	Cota Fondo (m)	2.620	2.620	2.620	2.603,5
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico			
Grada	Largo (m)	8			
	Base (m)	15			
	Altura "a" (m)	1			
Canal de Descarga	Largo (m)	155	158	85	
	Base (m)	15			
	Taludes (H:V)	Sin Taludes			
	Pendiente (m/m)	0,003			
	Altura de escurrimiento máx (m), Qd	5,27			
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico			
Disipador de Energía	Salto en forma de Cascada	Caída libre al lecho del río a distancia suficiente para evitar daños en la estructura del muro			

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 9.7.4-2
RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS
OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro			
		Sitio 1			Sitio 2
		33 m	35 m	38 m	27 m
Túnel de Desvío	Tipo de Sección	Tubería tipo Cajón			
	Dimensiones	3x3			
	Pendiente (m/m)	0,025			
	velocidad escurrimiento, Qdtd (m/s)	8,27			
	Altura de escurrimiento, Qdtd (m)	2,34			
Ataguía	Material	Empréstitos extraídos del río			
	Sección	Trapezoidal			
	Altura (m)	2,9			
	Taludes (H:V)	0,5			
	Ancho Coronamiento (m)	1,0			

Fuente: Elaboración Propia.

9.7.5. Diseño Estructural

9.7.5.1. Cálculo de Estabilidad de la Presa

La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de aproximadamente $V : H = 1.0 : 1.5$ para ambos taludes.

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, con embalse vacío, se realizó con el programa de computación Slide, de Rocscience. Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada pseudoestática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1.0.

Para el cálculo de la aceleración de fluencia, se han considerado recomendaciones entregadas por distintos autores respecto de este tema, indicadas en el Cuadro 10.7.5.1-1.

Conservadoramente se ha adoptado $k_h = 0,75 a_{max}/g$. Para estos efectos se ha considerado una aceleración máxima sísmica horizontal en el sitio igual a $0,20g$; por lo que $K_h = 0,15$.

Los factores mínimos de seguridad considerados en los cálculos, son de 1,5 en el caso estático y de 1,0 en el caso sísmico.

CUADRO 9.7.5.1-1

COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO

Autor	Kh	Observación
Terzaghi (1950)	Kh=0,1; Kh=0,2 y Kh=0,5	Para sismos severos, violentos y destructivos, y sismos catastróficos respectivamente
Noda&Uwabe(1976)	Kh= a_{max}/g	Si $a_{max} \leq 2,0 \text{ m/s}^2$
	Kh= $0,33 \cdot (a_{max}/g)^{0,33}$	Si $a_{max} > 2,0 \text{ m/s}^2$
Seed (1979)	Kh=0,10 FS _{sísmico} >1,15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 6,5
	Kh=0,15 FS _{sísmico} >1,15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 8,5
Seed (1980)	Kh=0,15 FS _{sísmico} >1,15	Siempre que no exista una pérdida significativa de resistencia de los materiales durante el sismo (suelos arcillosos, arenas drenadas y suelos no-cohesivos densos), Además, sugiere verificar deformaciones con método de Newmark (1965)
Marcuson (1981)	Kh= $0,33 \cdot a_{max}/g$ a Kh= $0,50 \cdot a_{max}/g$	Considera posible amplificación ó amortiguamiento
Krinitzsky et.al(1993), Taniguchi& Sasaki (1986)	Kh= $0,65 \cdot a_{max}/g$	Recomendada para deslizamiento de magnitud intermedia
Seed & Martin(1966), Dakuolas& Gazetas (1986)	Kh= a_{max}/g	Para un talud pequeño
	Kh= $0,65 \cdot a_{max}/g$	Deslizamiento de magnitud intermedia
	Idem Seed (1979)	Grandes deslizamientos,
Hynes-Griffin & Franklin (1984)	Kh= $0,5 \cdot a_{max}/g$	
Saragoni (1993)	Kh= $0,3 \cdot a_{max}/g$	Si $a_{max} \leq 6,6 \text{ m/s}^2$
	Kh= $0,22 \cdot a_{max}/g$	Si $a_{max} > 6,6 \text{ m/s}^2$
Kramer (1996)	Kh= $0,5 \cdot a_{max}/g$	Apropiado para muchas obras, pero se acota que no es una regla general,
Division of Minesand Geology, California (1997)	Kh=0,15	

Fuente: Elaboración Propia.

De los cálculos efectuados, con la metodología indicada, los factores de seguridad obtenidos son los siguientes, indicados en el Cuadro 10.7.5.1-2. En las Figuras 10.7.5.1-1 a la 10.7.5.1-3 se aprecian las diferentes fallas calculadas. La memoria de cálculo se puede encontrar en el Anexo 10-3.

De los análisis realizados se concluye que los taludes adoptados para la presa, son adecuados desde el punto de vista estático y sísmico.

Respecto del caso del embalse lleno, el análisis de estabilidad efectuado entrega resultados mayores a los entregados.

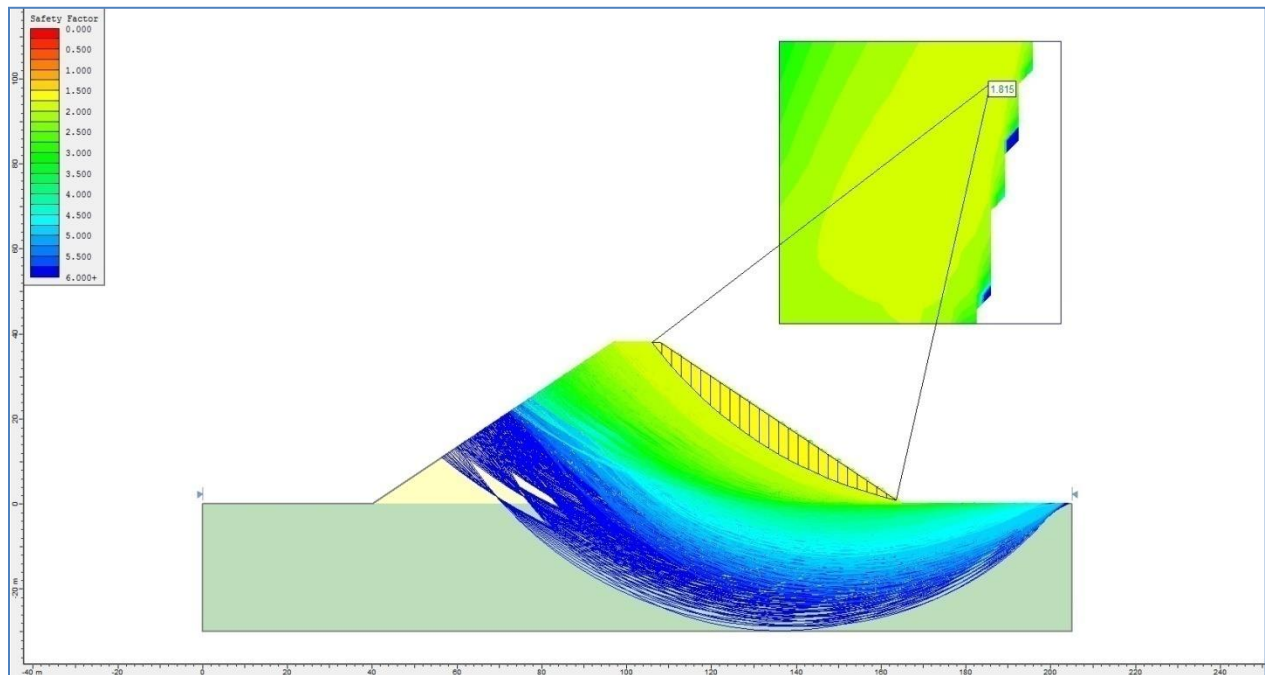
CUADRO 9.7.5.1-2
FACTOR DE SEGURIDAD TALUDES PRESA

Coeficiente sísmico	Factor de seguridad
---------------------	---------------------

horizontal Kh	FS
0,00 (caso estático)	1,81
Kh = 0,15 (caso sísmico)	1,36
Ky=0,32 (fluencia)	1,017

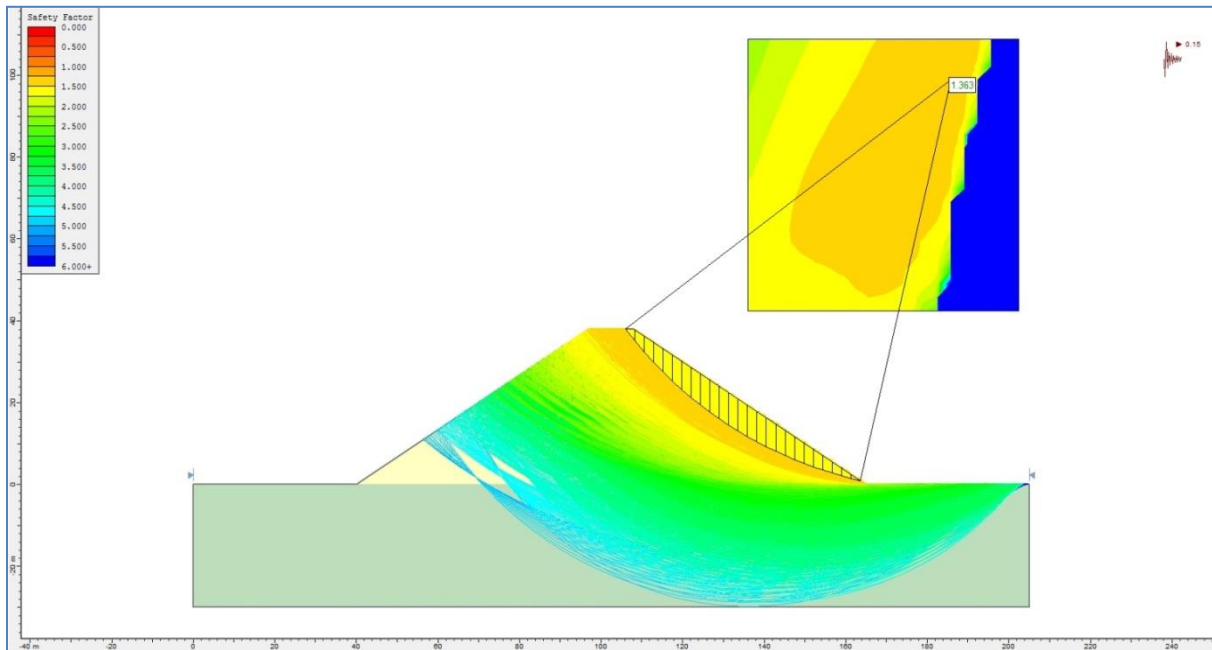
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.7.5.1-1
FALLA CASO ESTÁTICO Kh=0



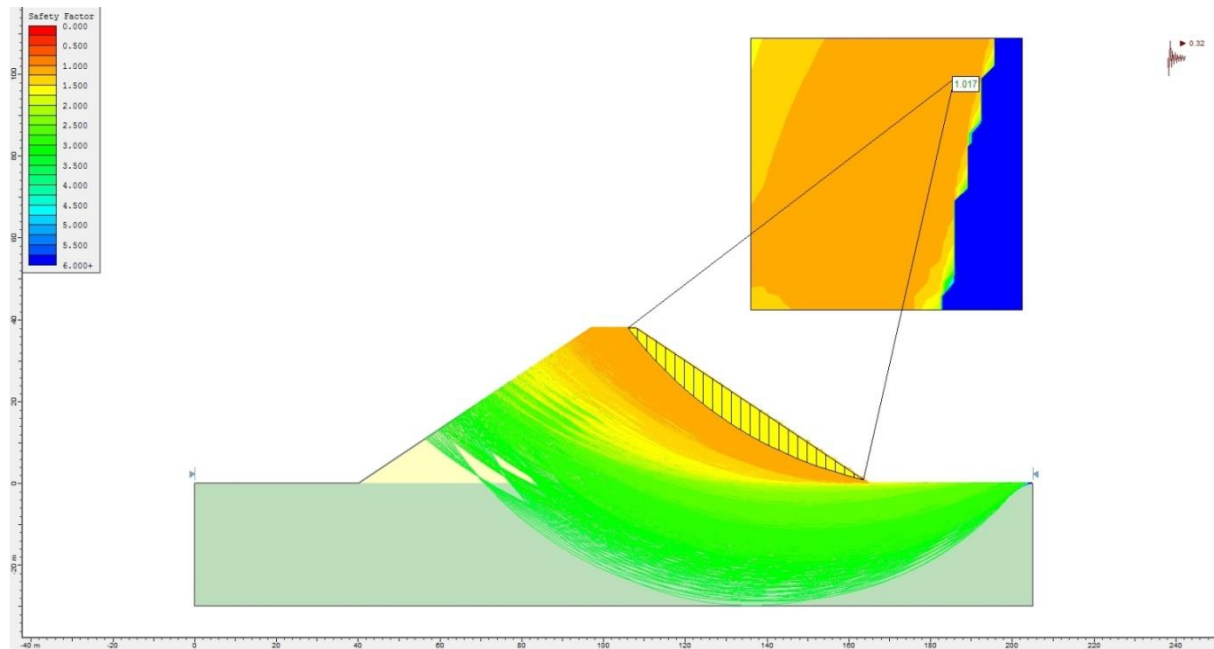
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.7.5.1-2
FALLA CASO SISMICO Kh=0.15



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.7.5.1-3
FACTOR DE FLUENCIA



Fuente: Elaboración Propia.

9.7.5.2. Comportamiento de las Laderas del Embalse

Dado que las laderas del valle, en el área de inundación del embalse, están constituidas por formaciones rocosa muy sanas, con una sobrecarga granular de espesor variable, se recomienda monitorearlas desde antes del llenado del embalse y realizar un seguimiento durante el primer año, verificando a lo menos el estado de ellas producto de la inundación. Puntualmente, en sectores en que se aprecie inestabilidad de la sobrecarga en las laderas del vaso, se podrán tender los taludes a una pendiente máxima de 55° respecto de la horizontal, en esta unidad. Los cortes en roca inicialmente, se podrán considerar con una pendiente máxima de 85° .

9.7.5.3. Seguimiento de la Socavación del Cauce del Río

Se recomienda efectuar con periodicidad anual, controles para verificar alteraciones altimétricas medias en los taludes aguas abajo de la presa, transversales al cauce, situados aproximadamente a 1 km uno de otro (3 en total).

9.7.6. Excavaciones y Recomendaciones de Construcción

Para la ejecución de las obras se dan las siguientes recomendaciones de construcción:

1. Antes de la ejecución de los rellenos se realizará un escarpe general, con la finalidad de retirar la sobrecarga granular existente y la roca suelta o muy fracturada. La presa deberá quedar fundada en roca sana sin excepción.
2. El perfilamiento de la roca se realizará desde arriba hacia abajo, por motivos de seguridad. La construcción u hormigonado del muro, en algunos casos podrá servir de plataforma de trabajo para los trabajos en los taludes.
3. Todas las oquedades presentes en la roca, en el eje del muro, serán inyectadas con un hormigón fluido.
4. Las obras para el vertedero quedarán apoyadas en roca sin excepción, alternativamente, se apoyará el vertedero sobre la presa de hormigón compactado.
5. La pared interna casi vertical de la presa llevará un recubrimiento de hormigón con un contenido de cemento de 200 – 220 kg/m³, de a lo menos 2,0 m de espesor. Similar hormigón se utilizará en la base de la presa en contacto con la roca, y en la pared externa, con excepción de la porción correspondiente al vertedero, cuyo hormigón será a lo menos de 320 kg de cemento por metro cúbico. El macizo de la presa será construido en su parte superior con un hormigón de 127,5 kg/m³ de cemento.
6. Las excavaciones en grava arenosa, tendrán una pendiente máxima de 55° respecto de la horizontal y serán regadas con abundante lechada a/c = 1/1.
7. En las paredes de las excavaciones reforzadas mecánicamente, se colocará una malla de acero de alta resistencia del tipo MFI 3.500 o similar con a lo menos 10 cm de shotcrete. La malla quedará anclada por sobre el coronamiento del talud, mediante una zanja de 30 cm de ancho por 30 cm de profundidad, rellena con hormigón.
8. La pendiente máxima de las excavaciones en roca sin reforzar será de 70° respecto de la horizontal en roca fracturada y de 85° respecto de la horizontal en roca sana, debiendo quedar protegidas superficialmente con una malla MFI 3500 o similar, anclada por sobre el coronamiento del corte y a sus pies.

9. Para el diseño definitivo de las obras, se requiere de una visita a terreno, y la participación de un especialista en hormigones para efectos de diseño de las distintas mezclas, juntas de construcción y retracción de la presa.
10. Las excavaciones para fundaciones en roca podrán ser efectuadas con taludes verticales.
11. En el caso eventual de trazado de tuberías, se deberá efectuar una exploración mediante pozos de exploración de 1,50 m de profundidad, o hasta la napa o roca si se detectan a menor cota. Las calicatas, a lo menos 2, tendrán un distanciamiento máximo de 200 m una de otra.
12. El agotamiento de la napa, si se requiere, se realizará a través de zanjas de drenajes, con descarga a sumideros desde donde el agua será bombeada fuera el área de trabajo.
13. Cualquier sobreexcavación para fundaciones producto de la presencia de un suelo no apto para fundar, rellenos no controlados u otro motivo podrá ser rellenada con hormigón de 85 kg de cemento por metro cúbico de mezcla con hasta un 30% de bolón desplazador.
14. Debido a las grandes velocidades que se generarán en la descarga inferior del muro, el túnel deberá ser revestido en su interior con placas de acero de espesor mínimo de $e=2$ cm, ya que este túnel debe estar absolutamente protegido contra el efecto abrasivo del agua a esas velocidades.
15. Se deberán considerar rieles o enrejados que atajen los escombros mayores a 1,1 metros ya que estos podrían obstruir la salida del túnel. Estos deben estar a unos 30 metros aguas arriba del muro.

Finalmente, los sellos de fundaciones y/o excavaciones serán recibidos conforme por el mecánico de suelos, o la ITO de este proyecto.

9.7.7. Selección del Sitio de Embalse

9.7.7.1. Conclusiones Geológicas

El segmento del valle del río Grande, involucrado en los dos sitios alternativos propuestos para el emplazamiento de la presa destinada a la regulación y control de crecidas comprometería, a nivel superficial, materiales incluidos en la Formación Vilama de edad

Pleistoceno, básicamente, está constituida por una secuencia alternante de bancos dispuestos subhorizontalmente de gravas, arcillolitas, areniscas, areniscas calcáreas y calizas, con intercalaciones de diatomeas y cenizas volcánicas.

El carácter geológico y comportamiento geomecánico de los materiales, posibilitaría el tallado de cortes provistos de taludes estables del tipo 1:3 a 1:5 (H:V).

En un primer análisis, se trataría de materiales rocosos en condiciones de satisfacer a plenitud, en cantidad y calidad, eventuales demandas de enrocados para la construcción de la presa control y de regulación de crecidas, enmarcada en las tipologías CFRD, (enrocado con paramento rígido de hormigón) y/o eventual protección de sus respectivos paramentos y CFGD, (gravas compactadas con paramento de pantalla rígida de hormigón).

9.7.7.2. Conclusiones Geotécnicas

A partir de los resultados de la exploración ejecutada, ensayos de infiltración in-situ y estratigrafías de los pozos de exploración y sondajes, se pueden establecer las siguientes conclusiones, independiente del sitio que se seleccione para la construcción del muro:

- Existe abundante presencia de material rocoso sano y fresco, como para definir áreas de empréstito para la construcción de la presa permeable;
- El coeficiente de permeabilidad del suelo de fundación es en promedio igual $k = 2 \cdot 10^{-5}$ cm/s
- Los taludes de la presa serán aproximadamente de 2,5:1 = H:V, para el talud de aguas arriba y para el talud de aguas abajo
- Ambos estribos deben ser preparados antes de la construcción del muro. Se deben retirar la roca fracturada y suelta;
- La pendiente temporal de los taludes de corte es de 70° máximo y de relleno es de 30° respecto de la horizontal.
- En el diseño del muro se deben incluir filtros para evitar el arrastre de finos;
- La matriz del suelo existente, arena fina limosa, es altamente erosiva;
- Se requieren resultados ensayos de laboratorio de la roca, requerida por diseño;
- Finalmente se recomienda la protección de los estribos, estratos de roca blanda y muy fracturada, ante el escurrimiento de agua. Inyecciones e impermeabilización local superficial de las unidades más débiles.

9.7.7.3. Análisis de Costos

En el Cuadro 10.7.7.3-1 se presenta el costo de la presa de control de crecidas en los sitios 1 y 2, con un tamaño máximo de 38 m de altura y una capacidad de embalse de 10,2 h En la Figura 10.13.1-1 se presenta una fotografía satelital con las ubicaciones de estos aforadores. Se encuentra en el Anexo 10-8 el archivo kml con la ubicación de estos aforadores.

, para el sitio 1, y un tamaño máximo de 27 m de altura y una capacidad de embalse de 1,3 hm³ para el sitio 2. El análisis de Costos puede verse en el Anexo 10-4. En el Cuadro 10.7.7.3-1 se muestra el resumen de los costos de ambos embalses.

**CUADRO 9.7.7.3-1
COSTO PRESA CONTROL CRECIDAS SITIO 1**

Descripción	Unidad	P. Unitario (\$)	Cantidad	P. Total (\$)
Sitio 1				
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas Sitio 1				6.404.884.637
Instalación de Faenas para Construcción de Embalse	Gl	484.000.000	1	484.000.000
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m ²	1.835	20.926	38.398.604
Excavaciones en material fluvial	m ³	3.926	837	3.286.167
Excavaciones abiertas en roca	m ³	10.040	3.348	33.614.996
Relleno presa	m ³	5.768	150.202	866.365.136
Hormigón H-30	m ³	146.074	8.975	1.310.998.710
Inyecciones	m	158.011	2.668	421.632.128
Excavación abierta en roca con explosivo	m ³	34.488	91.409	3.152.506.694
Excavaciones en material común	m ³	3.023	22.852	69.082.201
Túnel de Desvio por el Cuerpo de la Presa	Gl	25.000.000	1	25.000.000
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas Sitio 2				3.776.561.506
Instalación de Faenas para Construcción de Embalse	Gl	484.000.000	1	484.000.000
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m ²	1.835	10.778	19.777.929
Excavaciones en material fluvial	m ³	3.926	431	1.692.603
Excavaciones abiertas en roca	m ³	10.040	1.725	17.314.041
Relleno presa	m ³	5.768	42.016	242.348.288
Hormigón H-30	m ³	146.074	6.113	893.017.308
Inyecciones	m	158.011	1.943	307.060.722
Excavación abierta en roca con explosivo	m ³	34.488	50.686	1.748.044.973
Excavaciones en material común	m ³	3.023	12.671	38.305.642
Túnel de Desvio por el Cuerpo de la Presa	Gl	25.000.000	1	25.000.000

Fuente: Elaboración Propia.

9.7.7.4. Conclusión Final y Selección

De acuerdo con lo determinado en los estudios básicos de este proyecto, las características geológicas y geotécnicas serían las mismas para cada uno de los sitios escogidos, de modo que, en términos de selección del sitio adecuado, estas características son neutrales.

En lo que respecta a los costos y características técnicas, se puede apreciar que el Sitio 1, si bien es el doble más caro que el Sitio 2, tiene casi 10 veces más capacidad de embalse que este último, y de acuerdo a lo establecido en los estudios básicos de este proyecto, el efecto regulador que tiene el Sitio 1 es tremendamente superior que el del sitio 2, dada a su alta capacidad de embalse. De modo que el sitio 2 queda completamente descartado como alternativa y se procederá para la evaluación económica el Sitio 1.

9.8. DISEÑO EMBALSE REGULADOR RIEGO RÍO SALADO

9.8.1. Introducción

El análisis comenzó con una recopilación de antecedentes geotécnicos y geológicos del sector, lo que fue complementado con una visita a terreno realizada en conjunto por un Geólogo y un Ingeniero Civil especialistas en este tipo de emplazamientos, además del resto del equipo profesional de este Consultor.

Los diseños se realizaron para tres alturas de muro que permiten caracterizar toda la curva de embalse. Estas alturas coinciden con la cota umbral de los embalses propuestos y son 35 m, 45 m, y 55 m. El embalse se ubica en las coordenadas 579.496 este y 7.488.277 norte.

9.8.2. Antecedentes Utilizados

- Resultados de análisis de estabilidad de taludes con el programa computacional SLOPE/W. Geofun Ltda., agosto de 2013.
- Cálculo de desplazamientos sísmicos según método de Makdisi y Seed. Geofun Ltda., agosto de 2013.
- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de Presas Pequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.
- Gobierno Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: "Manual de Carreteras, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño, Parte II.

- F.I. Makdisi and H. Bolton Seed, "A Simplified Procedure for Estimating Earthquake-Induced Deformations in Dams and Embankments", Report N° UCB/EERC-77/19, August 1977, University of California.
- Giovanni Lombardi, "Presas de Enrocado con Cara de Hormigón. Uso de los Criterios GIN para consolidación e Impermeabilización de la Roca., octubre de 2001"

9.8.3. Propiedades del Suelo de Fundación

9.8.3.1. Antecedentes Geológicos

El terreno correspondiente al emplazamiento del proyecto es de origen volcanoclástico, correspondiente a extensos flujos ignimbríticos, correspondientes a las denominadas Ignimbritas Artola, Sifón, Yervas Buenas, Pelón y Puripicar y sedimentarios, formaciones San Pedro y Vilama, se observan recorridas por un discontinuo patrón de estructuras del tipo fallas y fotolineamientos que, en general, se disponen paralelos o en continuidad con rumbos preferenciales norte a norte 35 a 40° E; esencialmente, se trata de fallas normales y de rumbo con escasos desplazamientos o rechazos que, en sectores, ejercen un determinante control respecto de los sistemas locales de drenaje. Los pequeños movimientos se expresan en la ausencia de abruptos y penetrativos contactos planares, entre materiales litológicamente diferentes.

En los terrenos correspondientes al interfluvio entre los ríos Salado y Grande los materiales volcanoclásticos, especialmente tobas e ignimbritas de la unidad Ignimbrita Sifón, *Mss*, con moderado a alto grado de litificación y competencia geomecánica, habrían respondido a los esfuerzos de campo mediante el desarrollo de complejos sistemas de discontinuidades del tipo fracturas y fallas de escasa continuidad. Sea como fuere, se trata de elementos estructurales que, en las empinadas paredes rocosas de ambas vertientes de los ríos Salado, Grande y San Pedro ejercen decisivo control respecto del desarrollo de recurrentes procesos de remociones en masa: desprendimientos, deslizamientos, avalanchas de rocas y coluvios que, en su conjunto, crean ambientes muy inestables.

Mientras tanto, en las secuencias francamente sedimentarias semiconsolidadas, poco competentes de las formaciones San Pedro y Vilama, *Tsp* y *Qvi*, respectivamente, en plano GEO – RSP 1, tales acciones habrían condicionado el desarrollo local de deformaciones, representadas por plegamientos de variada intensidad: sinclinales y anticlinales; Los mayores rasgos deformativos locales, correspondientes a estructuras anticlinales, afectando a materiales de la formación San Pedro, *Tsp*, se ubican al torno al margen sureste de la quebrada Abra Pampa.

Se estima que, en la zona objeto de estudio, la ausencia de cuerpos intrusivos de gran extensión areal, habría contribuido decisivamente a atenuar el desarrollo de rasgos deformativos.

9.8.3.2. Estratigrafía Sector Muro

De antecedentes geológicos revisados en sitios cercanos, de forma preliminar para fines de diseño, se adoptará la siguiente modelación estratigráfica, indicada el Cuadro 10.8.3.2-1

CUADRO 9.8.3.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES REFERENCIALES

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.00 – 6.00	Arena gravosa algo limosa, de color marrón, humedad baja, compacidad baja. Gravas de cantos redondeados a sub redondeados, de tamaño máximo 2".
H-2	6.00 –40.00	Bolones, gravas, y arenisca fuertemente cementada. Se aprecian bolones de hasta 30". Humedad baja, arenas de grano medio a grueso.

Fuente: Elaboración Propia.

9.8.4. Conclusiones

A partir de la visita realizada a terreno, y de los antecedentes revisados, se concluye lo siguiente:

- a. Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse, y de la visita realizada, la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFRD, es decir una presa de enrocado con pantalla de hormigón.
- b. Para la construcción de la presa, se recomienda la utilización únicamente de enrocado de modo de controlar las deformaciones en el muro, dando con ello estabilidad a la pantalla de hormigón; por lo que se descarta el material superficial detectado en el área de empréstito, debiendo definir para ello una cantera para su extracción. En el relleno se podrá utilizar roca extraída de excavaciones cercanas a la presa.
- c. Dado que se utilizará una pantalla de hormigón para la impermeabilización del muro, se requiere que el material de la presa de escollera sea compactado, mejorando con ello las propiedades mecánicas de resistencia al corte y esfuerzo deformación del material del relleno y la disminución de los asentamientos.
- d. Se recomienda para una próxima etapa del proyecto, o como un estudio complementario, la ejecución de 3 sondeos ubicados en el emplazamiento del muro por el sector del plinto, para determinar las características de permeabilidad de la roca, sondeos de profundidades variables entre 30.00 m y 50.00 m. Por otra parte, se observan en las laderas del vaso del embalse algunas vetas de color blanco, que podrían ser salinas e influir, en ese caso, en la calidad del agua. Si bien este efecto

sería de bastante menor relevancia frente a la salinidad que toman las aguas hacia abajo, se recomienda considerar como parte del contrato para los sondajes, una investigación que permita aclarar el material que compone estas vetas. En el presente estudio, se ha supuesto en forma conservadora que es salino, y que empeora la calidad del agua que llega al embalse.

- e. Para el control de las filtraciones por debajo del muro, se dispondrá de la Pared Moldeada, que preliminarmente deberá alcanzar una profundidad mínima de 20,0 m, de modo de alcanzar al estrato areno limoso fuertemente cementado.
- f. La fundación será protegida contra la erosión.

9.8.5. Propiedades Mecánicas

De la visita realizada, antecedentes obtenidos a partir de exploraciones cercanas al emplazamiento del proyecto, y de propiedades medidas en suelos de similares características y origen geológico, se han adoptado preliminarmente para efectos de diseño, las siguientes propiedades geomecánicas de resistencia al corte y esfuerzo de deformación.

Arenisca, nivel del sello de Fundación

$\phi = 35$, ángulo de fricción interna
$c = 40$	t/m ²	, cohesión
$\gamma = 2.10$	t/m ³	, peso unitario natural
$E = 10.000$	t/m ²	, módulo de Young si z
$E_d = 3E$	t/m ²	, módulo de Young para cargas cíclicas
$\mu = 0.25$, razón de Poisson no drenada

Muro (Roca de cantera)

$\phi = 45^\circ$, ángulo de fricción interna
$c = 1.0$	t/m ²	, cohesión
$\gamma = 2.20$	t/m ³	, peso unitario natural
$E = 20.000$	t/m ²	, módulo de Young
$E_d = 3E$	t/m ²	, módulo de Young para cargas cíclicas
$\mu = 0.25$, razón de Poisson no drenada

9.8.6. Diseño Estructural

9.8.6.1. Ancho de Coronamiento

El ancho de la presa en el coronamiento se estimó con tres expresiones diferentes. Primero utilizando la fórmula siguiente del Bureau of Reclamation:

$$W = \frac{Z}{5} + 10$$

donde:

W = ancho del coronamiento, en pies

Z = altura de la presa, en pies

Aplicando la expresión anterior para Z = 180.45 pies (55.0 m) se obtiene un ancho de coronamiento de 46.1 pies que equivalen a 14.05 m.

Otra fórmula que se puede aplicar para estimar el ancho del coronamiento es la de la norma española de grandes presas que indica:

$$C = 3 + 1.5 \sqrt[3]{A - 15}$$

donde:

C = ancho del coronamiento, en metros

A = altura de la presa, en metros

Aplicando la fórmula anterior para una altura de 55.0 m se obtiene un ancho de coronamiento de 8.13 m. La norma además indica que en zonas de sismicidad alta (como en este caso) se debe aumentar la anchura del coronamiento en un 50%, lo que resulta en 12,20 m.

Los ingenieros Jorge Gálvez y Luis Vidal propusieron una expresión para determinar el ancho del coronamiento basándose en las grandes presas existentes en Chile, la expresión matemática es la siguiente:

$$b = -36 H^{-0.20} + 25$$

donde:

b = ancho de coronamiento en m.

H = altura de la presa en m

Aplicando la fórmula anterior se obtiene un ancho de coronamiento de 8,85 m. Para zona de sismicidad alta los autores proponen aumentar el ancho del coronamiento en un 25%, por lo que el ancho resultante es de 11,06 m.

Considerando la totalidad de los resultados anteriores, se ha optado conservadoramente por adoptar ancho de coronamiento de 14,0 m.

9.8.6.2. Cálculo de Estabilidad de la Presa

La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de aproximadamente V:H = 1,0:1,5 para ambos taludes.

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, con embalse vacío, se realizó con el programa de computación Slope/W utilizando el método de Janbu. Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada pseudoestática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1.0.

Para el cálculo de la aceleración de fluencia, se han considerado recomendaciones entregadas por distintos autores respecto de este tema, y que se presentaron anteriormente en el Cuadro 10.7.5.1-1.

Conservadoramente se ha adoptado $k_h=0,75 a_{max}/g$. Para estos efectos se ha considerado una aceleración máxima sísmica horizontal en el sitio igual a 0,20g; por lo que $K_h=0,15$.

Los factores mínimos de seguridad considerados en los cálculos, son de 1,5 en el caso estático y de 1,0 en el caso sísmico.

De los cálculos efectuados, con la metodología indicada, los factores de seguridad obtenidos son los mostrados en el Cuadro 10.8.6.2-1.

De los análisis realizados se concluye que los taludes adoptados para la presa, son adecuados desde el punto de vista estático y sísmico.

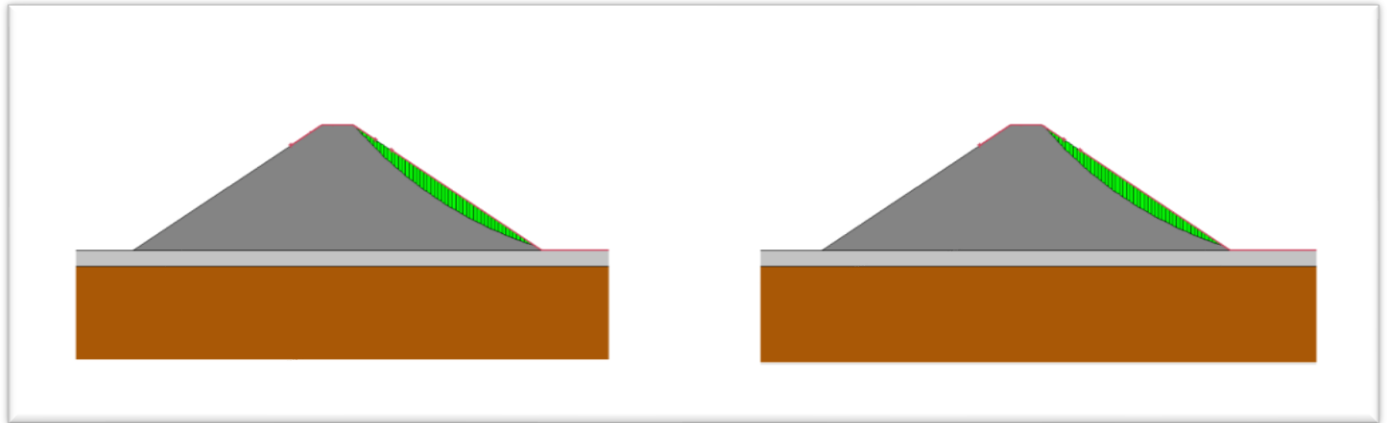
Respecto del caso del embalse lleno, el análisis de estabilidad efectuado entrega resultados mayores a los entregados. Una vez definida la profundidad de la pared moldeada o muro colado, se podría efectuar un nuevo análisis considerando los efectos de la subpresión.

CUADRO 9.8.6.2-1
FACTOR DE SEGURIDAD TALUDES PRESA

Coefficiente sísmico horizontal Kh	Factor de seguridad FS
0,00 (caso estático)	1,71
Kh = 0,15 (caso sísmico)	1,28
Ky=0,28 (fluencia)	1,014

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.8.6.2-1
SUPERFICIES DE FALLA ESTÁTICA Y SÍSMICA
(IZQUIERDA Y DERECHA RESPECTIVAMENTE)



Fuente: Elaboración Propia.

9.8.6.3. Makdisi y Seed

En el Anexo 10-3, se entregan los resultados del análisis para la determinación de los desplazamientos sísmicos esperados en la presa. Conservadoramente se ha considerado, un sismo de magnitud Richter 8,25, con el espectro de aceleraciones del registro de Viña del Mar S20W del sismo del 3 de marzo de 1985; ya que de acuerdo a mediciones realizadas, presentaría una aceleración máxima bastante mayor a las de un sismo cordillerano en caso de subducción (Saragoni, R., Gonzalez, P. Fressard, M. (1986). El Sismo de Marzo de 1985 fue obtenido del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile.

Utilizando el método de Makdisi y Seed y el espectro señalado se obtuvo un desplazamiento horizontal máximo de 1,76 cm, considerando un coeficiente de aceleración de fluencia de 0,28, por lo que se concluye que no se producirán daños de importancia en el cuerpo de la presa durante un sismo fuerte.

9.8.6.4. Inyecciones

Si se requiere o se estima necesario, en los estribos del muro, se realizarán inyecciones para el llenado de las grietas. Estas se realizarán en una línea, utilizando lechada de cemento, relación a/c = 0,7. La profundidad máxima de la inyección, disminuirá proporcionalmente con la altura de agua del embalse, partiendo en 20 m de profundidad en el valle, y disminuyendo a 10 m en los estribos.

La ejecución de las inyecciones se realizará después de construido el muro, desde el pie del muro. La presión de ejecución disminuirá en la zona de contacto Hormigón-Roca, de modo de evitar el levantamiento de la roca, frente al plinto.

De modo de llevar un control, con la inyección se deberá ejecutar con un número GIN constante (Presión de inyección por volumen inyectado). La dosificación recomendada para la inyección es la indicada en el Cuadro 10.8.6.4-1.

CUADRO 9.8.6.4-1
LECHA DE INYECCIÓN

Relación A / C 0,70 Dosificación para 1 Saco			
	kilos	Pe	Litros
Cemento	42,5	3	14,17
Agua	29,75	1	29,75
Rheobuild 1000 / 3%	1,275	1,22	1,05
Pozzolit 122 HE / 2%	0,85	1,22	0,7
Totales	74,375		45,67
Peso específico Teórico	1,575 gr/cm ³		
Viscosidad	32 a 36 s		
Decantación Max.	5%		
Resistencia a la compresión (Mpa)	20 (7días)	26 (14días)	30 (28 días)
Rheobuild 1000	Superplastificante		
Pozzolit	Reductor de agua		

Fuente: Elaboración Propia.

El rendimiento máximo recomendado es de 5 sacos de cemento por metro cúbico de mezcla es decir 228 L/m; por lo que el número GIN = 3.078 bar·L/m. Se deberá definir en terreno el espaciamiento horizontal entre filas de inyección, a través de pruebas cada 5,0 m, procediendo posteriormente a inyectar cada 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 m, se aprobara como mínimo una reducción del 75% de las inyecciones, en perforaciones contiguas.

Una vez definida la grilla de inyección, se ejecutarán inyecciones de prueba cada 20 m, con la misma razón agua/cemento y N° de GIN utilizado con anterioridad, por lo que debe existir un registro detallado de estos valores.

Si bien el método GIN es auto-regulante en función de la calidad de la roca o suelo cementado, es oportuno como regla general desarrollar un programa de ensayos preliminares para definir los parámetros esenciales (Valor GIN, distancia taladros, etc.) en cada una de las zonas geológicas y geomecánicas interesadas por la inyección. En lo posible los tramos de prueba serán incorporados en la obra definitiva ya que a no haber llegado a los resultados esperados, siempre se puede completar en tratamiento con inyecciones adicionales.

9.8.7. Diseño Hidráulico

A continuación, en los Cuadros 10.8.7-1 y 10.8.7-2, se resumen las características hidráulicas de cada una de las alternativas de altura de muro. En particular se obtuvieron:

- Diseños hidráulico de Obras de Evacuación de Crecidas
 - Revancha del Embalse proyectado

- Canal Colector y Grada
- Canal de Descarga
- Rápido de Descarga
- Disipador de Energía
- Diseño hidráulico de Obras Anexas
 - Obra de Captación y Entrega
 - Túnel de Desvío y Ataguía

CUADRO 9.8.7-1
RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS
OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro		
		35 m	45 m	55 m
Caudales	Qd = Caudal de Diseño (m ³ /s)	520		
	Qv = Caudal de Verificación (m ³ /s)	1.353		
Revancha del Embalse proyectado	Tipo Vertedero (Forma)	Ogee		
	Largo Vertedero Lateral (m)	45		
	Revancha por Carga, Qd (m)	2,81		
	Revancha por Asentamiento (m)	0,35	0,45	0,55
	Revancha por Oleaje (m)	1,3		
	Rt = Revancha Total (m)	4,5	4,6	4,7
	Rqv = Revancha por Carga, Qv (m)	5,25		
	Revancha Adoptada Máx(Rt,Rqv) (m)	5,3		
Canal Colector	Largo (m)	45		
	Pendiente (m/m)	Sin Pendiente		
	Ancho base Inicial (m)	5		
	Ancho base Final (m)	15		
	Taludes (H:V)	0,5		
Canal Colector	Altura (m)	12,3		
	Cota Fondo (m)	2.914	2.924	2.934
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico		
Grada	Largo (m)	8		
	Base (m)	15		
	Altura "a" (m)	1		
Canal de Descarga	Largo (m)	127	147	187
	Base (m)	15		
	Taludes (H:V)	Sin Taludes		
	Pendiente (m/m)	0,003		
	Altura de escurrimiento máx (m), Qd	5,27	5,28	6,34
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico		
Rápido de	Largo (m)	120	100	120

**CUADRO 9.8.7-1
RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS
OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS**

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro		
		35 m	45 m	55 m
Descarga	Altura (m)	32	42	52
	Pendiente (m/m)	0,27	0,42	0,43
	Base (m)	15,00		
	velocidad máx (m/s), Qd, n=0,011	25,80	29,04	31,43
	N° Froude al pie del rápido, Qd, n =0,011	7,11	8,49	9,56
	Altura de escurrimiento máx (m) = altura crítica	4,97		
	Altura de escurrimiento mín (m), n =0,018	1,7	1,51	1,43
Disipador de Energía	Tipo de Disipador	Tanque Tipo III USBR		
	Largo (m)	64	70	74
	Base (m)	15		
	Escalón (m)	12	14	15
	Altura conjugada, Qd (m)	14,8	16,3	17,2

Fuente: Elaboración Propia.

**CUADRO 9.8.7-2
RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS
OBRAS ANEXAS**

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro		
		35 m	45 m	55 m
Caudales	Caudal de Riego E1-Alt3 (L/s)	860	1000	1042
	Caudal de Riego E1-Alt4 (L/s)	791	921	960
	Caudal de Riego E2-Alt3 (L/s)	1051	1201	1329
	Caudal de Riego E2-Alt4 (L/s)	969	1106	1224
	Qdtd = Caudal de diseño Túnel de Desvío (m ³ /s)	58		
Obra de Captación y Entrega	Altura Torre de Captación (m)	30		
	Largo Trazado Tubería de Captación (m)	246	238	205
	Diámetro Tubería Acero E1-Alt3 (mm)	515	515	515
	Diámetro Tubería Acero E1-Alt4 (mm)	464	515	515
	Diámetro Tubería Acero E2-Alt3 (mm)	566	566	616
	Diámetro Tubería Acero E2-Alt4 (mm)	515	566	566
Túnel de Desvío	Tipo de Sección	Túnel Medio Punto		
	Dimensiones	3,6X3,6		
	Largo (m)	220		
	Altura de Muro vertical del túnel al (m)	1,8		
	Radio (m)	1,8		
	Pendiente (m/m)	0,01		
Base (m)	1,8			

CUADRO 9.8.7-2
RESUMEN DE DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS
OBRAS ANEXAS

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de altura de Muro		
		35 m	45 m	55 m
	velocidad escurrimiento, Qdtd (m/s)	5,78		
	Altura de escurrimiento, Qdtd (m)	2,85		
Ataguía	Material	Empréstitos extraídos del río		
	Sección	Trapezoidal		
	Altura (m)	3,4		
	Taludes (H:V)	0,5		
	Largo (m)	110		
	Ancho Coronamiento (m)	1,0		

Fuente: Elaboración Propia.

9.9. DISEÑO RED DE CANALES

9.9.1. Alternativas de Diseño

De acuerdo con el estudio se han realizado los mejoramientos de la red de canales existentes y se han desarrollado los diseños de la infraestructura proyectada para todas las alternativas de mejoramiento establecidas.

9.9.2. Tipo de Obras a Mejorar

En el Cuadro 10.9.2-1 se incluyen las obras a las cuales se les proyectan mejoras.

CUADRO 9.9.2-1 TIPO DE OBRAS A MEJORAR

N°	Codificación	Tipos de Obras	Mejoramiento
1	CO	Compuertas	Reposición, mantención y reemplazo de compuertas
2	CA	Cámaras de Inspección	Reposición y mantención de cámaras de inspección
3	TR	Tramos de Canal	Reposición mejoramiento de tramos de canal
4	OA	Obras de Atraveso	Construcción de obras de atraveso
5	BO	Bocatomas	Mejoramiento bocatoma
6	OD	Desagües	Mejoramiento y construcción de desagües
7	OE	Tranques Nocturnos	Construcción de tranques nocturnos proyectados
8	SI	Sifones	Construcción de sifones proyectados

Fuente: Elaboración Propia.

9.9.3. Criterios de Diseño

Se definieron los criterios para los diferentes tipos de obras a las que se les proyectaron mejoramientos.

Compuertas. Se consideraron compuertas metálicas con pintura antioxidante, de dimensiones no mayores a los 1 x 1,2 m, ya que para tamaños mayores el manejo de la compuerta (acción de abrir o cerrar) se complica, en especial si es un sólo operador.

- En el caso de que la compuerta presente pandeo o deterioro del riel se reemplaza por una nueva. Si la compuerta presenta oxido en su hoja se rehabilita mediante una mantención y pintado.
- Si existe una compuerta con medidas mayores a las definidas en el punto anterior, se reemplaza por compuertas de menores dimensiones, que cumplan con lo solicitado.

Cámaras de Inspección. Se considera que las cámaras deben estar en buenas condiciones, esto quiere decir, que el acceso sea seguro para los operarios y que posea una tapa que evite el ingreso de objetos extraños e ella.

- En caso de que la cámara no presente una tapa o este en mal estado, se repone por otra metálica de dimensiones similares a la extraviada.
- En caso de que las escalinatas estén en mal estado se cambian por nuevas.

Tramos de Canal. Se proyectan mejoras en los tramos que presenten problemas de revestimiento, embancamiento y capacidad insuficiente para transportar el agua de riego definida según los derechos de aprovechamiento u otro tipo de repartición del recurso.

Se considera que todos los canales deben estar revestidos, esto quiere decir que en los tramos de canal en tierra, se proyectó un revestimiento de hormigón y en sección cuadrada tipo (0,3 mx0,3 m) mínima que facilite su construcción.

- Se considera la reparación de los tramos con daños en sus paredes o radier por medio de un nuevo revestimiento de hormigón o de mampostería. Se mantendrá la sección original del canal.
- En tramos expuestos al derrame de gran cantidad de sedimentos se considera la colocación de losetas para cubrir el canal. Si el ancho mayor del canal superaba los 0,8 m se utilizarán tuberías de hormigón o cajones.
- En los tramos con problemas de capacidad se considera peraltar las paredes del canal.
- Se considera cubrir con tierra los tramos de canal entubados que están expuestos a desprendimientos de bolones que pueden provocar roturas en su trazado.

Obras de Atraveso (Cruces de Quebradas). Se proyecta el mejoramiento o construcción de atravesos por medio de puentes de hormigón que permiten el paso del agua de la quebrada sin causar daños al canal que cruzan:

- La longitud de la obra será acorde al ancho de la quebrada.
- Se consideran barandas de acceso y sobre el canal para encauzar el flujo de agua.
- Se considera un radier de protección del canal para evitar daños por efecto de la socavación. Esta protección se proyecta con bolones de 4 a 5" consolidadas por un hormigón pobre.
- En el caso de que no exista un desagüe de la quebrada hacia el río, se considera la proyección de un canal de tierra o revestido según sea el caso.

Bocatoma. La captación debe contar con una compuerta que evite la entrada de las aguas de crecidas y con un desagüe hacia el río. Su canal de acceso será móvil.

- La compuerta de cumplir con las exigencias indicadas anteriormente.

Desagües. Se proyecta la reparación y construcción de desagües que permitan la descarga de las aguas transportadas por los canales al río.

- En el caso de que su trazado haya sido afectado por la construcción de pretilas de protección del río, se instalará una tubería de HDPE o SPIROPECC con la mayor

pendiente que permita el terreno y un ángulo de entrada de la tubería al río que evite el retorno del agua por la conducción en caso de crecidas.

- En el caso de que exista un tramo de canal con problemas de capacidad y un fácil acceso al río se incluirá un desagüe con un vertedero de demasías.
- En el caso de que presente daños se repondrá utilizando productos sellantes.

Tranques Nocturnos. Debido a que no se permite el riego durante la noche, de 8 PM a 8 AM, en la red de distribución de los canales de San Pedro, se considera la construcción de tranques que acumulen el volumen de agua nocturno.

- El volumen de agua debe ser menor o igual al caudal captado por el canal durante el turno de noche.
- Sus muros serán de tierra con un talud de 1:1. El ancho de coronamiento será igual a 1 m.
- Las dimensiones, largo y ancho, se calcularán de acuerdo a la diferencia de cota disponible entre la entrada y salida del tranque y al volumen de agua que se desee acumular.
- Se considera la impermeabilización del tranque por medio de una membrana de HDPE. Se incluye una cama de arena de 20 cm en la cual se apoyará el geotextil impermeable.
- La ubicación del tranque debe estar resguardada de las crecidas del río para periodos de retorno menores a los 200 años.

Sifones. Se proyecta la construcción de sifones con el fin de conectar la red de canales existente. Los cálculos de socavación de estas obras se encuentran en el Anexo 10-5.

- Se debe considerar una cámara de carga antes y después del cruce del canal de dimensiones 1 x 1.
- La conducción será en tubería de hormigón prefabricada o in situ, de diámetro interior igual o mayor a los 600 mm.
- La profundidad del sifón estará acorde a los resultados obtenidos de la socavación general del lecho del río para periodos de retorno igual a 100 y 200 años. Los métodos para calcular la socavación general serán Lischtván Letvediev-Maza y el de la USBR.

- Se protegerá el sifón por medio de un consolidado de protección (mortero y bolones) de 20 cm, que se ubicará sobre la conducción subterránea.
- Se incluye una rejilla a la entrada de y salida del sifón que evite el ingreso de objetos que impidan el buen funcionamiento de este.

9.9.4. Mejoramiento de Infraestructura Alternativas sin Embalse

Se realizó una revisión en terreno del estado de los canales matrices pertenecientes a la red de distribución de riego de San Pedro de Atacama con el fin de detectar posibles problemas y proponer mejoramientos a la infraestructura que permitan la optimización del recurso hídrico. Dicha información se encuentra en el Capítulo 6 Estudios Básicos. En el Cuadro 10.9.4-1 se resumen la cantidad y longitud de mejoramientos propuestos. En el Anexo 10-6 se encuentra la información referente a diseños y cubicaciones.

CUADRO 9.9.4-1
NÚMERO Y LONGITUD DE MEJORAMIENTOS

Tipo	Unidad	Canales								Total (m)	Número Total
		CU	PA	CA	TA	NA	H U	BE	SP		
Compuertas	uni	4	11		3	2			6		26
Cámaras de Inspección	uni	3									3
Tramos de Canal	uni	1	6	1	1		1	3	8		21
	(m)	510	235	42	360		20	24 2	685	2.094	
Bocatoma	uni	1									1
Cruces de Quebrada	uni		3		1			3			7
	(m)		75		30			34		139	
Desagües	uni	1		1		1		4	5		12
	(m)	83		15		8		20 2	210	518	
Tranques Nocturnos	uni	1							2		3
	(m³)	5.500							*44.74 0		
Sifones	uni	1			1	1		1			4
	(m)	163			208	15 3		83		607	
Canal de Sifón	(m)	190			156	-		82		428	
Total										3.786	77

Nota: El volumen * se divide en 32.640 m³ y 12.100 m³

Fuente: Elaboración Propia.

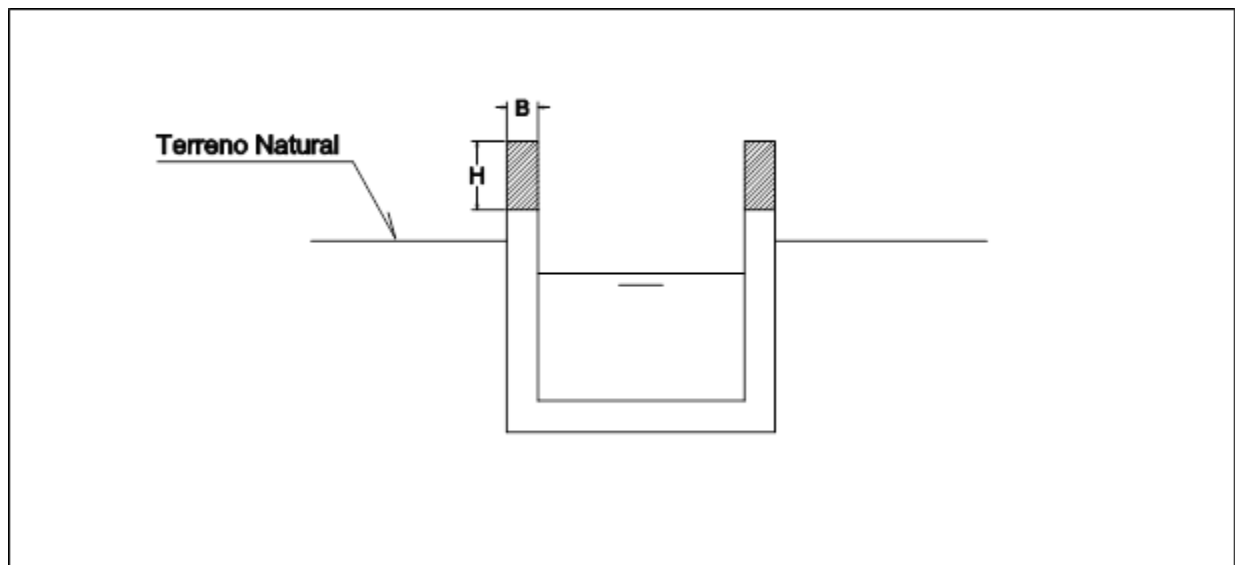
9.9.5. Mejoramiento de Infraestructura Alternativas con Embalse

En las alternativas que consideran la construcción de un embalse se ha propuesto la unificación de los canales y mejoramiento de infraestructura, pero además se debe considerar si los canales son capaces de portear el caudal de demanda que estos embalses proporcionarán. Es por esta razón que se ha verificado cada canal para una demanda de riego máxima correspondiente a un caudal de aprovechamiento de $Q=1.113 \text{ L/s}$.

La metodología para realizar este proceso ya fue propuesta en la Capítulo 6 Estudios Básicos, y ahora en este acápite se mostrarán los resultados y serán cuantificados para poder determinar el costo preliminar de esta ampliación de los canales, en caso que fuese necesario.

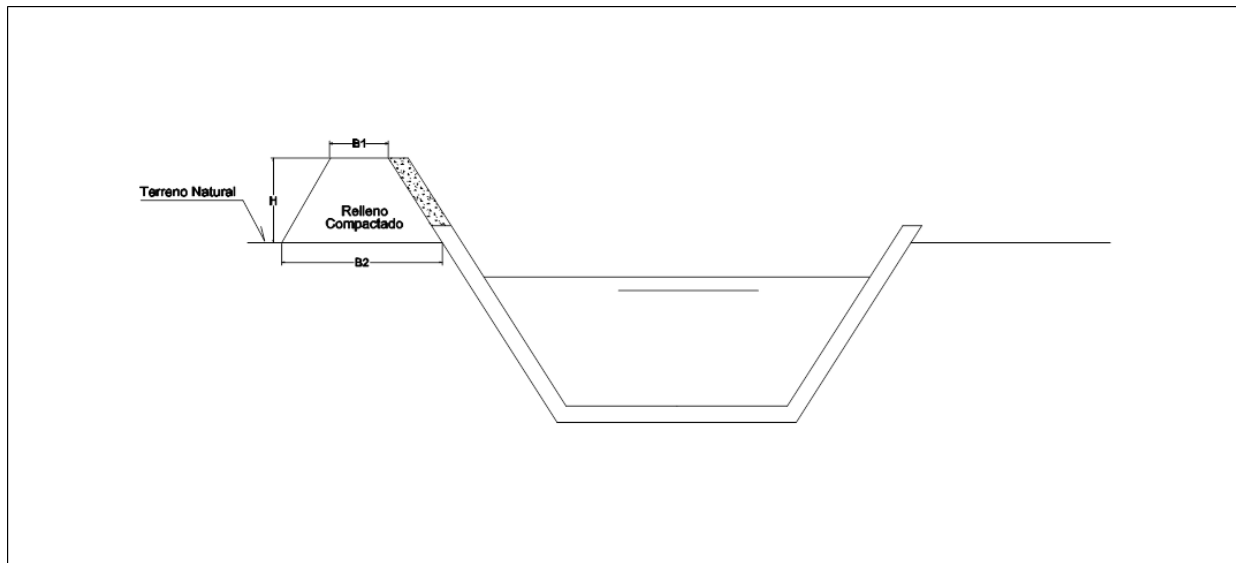
Se han propuesto los siguientes tipos de ampliación para los canales, en la Figura 10.9.5-1 para los canales revestidos completamente y con sección rectangular, Figura 10.9.5-2 para los canales con sección trapezoidal y construidos en mampostería de piedra y Figura 10.9.5-1 para los canales construidos con secciones irregulares y construidos en tierra (aplica a canales secundarios, principalmente).

FIGURA 9.9.5-1
SOLUCIÓN PROPUESTA PARA CANALES RECTANGULARES



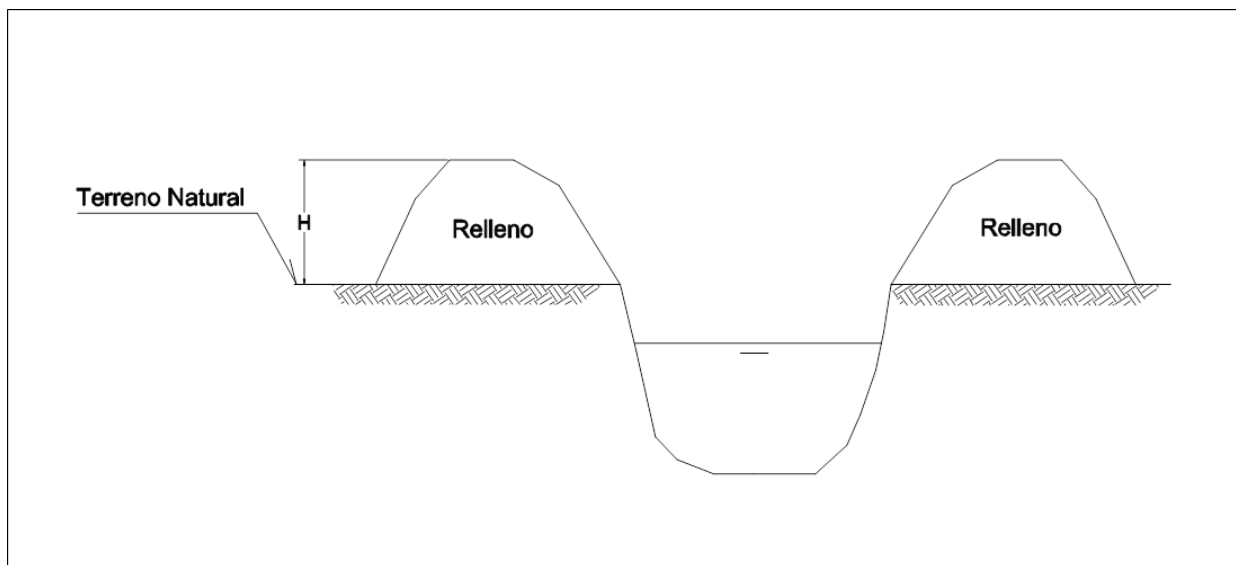
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.9.5-2
SOLUCIÓN PROPUESTA PARA CANALES TRAPEZOIDALES



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.9.5-3
SOLUCIÓN PROPUESTA PARA CANALES SECCION IRREGULAR



Fuente: Elaboración Propia.

Las cubicaciones se pueden encontrar en el Anexo 10-6 de este informe. El resumen de las cubicaciones se muestra en el Cuadro 10.9.5-1.

CUADRO 9.9.5-1 RESUMEN DE AMPLIACIÓN DE CANALES MATRICES

Canal	Cuchabrache	Huachar	Patilla	Catarpe	San Pedro	Coyo	Solo r
Excavaciones en material común (m ³)	138,0	41,2					
Excavaciones en material rocoso (m ³)	15,3	4,6					
Relleno compactado (m ³)	15,3	4,6			1271,2	202,8	937,5
Hormigón (m ³)	225,0	110,0	4,5	85,6	115,9	17,8	125,0

Fuente: Elaboración Propia.

9.9.6. Mejoramiento Red Secundaria

Para el mejoramiento de la red secundaria se considerará el revestimiento completo de dicha red, debido a que los canales secundarios, en su mayoría, están contruidos con losetas de hormigón armado, que están en malas condiciones, y en tramos de tierra. Este tipo de conducciones es muy desfavorable para el riego, en cuanto a pérdidas de infiltración se refiere, y la única forma efectiva de solucionar el problema es revestirlos.

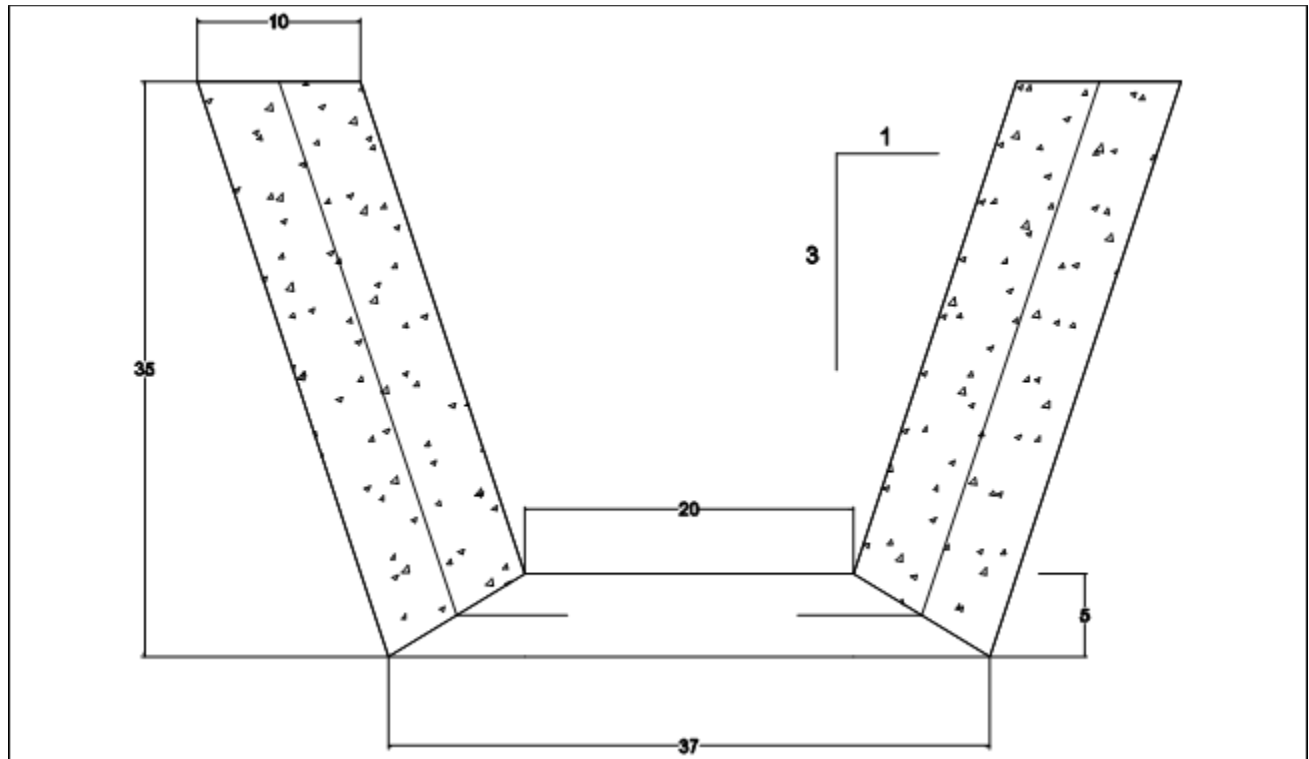
Analizando los antecedentes recopilados, el Estudio realizado por RyQ se realizó un catastro completo de los canales de San Pedro. Este catastro es muy antiguo (1995) y es muy posible que lo que se indica en él, ya sea, tipos de revestimiento, estados de los canales, compuertas y otras características, estén completamente obsoletas.

Existe otro estudio que se denomina "Estudio Parámetros Hidráulicos Canal San Pedro y Sus Derivados - 2009" ejecutado por la "Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama", en el cual se ha realizado un catastro mucho más actualizado de los canales. De este estudio se ha rescatado lo siguiente: "La suma de los canales secundarios es de 12.419,6 metros, de los cuales 1.360 metros no debieran ser intervenidos, ya que corresponden a los canales Patilla y Naranjo del Grupo 1, los cuales han sido intervenidos en prácticamente toda su extensión y a pesar que existen algunos sectores con problemas de diseño, se cree que no es necesario priorizarlos en este instante pues el revestimiento se encuentra en buen estado. De esta manera se deben intervenir 11.059,6 metros de canal entre los distintos Grupos de Riego de La Asociación."

Respecto de lo anteriormente mencionado, en total, la red secundaria de canales tendría unos 11 kilómetros de extensión, sin embargo, existe la posibilidad que se hayan construido nuevos canales, desde este catastro que se realizó, de modo que se considerará para la cubicación del revestimiento de los canales, una longitud de 12 kilómetros.

Se utilizarán losetas de hormigón armado de 0,25x0,1x1 metros para el revestimiento. Estas tendrán las siguientes características de instalación, indicadas en la Figura 10.9.6-1

FIGURA 9.9.6-1
LOSETAS DE HORMIGÓN ARMADO PARA REVESTIMIENTO



Fuente: Elaboración Propia.

Se considerará, también, la instalación de una compuerta nueva de entrega en cada uno de los canales derivados.

9.10. DISEÑO TRANQUES NOCTURNOS

El actual sistema de distribución del valle del río San Pedro consta de 3 tranques de regulación que son utilizados para almacenar aguas durante la noche. Esta medida se adoptó debido a que durante la noche se realizaba el uso indebido del agua lo que generaba molestia entre los regantes. Los Tranques que existen en la actualidad son:

- Tranque Huachar, capacidad cercana a los 32.000 m³
- Tranque Solor, capacidad cercana a los 21.000 m³
- Tranque Grupo Siete, capacidad cercana a los 450 m³

Con la actual infraestructura no es posible regular las aguas de los canales que se encuentran aguas arriba del tranque Huachar, es decir, los canales Cuchabrache, Patilla, Catarpe y Tambillo. Los canales Huachar y Bellavistas ubicados en sector del tranque tampoco poseen regulación.

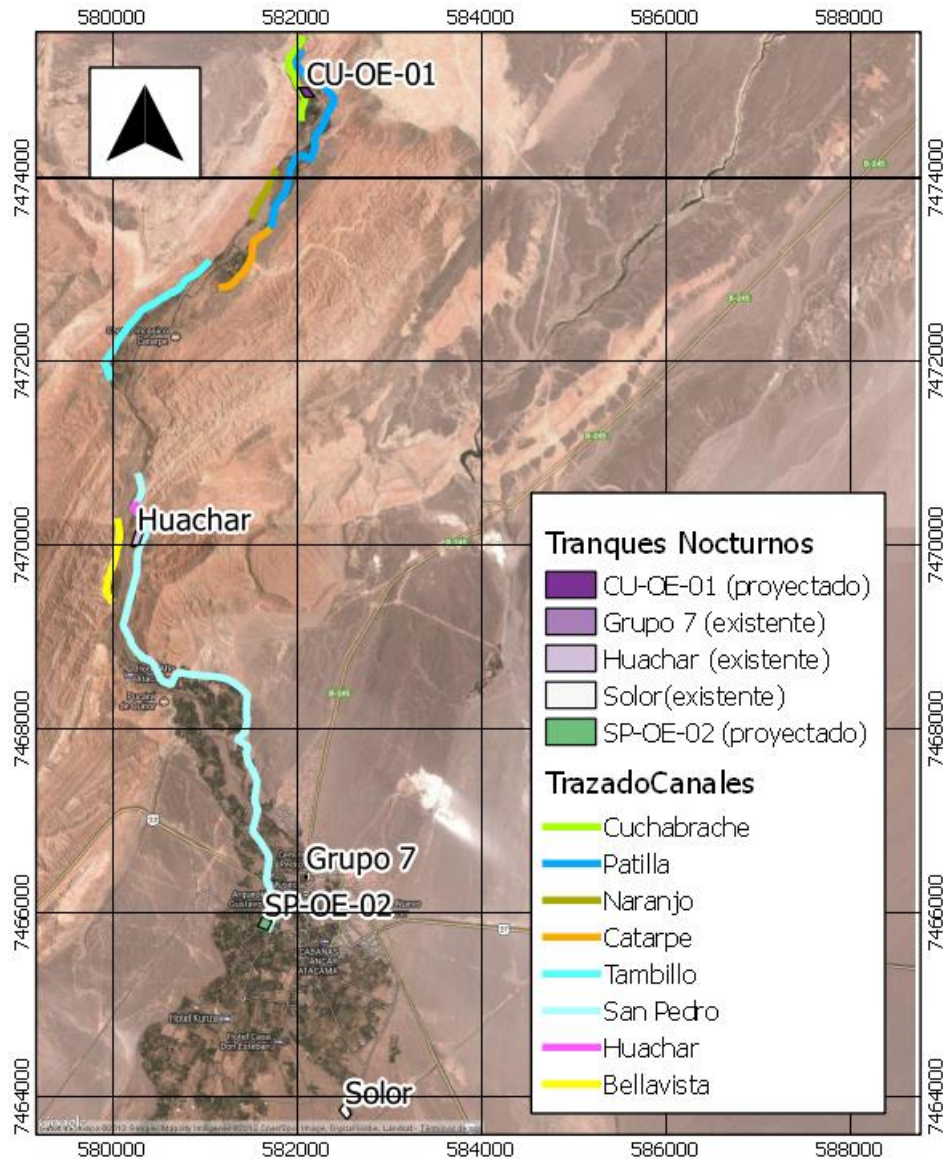
Similar situación se presenta para el sector de Coyo (desde el marco partidor Mamani hacia aguas abajo) el cual no posee un tranque para regular sus aguas.

Conocidos los antecedentes anteriores se propone incluir los siguientes tranques:

- Tranque Cuchabrache (CU-OE-01), de capacidad igual a 7.300 m³ capaz de regular las aguas de los canales Cuchabrache, Patilla, Catarpe y Tambillo.
- Tranque Coyo (SP-OE-01), de capacidad igual a 14.900 m³, para regular y controlar las entregas hacia el sector de Coyo.

En el Cuadro 10.10-1 se resumen los parámetros más relevantes de las obras de acumulación. En la Figura 10.10-1 se presenta un mapa general con la ubicación de los tranques existentes y proyectados. En la Figura 10.10-2 se muestra la ubicación propuesta para el tranque Cuchabrache.

FIGURA 9.10-1
UBICACIÓN DE TRANQUES NOCTURNOS EXISTENTES Y PROYECTADOS



Fuente: Elaboración Propia., a partir de QGIS.

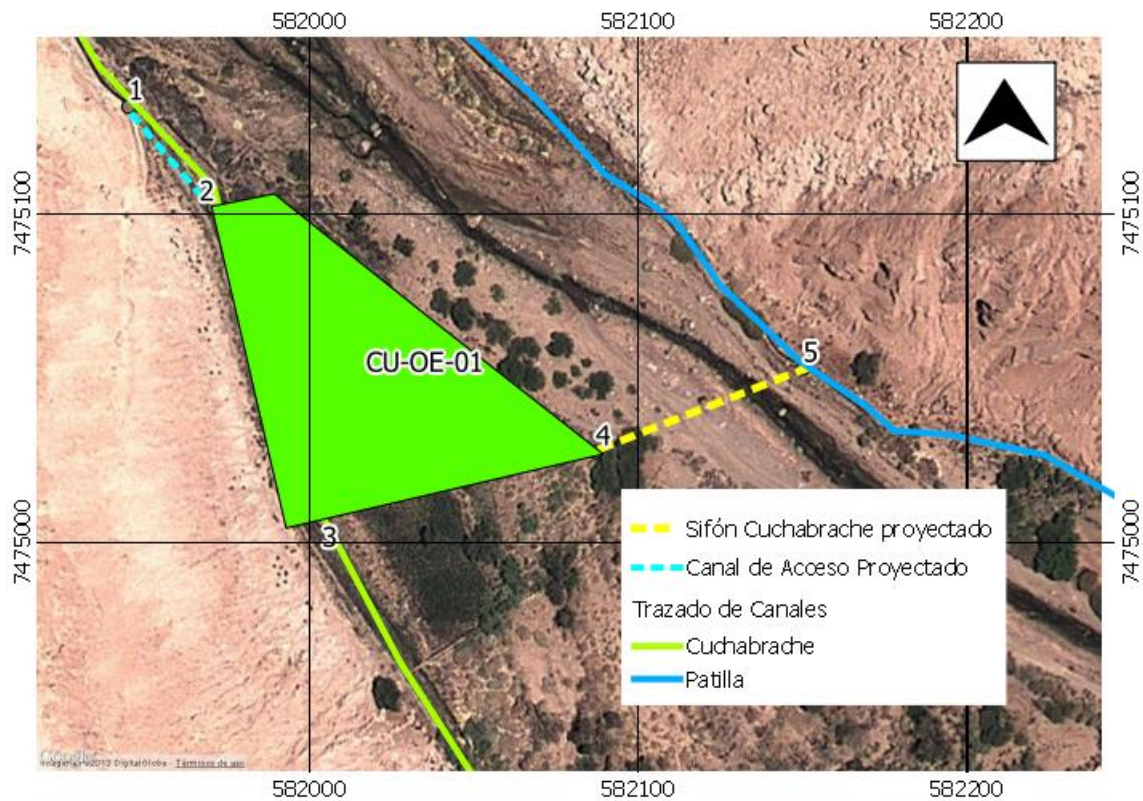
Con el fin de mostrar en detalle la ubicación de los tranques proyectados y los canales trazados para su alimentación y descarga se presentan las Figuras 10.10-2 y 10.10-3. Además se agrega el Cuadro 10.10-2 en donde se indica el kilometraje de captación y entrega de los canales involucrados.

CUADRO 9.10-1 TRANQUES DE REGULACIÓN NOCTURNA PROPUESTOS

CÓDIGO	OBRA TRANQUE NOCTURNO						
	Acción	Ancho Medio (m)	Largo Medio (m)	Alto (m)	Volumen (m)	Cota entrada (m)	Cota salida (m)
CU-OE-01	Construir	60	100	1,2	7.300	2.540,01	2.538,79
SP-OE-02	Construir	54	110	2,5	14.900	2.431,51	2.428,99

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.10-2
TRANQUE NOCTURNO CUCHABRACHE (CU-OA-01) PROYECTADO



1: Captación en Canal Cuchabrache Km 0,4; **2:** Descarga a Tranque Nocturno Proyectado; **3:** Entrega a canal Cuchabrache; **4:** Entrega a Sifón CU-SI-01; **5:** Entrega a canal Patilla

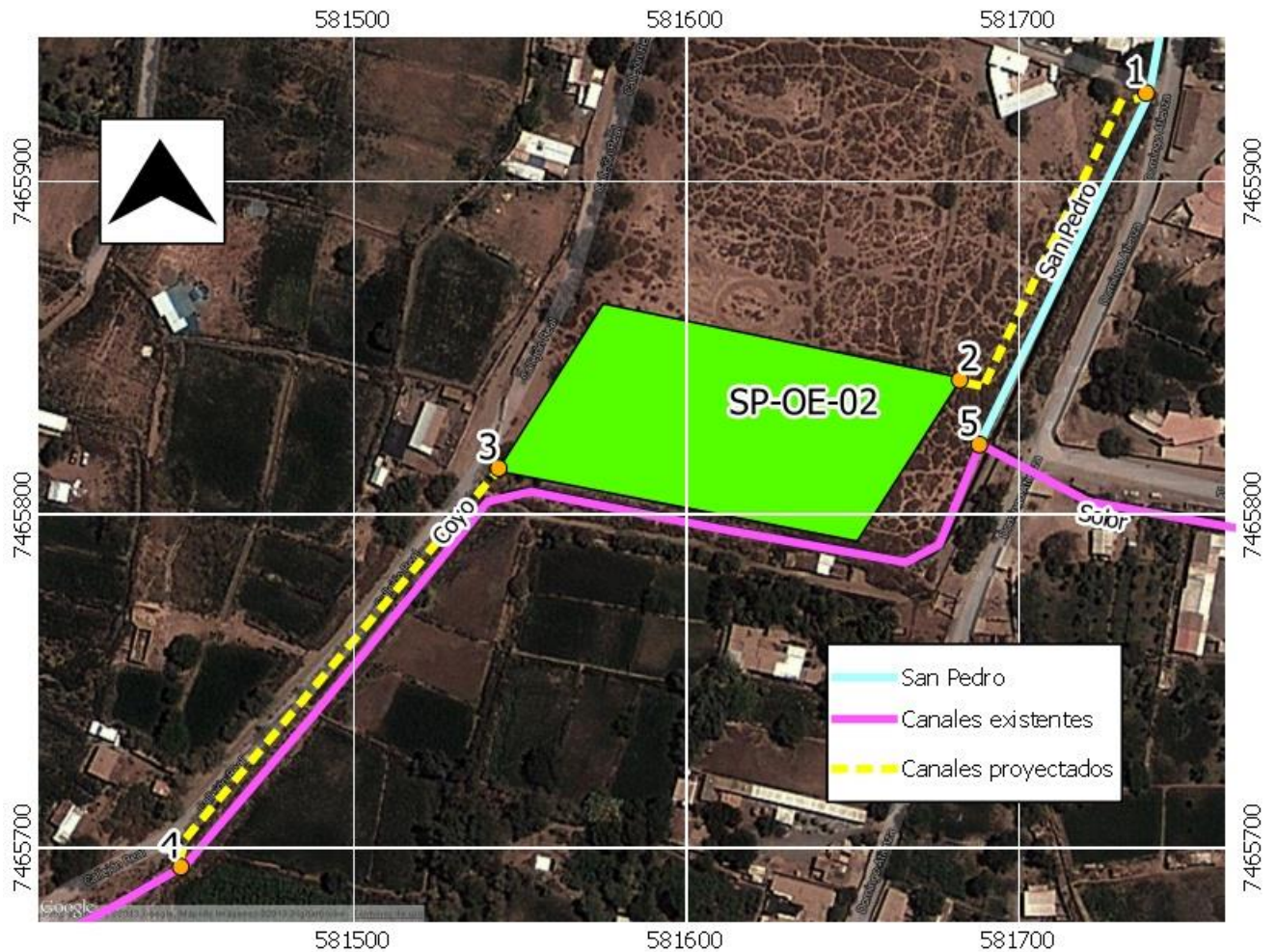
Fuente: Elaboración Propia., a partir de QGis.

CUADRO 9.10-2
PUNTOS DE CAPTACIÓN Y ENTREGA

CÓDIGO	CANAL	Km	DESCRIPCION
CU-OE-01	Cuchabrache	0,400	Captación y Canal para Tranque
	Cuchabrache	0,540	Entrega del Tranque
	Patilla	0,300	Entrega a Sifón CU-SI-01
SP-OE-02	San Pedro	5,620	Captación y Canal para Tranque
	Coyo	0,320	Entrega Canal Coyo

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.10-3
TRANQUE NOCTURNO COYO (SP-OA-02) PROYECTADO



1: Captación en Canal San Pedro Km 5,62; 2: Descarga a Tranque Nocturno Projectado; 3: Canal de entrega; 4: Entrega a Sifón canal Coyo; 5: Marco Partidor Mamani.

Fuente: Elaboración Propia., a partir de QGis.

Cabe indicar que las entregas existentes entre el punto 5 y el 4 serán abastecidas por el tramo existente del canal Coyo.

Los cálculos y cubicaciones se encuentran en el Anexo 10-6. Los diseños se presentan en los Planos MJC-SPA-01 y MJC-SPA-16

9.11. MINI CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

9.11.1. Introducción

Como este estudio es de un embalse multipropósito en este capítulo se informará sobre las posibles alternativas de generación hidroeléctrica que tenga el embalse, para las distintas alternativas de muro, considerando una minicentral a la entrada de San Pedro. Se hace

notar que no se consideró una minicentral al pie de embalse, ya que se pierde la carga de generación, con lo cual la energía generada es baja, además que no hay centros de consumo cercanos, por lo que se requiere una línea de gran longitud.

Se hace notar que a este nivel de prefactibilidad, no se desarrolla un diseño de las componentes de las MCH, sino que sólo se determina su caudal de diseño y altura de caída.

9.11.2. Cálculo de Potencia Eléctrica Estimada

En términos generales, la potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

$$P = 9,81 \cdot Q_{\text{diseño}} \cdot H_{\text{neta}} \cdot \eta_{\text{global}}$$

Donde:

$Q_{\text{diseño}}$ es el caudal de diseño (m^3/s)

H_{neta} es la altura neta (altura bruta -pérdidas) (m)

η_{global} es la eficiencia global (%)

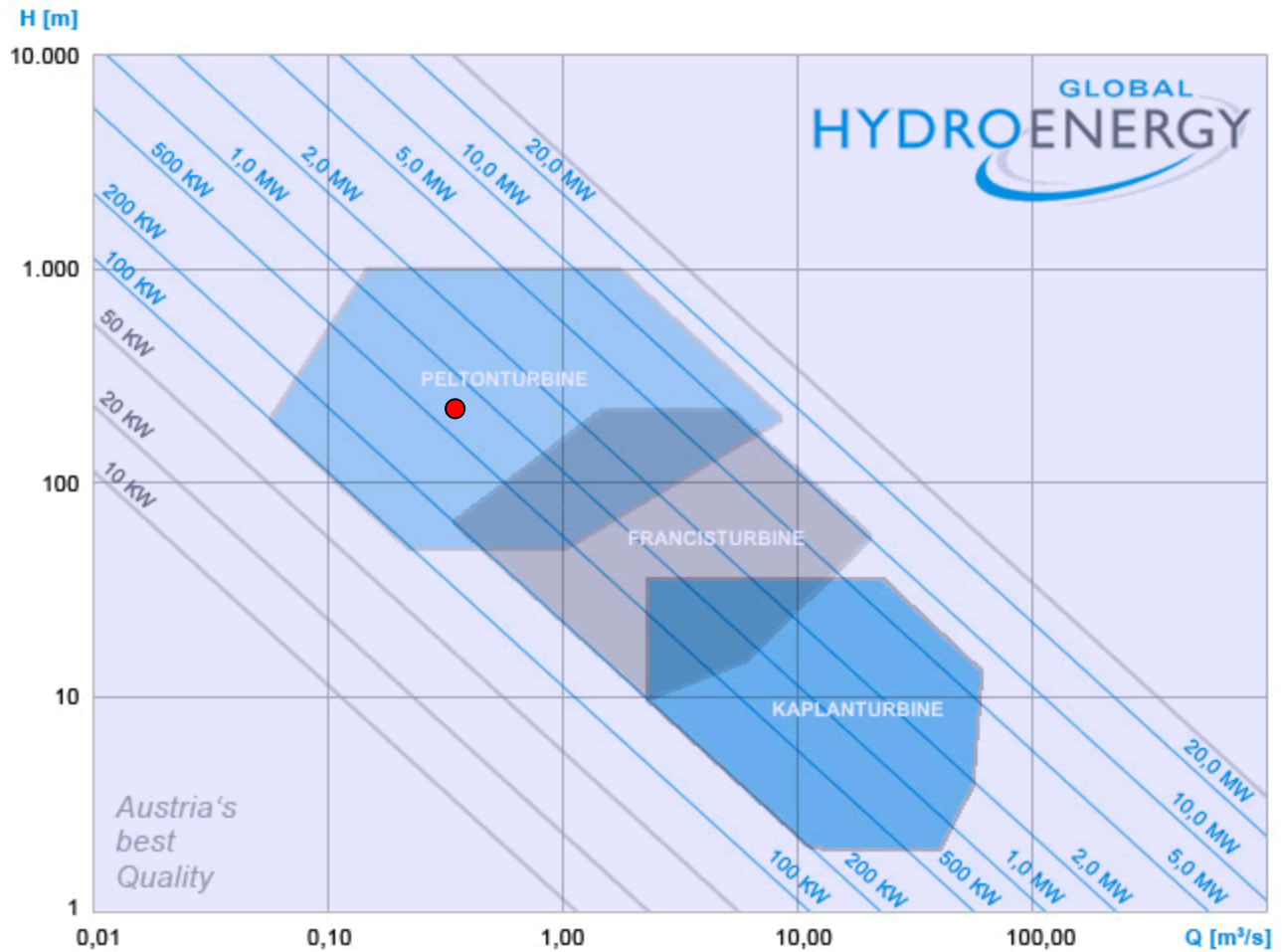
La eficiencia global está dada por:

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{turbina}} \eta_{\text{generador}} \eta_{\text{transformador}}$$

En forma conservadora se adoptó como eficiencia del generador y del transformador un 98%.

La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. Para esto se debe determinar en primer lugar el tipo de turbina. Para esto se utiliza la Figura 10.11.2-1 en la que se muestran diferentes tipos de turbina y sus puntos de operación. La zona en la que se ubica la turbina corresponde a una turbina tipo Pelton. Para este tipo de turbinas, la eficiencia viene dada por la Figura 10.11.2-2.

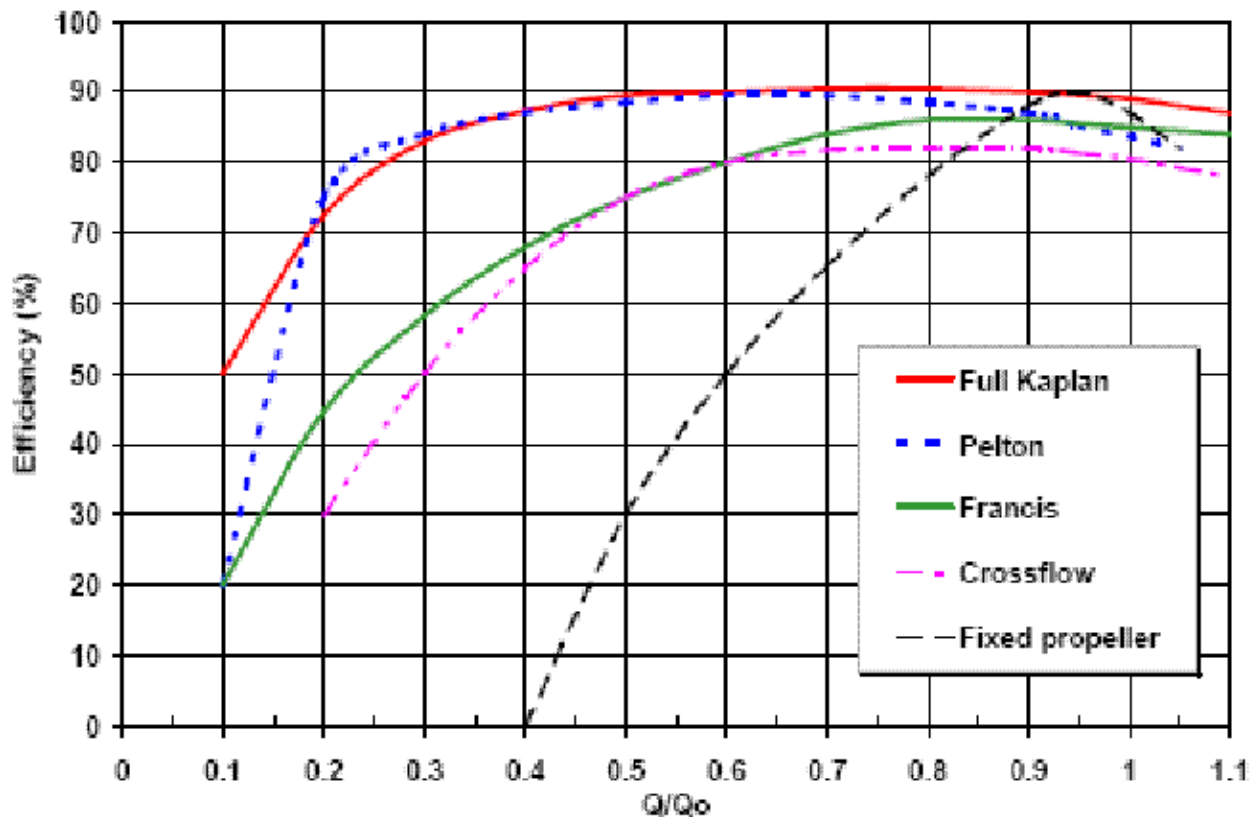
FIGURA 9.11.2-1 SELECCIÓN TIPO TURBINA



Fuente: <http://www.hydro-energy.com/en/information-center/turbine-calculator/>

Como el tramo de la tubería de entrega de agua, desde la torre de toma hasta la salida en la turbina es relativamente corto, se adoptó que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

FIGURA 9.11.2-2
EFICIENCIA TURBINA



Fuente: <http://www.hydro-energy.com/en/information-center/turbine-calculator/>

Para realizar el cálculo se utilizó el modelo de simulación operacional del valle con el cual se obtuvo la estadística de caudales medios mensuales turbinables al pie de la presa para todo el periodo de simulación. Se consideraron las siguientes condicionantes:

- a. Las condiciones mínimas para generar corresponde a tener un caudal mínimo de generación correspondiente a un 10% del caudal de diseño de la turbina
- b. Altura de caída mínima correspondiente a un 30% de la altura de caída de diseño

9.11.3. Cálculo Potencial Asociado a Diferentes Alternativas

En el Cuadro 10.11.3-1 se resumen los resultados del modelo de simulación, en relación con la generación posible de realizar con una central a pie de embalse, cuya operación está supeditada a la operación del embalse para riego.

CUADRO 9.11.3-1

EVALUACIÓN POTENCIAL HIDROGENERACIÓN POR ALTERNATIVA

Alternativa	Q Diseño (L/s)	Carga Total (m)	Potencia Instalada (kW)	Energía Media (kWh/año)	Factor de Planta (%)
1a	10,9	123,0	9,8	85.984,3	99,60
1b	11,3	306,8	25,4	221.769,1	99,60
2	77,9	287,5	164,8	1.020.419,9	70,64
3-0	62,4	267,8	123,0	756.839,8	70,22
3-1	72,0	284,8	150,8	929.367,9	70,29
3-2	88,0	290,0	187,7	1.192.065,9	72,47
3-3	126,9	295,8	276,3	1.827.309,7	75,45
3-4	174,8	280,0	360,0	2.447.795,9	77,56
3-5	279,6	267,8	550,8	3.865.657,4	80,06

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados muestran que las mejores alternativas de generación están asociadas a la Alternativa 3, que considera un embalse. Se hace notar que para la alternativa 4 no se incluye su análisis de hidrogenación, ya que su trazado requiere obras adicionales de alto costo, como es la instalación de una tubería blindada y otros elementos que hacen la MCH inviable.

9.11.4. Costos

En el Estudio "Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama" para la CNR se analizaron 6 alternativas de MCH según los escenarios de altura de muros analizados. A partir de dicho análisis, se obtuvo el costo total de las obras asociadas a la MCH sin su costo asociado a la transmisión, según se muestra en el Cuadro 10.11.4-1.

Para estimar los costos de transmisión, se consultó el precio unitario de la línea del estudio "Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua", dicho precio fue de US\$ 25.000/km, valor que se adopta para este proyecto.

Con esta información se obtienen los costos mostrados en el Cuadro 10.11.4-2, tomando en cuenta que la MCH se encuentra a no más de 1 km de San Pedro de Atacama.

CUADRO 9.11.4-1
COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE MCH EL CARMEN

P instalada (kW)	Costo Total (U\$)
104	420.367
157	627.937
194	703.298
228	753.104
289	1.110.211
316	1.171.550

Fuente: Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama

CUADRO 9.11.4-2
COSTOS ALTERNATIVAS DE MCH SAN PEDRO

Alternativa	Potencia Instalada (kW)	Costo Total (US\$)	Costo Línea (US\$)	Costo Total (US\$)
1a	9,8	287.771,9	20.000,0	307.771,9
1b	25,4	309.630,3	20.000,0	329.630,3
2	164,8	595.608,3	20.000,0	615.608,3
3-0	123	489.515,3	20.000,0	509.515,3
3-1	150,8	557.733,5	20.000,0	577.733,5
3-2	187,7	663.184,3	20.000,0	683.184,3
3-3	276,3	1.005.110,4	20.000,0	1.025.110,4
3-4	360	1.488.697,4	20.000,0	1.508.697,4
3-5	550,8	3.644.889,1	20.000,0	3.664.889,1

Fuente: Elaboración Propia.

9.11.5. Factibilidad de la Generación Hidroeléctrica

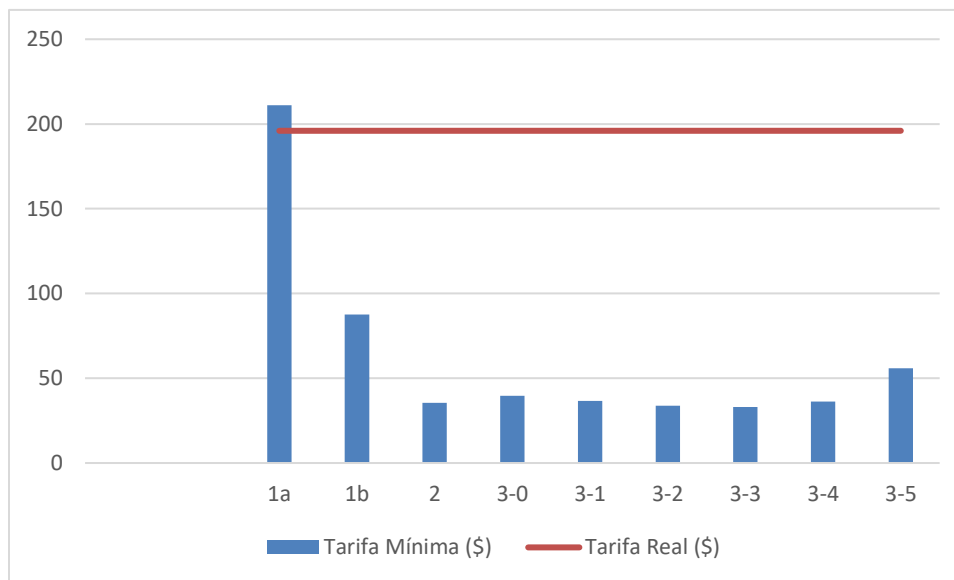
Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de central. Para esto, se considera la información encontrada para la “Cooperativa Eléctrica San Pedro de Atacama” (CESPA), que indica que para los usuarios que consumen menos electricidad el costo unitario es cercano a 196 \$/kW, valor que se incrementa con el consumo. Con el fin de determinar si el proyecto es rentable, se determina la tarifa mínima de generación que hace rentable el

proyecto, valor que se compara con la tarifa vigente. Para esto se utiliza la relación siguiente:

$$\sum_{i=1}^N \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=N+1}^{30} \frac{O_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=N+1}^{30} \frac{B_{POT.i}}{(1+r)^i} + C_{Min} \cdot \sum_{i=N+1}^{30} \frac{E_i}{(1+r)^i}$$

Dado que no se dispone de un valor para venta de potencia, en la relación sólo se incluye el costo de la energía. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 10.11.5-1 y en el Anexo 10-7. La línea roja muestra la tarifa actual, y las barras muestran la tarifa mínima. Se observa que la tarifa mínima que paga el proyecto es inferior a lo que se paga en la actualidad, lo que hace que el proyecto sea factible para todas las alternativas menos la primera, aunque hay que considerar que el valor de referencia corresponde únicamente al valor a pagar por los clientes de menor consumo, por lo que la alternativa 1 podría ser factible.

FIGURA 9.11.5-1
PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE
PRECIOS PRIVADOS (r =10%)



Fuente: Elaboración Propia.

9.11.6. Modelo de Negocios

En este caso el modelo de negocios es simple, vender la energía a CESP, o incluso asociarse con esa entidad. En lo que respecta al financiamiento, la mejor avenida es entablar conversaciones con las Comisión Nacional de Energía, especialmente ya que esta entidad ha financiado estudios para dotar la zona con fuentes de generación solar, lo que hace atractivo la generación de energía mediante el uso del agua.

9.11.7. Conclusiones

Los antecedentes mostrados claramente indican que el análisis de la generación hidroeléctrica debe realizarse con mayor detalle, de modo que sus costos y la energía generable pueda determinarse con mayor precisión.

9.12. DESALACIÓN de aguas

9.12.1. Introducción

En este acápite se presenta una evaluación preliminar de sistemas de desalación de aguas aplicados a la zona del proyecto. Se hace notar que dado que se trata de una etapa de prefactibilidad, el diseño se limita a determinar el caudal a tratar y el método de tratamiento. En caso que se determine la factibilidad económica del proyecto, se deben realizar análisis químicos de detalle para determinar la carga iónica de las aguas, diseñar los mecanismos de pretratamiento en caso de necesitarse, sistemas de bombeo, permeámetros y otros elementos, lo que a este nivel de prefactibilidad no es posible.

9.12.2. Osmosis Inversa

En primer lugar se determinó que para las alternativas sin embalse, si se tratara el 100 % de las aguas destinadas a riego, la energía que genera la MCH sólo alcanza para tratar un 0,16%, 0,39% y 1,88 %, para las alternativas 1a, 1b, y 2. Ahora bien, para las alternativas 3 y 4, esos porcentajes varían entre 0,88 % y 4,01 %. Lo anterior muestra que tratar el agua para riego con osmosis inversa no es económicamente factible.

En forma adicional se analizó la posibilidad de tratar agua para consumo potable. Esto se hace para las alternativas que consideran embalse, aumentando levemente el volumen útil, de manera que se extraiga un caudal continuo que no modifique la seguridad de riego. Se hace notar que dado que el volumen útil máximo es de 6,1 hm³, se asignó 0,1 hm³ para APR, 6,0 hm³ para riego, y se determinó la superficie de riego 85 % probable para esa situación. Los resultados se presentan en el Cuadro 10.12.2-1. Se hace notar que para la variante 4, se redujo la superficie regada en 5 ha. Otro elemento interesante es que para el APR sólo se usa entre 0,2 % y 0,9 % de la energía generada.

CUADRO 9.12.2-1

EVALUACIÓN POTENCIAL OSMOSIS INVERSA POR ALTERNATIVA

Alternativa	Q Diseño (L/s)	Carga Total (m)	Potencia Instalada (kW)	Energía Media (kWh/año)	Factor de Planta (%)	Q APR (L/s)	Energía APR (kWh/año)
3-1	212,0	284,8	444,2	2.994.256,1	76,9	70,0	13.254,2
3-2	168,0	290,0	358,3	2.426.289,6	77,2	40,0	7.573,8
3-3	206,9	295,8	450,4	3.084.649,3	78,1	40,0	7.573,8
3-4	254,8	280,0	524,8	3.636.289,5	79,0	40,0	7.573,8
3-5	357,8	267,8	704,7	4.976.583,1	80,6	40,0	7.573,8

Fuente: Elaboración Propia.

9.12.3. Conclusiones

El análisis mostrado indica que es posible tratar agua con osmosis inversa para agua potable, usando una fracción de la energía generada por la MCH. Se hace notar en todo caso, que del total entre un 30 % y un 40 % se pierde como agua de rechazo. En todo caso, se requiere un mayor nivel de análisis para determinar la viabilidad técnica-económica del tratamiento del agua salobre para su uso en agua potable.

9.13. DISEÑO DE SISTEMA DE AFORO REMOTO DE CAUDALES

9.13.1. Introducción

En este acápite se diseña una red de aforadores y se evalúa también la posibilidad de instalar un sistema de telemetría para estas obras, para poder consultar los caudales y su funcionamiento desde internet. Los cálculos hidráulicos realizados para el diseño se encuentran en el Anexo 10-8. Se consultó al dirigente de los canales a la fecha, don Justo Zulueta, cuáles serían las necesidades de los regantes al momento de poder contar con estos dispositivos y se llegó a la conclusión de que se necesitaría un aforador para cada una de las entregas que tiene el canal matriz san Pedro, ya que así se puede obtener el caudal total que se está entregando a cada uno de los grupos de riego y compararlo con lo que está establecido en los estatutos. De igual forma se necesitará un aforador en la bocatoma del canal San Pedro, para saber cuánto se está extrayendo del río. Con esta información se diseñaron aforadores en cada una de las entregas de los canales y un aforador principal en la bocatoma del canal San Pedro. Estos aforadores tendrán la capacidad de medir el caudal que transporta el canal y se podrá acceder remotamente a través de internet (siempre que haya factibilidad técnica) a los datos guardados.

Ya que las entregas del canal san Pedro son demasiadas, no es factible diseñar un aforador para cada una de ellas, sino que, se diseñó un aforador tipo que será instalado en cada una de las entregas por grupo de San Pedro, optimizando el espacio y los recursos, de modo que cada uno de estos aforadores pueda medir la mayor cantidad de canales posible. Para el caso del grupo 1, aguas arriba de San Pedro, los canales captan agua directamente del río y no son parte del canal unificado san Pedro, de modo que es más complicado poder medir sus captaciones, ya que son cinco canales, por lo tanto cinco aforadores distintos. Sin embargo, si se considera la situación con proyecto, en la cual los canales se unifican, solo bastaría con construir un solo aforador en la bocatoma de este canal unificado. Lo anterior queda mejor explicado en el Cuadro 10.13.1-1.

En la Figura 10.13.1-1 se presenta una fotografía satelital con las ubicaciones de estos aforadores. Se encuentra en el Anexo 10-8 el archivo kml con la ubicación de estos aforadores.

CUADRO 9.13.1-1
AFORADORES REMOTOS PROYECTADOS

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Caudal (L/s)	Tipo	Descripción
Bocatoma Canal San Pedro	7470182	580360	750	Vertedero Rectangular Cresta Ancha	Este aforador se encargará de medir el caudal total que se capta del río, para el riego de todos los grupos de san Pedro
Marco Partidor Mamani	7465808	581689	270 ; 470	Vertedero Rectangular Cresta Ancha	Este aforador se encargará de medir el caudal que se divide en dos en este marco partidor.
Grupo 1	7475169	581934	140	Vertedero Triangular	El Grupo 1 contará con un aforador en su bocatoma, una vez que se haya establecido la unificación de los canales y medirá el caudal captado para el riego de todo este grupo y sus canales.
Mutar	7466891	581515	140	Vertedero Triangular	Aforador del canal Mutar. Grupo 2
Paxa	7466236	581712	140	Vertedero Triangular	Aforador del canal Paxa. Grupo 2
Gentilar	7465807	581535	140	Vertedero Triangular	Aforador del canal Gentilar. Grupo 2
Checar	7465430	581293	140	Vertedero Triangular	Aforador del canal Checar. Grupo 2
Medalla	7465294	581197	140	Vertedero Triangular	Aforador del canal Medalla. Grupo 2
Toro, Inca, Monte y Grupo 4	7464985	580906	140 ; 140	Vertedero Triangular	Aforador de 4 canales. Toro, Inca y Monte, que pertenecen al Grupo 2. También se encuentra la derivación de las aguas al Grupo 4, las cuales, también se medirán con este aforador.
Larache	7465797	581739	150	Vertedero Triangular	Aforador del canal Larache. Grupo 3
Turbina y Grupo 7	7467185	581555	150 ; 15	Vertedero Triangular	Aforador del canal Turbina y Grupo 7 (canal estanque)
Grupo 5 y Grupo 6	7463991	582513	200 ; 130	Vertedero Triangular	Aforador del Grupo 5 y Grupo 6

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.13.1-1
UBICACION ESPACIAL DE LOS AFORADORES



Fuente: Elaboración Propia., a partir de Google Earth

9.13.2. Diseño Hidráulico Preliminar Aforadores

9.13.2.1. Aforador Canal Matriz

El canal matriz San Pedro es el que transporta las aguas desde el río hasta toda la red secundaria, de modo que es importante saber cuánta agua está pasando por este. Los caudales que transporta este canal se presentan en el Cuadro 10.13.2.1-1.

CUADRO 9.13.2.1-1
RESUMEN DE LOS CAUDALES CANAL MATRIZ SAN PEDRO

Canal San Pedro	Grupos Riego	Q (L/s)
desde bocatoma hasta marco partidor mamani	Grupo 2	133,98
	Grupo 4	132,24
	Grupo 6	127,89
	Grupo 3	145,29
	Grupo 5	193,14
	Grupo 7	10,44
Total		742,98

Fuente: Elaboración Propia.

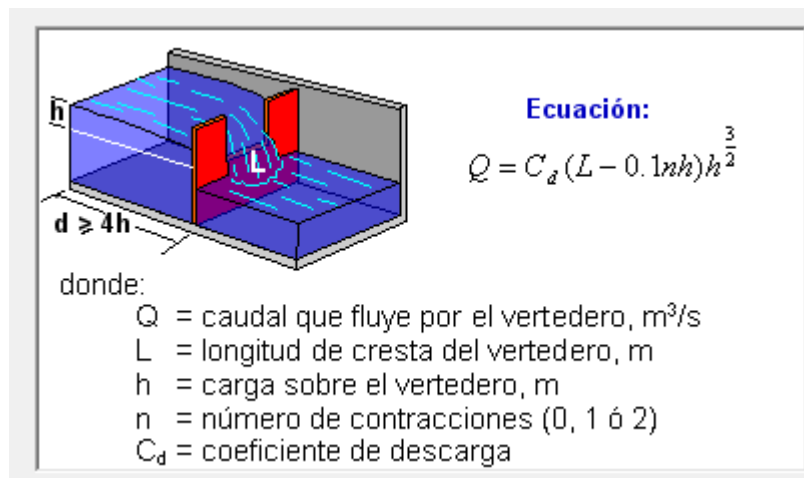
El Cuadro 10.13.2.1-1 muestra los caudales que debe transportar el canal desde la bocatoma hasta el marco partidor Mamani, con un total de 750 L/s aproximadamente, que corresponde a la capacidad actual de los canales.

Utilizando el programa HCanales se ha diseñado el aforador, siguiendo los siguientes criterios de diseño:

- Se ha determinado una sección rectangular ya que facilitará su construcción en terreno.
- El caudal de diseño será de 750 L/s
- La medición de la altura será aguas arriba de la grada y por sobre esta. En el esquema se podrá ver esto más detalladamente. (ver Figura 10.13.2.1-2).
- Se ha determinado utilizar un vertedero de cresta ancha para el aforador.

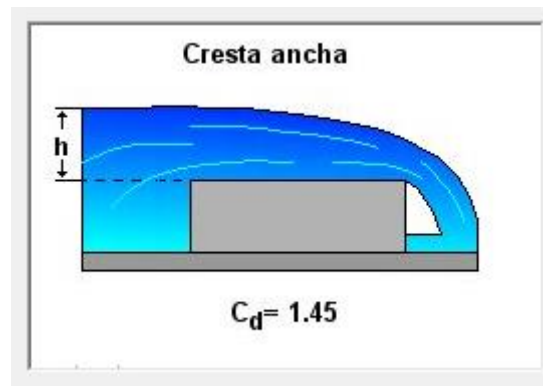
Los vertederos de rectangulares se comportan de la siguiente forma como lo indica la Figura 10.13.2.1-1. El coeficiente “n” se refiere a las contracciones que tendrá el aforador. En la Figura 10.13.2.1-1 esta tiene 2 contracciones, sin embargo para el diseño de esta estación no se considerará contracciones, de modo que $n = 0$.

FIGURA 9.13.2.1-1
ECUACIONES DE AFORADOR RECTANGULAR



Fuente: Elaboración Propia., a partir de HCanales

FIGURA 9.13.2.1-2
CARACTERÍSTICAS DEL AFORADOR DE CRESTA ANCHA



Fuente: Elaboración Propia., a partir de HCanales

En la Figura 10.13.2.1-2 se puede ver que el coeficiente de descarga para estas estructuras es de $C_d = 1,45$. También se puede observar que la altura “h” es la altura de aguas sobre la grada. Esta grada tendrá una altura de 30 cm para este aforador.

Utilizando esta metodología de diseño, y las características indicadas en el Cuadro 10.13.2.1-2, se puede obtener la curva de descarga del aforador con solo medir la altura del agua sobre la grada, aguas arriba de ésta. En el Cuadro 10.13.2.1-3 se puede ver esta curva y en la Figura 10.13.2.1-3 su gráfico.

CUADRO 9.13.2.1-2
CARACTERÍSTICAS AFORADOR CANAL MATRIZ

Aforador	C_d	L (m)	n	h_g (m)
Canal Matriz	1,45	1,000	0,00	0,3

h_g : altura de la grada en metros

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 9.13.2.1-3
CURVA DE DESCARGA AFORADOR CANAL MATRIZ

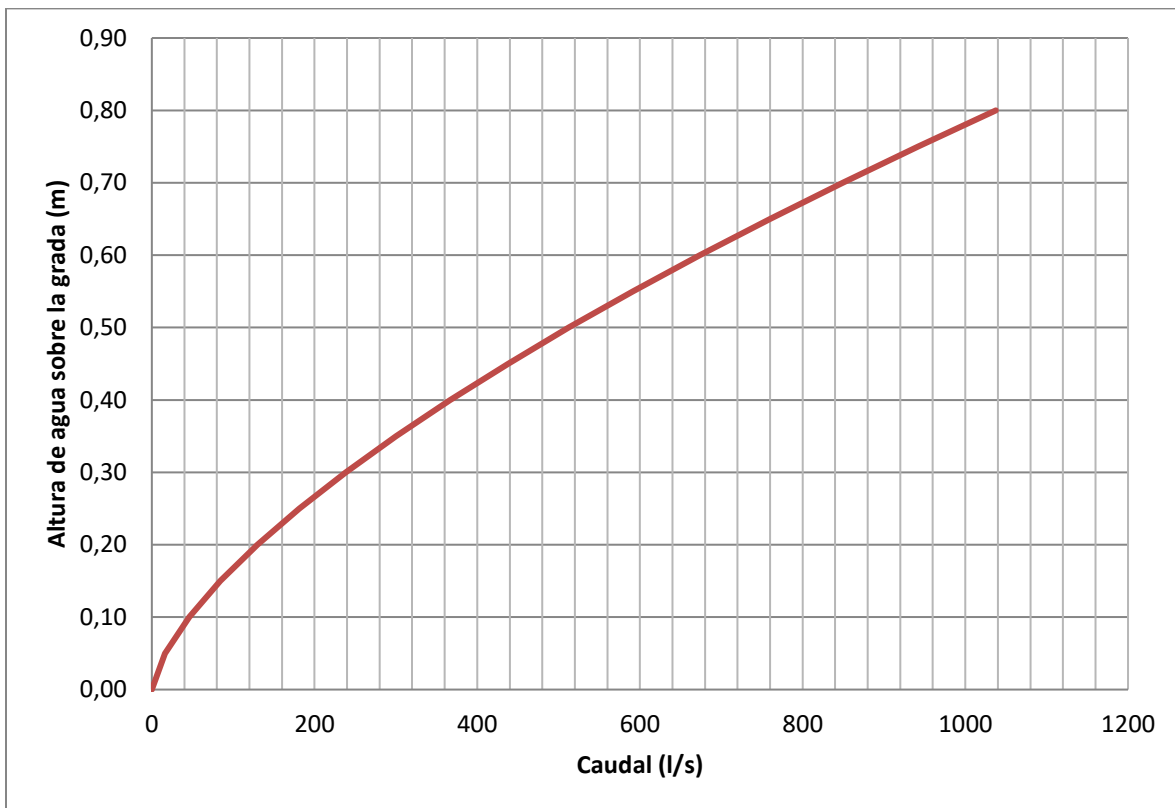
Altura agua sobre la grada (m)	Q (L/s)
0,00	0
0,05	16
0,10	46
0,15	84
0,20	130
0,25	181

CUADRO 9.13.2.1-3
CURVA DE DESCARGA AFORADOR CANAL
MATRIZ

Altura agua sobre la grada (m)	Q (L/s)
0,30	238
0,35	300
0,40	367
0,45	438
0,50	513
0,55	591
0,60	674
0,65	760
0,70	849
0,75	942
0,80	1.038

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.13.2.1-3
GRÁFICA DE DESCARGA AFORADOR CANAL MATRIZ



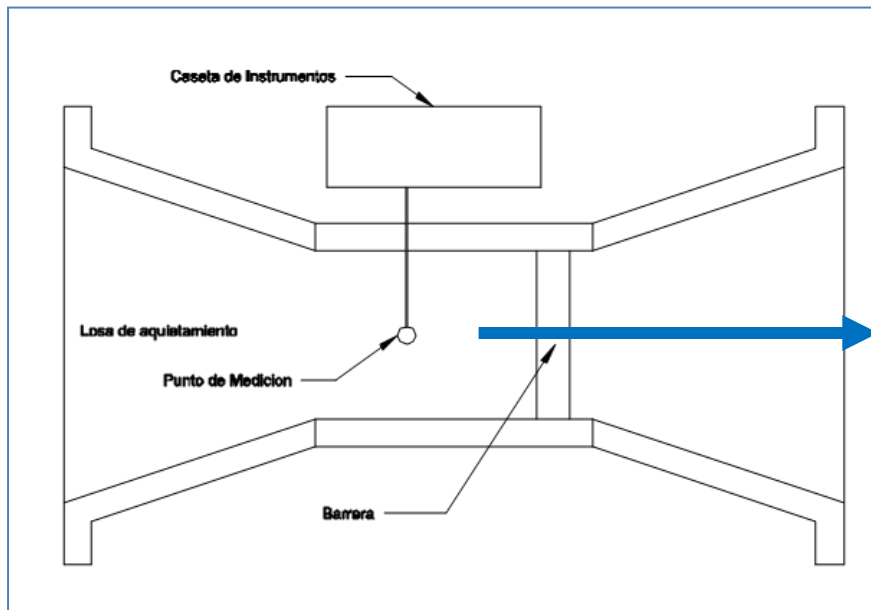
Fuente: Elaboración Propia.

9.13.2.2. Recomendación de Construcción

Para construir este aforador se debe tener en cuenta lo siguiente:

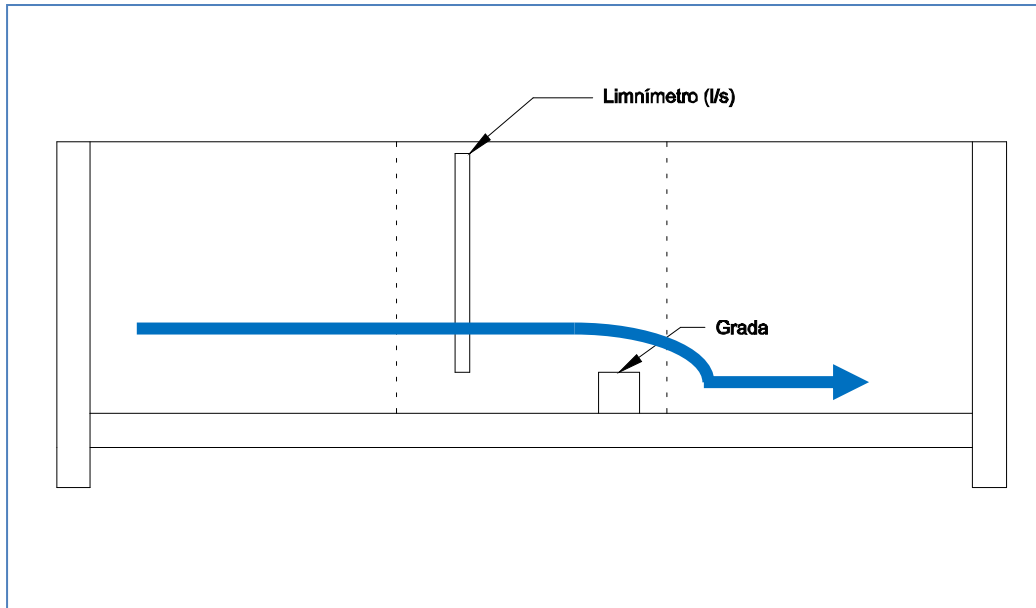
- La estructura será construida con hormigón armado.
- Se utilizará malla ACMA C295 para las armaduras con un recubrimiento mínimo de 2.5 cm.

**FIGURA 9.13.2.2-1
PLANTA DE CONSTRUCCION AFORADOR**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 9.13.2.2-2
VISTA LONGITUDINAL AFORADOR**



Fuente: Elaboración Propia.

Los detalles constructivos se pueden observar en el Plano AFO-SPA-01.

9.13.2.3. Aforador Marco Partidor Mamani

En el marco partidor Mamani el canal se divide en canal Solor y Coyo, en los cuales también se proyectará un aforador para cada uno de ellos. Los caudales que transportan estos canales se muestran en el Cuadro 10.13.2.3-1.

**CUADRO 9.13.2.3-1
RESUMEN DE LOS CAUDALES CANAL COYO Y SOLOR**

Marco Partidor Mamani			
Hacia Derecha (Coyo)		Izquierda (Solor)	
Grupos Riego	Q (L/s)	Grupos Riego	Q (L/s)
grupo 2	133,98	grupo 6	127,89
grupo 4	132,24	grupo 3	145,29
		grupo 5	193,14
total	270		470

Fuente: Elaboración Propia.

Siguiendo la misma metodología descrita en el Acápito 10.13.2.1, se diseñó el aforador con las características indicadas en el Cuadro 10.13.2.3-2 y para los caudales indicados en el Cuadro 10.13.2.3-1; 270 L/s y 470 L/s.

CUADRO 9.13.2.3-2

CARACTERISTICAS DEL AFORADOR MAMANI

Aforador	Cd	L	n
Izquierda	1,45	0,800	0,00
Derecha	1,45	0,500	0,00

Fuente: Elaboración Propia.

Luego la curva de descarga de estos dos aforadores se presenta en el Cuadro 10.13.2.3-3 y en la Figura 10.13.2.3-1.

CUADRO 9.13.2.3-3

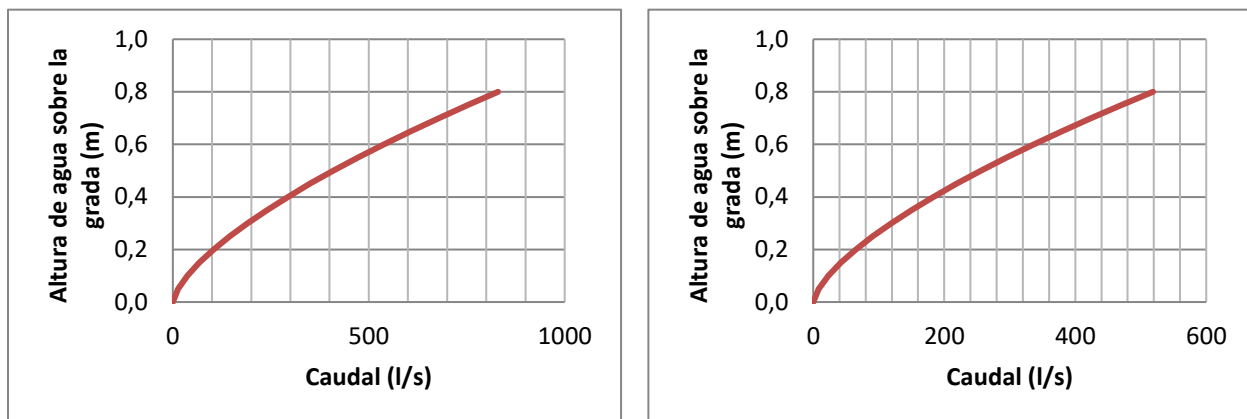
CURVA DESCARGA AFORADOR MAMANI

Izquierda		Derecha	
Altura agua sobre la grada (m)	Q (L/s)	Altura agua sobre la grada (m)	Q (L/s)
0,00	0	0,00	0
0,05	13	0,05	8
0,10	37	0,10	23
0,15	67	0,15	42
0,20	104	0,20	65
0,25	145	0,25	91
0,30	191	0,30	119
0,35	240	0,35	150
0,40	293	0,40	183
0,45	350	0,45	219
0,50	410	0,50	256
0,55	473	0,55	296
0,60	539	0,60	337
0,65	608	0,65	380
0,70	679	0,70	425
0,75	753	0,75	471
0,80	830	0,80	519

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.13.2.3.1

CURVAS DE DESCARGA PARA AFORADOR CANAL MATRIZ



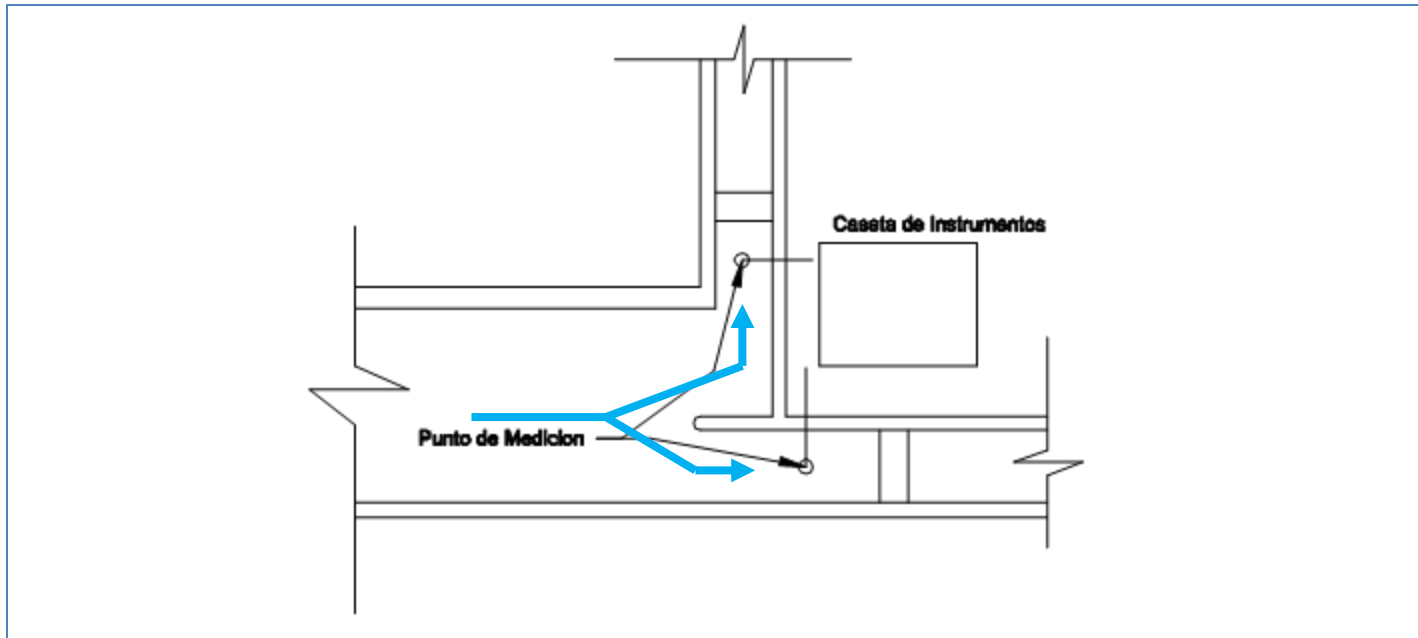
Fuente: Elaboración Propia.

9.13.2.4. Recomendación de Construcción

Para construir este aforador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La estructura será construida con hormigón armado.
- Se utilizará malla ACMA C295 para las armaduras con un recubrimiento mínimo de 2.5 cm.
- Se entrega esquema constructivo para mejor entendimiento del lector en Figura 10.13.2.4-1

**FIGURA 9.13.2.4-1
PLANTA DE CONSTRUCCION AFORADOR**



Fuente: Elaboración Propia.

Los detalles constructivos se pueden observar en el Plano AFO-SPA-01.

9.13.2.5. Aforadores de Red Secundaria

Siguiendo la misma metodología que la expuesta en el Acápito 10.13.2.1, se diseñará un aforador tipo para cada canal considerado. Se presentan las características de los aforadores proyectados en el Cuadro 10.13.2.5-1

CUADRO 9.13.2.5-1
CARACTERÍSTICAS AFORADOR TIPO PARA CANALES

Aforador	Ancho basal (m)	Q (m ³ /s)	Cd	n
Tipo para canales secundarios	0,5	0,200	1,45	0

Fuente: Elaboración Propia.

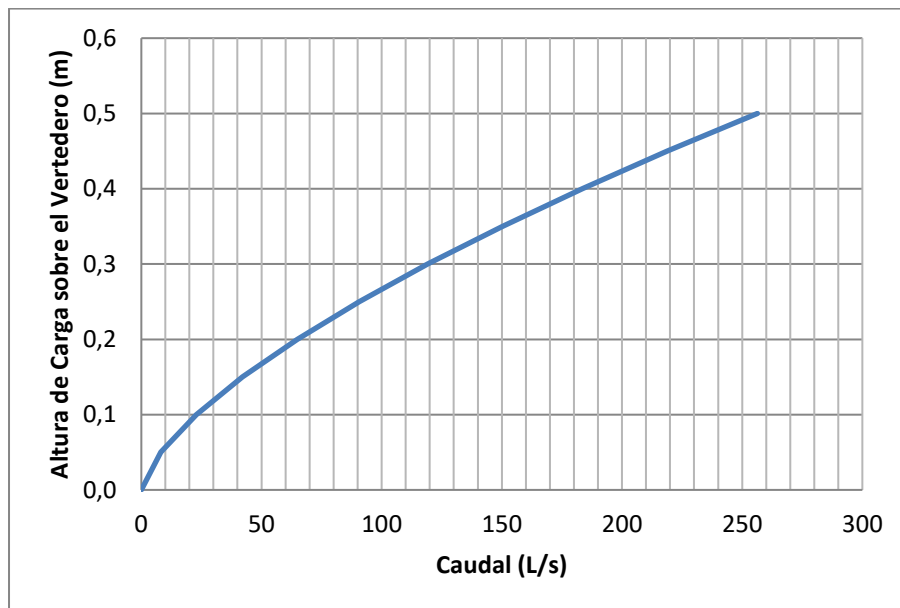
La curva de descarga de este aforador tipo se presenta en el Cuadro 10.13.2.5-1 y Figura 10.13.2.5-1.

CUADRO 9.13.2.5-2
CARACTERÍSTICAS AFORADOR TIPO PARA CANALES

Altura sobre el vertedero (m)	Q (L/s)
0,00	0
0,05	8
0,10	23
0,15	42
0,20	65
0,25	91
0,30	119
0,35	150
0,40	183
0,45	219
0,50	256

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9.13.2.5-1
CURVA DE DESCARGA AFORADOR TIPO



Fuente: Elaboración Propia.

9.13.3. Sistema de Conexión Remoto

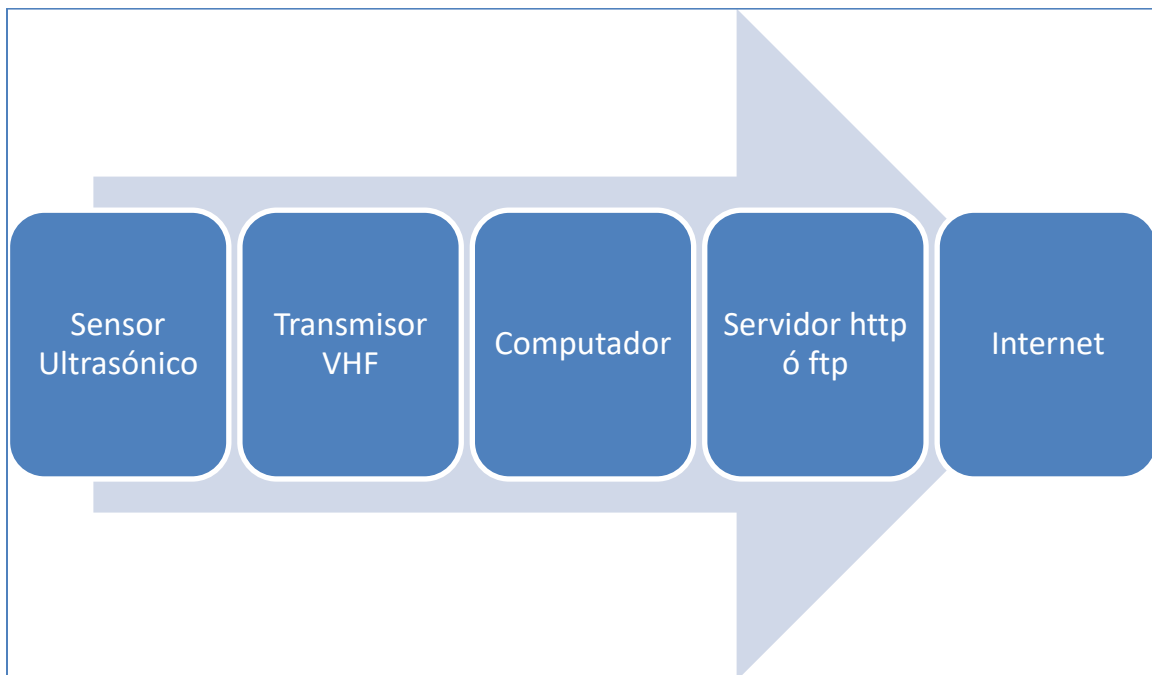
Para poder realizar este diseño será necesario tener en consideración los siguientes criterios.

- Se instalará un sensor ultrasónico, que leerá la altura del nivel de las aguas que está pasando por el canal.
- El nivel de las aguas será enviado a un transmisor de radio frecuencia VHF que será instalado en cada uno de los aforadores.
- El transmisor emitirá la señal, y esta será recibida por un computador con un software especial, el cual, mediante ecuaciones hidráulicas simples transformará en caudal. Este computador estará conectado a Internet y estará constantemente subiendo los datos a un servidor http ó ftp, el cual puede ser consultado por cualquier usuario.

- El sistema funcionará con energía eléctrica suministrada por la red eléctrica de San Pedro. El internet del servidor, así como también el pago de hosting del servidor http serán costeados como costos operacionales del sistema.

El esquema de funcionamiento es el descrito en la Figura 10.13.3-1.

**FIGURA 9.13.3-1
ESQUEMA DE OPERACIÓN SISTEMA REMOTO**



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 10.13.3-2 se muestra el transmisor de datos más usado para este tipo de soluciones.

**FIGURA 9.13.3-2
TRANSMISOR DE DATOS VHF**



Fuente: Internet

10. EXPROPIACIONES

10.1. *Identificación de los Terrenos a Expropiar: Embalses y Obras Anexas*

10.1.1. Introducción

La superficie a expropiar corresponde a la superficie inundada por el embalse para riego en el río Salado y el embalse de control de crecidas en el río Grande, más la superficie ocupada por las obras anexas. Para ello se realizó una medición de la superficie a expropiar por alternativa, lo que se muestra en los acápite sucesivos.

10.1.2. Retenedor de Crecidas

El lugar donde se encuentra el sitio 1 para el control de crecidas, corresponde a Bienes Nacionales. Sin embargo, cabe señalar que estos territorios se encuentran demandados al Estado de Chile por la Comunidad Indígena de Catarpe. El plano de expropiaciones se ubica en el tomo de Planos, en la lámina EXP-SPA-01.

**CUADRO 10.1.2-1
CUADRO DE EVENTUALES EXPROPIACIONES**

Loteo	Nº rol de avalúo según SII	Nombre del propietario según SII	Nombre propietario aparente	Comuna	Dirección o nombre de la propiedad	Superficie total expropiación (ha)	Observación
1	Sin rol	B.N.U.P	Bienes	San Pedro de	-	2,84	Muro Control Crecida

CUADRO 10.1.2-1
CUADRO DE EVENTUALES EXPROPIACIONES

Loteo	Nº rol de avalúo según SII	Nombre del propietario según SII	Nombre propietario aparente	Comuna	Dirección o nombre de la propiedad	Superficie total expropiación (ha)	Observación
			Nacionales	Atacama			Alternativa 1
2	Sin rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	42,49	Área de Inundación Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia.

10.1.3. Obras por Alternativa

Se incluyen en el Cuadro 11.1.3-1 las propiedades afectadas por alternativa, según e indica:

- **Alternativa 1:** Corresponden a la obra de captación en el río Salado y el Túnel 2 con la obra de by pass del retenedor de crecidas.
- **Alternativa 2:** Corresponden a la obra de conducción en el río Salado que permite evitar el contacto con el agua con las fuentes de contaminación presentes en el río, desde la quebrada Salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro.
- **Alternativa 3:** Corresponden a la obra de trasvase por el Túnel 1, desde el río Grande al río Salado, el embalse para la acumulación de agua para riego, la tubería de conducción en el río Salado que permite evitar el contacto con el agua con las fuentes de contaminación presentes en el río, desde la quebrada Salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro. El plano de expropiaciones del Embalse Regulador para Riego en Río Salado se encuentra tomo de Planos, en las láminas EXP-SPA-03.
- **Alternativa 4:** Corresponden a la obra de trasvase por el Túnel 1, desde el río Grande al río Salado, el embalse para la acumulación de agua para riego y el Túnel 2 con la obra de by pass del retenedor de crecidas.

CUADRO 11.1.3-1

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 1							
1	Sin Rol	-	Fisco de Chile	San Pedro de Atacama	-	0,7	Portal de entrada Túnel 2
2	Sin Rol	-	Fisco de Chile	San Pedro de Atacama	-	0,38	Portal de salida Túnel 2
3	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	1,6	Portal de salida en Lote D;
4	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,19	Lote D; Conducción Río Grande
5	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,07	Lote Ñ; Conducción Río Grande
6	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,06	Lote P; Conducción Río Grande
7	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Edith Darioleta Tapia Lopez	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote O; Conducción Río Grande
8	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,01	Lote N; Conducción Río Grande
9	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,04	Lote H; Conducción Río Grande
10	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote J; Conducción Río Grande
11	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,83	Lote A; Conducción Río Grande
12	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Rodrigo Patricio Romero Menanteau	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,14	Lote K; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Capítulo 11 - 668

M^a Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 1							
13	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,23	Lote G; Conducción Río Grande
14	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,04	Lote B; Conducción Río Grande
15	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote C ; Conducción Río Grande
16	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,24	Lote M; Conducción Río Grande
17	3501-112	Munoz Henriquez Manuel Arturo	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Lta Rio Grande	0,07	Lote I-A; Conducción Río Grande
18	3501-113	Ingenieria Mantenimiento Y Automati	CIMAP Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltb Rio Grande	0,15	Lote I-B; Conducción Río Grande
19	3501-114	Menanteau Espinoza Lucila Del Ca	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltc Rio Grande	0,06	Lote I-C; Conducción Río Grande
20	3501-115	Menanteau Espinoza Lucila Del Ca	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltd 1 Rio Grande	0,01	Lote I-D-1; Conducción Río Grande
21	3501-116	Petersen Sanchez Barbara Maria C	Barbara Maria Cristina Petersen Sanchez	San Pedro de Atacama	F.San Bartolo Lt D 2 Rio Grande	0,01	Lote I-D-2; Conducción Río Grande
22	3501-117	Caballero Pena Edita Y Otros	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltd 3 Rio Grande	0,01	Lote I-D-3; Conducción Río Grande
23	3501-118	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 4 Rio Grande	0,02	Lote I-D-4; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Capítulo 11 - 670

M^a Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 1							
24	3501-119	Menanteau Espinoza Lucila	Inmobiliaria Ecoandes Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 5 Río Grande	0,01	Lote I-D-5; Conducción Río Grande
25	3501-120	Menanteau Espinoza Lucila	Inmobiliaria Ecoandes Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 6 Río Grande	0,01	Lote I-D-6; Conducción Río Grande
26	3501-121	Rodriguez Rodriguez Bernardo Daniel	Bernardo Daniel Rodriguez Rodriguez	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 7 Río Grande	0,01	Lote I-D-7; Conducción Río Grande
27	3501-122	Alvarez Morales Juan Martin Y Otro	Juan Martin Alvarez Morales Y Otra	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 8 Río Grande	0,01	Lote I-D-8; Conducción Río Grande
28	3501-123	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 9 Río Grande	0,01	Lote I-D-9; Conducción Río Grande
29	3501-124	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 10 Río Grande	0,01	Lote I-D-10; Conducción Río Grande
30	3501-125	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 11 Río Grande	0,01	Lote I-D-11; Conducción Río Grande
31	3501-126	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 12 Río Grande	0,01	Lote I-D-12; Conducción Río Grande
32	3501-127	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 13 Río Grande	0,02	Lote I-D-13; Conducción Río Grande
33	3501-128	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 14 Río Grande	0,02	Lote I-D-14; Conducción Río Grande
34	3501-129	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 15 Río Grande	0,02	Lote I-D-15; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N°	N° ROL DE	NOMBRE DEL	NOMBRE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE	SUPERFICIE TOTAL	OBSERVACIONES
----	-----------	------------	--------	--------	--------------------	------------------	---------------

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Capítulo 11 - 672

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

M^a Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 2341 4800 Fax (56 2) 2274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

LOTE	AVALÚO SEGÚN SII	PROPIETARIO SEGÚN SII	PROPIETARIO APARENTE		DE LA PROPIEDAD	EXPROPIACIÓN (ha)	
Alternativa 1							
35	3501-130	Castro Navarro Hernan Gilberto	Hernán Gilberto Castro Navarro	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 16 Río Grande	0,01	Lote I-D-16; Conducción Río Grande
36	3501-131	Castro Navarro Hernan Gilberto	Hernán Gilberto Castro Navarro	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 17 Río Grande	0,02	Lote I-D-17; Conducción Río Grande
37	3501-132	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 18 Río Grande	0,03	Lote I-D-18; Conducción Río Grande
38	3501-133	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 19 Río Grande	0,02	Lote I-D-19; Conducción Río Grande
39	3501-134	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 20 Río Grande	0,03	Lote I-D-20; Conducción Río Grande
40	SIN ROL	-	Fisco De Chile	San Pedro de Atacama	-	0,7	Conducción Río Grande
41	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	3,88	Conducción Aguas Salinas
42	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,022	Conducción Aguas Salinas
43	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,521	Conducción Aguas Salinas
44	3505-3	Barboza Martinez Angel	Angel Barboza Martinez	San Pedro de Atacama	Rincon	0,029	Conducción Aguas Salinas
45	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	2,2	Conducción Aguas Salinas

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

Nº LOTE	Nº ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 2							
1	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	4,929	Conducción Río Salado
2	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,026	Conducción Río Salado
3	3505-37	Copa Bautista Patricia Inés	Angélica Chufla Copa	San Pedro de Atacama	Ccaro O Cocar Aylo de Catarpe	0,012	Conducción Río Salado
4	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,036	Conducción Río Salado
5	3505-27	Reyes Bernz Inés	Rafael Cruz Ayabire	San Pedro de Atacama	Tucon y Cacaro	0,004	Conducción Río Salado
6	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,002	Conducción Río Salado
7	3505-19	Martínez Martínez Mauricia	Guadalupe Martínez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,022	Conducción Río Salado
8	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,042	Conducción Río Salado
9	3505-19	Martínez Martínez Mauricia	Guadalupe Martínez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,002	Conducción Río Salado
10	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,068	Conducción Río Salado
11	3505-25	Jerez Quinonez Luis Fernando	Antonia Córdova	San Pedro de Atacama	Lascana	0,004	Conducción Río Salado
12	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,16	Conducción Río Salado
13	3505-10	Cenzano Cenzano Segundo Jorge	Jose Cenzano	San Pedro de Atacama	San Isidro Lote N C	0,002	Conducción Río Salado
14	3505-13	Cenzano Cenzano Ramiro	Ramiro Cenzano	San Pedro de Atacama	Chanral	0,017	Conducción Río Salado
15	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,189	Conducción Río Salado
16	3505-33	Siars Martínez	Leonila Siars	San Pedro de	Catarpe Santa Rosa	0,023	Conducción Río Salado



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 2							
17	3505-09	Cenzano Siares Felisa	Felisa Cenzano	San Pedro de Atacama	Paonte Lote S/N Catarpe	0,022	Conducción Río Salado
18	3505-05	Garcia Mostajo Meybol Milenka	Victor Barboza	San Pedro de Atacama	Aylo de Catarpe St 413	0,053	Conducción Río Salado
19	3505-40 Lote C	Siars Vargas Cipriana	Cipriana Siars	San Pedro de Atacama	Huerta del Medio y Otros	0,024	Conducción Río Salado
20	3505-40 Lote F	Siars Vargas Cipriana	Jorge Cenzano	San Pedro de Atacama	Huerta del Medio y Otros	0,016	Conducción Río Salado
21	3505-38	Vargas Vargas Monica	Jorge Cenzano	San Pedro de Atacama	Chichibala	0,003	Conducción Río Salado
22	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,993	Conducción Río Salado
23	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	3,88	Conducción Aguas Salinas
24	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,022	Conducción Aguas Salinas
25	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,521	Conducción Aguas Salinas
26	3505-3	Barboza Martinez Angel	Angel Barboza Martinez	San Pedro de Atacama	Rincon	0,029	Conducción Aguas Salinas
27	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	2,2	Conducción Aguas Salinas

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

Nº LOTE	Nº ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 3							
1	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	0,68	Portal de entrada Túnel 1
2	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	1,62	Portal de salida Túnel 1
3	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	9,48	Muro Embalse Regulador para Riego en Río Salado
4	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	35	Área de Inundación Muro Embalse Regulador para Riego en Río Salado
5	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	4,929	Conducción Río Salado
6	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,026	Conducción Río Salado
7	3505-37	Copa Bautista Patricia Ines	Angélica Chufra Copa	San Pedro de Atacama	Ccaro O Cocar Aylllo De Catarpe	0,012	Conducción Río Salado

8	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,036	Conducción Río Salado
9	3505-27	Reyes Bernz Ines	Rafael Cruz Ayabire	San Pedro de Atacama	Tucon Y Cacaro	0,004	Conducción Río Salado
10	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,002	Conducción Río Salado
11	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro De Atacama	0,022	Conducción Río Salado
12	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,042	Conducción Río Salado
13	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro De Atacama	0,002	Conducción Río Salado

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 3							
14	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,068	Conducción Río Salado
15	3505-25	Jerez Quinonez Luis Fernando	Antonia Cordova	San Pedro de Atacama	Lascana	0,004	Conducción Río Salado
16	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,16	Conducción Río Salado
17	3505-10	Cenzano Cenzano Segundo Jorge	Jose Cenzano	San Pedro de Atacama	San Isidro Lote N C	0,002	Conducción Río Salado
18	3505-13	Cenzano Cenzano Ramiro	Ramiro Cenzano	San Pedro de Atacama	Chanral	0,017	Conducción Río Salado
19	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,189	Conducción Río Salado
20	3505-33	Siases Martinez Leonila	Leonila Siases	San Pedro de Atacama	Catarpe Santa Rosa	0,023	Conducción Río Salado

21	3505-09	Cenzano Siares Felisa	Felisa Cenzano	San Pedro de Atacama	Paconte Lote S/N Catarpe	0,022	Conducción Río Salado
22	3505-05	Garcia Mostajo Meybol Milenka	Victor Barboza	San Pedro de Atacama	Ayllo De Catarpe St 413	0,053	Conducción Río Salado
23	3505-40 Lote C	Siares Vargas Cipriana	Cipriana Siares	San Pedro de Atacama	Huerta Del Medio Y Otros	0,024	Conducción Río Salado
24	3505-40 Lote F	Siares Vargas Cipriana	Jorge Cenzano	San Pedro de Atacama	Huerta Del Medio Y Otros	0,016	Conducción Río Salado
25	3505-38	Vargas Vargas Monica	Jorge Cenzano	San Pedro de Atacama	Chichibala	0,003	Conducción Río Salado
26	Sin Rol	B.N.U.P	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,993	Conducción Río Salado
27	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	3,88	Conducción Aguas Salinas
28	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,022	Conducción Aguas Salinas
29	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,521	Conducción Aguas Salinas

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 3							
30	3505-3	Barboza Martinez Angel	Angel Barboza Martinez	San Pedro de Atacama	Rincon	0,029	Conducción Aguas Salinas
31	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	2,2	Conducción Aguas Salinas

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

CUADRO DE EXPROPIACIONES

Nº LOTE	Nº ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 4							
1	Sin Rol	-	Comunidad	San Pedro de	-	0,68	Portal de entrada Túnel 1

			Atacameña De Rio Grande	Atacama			
2	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	1,62	Portal de salida Túnel 1
3	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	9,48	Muro Embalse Regulador para Riego en Río Salado
4	Sin Rol	-	Comunidad Atacameña De Rio Grande	San Pedro de Atacama	-	35	Área de Inundación Muro Embalse Regulador para Riego en Río Salado
5	Sin Rol	-	Fisco De Chile	San Pedro de Atacama	-	0,7	Portal de entrada Túnel 2
6	Sin Rol	-	Fisco De Chile	San Pedro de Atacama	-	0,38	Portal de salida Túnel 2
7	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	1,6	Portal de salida en Lote D;
8	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,19	Lote D; Conducción Río Grande
9	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,07	Lote Ñ; Conducción Río Grande
10	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,06	Lote P; Conducción Río Grande
11	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Edith Darioleta Tapia Lopez	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote O; Conducción Río Grande
12	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,01	Lote N; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
------------	----------------------------------	--	-----------------------------------	--------	--	---------------------------------------	---------------

Alternativa 4							
13	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,04	Lote H; Conducción Río Grande
14	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote J; Conducción Río Grande
15	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,83	Lote A; Conducción Río Grande
16	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Rodrigo Patricio Romero Menanteau	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,14	Lote K; Conducción Río Grande
17	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,23	Lote G; Conducción Río Grande
18	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,04	Lote B; Conducción Río Grande
19	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,03	Lote C ; Conducción Río Grande
20	3501-48	Tapia Lopez Edith Darioleta	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo	0,24	Lote M; Conducción Río Grande
21	3501-112	Munoz Henriquez Manuel Arturo	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Lta Rio Grande	0,07	Lote I-A; Conducción Río Grande
22	3501-113	Ingenieria Mantenimiento Y Automati	Cimap Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltb Rio Grande	0,15	Lote I-B; Conducción Río Grande
23	3501-114	Menanteau Espinoza Lucila Del Ca	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltc Rio Grande	0,06	Lote I-C; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 4							

24	3501-115	Menanteau Espinoza Lucila Del Ca	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltd 1 Río Grande	0,01	Lote I-D-1; Conducción Río Grande
25	3501-116	Petersen Sanchez Barbara Maria C	Barbara Maria Cristina Petersen Sanchez	San Pedro de Atacama	F.San Bartolo Lt D 2 Río Grande	0,01	Lote I-D-2; Conducción Río Grande
26	3501-117	Caballero Pena Edita Y Otros	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartolo Ltd 3 Río Grande	0,01	Lote I-D-3; Conducción Río Grande
27	3501-118	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 4 Río Grande	0,02	Lote I-D-4; Conducción Río Grande
28	3501-119	Menanteau Espinoza Lucila	Inmobiliaria Ecoandes Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 5 Río Grande	0,01	Lote I-D-5; Conducción Río Grande
29	3501-120	Menanteau Espinoza Lucila	Inmobiliaria Ecoandes Ltda	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 6 Río Grande	0,01	Lote I-D-6; Conducción Río Grande
30	3501-121	Rodriguez Rodriguez Bernardo Daniel	Bernardo Daniel Rodriguez Rodriguez	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 7 Río Grande	0,01	Lote I-D-7; Conducción Río Grande
31	3501-122	Alvarez Morales Juan Martin Y Otro	Juan Martin Alvarez Morales Y Otra	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 8 Río Grande	0,01	Lote I-D-8; Conducción Río Grande
32	3501-123	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 9 Río Grande	0,01	Lote I-D-9; Conducción Río Grande
33	3501-124	Menanteau Espinoza Lucila	Lucila Del Carmen Menanteau Espinoza	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 10 Río Grande	0,01	Lote I-D-10; Conducción Río Grande
34	3501-125	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 11 Río Grande	0,01	Lote I-D-11; Conducción Río Grande

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.1.3-1

CUADRO DE EXPROPIACIONES

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 4							
35	3501-126	Inversiones Esclavas S A	Inversiones Esclavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 12 Rio Grande	0,01	Lote I-D-12; Conducción Río Grande
36	3501-127	Inversiones Esclavas	Inversiones Esclavas	San Pedro de	Finca San Bartololt	0,02	Lote I-D-13; Conducción

		S A	S.A.	Atacama	D 13 Río Grande		Río Grande
37	3501-128	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 14 Río Grande	0,02	Lote I-D-14; Conducción Río Grande
38	3501-129	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 15 Río Grande	0,02	Lote I-D-15; Conducción Río Grande
39	3501-130	Castro Navarro Hernan Gilberto	Hernán Gilberto Castro Navarro	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 16 Río Grande	0,01	Lote I-D-16; Conducción Río Grande
40	3501-131	Castro Navarro Hernan Gilberto	Hernán Gilberto Castro Navarro	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 17 Río Grande	0,02	Lote I-D-17; Conducción Río Grande
41	3501-132	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 18 Río Grande	0,03	Lote I-D-18; Conducción Río Grande
42	3501-133	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 19 Río Grande	0,02	Lote I-D-19; Conducción Río Grande
43	3501-134	Inversiones Eslavas S A	Inversiones Eslavas S.A.	San Pedro de Atacama	Finca San Bartololt D 20 Río Grande	0,03	Lote I-D-20; Conducción Río Grande
44	Sin Rol	-	Fisco De Chile	San Pedro de Atacama	-	0,7	Conducción Río Grande
45	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	3,88	Conducción Aguas Salinas
46	3505-19	Martinez Martinez Mauricia	Guadalupe Martinez	San Pedro de Atacama	Catarpe San Pedro de Atacama	0,022	Conducción Aguas Salinas

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.1.3-1
CUADRO DE EXPROPIACIONES**

N° LOTE	N° ROL DE AVALÚO SEGÚN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	COMUNA	DIRECCIÓN O NOMBRE DE LA PROPIEDAD	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	OBSERVACIONES
Alternativa 4							
47	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de Atacama	-	0,521	Conducción Aguas Salinas
48	3505-3	Barboza Martinez Angel	Angel Barboza Martinez	San Pedro de Atacama	Rincon	0,029	Conducción Aguas Salinas
49	Sin Rol	B.N.U.P.	Bienes Nacionales	San Pedro de	-	2,2	Conducción Aguas Salinas

Atacama

10.2. Costos de Expropiación

Los costos de expropiación se han calculado según la revisión de distintas compraventas en el área de estudios en los registros del Conservador de Bienes Raíces. El valor estimado por hectárea corresponde a \$27.500.000.

Los predios que corresponden a Bienes Nacionales y/o al Fisco de Chile tienen costo de expropiación equivalente a \$0, ya que los predios son destinados por medio de una resolución o un decreto por el Ministerio de Bienes Nacionales (u otro organismo del Estado) y los costos de la inscripción y trámites que se requieran serán gratuitos, según lo indicado en el DL 1.939 de 1977 del Ministerio de Tierras y Colonización sobre Normas Sobre Adquisición, Administración y Disposición de Bienes del Estado.

En el Cuadro 11.2-1 se muestra el área a expropiar por obras y en el Cuadro 11.2-2 se muestra el costo de las expropiaciones por alternativas, ambos con sus costos asociados.

CUADRO 10.2-1

CUADRO DE COSTO DE EXPROPIACIONES POR OBRAS

Obra	Superficie (ha)		Valor Expropiación
	Bienes nacionales	Predios	
Túnel 1	2,30	0,00	\$ 0
Túnel 2	1,08	1,60	\$ 44.000.000
Tubería Río Grande	0,70	10,53	\$ 289.575.000
Tubería Río Salado	6,44	0,20	\$ 5.571.500
Embalse Río Salado	57,69	0,00	\$ 0
Embalse Río Grande	45,33	0,00	\$ 0
Tubería Aguas Salinas	6,60	0,05	\$ 1.402.500
Tranques Nocturnos	0,00	1,68	\$ 46.106.500
TOTAL	120,13	14,06	\$ 386.655.500

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 10.2-2

CUADRO DE COSTO DE EXPROPIACIONES POR ALTERNATIVA

Obra	Superficie a Expropiar			Valor Total de Expropiación
	(ha)			
	Fiscal	Privada	Total	
Alternativa 1	53,71	13,86	67,56	381.084.000
Alternativa 2	58,37	1,93	60,30	53.080.500
Alternativa 3	118,35	1,93	120,28	53.080.500
Alternativa 4	113,69	13,86	127,55	381.084.000

Fuente: Elaboración propia.

10.3. Planos de Expropiaciones

Los planos de expropiaciones pueden ser ubicados en el álbum de planos, los que se han ordenado de la siguiente forma:

- EXP-SPA-01 Expropiaciones Zona de Inundación y Muro Alternativa Control de Crecida N°1
- EXP-SPA-02 Expropiaciones Zona de Inundación y Muro Alternativa Control de Crecida N°2
- EXP-SPA-03 Expropiaciones Zona de Inundación y Muro Embalse Regulador para Riego en Río Salado
- EXP-SPA-04 Expropiaciones Conducción Río Grande
- EXP-SPA-05 Expropiaciones Conducción Río Salado
- EXP-SPA-06 Expropiaciones Túnel 1
- EXP-SPA-07 Expropiaciones Túnel 2 San Bartolo
- EXP-SPA-08 Expropiaciones Tranques de Regulación Nocturnos en Canal Cuchabrache y Canal San Pedro
- EXP-SPA-09 Expropiaciones Conducción Aguas Salinas

11. PRESUPUESTOS

11.1. aspectos generales

En este Capítulo se presentarán los presupuestos de las obras contempladas en las alternativas de análisis. El Presupuesto completo se puede encontrar en el Anexo 12-1 de este informe.

11.2. Precios unitarios

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para el proyecto, se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en el año 2012. Cada uno de los precios de referencia, conservaron indicadores y variaciones económicas actualizadas a Marzo de 2013, con un valor del dólar de \$ 472,96, un valor de la UF de \$ 22.840,11, y un valor del euro de \$ 683,01.

Se presenta en el Cuadro 12.2-1 la lista de precios unitarios adoptados, en que dichos precios son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA. Se muestran los PU de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados a Marzo de 2013 y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se establece solo para las partidas principales.

CUADRO 10.1.3-1
PRECIOS UNITARIOS (\$)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO	SOCIAL
0001	Instalación de Faenas para Embalse	Gl	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000
0002	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m ²	\$ 1.927	\$ 1.697
0003	Excavaciones en material común	m ³	\$ 3.097	\$ 2.909
0004	Relleno presa	m ³	\$ 5.859	\$ 5.619
0005	Pared moldeada	m ³	\$ 349.111	\$ 334.313
0006	Enrocado D=0.8 m	m ³	\$ 26.304	\$ 19.051
0007	Excavaciones abiertas en roca	m ³	\$ 10.074	\$ 9.985
0008	Hormigón H-30	m ³	\$ 184.229	\$ 172.785
0009	Marcos Acero Refuerzo	un	\$ 355.570	\$ 355.383
00010	Excavación abierta en roca con explosivo	m ³	\$ 34.488	\$ 30.877
00011	Excavaciones en material fluvial	m ³	\$ 3.983	\$ 3.841
00012	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
00013	Puente cruce Rio	un	\$ 79.300.000	\$ 79.000.000
00014	Relleno Terraplén	m ³	\$ 6.197	\$ 4.524
00015	Hormigón H-10	m ³	\$ 99.806	\$ 90.520
00016	Armadura Refuerzo	kg	\$ 3.124	\$ 2.972
00017	Excavación Subterránea en Roca	m ³	\$ 84.407	\$ 83.698
00018	Tubería Spiropecc DN 600	m	\$ 61.459	\$ 61.459
00019	Tubería Spiropecc DN 900	m	\$ 83.596	\$ 83.596
00020	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m3	\$ 2.806	\$ 2.544
00021	Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	m	\$ 38.961	\$ 38.961
00022	Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	m	\$ 97.954	\$ 97.954
00023	Tubería HDPE PECC63 DN 1100 PN2,5	m	\$ 117.740	\$ 117.740
00024	Tubería Acero D = 14" e=3mm	m	\$ 31.032	\$ 31.032
00025	Tubería Acero D = 26" e=5mm	m	\$ 94.702	\$ 94.702
00026	Tubería Acero D = 24" e=5mm	m	\$ 83.913	\$ 83.913
00027	Tubería Acero D = 26" e=6mm	m	\$ 109.851	\$ 109.851
00028	Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	m	\$ 38.961	\$ 38.961
00029	Tubería Acero d = 1,6 m	m	\$ 434.044	\$ 434.044

**CUADRO 10.1.3-1
PRECIOS UNITARIOS (\$)**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO	SOCIAL
00030	Tubería Acero d = 1,8 m	m	\$ 485.267	\$ 485.267
00031	Bocatoma y Aducción Túnel 1	Gl	\$ 56.000.000	\$ 56.000.000
00032	Bocatoma y Aducción Túnel 2	Gl	\$ 43.000.000	\$ 43.000.000
00033	Tubería Acero D = 14" e=4mm	m	\$ 43.949	\$ 43.949
00034	Tubería Acero D = 28" e=6mm	m	\$ 120.282	\$ 120.282
00035	Ataguías	Gl	\$ 5.000.000	\$ 4.955.200
00036	Obra de Captación y Entrega	Gl	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
00037	Inyecciones	m	\$ 160.426	\$ 154.160
00038	Relleno Compactado	m ³	\$ 5.859	\$ 5.619
00039	Tubería Acero D = 30" e=8mm	m	\$ 166.912	\$ 166.912
00040	Tubería Acero D = 30" e=6mm	m	\$ 128.167	\$ 128.167
00041	Hormigón Rodillado	m ³	\$ 71.838	\$ 66.429
00042	Hormigón H-35	m ³	\$ 221.075	\$ 207.342
00043	Tubería Acero D = 16" e=3mm	m	\$ 34.393	\$ 34.393
00044	Tubería Acero D = 16" e=4mm	m	\$ 44.736	\$ 44.736
00045	Tubería Acero D = 16" e=5mm	m	\$ 55.026	\$ 55.026
00046	Tubería Acero D = 24" e=6mm	m	\$ 84.707	\$ 84.707
00047	Tubería Acero D = 24" e=8mm	m	\$ 100.205	\$ 100.205
00048	Tubería HDPE PECC63 DN 900 PN2,5	m	\$ 79.144	\$ 79.144
00049	Tubería Acero D = 26" e=8mm	m	\$ 145.860	\$ 145.860
00050	Tubería Acero D = 26" e=10mm	m	\$ 179.134	\$ 179.134
00051	Tubería Acero D = 28" e=8mm	m	\$ 166.912	\$ 166.912
00052	Tubería Acero D = 28" e=10mm	m	\$ 205.437	\$ 205.437
00053	Tubería Acero D = 22" e=5mm	m	\$ 78.134	\$ 78.134
00054	Tubería Acero D = 22" e=6mm	m	\$ 92.319	\$ 92.319
00055	Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	m	\$ 2.826	\$ 2.734
00056	Tubería Acero D = 26" e=6mm	m	\$ 108.101	\$ 108.101
00057	Reposición, Mantenimiento Y Reemplazo De Compuertas	Gl	\$ 213.000	\$ 170.400
00058	Reposición Y Mantenimiento De Cámaras De Inspección	Gl	\$ 355.000	\$ 284.000
00059	Reposición Mejoramiento De Tramos De Canal	Gl	\$ 45.000.000	\$ 36.000.000
00060	Construcción De Obras Cruce De Quebradas	Gl	\$ 17.000.000	\$ 13.600.000
00061	Mejoramiento Bocatoma Cu-Bo-01	Gl	\$ 315.520	\$ 252.416
00062	Mejoramiento Y Construcción De Desagües	Gl	\$ 20.301.959	\$ 16.241.567
00063	Construcción De Tranques Nocturnos	Gl	\$ 520.291.216	\$ 416.232.972
00064	Construcción De Sifones	Gl	\$ 65.749.992	\$ 52.599.994
00065	Aforador Remoto Canal Matriz	Un	\$ 2.569.951	\$ 2.313.727
00066	Aforador Remoto Marco Partidor Mamani	Un	\$ 2.463.204	\$ 2.206.980
00067	Aforador Remoto Tipo Canales de Riego	Un	\$ 2.348.536	\$ 2.092.312
00068	Caseta de Servidor e Internet	Un	\$ 2.738.536	\$ 2.482.312
00069	Tubería HDPE PECC63 DN 315	m	\$ 25.545	\$ 25.545
00070	Mejoramiento Caja del Río San Pedro 50m3/s	Gl	\$ 893.112.363	\$ 803.801.127

**CUADRO 10.1.3-1
PRECIOS UNITARIOS (\$)**

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO	SOCIAL
00071	Mejoramiento Caja del Río San Pedro 100m3/s	Gl	\$ 2.009.399.713	\$ 1.808.459.742
00072	Mejoramiento Caja del Río San Pedro 150m3/s	Gl	\$ 3.386.378.163	\$ 3.047.740.347
00073	Hormigón H-20	m ³	\$ 163.693	\$ 152.249
00074	Instalación de Faenas para Tuberías	Gl	\$ 314.000.000	\$ 273.000.000
00075	Planta Tratamiento de Aguas	Un	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
00076	Energía Eléctrica Grupo Electrógono	kWh	\$ 300	\$ 300
00077	Tubería Acero D = 18" e=4mm	m	\$ 52.555	\$ 52.555
00078	Tubería Acero D = 20" e=4mm	m	\$ 57.836	\$ 57.836
00079	Tubería Acero D = 22" e=5mm	m	\$ 79.835	\$ 79.835
00080	Tubería Acero D = 24" e=5mm	m	\$ 86.313	\$ 86.313
00081	Tubería Acero D = 26" e=6mm	m	\$ 112.386	\$ 112.386
00082	Losetas de Hormigón	m	\$ 5.708	\$ 5.487

Fuente: Elaboración propia.

11.3. resumen Presupuestos por obras

11.3.1. Generalidades

Se han determinados los presupuestos para cada una de las alternativas y el cálculo completo se encuentra en el Anexo 12-1. En este Acápite solo se presentaran los resúmenes de estos presupuestos desglosados en grupos.

11.3.2. Túneles

El costo de los Túneles 1 y 2 de trasvase desde el río Grande al río Salado es el indicado en el Cuadro 12.3.2-1.

**CUADRO 11.3.2-1
PRESUPUESTO OBRAS TÚNELES**

Descripción	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Túnel 1	\$ 1.121.756.633	\$ 1.110.585.184
Bocatoma y Aducción Túnel 1	56.000.000	56.000.000
Excavaciones en material común	4.680.444	4.396.323
Excavaciones abiertas en roca	22.837.000	22.635.243
Excavación Subterránea en Roca	956.721.580	948.685.331
Marcos Acero Refuerzo	32.712.440	32.695.236
Hormigón H-30	42.372.670	39.740.550
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrógono	2.932.500	2.932.500
Túnel 2 (San Bartolo)	\$ 679.650.430	\$ 672.532.518
Bocatoma y Aducción Túnel 2	43.000.000	43.000.000
Excavaciones en material común	2.747.217	2.580.450
Excavaciones abiertas en roca	13.404.326	13.285.904

**CUADRO 11.3.2-1
PRESUPUESTO OBRAS TÚNELES**

Descripción	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Excavación Subterránea en Roca	561.553.971	556.837.042
Marcos Acero Refuerzo	19.200.780	19.190.682
Hormigón H-30	33.898.136	31.792.440
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrógono	2.346.000	2.346.000

Fuente: Elaboración propia.

11.3.3. Conducción Aguas Río Grande

Se indica el resumen de los costos de conducir el agua de buena calidad del río Salado, por medio de tubería presurizada de acero ó acueducto gravitacional en HDPE, hasta aguas abajo del retenedor de crecidas.

Estos costos pertenecen a la Alternativa N° 1 y Alternativa 4 según corresponda. En el Cuadro 12.3.3-1 se indican los precios privados y en el Cuadro 12.3.3-2 precios sociales de estas obras.

**CUADRO 11.3.3-1
PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO GRANDE PRECIOS PRIVADOS**

Descripción	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Grande (Q=250 L/s) ; ALTERNATIVA 1	\$ 834.559.125	\$ 1.131.575.272
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 16" e=3mm	365.194.539	0
Tubería Acero D = 16" e=4mm	44.736.224	0
Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	0	666.233.100
Hormigón H-30	34.558.071	22.107.480
Armadura Refuerzo	17.580.199	18.744.000
Excavaciones en material fluvial	373.570	17.834.325
Excavaciones abiertas en roca	283.455	19.331.766
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	32.833.066	48.324.600
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=600 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.383.708.434	\$ 1.901.643.417
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 22" e=5mm	720.251.802	0
Tubería Acero D = 22" e=6mm	221.564.571	0
Tubería HDPE PECC63 DN 900 PN2,5	0	1.353.362.400
Hormigón H-30	45.858.323	46.057.250
Armadura Refuerzo	23.328.803	39.050.000
Excavaciones en material fluvial	495.725	36.396.582
Excavaciones abiertas en roca	376.143	39.452.584
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	32.833.066	48.324.600
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=800 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.441.367.689	\$ 2.241.086.196
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 24" e=5mm	671.304.000	0
Tubería Acero D = 24" e=6mm	220.237.086	0

CUADRO 11.3.3-1

PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO GRANDE PRECIOS PRIVADOS

Descripción	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Tubería Acero D = 24" e=8mm	102.029.467	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	1.675.013.400
Hormigón H-30	49.723.592	46.057.250
Armadura Refuerzo	25.295.122	39.050.000
Excavaciones en material fluvial	537.508	44.934.052
Excavaciones abiertas en roca	407.847	48.706.894
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	32.833.066	48.324.600
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=1.000 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.802.991.850	\$ 2.241.086.196
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 26" e=6mm	1.054.569.600	0
Tubería Acero D = 26" e=8mm	294.376.935	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	1.675.013.400
Hormigón H-30	53.813.446	46.057.250
Armadura Refuerzo	27.375.691	39.050.000
Excavaciones en material fluvial	581.719	44.934.052
Excavaciones abiertas en roca	441.394	48.706.894
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	32.833.066	48.324.600
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.3.3-2

PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO GRANDE PRECIOS SOCIALES

Descripción	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Grande (Q=250 L/s) ; ALTERNATIVA 1	\$ 789.474.417	\$ 1.085.912.750
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 16" e=3mm	365.194.539	0
Tubería Acero D = 16" e=4mm	44.736.224	0
Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	0	666.233.100
Hormigón H-30	32.411.381	20.734.200
Armadura Refuerzo	16.725.950	17.833.200
Excavaciones en material fluvial	360.252	17.198.504
Excavaciones abiertas en roca	280.951	19.160.977
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	31.765.120	46.752.768
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=600 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.337.637.266	\$ 1.852.666.942
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 22" e=5mm	720.251.802	0
Tubería Acero D = 22" e=6mm	221.564.571	0
Tubería HDPE PECC63 DN 900 PN2,5	0	1.353.362.400
Hormigón H-30	43.009.680	43.196.250
Armadura Refuerzo	22.195.220	37.152.500
Excavaciones en material fluvial	478.051	35.098.989
Excavaciones abiertas en roca	372.820	39.104.036

CUADRO 11.3.3-2
PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO GRANDE PRECIOS SOCIALES

Descripción	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	31.765.120	46.752.768
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=800 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.394.959.100	\$ 2.191.723.590
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 24" e=5mm	671.304.000	0
Tubería Acero D = 24" e=6mm	220.237.086	0
Tubería Acero D = 24" e=8mm	102.029.467	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	1.675.013.400
Hormigón H-30	46.634.845	43.196.250
Armadura Refuerzo	24.065.993	37.152.500
Excavaciones en material fluvial	518.345	43.332.085
Excavaciones abiertas en roca	404.244	48.276.587
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	31.765.120	46.752.768
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Grande (Q=1.000 L/s) ; ALTERNATIVA 4	\$ 1.756.226.236	\$ 2.191.723.590
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 26" e=6mm	1.054.569.600	0
Tubería Acero D = 26" e=8mm	294.376.935	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	1.675.013.400
Hormigón H-30	50.470.644	43.196.250
Armadura Refuerzo	26.045.463	37.152.500
Excavaciones en material fluvial	560.980	43.332.085
Excavaciones abiertas en roca	437.494	48.276.587
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE	31.765.120	46.752.768
Estanque Corta Presión	25.000.000	25.000.000

Fuente: Elaboración propia.

11.3.4. Conducción Aguas Río Salado

Se indica el resumen de los costos de conducir el agua de buena calidad del río Salado, por medio de canal abierto, tubería presurizada de acero ó acueducto gravitacional en HDPE, hasta la bocatoma del canal San Pedro. Estos costos pertenecen a la Alternativa N° 2 y Alternativa 3 según corresponda. En el Cuadro 12.3.4-1 se indica a precios privados y en el Cuadro 12.3.4-2 a precios sociales.

CUADRO 11.3.4-1
PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS PRIVADOS (\$)

Descripción	CANAL ABIERTO	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s) ; ALTERNATIVA 2	\$ 2.168.749.933	\$ 1.673.828.603	\$ 1.434.902.416
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 16" e=3mm	0	237.773.448	0
Tubería Acero D = 16" e=4mm	0	606.175.842	0
Tubería Acero D = 16" e=5mm	0	299.892.923	0

CUADRO 11.3.4-1
PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS PRIVADOS (\$)

Descripción	CANAL ABIERTO	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	0	0	935.064.000
Hormigón H-30	1.202.462.683	77.078.683	22.107.480
Armadura Refuerzo	611.710.440	39.211.059	18.744.000
Excavaciones en material fluvial	24.858.484	833.214	25.030.632
Excavaciones abiertas en roca	15.718.326	632.222	27.132.304
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		73.231.213	67.824.000
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 2.850.267.405	\$ 3.002.648.969	\$ 2.468.905.756
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 24" e=6mm	0	962.553.002	0
Tubería Acero D = 24" e=8mm	0	1.457.976.514	0
Tubería HDPE PECC63 DN 900 PN2,5	0	0	1.899.456.000
Hormigón H-30	1.631.532.024	111.203.278	30.397.785
Armadura Refuerzo	829.984.320	56.570.742	25.773.000
Excavaciones en material fluvial	45.794.582	1.202.098	51.082.922
Excavaciones abiertas en roca	28.956.479	912.122	55.372.048
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		73.231.213	67.824.000
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 2.937.635.751	\$ 4.136.755.481	\$ 2.945.316.675
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 26" e=6mm		1.087.857.183	0
Tubería Acero D = 26" e=8mm		1.691.979.314	0
Tubería Acero D = 26" e=10mm	0	761.320.714	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	0	2.350.896.000
Hormigón H-30	1.684.037.289	120.026.070	30.397.785
Armadura Refuerzo	856.694.520	61.059.026	25.773.000
Excavaciones en material fluvial	50.789.264	1.297.472	63.065.336
Excavaciones abiertas en roca	32.114.678	984.489	68.360.553
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		73.231.213	67.824.000
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 3.018.872.985	\$ 4.863.362.960	\$ 3.447.780.112
Instalación de Faenas para Tuberías	314.000.000	314.000.000	314.000.000
Tubería Acero D = 28" e=6mm	0	963.865.433	-
Tubería Acero D = 28" e=8mm	0	1.677.468.471	
Tubería Acero D = 28" e=10mm	0	1.612.682.693	
Tubería HDPE PECC63 DN 1100 PN2,5	0	0	2.825.760.000
Hormigón H-30	1.732.857.974	129.025.121	30.397.785
Armadura Refuerzo	881.530.320	65.636.975	25.773.000
Excavaciones en material fluvial	55.433.442	1.394.751	76.309.057
Excavaciones abiertas en roca	35.051.249	1.058.302	82.716.270
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		73.231.213	67.824.000
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 11.3.4-2
PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS SOCIALES (\$)

Descripción	CANAL ABIERTO	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s) ; ALTERNATIVA 2	\$ 2.022.305.879	\$ 1.623.718.029	\$ 1.388.280.172

CUADRO 11.3.4-2

PRESUPUESTO OBRAS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS SOCIALES (\$)

Descripción	CANAL ABIERTO	PRESIÓN	ACUEDUCTO
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 16" e=3mm	0	237.773.448	0
Tubería Acero D = 16" e=4mm	0	606.175.842	0
Tubería Acero D = 16" e=5mm	0	299.892.923	0
Tubería HDPE PECC63 DN 600 PN2,5	0	0	935.064.000
Hormigón H-30	1.127.767.695	72.290.683	20.734.200
Armadura Refuerzo	581.986.482	37.305.733	17.833.200
Excavaciones en material fluvial	23.972.242	803.509	24.138.252
Excavaciones abiertas en roca	15.579.461	626.636	26.892.600
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		70.849.255	65.617.920
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 2.665.700.651	\$ 2.949.559.473	\$ 2.420.248.691
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 24" e=6mm	0	962.553.002	0
Tubería Acero D = 24" e=8mm	0	1.457.976.514	0
Tubería HDPE PECC63 DN 900 PN2,5	0	0	1.899.456.000
Hormigón H-30	1.530.183.960	104.295.515	28.509.525
Armadura Refuerzo	789.654.096	53.821.882	24.520.650
Excavaciones en material fluvial	44.161.936	1.159.241	49.261.739
Excavaciones abiertas en roca	28.700.659	904.063	54.882.857
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		70.849.255	65.617.920
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 2.748.303.597	\$ 4.082.895.795	\$ 2.896.117.670
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 26" e=6mm		1.087.857.183	0
Tubería Acero D = 26" e=8mm		1.691.979.314	0
Tubería Acero D = 26" e=10mm	0	761.320.714	0
Tubería HDPE PECC63 DN 1000 PN2,5	0	0	2.350.896.000
Hormigón H-30	1.579.427.685	112.570.249	28.509.525
Armadura Refuerzo	815.066.406	58.092.073	24.520.650
Excavaciones en material fluvial	48.978.550	1.251.215	60.816.961
Excavaciones abiertas en roca	31.830.957	975.791	67.756.614
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		70.849.255	65.617.920
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s) ; ALTERNATIVA 3	\$ 2.825.109.846	\$ 4.808.717.698	\$ 3.397.982.121
Instalación de Faenas para Tuberías	273.000.000	273.000.000	273.000.000
Tubería Acero D = 28" e=6mm	0	963.865.433	-
Tubería Acero D = 28" e=8mm	0	1.677.468.471	
Tubería Acero D = 28" e=10mm	0	1.612.682.693	
Tubería HDPE PECC63 DN 1100 PN2,5	0	0	2.825.760.000
Hormigón H-30	1.625.215.710	121.010.295	28.509.525
Armadura Refuerzo	838.695.396	62.447.573	24.520.650
Excavaciones en material fluvial	53.457.156	1.345.026	73.588.523
Excavaciones abiertas en roca	34.741.584	1.048.952	81.985.503
Transporte Interno, Instalación y Pruebas Tuberías de Acero/HDPE		70.849.255	65.617.920
Estanque Corta Presión		25.000.000	25.000.000

Fuente: Elaboración propia.

11.3.5. Embalse de Riego Río Salado

En el Cuadro 12.3.5-1 se indica el costo del Embalse en río Salado para los distintos volúmenes útiles considerados.

**CUADRO 11.3.5-1
PRESUPUESTO EMBALSE RIEGO RÍO SALADO**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 0,8 hm³	\$ 11.136.235.806	\$ 10.510.855.460
Instalación de Faenas	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000
Mejoramiento y Construcción de Caminos de Acceso	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
Preparación del terreno	\$ 145.995.433	\$ 137.345.559
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	66.694.572	58.734.141
Excavaciones en material fluvial	5.514.156	5.317.568
Excavaciones abiertas en roca	55.786.704	55.293.850
Preparación de Laderas de Cerro	18.000.000	18.000.000
Muro	\$ 4.823.861.697	\$ 4.580.806.482
Relleno presa	2.054.434.445	1.970.349.554
Pantalla Hormigón H30	2.135.980.503	2.003.296.936
Plinto H30	24.144.684	22.644.857
Parapeto H30	42.866.735	40.203.925
Inyecciones	566.435.329	544.311.211
Vertedero	\$ 3.446.354.094	\$ 3.121.108.815
Vertedero H30	206.133.828	193.329.137
Canal evacuador	349.579.023	327.863.753
Rápido de descarga	118.275.018	110.927.970
Excavación abierta en roca con explosivo	2.615.612.685	2.341.749.967
Excavaciones en material común	156.753.540	147.237.988
Túnel de Desvío	\$ 768.416.449	\$ 761.836.554
Excavaciones en material fluvial	4.600.365	4.436.355
Excavación Subterránea en Roca	763.816.084	757.400.199
Obra de Captación y Entrega	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
Obra de Captación y Entrega	26.000.000	25.149.917
Tratamiento de Aguas para Hormigones	\$ 202.608.134	\$ 202.608.134
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrónico	199.108.134	199.108.134
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 1,5 hm³	\$ 11.956.306.941	\$ 11.279.033.588
Instalación de Faenas	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000
Mejoramiento y Construcción de Caminos de Acceso	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
Preparación del terreno	\$ 155.194.340	\$ 145.922.808
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	71.487.846	62.955.306
Excavaciones en material fluvial	5.910.453	5.699.737
Excavaciones abiertas en roca	59.796.040	59.267.765
Preparación de Laderas de Cerro	18.000.000	18.000.000
Muro	\$ 5.384.777.604	\$ 5.113.298.588
Relleno presa	2.406.929.931	2.308.417.933
Pantalla Hormigón H30	2.384.284.349	2.236.176.559
Plinto H30	25.980.710	24.366.832
Parapeto H30	46.679.391	43.779.745

**CUADRO 11.3.5-1
PRESUPUESTO EMBALSE RIEGO RÍO SALADO**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Inyecciones	520.903.222	500.557.520
Vertedero	\$ 3.677.395.832	\$ 3.329.303.004
Vertedero H30	206.133.828	193.329.137
Canal evacuador	368.929.626	346.012.330
Rápido de descarga	118.275.018	110.927.970
Excavación abierta en roca con explosivo	2.815.503.754	2.520.711.824
Excavaciones en material común	168.553.606	158.321.743
Túnel de Desvío	\$ 768.416.449	\$ 761.836.554
Excavaciones en material fluvial	4.600.365	4.436.355
Excavación Subterránea en Roca	763.816.084	757.400.199
Obra de Captación y Entrega	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
Obra de Captación y Entrega	26.000.000	25.149.917
Tratamiento de Aguas para Hormigones	\$ 221.522.718	\$ 221.522.718
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrónico	218.022.718	218.022.718
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 3,0 hm³	\$ 14.487.703.330	\$ 13.649.076.683
Instalación de Faenas	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000
Mejoramiento y Construcción de Caminos de Acceso	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
Preparación del terreno	\$ 179.145.373	\$ 168.255.241
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	83.968.009	73.945.881
Excavaciones en material fluvial	6.942.285	6.694.782
Excavaciones abiertas en roca	70.235.079	69.614.578
Preparación de Laderas de Cerro	18.000.000	18.000.000
Muro	\$ 7.054.676.734	\$ 6.702.282.710
Relleno presa	3.220.432.336	3.088.624.916
Pantalla Hormigón H30	2.985.313.960	2.799.871.207
Plinto H30	31.634.975	29.669.863
Parapeto H30	54.484.271	51.099.799
Inyecciones	762.811.192	733.016.926
Vertedero	\$ 4.468.842.791	\$ 4.041.930.278
Vertedero H30	206.133.828	193.329.137
Canal evacuador	420.544.531	394.421.002
Rápido de descarga	118.275.018	110.927.970
Excavación abierta en roca con explosivo	3.513.306.700	3.145.452.650
Excavaciones en material común	210.582.714	197.799.520
Túnel de Desvío	\$ 768.416.449	\$ 761.836.554
Excavaciones en material fluvial	4.600.365	4.436.355
Excavación Subterránea en Roca	763.816.084	757.400.199
Obra de Captación y Entrega	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
Obra de Captación y Entrega	26.000.000	25.149.917
Tratamiento de Aguas para Hormigones	\$ 267.621.984	\$ 267.621.984
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrónico	264.121.984	264.121.984
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 4,5 hm³	\$ 16.585.112.863	\$ 15.605.077.064
Instalación de Faenas	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000

**CUADRO 11.3.5-1
PRESUPUESTO EMBALSE RIEGO RÍO SALADO**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento y Construcción de Caminos de Acceso	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
Preparación del terreno	\$ 199.243.123	\$ 186.994.794
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	94.440.343	83.168.273
Excavaciones en material fluvial	7.808.114	7.529.743
Excavaciones abiertas en roca	78.994.667	78.296.778
Preparación de Laderas de Cerro	18.000.000	18.000.000
Muro	\$ 8.308.656.694	\$ 7.894.850.198
Relleno presa	3.842.894.664	3.685.610.803
Pantalla Hormigón H30	3.463.578.892	3.248.427.114
Plinto H30	36.790.531	34.505.165
Parapeto H30	59.787.837	56.073.916
Inyecciones	905.604.770	870.233.200
Vertedero	\$ 5.255.308.749	\$ 4.749.757.754
Vertedero H30	206.133.828	193.329.137
Canal evacuador	464.507.631	435.653.188
Rápido de descarga	118.275.018	110.927.970
Excavación abierta en roca con explosivo	4.214.109.413	3.772.879.156
Excavaciones en material común	252.282.859	236.968.304
Túnel de Desvío	\$ 768.416.449	\$ 761.836.554
Excavaciones en material fluvial	4.600.365	4.436.355
Excavación Subterránea en Roca	763.816.084	757.400.199
Obra de Captación y Entrega	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
Obra de Captación y Entrega	26.000.000	25.149.917
Tratamiento de Aguas para Hormigones	\$ 304.487.848	\$ 304.487.848
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrógeno	300.987.848	300.987.848
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 6,1 hm³	\$ 18.897.999.210	\$ 17.754.942.806
Instalación de Faenas	\$ 523.000.000	\$ 482.000.000
Mejoramiento y Construcción de Caminos de Acceso	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
Preparación del terreno	\$ 222.630.705	\$ 208.801.854
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	106.626.909	93.900.293
Excavaciones en material fluvial	8.815.672	8.501.379
Excavaciones abiertas en roca	89.188.125	88.400.181
Preparación de Laderas de Cerro	18.000.000	18.000.000
Muro	\$ 9.579.178.756	\$ 9.101.735.950
Relleno presa	4.529.731.348	4.344.336.302
Pantalla Hormigón H30	4.003.731.872	3.755.026.687
Plinto H30	43.141.181	40.461.323
Parapeto H30	65.206.841	61.156.300
Inyecciones	937.367.514	900.755.338
Vertedero	\$ 6.232.516.120	\$ 5.629.161.352
Vertedero H30	206.133.828	193.329.137
Canal evacuador	516.124.010	484.063.242
Rápido de descarga	118.275.018	110.927.970
Excavación abierta en roca con explosivo	5.087.090.706	4.554.456.615

**CUADRO 11.3.5-1
PRESUPUESTO EMBALSE RIEGO RÍO SALADO**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Excavaciones en material común	304.892.558	286.384.388
Túnel de Desvío	\$ 768.416.449	\$ 761.836.554
Excavaciones en material fluvial	4.600.365	4.436.355
Excavación Subterránea en Roca	763.816.084	757.400.199
Obra de Captación y Entrega	\$ 26.000.000	\$ 25.149.917
Obra de Captación y Entrega	26.000.000	25.149.917
Tratamiento de Aguas para Hormigones	\$ 346.257.180	\$ 346.257.180
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrónico	342.757.180	342.757.180

Fuente: Elaboración propia.

11.3.6. Embalse de Control de Crecidas

En el Cuadro 12.3.6-1 se indica el costo del Embalse en río Grande para control de crecidas, para los distintos volúmenes considerados, precios privados y sociales. Cabe destacar que el precio de este embalse va disminuyendo a medida que se aumenta el tamaño. Este efecto, contrario a lo que sucede en otros proyectos, ocurre porque a medida que el embalse es más pequeño, la cota umbral del vertedero lateral estará ubicada más abajo en la roca, lo que trae consigo mayor cantidad de volumen de roca a remover.

**CUADRO 11.3.6-1
PRESUPUESTO EMBALSE CONTROL CRECIDAS RÍO GRANDE**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 4,3 hm³	\$ 7.196.520.183	\$ 6.596.525.384
Instalación de Faenas para Embalse	523.000.000	482.000.000
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	36.801.252	32.408.783
Excavaciones en material fluvial	3.042.644	2.934.169
Excavaciones abiertas en roca	30.782.424	30.510.473
Relleno presa	618.241.680	592.937.984
Hormigón H-30	1.434.751.115	1.345.626.755
Inyecciones	311.602.318	299.431.597
Excavación abierta en roca con explosivo	4.031.674.790	3.609.546.002
Excavaciones en material común	90.510.444	85.016.107
Túnel de Desvío por el Cuerpo de la Presa	25.000.000	25.000.000
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrónico	87.613.514	87.613.514
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 7,1 hm³	\$ 7.137.001.324	\$ 6.554.590.599
Instalación de Faenas para Embalse	523.000.000	482.000.000
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	39.382.234	34.681.708
Excavaciones en material fluvial	3.256.034	3.139.951
Excavaciones abiertas en roca	32.941.287	32.650.263
Relleno presa	724.436.055	694.785.984
Hormigón H-30	1.503.980.763	1.410.555.972
Inyecciones	330.788.947	317.868.825
Excavación abierta en roca con explosivo	3.774.145.997	3.378.981.267

CUADRO 11.3.6-1
PRESUPUESTO EMBALSE CONTROL CRECIDAS RÍO GRANDE

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Excavaciones en material común	84.728.965	79.585.586
Túnel de Desvío por el Cuerpo de la Presa	25.000.000	25.000.000
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrógono	91.841.043	91.841.043
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 10,2 hm³	\$ 6.914.679.561	\$ 6.378.629.278
Instalación de Faenas para Embalse	523.000.000	482.000.000
Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	40.323.766	35.510.862
Excavaciones en material fluvial	3.333.878	3.215.020
Excavaciones abiertas en roca	33.728.832	33.430.850
Relleno presa	880.033.518	844.015.078
Hormigón H-30	1.653.435.802	1.550.727.112
Inyecciones	428.076.246	411.356.228
Excavación abierta en roca con explosivo	3.152.506.694	2.822.429.518
Excavaciones en material común	70.773.263	66.477.050
Túnel de Desvío por el Cuerpo de la Presa	25.000.000	25.000.000
Planta Tratamiento de Aguas	3.500.000	3.500.000
Energía Eléctrica Grupo Electrógono	100.967.561	100.967.561

Fuente: Elaboración propia.

11.3.7. Mejoramiento y Ampliación Red Primaria

Se presenta en el Cuadro 12.3.7-1 el costo del mejoramiento y ampliación de la red primaria de canales de San Pedro.

CUADRO 11.3.7-1
PRESUPUESTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION RED PRIMARIA

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento de Canales Red Primaria	\$ 669.226.687	\$ 535.381.349
Reposición, Mantenión y Reemplazo de Compuertas	213.000	170.400
Reposición y Mantenión de Cámaras de Inspección	355.000	284.000
Reposición Mejoramiento de Tramos de Canal	45.000.000	36.000.000
Construcción de Obras Cruce de Quebradas	17.000.000	13.600.000
Mejoramiento Bocatoma Cu-Bo-01	315.520	252.416
Mejoramiento y Construcción de Desagües	20.301.959	16.241.567
Construcción de Tranques Nocturnos	520.291.216	416.232.972
Construcción de Sifones	65.749.992	52.599.994
Ampliación de Canales RED Primaria	\$ 140.979.406	\$ 132.535.345
Excavaciones en material común	555.225	521.521
Excavaciones abiertas en roca	200.672	198.899
Relleno Compactado	14.245.876	13.662.814
Hormigón H-30	125.977.632	118.152.111

Fuente: Elaboración propia.

11.3.8. Mejoramiento y Ampliación Red Secundaria

Se presenta en el Cuadro 11.3.8-1 el costo del mejoramiento y de la ampliación de la red secundaria de canales de San Pedro. Se hace notar que el costo de ampliación de la red secundaria se requiere en caso de la construcción del embalse.

CUADRO 11.3.8-1

PRESUPUESTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION RED SECUNDARIA

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento de Canales Red Secundaria	\$ 695.766.148	\$ 668.404.645
Excavaciones en material común	20.655.154	19.401.305
Losetas de Hormigón	674.930.110	648.822.456
Instalación de Compuertas	180.884	180.884

Fuente: Elaboración propia.

11.3.9. Presupuestos Aforadores Remotos

El Cuadro 11.3.9-1 muestra el costo de la instalación de la red de aforadores remotos en San Pedro de Atacama.

CUADRO 11.3.9-1

PRESUPUESTO AFORADORES REMOTOS

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Red de Aforadores Remotos	\$ 42.999.731	\$ 38.387.699
Aforador Remoto Canal Matriz	2.569.951	2.313.727
Aforador Remoto Marco Partidor Mamani	2.463.204	2.206.980
Aforador Remoto Tipo Canales de Riego	35.228.040	31.384.680
Caseta de Servidor e Internet	2.738.536	2.482.312

Fuente: Elaboración propia.

11.3.10. Presupuestos Conducción de Aguas de Mala Calidad

El Cuadro 11.3.10-1 muestra el costo de la instalación de la tubería que transportará las aguas de mala calidad desde aguas arriba de la confluencia hasta aguas abajo de la última bocatoma de riego de San Pedro de Atacama.

CUADRO 11.3.10-1

PRESUPUESTO CONDUCCION DE AGUAS DE MALA CALIDAD

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Conducción de Aguas de Mala Calidad	\$ 343.567.096	\$ 343.012.750
Tubería HDPE PECC63 DN 315	334.435.140	334.435.140
Excavaciones en material común	9.131.956	8.577.610

Fuente: Elaboración propia.

11.3.11. Presupuestos Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro

En los Estudios Básicos de este Proyecto, se analizó la caja del río San Pedro en cuanto a cuál sería el caudal máximo que soporta la caja del río, antes de incurrir en desbordamientos y/o daños. Luego de esto, se determinó el costo que conllevaría preparar la caja para distintos caudales ó periodos de retorno de crecidas. En el Cuadro 12.3.11-1 se presentan los presupuestos para preparación de la caja del río para los caudales de 50, 100 y 150 m³/s.

CUADRO 11.3.11-1
PRESUPUESTO PREPARACIÓN DE LA CAJA DEL RÍO SAN PEDRO

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 50 m ³ /s	\$ 893.112.363	\$ 803.801.127
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 100 m ³ /s	\$ 2.009.399.713	\$ 1.808.459.742
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 150 m ³ /s	\$ 3.386.378.163	\$ 3.047.740.347

Fuente: Elaboración propia.

11.3.12. Presupuestos Mini Centrales Hidroeléctricas

En el Cuadro 12.3.12 se presenta el costo de las mini centrales hidroeléctricas que tendrían las alternativas en juego.

CUADRO 11.3.12-1
PRESUPUESTO MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Alternativa	Potencia Instalada (kW)	Costo Total (US\$)	Costo Total (\$)
3-1	150,8	577.734	273.244.836
3-2	187,7	683.184	323.118.847
3-3	276,3	1.025.110	484.836.215
3-4	360,0	1.508.697	713.553.522
3-5	550,8	3.664.889	1.733.345.949

Fuente: Elaboración propia.

11.3.13. Presupuestos Planta Desalación de Aguas

En el Cuadro 12.3.13-1 se presenta el costo de la planta de desalación por alternativa.

CUADRO 11.3.13-1
PRESUPUESTO PLANTA DE DESALACION

Alternativa	Q Diseño (L/s)	Q APR (L/s)	VolDiario APR (m ³)	Costo (\$)
3-1	212	70	6.048	3.651.842.880
3-2	168	40	3.456	2.086.767.360
3-3	206,9	40	3.456	2.086.767.360
3-4	254,8	40	3.456	2.086.767.360
3-5	357,8	40	3.456	2.086.767.360

Fuente: Elaboración propia.

11.4. resumen presupuestos por alternativa

En el Cuadro 12.4-1 se indican las componentes incluidas en los presupuestos por alternativa. En el Cuadro 12.4-2 y Cuadro 12.4-3 se presentan los costos a precios de mercado y precios sociales de las alternativas. Estos costos incluyen todas las partidas del proyecto, gasto generales, expropiaciones entre otras. Para mayores detalles revisar Anexo 12 del presupuesto del proyecto.

**CUADRO 11.4-1
RESUMEN DE OBRAS POR ALTERNATIVAS**

Obras Consideradas		1a	1b	2a	2b	3-1 a 3-5	3-1 a 3-5	4-1 a 4-5	4-1 a 4-5
Obras Civiles	Túnel 1					X	X	X	X
	Túnel 2	X	X					X	X
Obras Riego	Mejoramiento Red Primaria	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ampliación Red Primaria					X	X	X	X
	Mejoramiento Red Secundaria	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ampliación Red Secundaria					X	X	X	X
Conducción Río Grande		X	X					X	X
Conducción Río Salado				X	X	X	X		
Embalse Río Salado						X	X	X	X
Embalse Río Grande			X		X		X		X
Aforadores Remotos		X	X	X	X	X	X	X	X
Gastos Generales, Útilidades, Imprevistos y Contingencia		X	X	X	X	X	X	X	X
Expropiaciones		X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.4-2
RESUMEN DE COSTOS TODAS LAS ALTERNATIVAS PRECIOS DE MERCADO(\$)**

Alternativa	Obras Civiles	Obras Riego	Conducción Río Grande	Conducción Río Salado	Embalse Río Salado	Embalse Río Grande	COSTO DIRECTO	Gastos Generales (45%)	SUBTOTAL	Expropiaciones (ha)	COSTO TOTAL
1a Q=250 l/s presión	1.023.217.525	1.407.992.566	834.559.125	-	-	-	3.265.769.216	1.469.596.147	4.735.365.364	381.084.000	5.116.449.364
1b Q=250 l/s presión	1.023.217.525	1.407.992.566	834.559.125	-	-	6.914.679.561	10.180.448.777	4.581.201.950	14.761.650.727	381.084.000	15.142.734.727
1a Q=250 l/s acueducto	1.023.217.525	1.407.992.566	1.131.575.272	-	-	-	3.562.785.363	1.603.253.413	5.166.038.777	381.084.000	5.547.122.777
1b Q=250 l/s acueducto	1.023.217.525	1.407.992.566	1.131.575.272	-	-	6.914.679.561	10.477.464.924	4.714.859.216	15.192.324.140	381.084.000	15.573.408.140
2a Q=250 l/s canal	343.567.096	1.407.992.566	-	2.168.749.933	-	-	3.920.309.595	1.764.139.318	5.684.448.913	53.080.500	5.737.529.413
2b Q=250 l/s canal	343.567.096	1.407.992.566	-	2.168.749.933	-	6.914.679.561	10.834.989.156	4.875.745.120	15.710.734.277	53.080.500	15.763.814.777
2a Q=250 l/s acero	343.567.096	1.407.992.566	-	1.673.828.603	-	-	3.425.388.265	1.541.424.719	4.966.812.985	53.080.500	5.019.893.485
2b Q=250 l/s acero	343.567.096	1.407.992.566	-	1.673.828.603	-	6.914.679.561	10.340.067.826	4.653.030.522	14.993.098.348	53.080.500	15.046.178.848
2a Q=250 l/s acueducto	343.567.096	1.407.992.566	-	1.434.902.416	-	-	3.186.462.078	1.433.907.935	4.620.370.012	53.080.500	4.673.450.512
2b Q=250 l/s acueducto	343.567.096	1.407.992.566	-	1.434.902.416	-	6.914.679.561	10.101.141.638	4.545.513.737	14.646.655.376	53.080.500	14.699.735.876
3-1 Q=650 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.850.267.405	11.136.235.806	-	16.957.799.181	7.631.009.631	24.588.808.813	53.080.500	24.641.889.313
3-2 Q=650 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.850.267.405	11.956.306.941	-	17.777.870.316	8.000.041.642	25.777.911.959	53.080.500	25.830.992.459
3-3 Q=850 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.937.635.751	14.487.703.330	-	20.396.635.051	9.178.485.773	29.575.120.824	53.080.500	29.628.201.324
3-4 Q=850 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.937.635.751	16.585.112.863	-	22.494.044.584	10.122.320.063	32.616.364.647	53.080.500	32.669.445.147
3-5 Q=1050 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.018.872.985	18.897.999.210	-	24.888.168.166	11.199.675.675	36.087.843.840	53.080.500	36.140.924.340
3-1 Q=650 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.002.648.969	11.136.235.806	-	17.110.180.745	7.699.581.335	24.809.762.081	53.080.500	24.862.842.581
3-2 Q=650 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.002.648.969	11.956.306.941	-	17.930.251.881	8.068.613.346	25.998.865.227	53.080.500	26.051.945.727
3-3 Q=850 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.136.755.481	14.487.703.330	-	21.595.754.781	9.718.089.651	31.313.844.432	53.080.500	31.366.924.932
3-4 Q=850 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.136.755.481	16.585.112.863	-	23.693.164.314	10.661.923.941	34.355.088.255	53.080.500	34.408.168.755
3-5 Q=1050 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.863.362.960	18.897.999.210	-	26.732.658.141	12.029.696.163	38.762.354.304	53.080.500	38.815.434.804
3-1 Q=650 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.468.905.756	11.136.235.806	-	16.576.437.532	7.459.396.889	24.035.834.421	53.080.500	24.088.914.921
3-2 Q=650 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.468.905.756	11.956.306.941	-	17.396.508.667	7.828.428.900	25.224.937.567	53.080.500	25.278.018.067
3-3 Q=850 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.945.316.675	14.487.703.330	-	20.404.315.975	9.181.942.189	29.586.258.164	53.080.500	29.639.338.664
3-4 Q=850 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.945.316.675	16.585.112.863	-	22.501.725.508	10.125.776.479	32.627.501.987	53.080.500	32.680.582.487
3-5 Q=1050 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.447.780.112	18.897.999.210	-	25.317.075.292	11.392.683.882	36.709.759.174	53.080.500	36.762.839.674
3-1 Q=650 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.850.267.405	11.136.235.806	6.914.679.561	23.872.478.742	10.742.615.434	34.615.094.176	53.080.500	34.668.174.676
3-2 Q=650 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.850.267.405	11.956.306.941	6.914.679.561	24.692.549.877	11.111.647.445	35.804.197.322	53.080.500	35.857.277.822
3-3 Q=850 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.937.635.751	14.487.703.330	6.914.679.561	27.311.314.612	12.290.091.575	39.601.406.187	53.080.500	39.654.486.687
3-4 Q=850 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.937.635.751	16.585.112.863	6.914.679.561	29.408.724.145	13.233.925.865	42.642.650.010	53.080.500	42.695.730.510
3-5 Q=1050 canal	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.018.872.985	18.897.999.210	6.914.679.561	31.802.847.727	14.311.281.477	46.114.129.204	53.080.500	46.167.209.704
3-1 Q=650 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.002.648.969	11.136.235.806	6.914.679.561	24.024.860.306	10.811.187.138	34.836.047.444	53.080.500	34.889.127.944
3-2 Q=650 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.002.648.969	11.956.306.941	6.914.679.561	24.844.931.442	11.180.219.149	36.025.150.590	53.080.500	36.078.231.090
3-3 Q=850 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.136.755.481	14.487.703.330	6.914.679.561	28.510.434.342	12.829.695.454	41.340.129.796	53.080.500	41.393.210.296
3-4 Q=850 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.136.755.481	16.585.112.863	6.914.679.561	30.607.843.875	13.773.529.744	44.381.373.619	53.080.500	44.434.454.119
3-5 Q=1050 acero	1.465.323.729	1.505.972.241	-	4.863.362.960	18.897.999.210	6.914.679.561	33.647.337.701	15.141.301.966	48.788.639.667	53.080.500	48.841.720.167
3-1 Q=650 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.468.905.756	11.136.235.806	6.914.679.561	23.491.117.093	10.571.002.692	34.062.119.785	53.080.500	34.115.200.285
3-2 Q=650 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.468.905.756	11.956.306.941	6.914.679.561	24.311.188.228	10.940.034.703	35.251.222.931	53.080.500	35.304.303.431
3-3 Q=850 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.945.316.675	14.487.703.330	6.914.679.561	27.318.995.536	12.293.547.991	39.612.543.527	53.080.500	39.665.624.027
3-4 Q=850 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	2.945.316.675	16.585.112.863	6.914.679.561	29.416.405.069	13.237.382.281	42.653.787.350	53.080.500	42.706.867.850
3-5 Q=1050 acueducto	1.465.323.729	1.505.972.241	-	3.447.780.112	18.897.999.210	6.914.679.561	32.231.754.853	14.504.289.684	46.736.044.537	53.080.500	46.789.125.037
4a-1 Q=600 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.383.708.434	-	11.136.235.806	-	16.170.890.640	7.276.900.788	23.447.791.428	381.084.000	23.828.875.428
4a-2 Q=600 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.383.708.434	-	11.956.306.941	-	16.990.961.776	7.645.932.799	24.636.894.575	381.084.000	25.017.978.575
4a-3 Q=800 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.441.367.689	-	14.487.703.330	-	19.580.017.419	8.811.007.838	28.391.025.257	381.084.000	28.772.109.257
4a-4 Q=800 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.441.367.689	-	16.585.112.863	-	21.677.426.952	9.754.842.128	31.432.269.080	381.084.000	31.813.353.080

4a-5 Q=1000 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.802.991.850	-	18.897.999.210	-	24.351.937.460	10.958.371.857	35.310.309.318	381.084.000	35.691.393.318
----------------------------	---------------	---------------	---------------	---	----------------	---	----------------	----------------	----------------	-------------	-----------------------

**CUADRO 11.4-3
RESUMEN DE COSTOS TODAS LAS ALTERNATIVAS PRECIOS DE MERCADO(\$)**

Alternativa	Obras Civiles	Obras Riego	Conducción Río Grande	Conducción Río Salado	Embalse Río Salado	Embalse Río Grande	COSTO DIRECTO	Gastos Generales (45%)	SUBTOTAL	Expropiaciones (ha)	COSTO TOTAL
4a-1 Q=600 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	1.901.643.417	-	11.136.235.806	-	16.688.825.623	7.509.971.530	24.198.797.153	381.084.000	24.579.881.153
4a-2 Q=600 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	1.901.643.417	-	11.956.306.941	-	17.508.896.758	7.879.003.541	25.387.900.299	381.084.000	25.768.984.299
4a-3 Q=800 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	14.487.703.330	-	20.379.735.926	9.170.881.167	29.550.617.093	381.084.000	29.931.701.093
4a-4 Q=800 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	16.585.112.863	-	22.477.145.459	10.114.715.457	32.591.860.916	381.084.000	32.972.944.916
4a-5 Q=1000 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	18.897.999.210	-	24.790.031.807	11.155.514.313	35.945.546.120	381.084.000	36.326.630.120
4a-1 Q=600 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.383.708.434	-	11.136.235.806	6.914.679.561	23.085.570.201	10.388.506.591	33.474.076.792	381.084.000	33.855.160.792
4a-2 Q=600 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.383.708.434	-	11.956.306.941	6.914.679.561	23.905.641.336	10.757.538.601	34.663.179.938	381.084.000	35.044.263.938
4a-3 Q=800 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.441.367.689	-	14.487.703.330	6.914.679.561	26.494.696.980	11.922.613.641	38.417.310.620	381.084.000	38.798.394.620
4a-4 Q=800 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.441.367.689	-	16.585.112.863	6.914.679.561	28.592.106.513	12.866.447.931	41.458.554.443	381.084.000	41.839.638.443
4a-5 Q=1000 presión	2.144.974.159	1.505.972.241	1.802.991.850	-	18.897.999.210	6.914.679.561	31.266.617.021	14.069.977.660	45.336.594.681	381.084.000	45.717.678.681
4a-1 Q=600 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	1.901.643.417	-	11.136.235.806	6.914.679.561	23.603.505.183	10.621.577.333	34.225.082.516	381.084.000	34.606.166.516
4a-2 Q=600 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	1.901.643.417	-	11.956.306.941	6.914.679.561	24.423.576.319	10.990.609.343	35.414.185.662	381.084.000	35.795.269.662
4a-3 Q=800 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	14.487.703.330	6.914.679.561	27.294.415.487	12.282.486.969	39.576.902.456	381.084.000	39.957.986.456
4a-4 Q=800 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	16.585.112.863	6.914.679.561	29.391.825.020	13.226.321.259	42.618.146.279	381.084.000	42.999.230.279
4a-5 Q=1000 acueducto	2.144.974.159	1.505.972.241	2.241.086.196	-	18.897.999.210	6.914.679.561	31.704.711.368	14.267.120.116	45.971.831.483	381.084.000	46.352.915.483

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 11.4-4
RESUMEN DE COSTOS TODAS LAS ALTERNATIVAS PRECIOS SOCIALES(\$)**

Alternativa	Obras Civiles	Obras Riego	Conducción Río Grande	Conducción Río Salado	Embalse Río Salado	Embalse Río Grande	COSTO DIRECTO	Gastos Generales (45%)	SUBTOTAL	Expropiaciones (ha)	COSTO TOTAL
1a Q=250 l/s presión	1.015.545.269	1.242.173.694	789.474.417	-	-	-	3.047.193.380	1.371.237.021	4.418.430.401	381.084.000	4.799.514.401
1b Q=250 l/s presión	1.015.545.269	1.242.173.694	789.474.417	-	-	6.378.629.278	9.425.822.658	4.241.620.196	13.667.442.854	381.084.000	14.048.526.854
1a Q=250 l/s acueducto	1.015.545.269	1.242.173.694	1.085.912.750	-	-	-	3.343.631.713	1.504.634.271	4.848.265.984	381.084.000	5.229.349.984
1b Q=250 l/s acueducto	1.015.545.269	1.242.173.694	1.085.912.750	-	-	6.378.629.278	9.722.260.991	4.375.017.446	14.097.278.437	381.084.000	14.478.362.437
2a Q=250 l/s canal	343.012.750	1.242.173.694	-	2.022.305.879	-	-	3.607.492.324	1.623.371.546	5.230.863.869	53.080.500	5.283.944.369
2b Q=250 l/s canal	343.012.750	1.242.173.694	-	2.022.305.879	-	6.378.629.278	9.986.121.602	4.493.754.721	14.479.876.323	53.080.500	14.532.956.823
2a Q=250 l/s acero	343.012.750	1.242.173.694	-	1.623.718.029	-	-	3.208.904.473	1.444.007.013	4.652.911.486	53.080.500	4.705.991.986
2b Q=250 l/s acero	343.012.750	1.242.173.694	-	1.623.718.029	-	6.378.629.278	9.587.533.751	4.314.390.188	13.901.923.939	53.080.500	13.955.004.439
2a Q=250 l/s acueducto	343.012.750	1.242.173.694	-	1.388.280.172	-	-	2.973.466.616	1.338.059.977	4.311.526.594	53.080.500	4.364.607.094
2b Q=250 l/s acueducto	343.012.750	1.242.173.694	-	1.388.280.172	-	6.378.629.278	9.352.095.895	4.208.443.153	13.560.539.047	53.080.500	13.613.619.547
3-1 Q=650 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.665.700.651	10.510.855.460	-	15.966.475.385	7.184.913.923	23.151.389.308	53.080.500	23.204.469.808
3-2 Q=650 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.665.700.651	11.279.033.588	-	16.734.653.512	7.530.594.081	24.265.247.593	53.080.500	24.318.328.093
3-3 Q=850 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.748.303.597	13.649.076.683	-	19.187.299.554	8.634.284.799	27.821.584.354	53.080.500	27.874.664.854
3-4 Q=850 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.748.303.597	15.605.077.064	-	21.143.299.935	9.514.484.971	30.657.784.906	53.080.500	30.710.865.406
3-5 Q=1050 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.825.109.846	17.754.942.806	-	23.369.971.926	10.516.487.367	33.886.459.293	53.080.500	33.939.539.793
3-1 Q=650 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.949.559.473	10.510.855.460	-	16.250.334.207	7.312.650.393	23.562.984.600	53.080.500	23.616.065.100
3-2 Q=650 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.949.559.473	11.279.033.588	-	17.018.512.335	7.658.330.551	24.676.842.885	53.080.500	24.729.923.385
3-3 Q=850 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.082.895.795	13.649.076.683	-	20.521.891.752	9.234.851.289	29.756.743.041	53.080.500	29.809.823.541
3-4 Q=850 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.082.895.795	15.605.077.064	-	22.477.892.133	10.115.051.460	32.592.943.593	53.080.500	32.646.024.093
3-5 Q=1050 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.808.717.698	17.754.942.806	-	25.353.579.779	11.409.110.900	36.762.690.679	53.080.500	36.815.771.179
3-1 Q=650 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.420.248.691	10.510.855.460	-	15.721.023.424	7.074.460.541	22.795.483.966	53.080.500	22.848.564.466
3-2 Q=650 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.420.248.691	11.279.033.588	-	16.489.201.552	7.420.140.699	23.909.342.251	53.080.500	23.962.422.751
3-3 Q=850 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.896.117.670	13.649.076.683	-	19.335.113.627	8.700.801.132	28.035.914.759	53.080.500	28.088.995.259
3-4 Q=850 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.896.117.670	15.605.077.064	-	21.291.114.008	9.581.001.303	30.872.115.311	53.080.500	30.925.195.811
3-5 Q=1050 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	3.397.982.121	17.754.942.806	-	23.942.844.201	10.774.279.890	34.717.124.091	53.080.500	34.770.204.591
3-1 Q=650 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.665.700.651	10.510.855.460	6.378.629.278	22.345.104.663	10.055.297.098	32.400.401.761	53.080.500	32.453.482.261
3-2 Q=650 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.665.700.651	11.279.033.588	6.378.629.278	23.113.282.791	10.400.977.256	33.514.260.046	53.080.500	33.567.340.546
3-3 Q=850 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.748.303.597	13.649.076.683	6.378.629.278	25.565.928.832	11.504.667.975	37.070.596.807	53.080.500	37.123.677.307
3-4 Q=850 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.748.303.597	15.605.077.064	6.378.629.278	27.521.929.213	12.384.868.146	39.906.797.359	53.080.500	39.959.877.859
3-5 Q=1050 canal	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.825.109.846	17.754.942.806	6.378.629.278	29.748.601.204	13.386.870.542	43.135.471.746	53.080.500	43.188.552.246
3-1 Q=650 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.949.559.473	10.510.855.460	6.378.629.278	22.628.963.485	10.183.033.568	32.811.997.053	53.080.500	32.865.077.553
3-2 Q=650 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.949.559.473	11.279.033.588	6.378.629.278	23.397.141.613	10.528.713.726	33.925.855.339	53.080.500	33.978.935.839
3-3 Q=850 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.082.895.795	13.649.076.683	6.378.629.278	26.900.521.030	12.105.234.464	39.005.755.494	53.080.500	39.058.835.994
3-4 Q=850 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.082.895.795	15.605.077.064	6.378.629.278	28.856.521.411	12.985.434.635	41.841.956.046	53.080.500	41.895.036.546
3-5 Q=1050 acero	1.453.597.934	1.336.321.340	-	4.808.717.698	17.754.942.806	6.378.629.278	31.732.209.057	14.279.494.076	46.011.703.132	53.080.500	46.064.783.632
3-1 Q=650 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.420.248.691	10.510.855.460	6.378.629.278	22.099.652.703	9.944.843.716	32.044.496.419	53.080.500	32.097.576.919
3-2 Q=650 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.420.248.691	11.279.033.588	6.378.629.278	22.867.830.830	10.290.523.874	33.158.354.704	53.080.500	33.211.435.204
3-3 Q=850 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.896.117.670	13.649.076.683	6.378.629.278	25.713.742.905	11.571.184.307	37.284.927.212	53.080.500	37.338.007.712
3-4 Q=850 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	2.896.117.670	15.605.077.064	6.378.629.278	27.669.743.286	12.451.384.479	40.121.127.764	53.080.500	40.174.208.264
3-5 Q=1050 acueducto	1.453.597.934	1.336.321.340	-	3.397.982.121	17.754.942.806	6.378.629.278	30.321.473.479	13.644.663.066	43.966.136.545	53.080.500	44.019.217.045

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

CUADRO 11.4-5

RESUMEN DE COSTOS TODAS LAS ALTERNATIVAS PRECIOS SOCIALES(\$)

Alternativa	Obras Civiles	Obras Riego	Cond ucción Río Grande	Cond ucción Río Salado	Embal se Río Salado	Embal se Río Grande	COSTO DIRECTO	Gastos Generales (45%)	SUBTOTAL	Exprop iacione s (ha)	COSTO TOTAL
4a-1 Q=600 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.337.637.266	-	10.510.855.460	-	15.310.944.518	6.889.925.033	22.200.869.552	381.084.000	22.581.953.552
4a-2 Q=600 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.337.637.266	-	11.279.033.588	-	16.079.122.646	7.235.605.191	23.314.727.837	381.084.000	23.695.811.837
4a-3 Q=800 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.394.959.100	-	13.649.076.683	-	18.506.487.576	8.327.919.409	26.834.406.985	381.084.000	27.215.490.985
4a-4 Q=800 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.394.959.100	-	15.605.077.064	-	20.462.487.957	9.208.119.580	29.670.607.537	381.084.000	30.051.691.537
4a-5 Q=1000 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.756.226.236	-	17.754.942.806	-	22.973.620.835	10.338.129.376	33.311.750.210	381.084.000	33.692.834.210
4a-1 Q=600 acueducto	2.126.130.452	1.336.321.340	1.852.666.942	-	10.510.855.460	-	15.825.974.195	7.121.688.388	22.947.662.582	381.084.000	23.328.746.582
4a-2 Q=600 acueducto	2.126.130.452	1.336.321.340	1.852.666.942	-	11.279.033.588	-	16.594.152.322	7.467.368.545	24.061.520.868	381.084.000	24.442.604.868
4a-3 Q=800 acueducto	2.126.130.452	1.336.321.340	2.191.723.590	-	13.649.076.683	-	19.303.252.066	8.686.463.429	27.989.715.495	381.084.000	28.370.799.495
4a-4 Q=800 acueducto	2.126.130.452	1.336.321.340	2.191.723.590	-	15.605.077.064	-	21.259.252.446	9.566.663.601	30.825.916.047	381.084.000	31.207.000.047
4a-5 Q=1000 acueducto	2.126.130.452	1.336.321.340	2.191.723.590	-	17.754.942.806	-	23.409.118.189	10.534.103.185	33.943.221.374	381.084.000	34.324.305.374
4a-1 Q=600 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.337.637.266	-	10.510.855.460	6.378.629.278	21.689.573.797	9.760.308.208	31.449.882.005	381.084.000	31.830.966.005
4a-2 Q=600 presión	2.126.130.452	1.336.321.340	1.337.637.266	-	11.279.033.588	6.378.629.278	22.457.751.924	10.105.988.366	32.563.740.290	381.084.000	32.944.824.290
4a-3 Q=800	2.126.130.452	1.336.321.340	1.394.959.100	-	13.649.076.683	6.378.629.278	24.885.116.855	11.198.302.58	36.083.419.43	381.084.000	36.464.503.43

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

presión	52	40	00		3	78	4	4	8		8
4a-4 Q=800 presión	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	1.394. 959.1 00	-	15.605. 077.06 4	6.378. 629.2 78	26.841. 117.23 5	12.078. 502.75 6	38.919. 619.99 0	381.08 4.000	39.300. 703.99 0
4a-5 Q=1000 presión	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	1.756. 226.2 36	-	17.754. 942.80 6	6.378. 629.2 78	29.352. 250.11 3	13.208. 512.55 1	42.560. 762.66 4	381.08 4.000	42.941. 846.66 4
4a-1 Q=600 acueducto	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	1.852. 666.9 42	-	10.510. 855.46 0	6.378. 629.2 78	22.204. 603.47 3	9.992.0 71.563	32.196. 675.03 6	381.08 4.000	32.577. 759.03 6
4a-2 Q=600 acueducto	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	1.852. 666.9 42	-	11.279. 033.58 8	6.378. 629.2 78	22.972. 781.60 1	10.337. 751.72 0	33.310. 533.32 1	381.08 4.000	33.691. 617.32 1
4a-3 Q=800 acueducto	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	2.191. 723.5 90	-	13.649. 076.68 3	6.378. 629.2 78	25.681. 881.34 4	11.556. 846.60 5	37.238. 727.94 8	381.08 4.000	37.619. 811.94 8
4a-4 Q=800 acueducto	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	2.191. 723.5 90	-	15.605. 077.06 4	6.378. 629.2 78	27.637. 881.72 4	12.437. 046.77 6	40.074. 928.50 0	381.08 4.000	40.456. 012.50 0
4a-5 Q=1000 acueducto	2.126. 130.4 52	1.336. 321.3 40	2.191. 723.5 90	-	17.754. 942.80 6	6.378. 629.2 78	29.787. 747.46 7	13.404. 486.36 0	43.192. 233.82 7	381.08 4.000	43.573. 317.82 7

Fuente: Elaboración propia.

12. ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL

Se analizaron a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias sobre el medio ambiente de las diferentes obras que componen las alternativas planteadas como solución en el Estudio, considerando en esto un análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales y estimando preliminarmente los costos ambientales asociados a cada alternativa.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye, como era de esperarse, que cualquiera sea la alternativa seleccionada, el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que es sabido que el tipo de obras estudiada en el presente Proyecto genera impactos ambientales relevantes e irreversibles y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras m y p) del Reglamento del SEIA.

Los componentes más afectados serían la Hidrología, seguido de Flora, Vegetación y Fauna terrestre, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno y al tipo de obra. Debe tenerse en cuenta que la evaluación acá efectuada es de carácter relativa, es decir los valores obtenidos no son comparables con otros estudios de otros sectores ni con otro tipo de proyectos, por lo cual el presente análisis sólo permite dar relevancia a aquellos componentes que podrían verse más afectados y dirigir los esfuerzos a minimizar estos impactos mediante los planes de manejo ambiental.

Por otra parte, se ha recomendado la realización de algunos estudios ambientales específicos, actualización y seguimiento de la línea de base del medio biótico, con especial énfasis en el medio biótico, en el funcionamiento hidrogeológico y ecosistémico del Oasis y el Salar de Atacama, el caudal ecológico basado en criterios biológicos (no sólo hidrológicos), calidad del aire y ruido, con el fin de afinar el conocimiento referente a estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo. Estos estudios, se propone, debieran realizarse para el Estudio de Factibilidad de este mismo proyecto.

En relación al valor cultural y patrimonial, la prospección en la zona del Río Grande, donde se ubica el embalse de control de crecidas (inicialmente se encontraban allí las alternativas de embalse de riego), da cuenta de la presencia de sitios arqueológicos, algunos de alta relevancia en el contexto local, como sitios habitacionales y petroglifos. Algunas de las estructuras asociadas pudieron asociarse a redes viales, de tipo pastoril o incluso como parte del Camino del Inca en dirección al tambo de Catarpe. Es por ello que se recomienda la prospección exhaustiva del área en las futuras etapas, además de la realización de prospecciones en el sector del Río

Salado, en donde se identificaron terrenos agrícolas actualmente sin uso, de los cuales se desconoce su antigüedad.

Respecto de los costos estimados para las medidas ambientales, se han estimado montos que alcanzan un máximo de aproximadamente 3.397 millones de pesos, que aumentan hasta 3.669 millones al incorporar planta desalinizadora o 3.475 si la obra anexa incorporada es una minicentral hidroeléctrica de pasada . Esto se debe a los diferentes niveles de intervención de cada una de las alternativas en función de la cantidad de obras comprometidas en ellas (en algunos casos considerando dos muros de embalse), en conjunto con la lejanía y accesibilidad de la zona de estudio, además del tamaño de las obras.

Es necesario tener en cuenta que las medidas costeadas corresponden a medidas sugeridas a priori, y que las medidas de mitigación, reparación y/o compensación definitivas deben ser obtenidas como resultado de la realización del Estudio de Impacto Ambiental que es pertinente a este proyecto.

13. Evaluación económica

13.1. Introducción

En este capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y beneficios determinados en las distintas etapas del estudio. El análisis incluye el cálculo de los indicadores para diferentes alternativas de embalse, para luego desarrollar análisis de sensibilidad y de riesgo a la mejor alternativa con mejores resultados. La evaluación se realiza utilizando el método del presupuesto, el que es complementado con un análisis del efecto de cada alternativa en el valor de la tierra y en las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas. Las especificaciones y requerimientos de estos métodos se basan en los siguientes documentos.

- Normas de evaluación indicadas en los Términos de Referencias.
- Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego (CNR, 2011)

- Metodología para la Formulación y Evaluación Socioeconómica de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas con Fines Múltiples (MIDEPLAN, 2011).
- Metodología de Valoración de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas en Uso (MIDEPLAN, 2011).

13.2. Indicadores de Rentabilidad

El principal indicador de rentabilidad en la evaluación de proyectos corresponde al Valor Actual Neto (VAN), el que se priorizará al momento de seleccionar la alternativa óptima económica. Esto es debido a que es un indicador que permite comparar la rentabilidad en términos absolutos de proyectos con inversiones de distinta magnitud. Además, como complemento, se determinará la Tasa Interna de Retorno (TIR), VAN/Inversión (VAN/I) y razón n/k. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación, pero presentan dificultades para comparar proyectos con distinto nivel de inversión.

En general, el VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^{30} \left(\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+r)^i} \right) - I$$

donde:

VAN : Valor actual neto

B : Beneficios del proyecto

I₀ : Inversión inicial

O_i : Operación y mantención anual al año i

I_i : Inversión anual (durante el período de construcción)

r : Tasa de descuento

Por otra parte, la TIR se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

$$\sum_{i=1}^{30} \left(\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+TIR)^i} \right) - I_0 = 0$$

Adicionalmente el IVAN se calcula como la razón entre el VAN calculado anteriormente y la inversión actualizada (I_{act}) dada por:

$$I_{act} = \sum_{i=1}^{30} \frac{I_i}{(1+r)^i} + I_0$$

Por último, la razón n/k queda dada por:

$$n/k = \frac{\sum_i \text{Flujos Actualizados Positivos}_i}{|\sum_i \text{Flujos Actualizados Negativos}_i|}$$

Cuando n/k es >1 , el proyecto es rentable, y no rentable en caso contrario.

13.3. condiciones de evaluación

Los parámetros básicos para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento. Ésta última toma valores distintos dependiendo del uso objetivo del proyecto y el tipo de precios (privados o sociales) evaluados, los que de acuerdo a la CNR corresponden a los presentados en el Cuadro 14.3-1.

Se considera un horizonte de evaluación igual a 30 años, y no se consideran impuestos de ningún tipo.

Por último, se considera un nivel de precios a marzo 2013, el que queda dado por un dólar de \$ 472,96, un euro a \$ 603,81, y una UF de \$ 22.840,11.

**CUADRO 13.3-1
TASAS DE DESCUENTO CONSIDERADAS**

Uso	Social	Privada
Riego	6	12
Energía	6	10
Agua Potable	6	7
Control Crecidas	6	6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.4. Métodos de Evaluación

La evaluación económica se realiza con tres métodos:

- A. Método del Presupuesto:** Es el método más tradicional utilizado, en el cual el agua es considerada un insumo de la producción de otro bien, en este caso los cultivos regados. De esta forma, el beneficio del proyecto se traduce en las diferencias de la producción agrícola, en términos de los márgenes netos económicos, que se estiman a raíz de la utilización del agua en situaciones Con y Sin Proyecto.
- B. Método del Valor Incremental de la Tierra:** Este método se basa en el enfoque de los Precios Hedónicos, en el cual el precio de un bien

se debe a una serie de tributos de dicho bien, entre los que se encuentran la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la aptitud de uso y los cultivos que en la práctica se desarrollan. En un escenario con proyecto cada una de las características mencionadas deberían incrementar el valor de la tierra, por lo que se asume que este correspondería a su beneficio.

- C. Método de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas:** En este caso se considera el mercado del agua para determinar el valor económico del agua asociada al proyecto, en cuanto a un mayor volumen disponible o el costo evitado para la compra de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

Cabe destacar que los métodos del valor incremental de la tierra y las transacciones de los derechos de aprovechamiento de aguas son utilizados como revisión y comparación con el método del presupuesto, el cual determina la rentabilidad directa del proyecto. Además, para evaluar los efectos en la generación de energía, control de crecidas y suministro de agua potable se utiliza solo el concepto base del método del presupuesto.

13.5. Descripción de las alternativas de proyecto a evaluar

Para efectos de esta evaluación económica, se consideran las alternativas de proyectos definidas en la Etapa 7 del estudio, cuya función principal es mejorar la disponibilidad y la calidad del agua. En esa etapa se determinó que de las 5 alternativas propuestas, una de ellas, la Alternativa 5 no es capaz de mejorar la calidad del agua, por lo que no será considerada para efectos de esta evaluación económica. En lo que sigue se describen brevemente las alternativas, se indican las componentes a evaluar, y se

- **Alternativa 1:** La Alternativa consiste en trasvasar el agua al río Grande a través del Túnel San Bartolo. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas y un **By Pass** para que el agua proveniente del río Salado no se mezcle con el agua del retenedor de crecidas. Para el by-pass se consideran 2 alternativas: tubería en **presión o acueducto**.
- **Alternativa 2:** Esta Alternativa considera una conducción (se analiza un canal, un acueducto y una tubería en presión) en el río Salado que permita evitar el contacto del agua con las fuentes de contaminación naturales presentes en la parte baja de dicho río, desde la quebrada Salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro. Se considera alternativamente la inclusión de un retenedor de crecidas en el río Grande.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

- **Alternativa 3:** La Alternativa considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1 para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza a través de una conducción en canal revestido o entubado en zonas de cruce de quebrada hasta la bocatoma del Canal San Pedro por el río Salado y luego por el río San Pedro. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas.
- **Alternativa 4:** Considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza a través de una conducción entubada hasta el Túnel San Bartolo, que retorna las aguas al Río Grande. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas.

En el Cuadro 14.5-1 se muestra para cada alternativa las componentes a evaluar y la nomenclatura usada en la planilla de cálculo. Se hace notar que para el embalse de riego se consideran 5 tamaños diferentes, y para la obra de control de crecidas se consideran 3. En el cuadro se incluye también una columna la que indican las condiciones bajo las que se evaluará cada alternativa, indicándose R para riego y CC control de crecidas. En el caso del mejoramiento de calidad, se incorpora explícitamente el efecto de la dilución de los contaminantes en el agua de riego, lo que permite disponer de agua de riego con concentraciones menores a 2.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, límite bajo el cual se puede desarrollar una agricultura más rentable.

**CUADRO 14.5-1
ALTERNATIVAS Y CÓDIGOS DE EVALUACIÓN**

Alternativa	Código Evaluación	Componentes	Cantidad	
1	1A-CD1	Conducción río Salado	2	2
	1B-CD1-VCC-MCR	Conducción río Salado + Embalse CC y mejoramiento caja del río	2 x 3 x 4	24
2	2A-CD2	Conducción río Grande	3	3
	2B-CD2-VCC-MCR	Conducción río Grande+ Embalse CC y mejoramiento caja del río	3 x 3 x 4	36
3	3A-CD2-VR-MCR	Conducción río Salado y Grande + Embalse Riego y mejoramiento caja del río	3 x 5 x 4	60
	3B-CD2-VR-VCC-MCR	Conducción río Salado y Grande + Embalse Riego + Embalse CC y mejoramiento caja del río	3 x 3 x 5 x 4	180
4	4A-CD1 -VR-MCR	Conducción + Embalse Riego y mejoramiento caja del río	2 x 5 x 4	40
	4A-CD1 -VR-VCC-MCR	Conducción + Embalse Riego + Embalse CC y mejoramiento caja del río	2 x 3 x 5 x 4	120
Total			465	

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

Alternativa	Código Evaluación	Componentes	Cantidad
CD1	Se consideran 2 tipos diferentes: acueducto y presión (1 y 2)		
CD2	Se consideran hasta 3 tipos diferentes: canal, acueducto y presión (1, 2 y 3)		
VCC	Volumen Útil Control de Crecidas. Se evalúa para 3 volúmenes de la obra (1, 2 y 3)		
MCR	Mejoramiento de la Caja del Río Se consideran 4 capacidades de mejoramiento de la caja del río (1, 2, 3 y 4)		
VR	Volumen Útil Riego Se evalúa para 5 volúmenes útiles para riego (vur=1,5)		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se debe hacer notar también que para la Alternativa 3 se considera también la inclusión de una MCH antes de la entrega a la zona de riego para el caso de la tubería. Adicionalmente para ese caso se considera alternativamente la inclusión de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua para San Pedro de Atacama, planta que utiliza parte de la energía generada por la MCH. En todo caso el análisis de la MCH y del sistema de APR sólo se realizará para la configuración más apropiada.

En lo que respecta al número de resultados a analizar, se tiene que en total son 465 resultados a precios privados e igual número a precios sociales.

13.6. Costos

13.6.1. Introducción

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras civiles para el trasvase, conducción y embalse. Además se incluye el mejoramiento de los canales de riego
- Mitigación de impacto ambiental
- Expropiaciones y servidumbres
- Mejoramiento de la Caja del Río
- Obras eventuales:
 - Mini Central Hidroeléctrica (MCH)
 - Sistema de abastecimiento de Agua Potable a San Pedro de Atacama
- Operación y mantenimiento de las obras

13.6.2. Obras Civiles: Costo Obras y Operación y Mantención

13.6.2.1. Aspectos Generales

En lo que respecta al costo de las obras civiles, tales como túneles, conducciones, y embalses, cuyo detalle se presentó en el Capítulo 12. A continuación se presenta un resumen con los costos por alternativas, presentándose en primer lugar el costo de las obras que componen las alternativas.

13.6.2.2. Costos de Componentes de las Alternativas

En primer lugar se presenta en el Cuadro 14.6.2.2-1 el costo de las obras de trasvase, conducción y embalse, tanto a precios privados como sociales.

En segundo lugar se resumen en el Cuadro 14.6.2.2-2 los costos de las obras de mejoramiento de la red de canales.

**CUADRO 13.6.26.2.2-1
COSTO OBRAS DE TRASVASE, CONDUCCIÓN Y EMBALSE**

Descripción	Precios Privados	Precios Sociales
Túneles de trasvase desde el río Grande al río Salado		
Túnel 1	1.121.756.633	1.110.585.184
Túnel 2 (San Bartolo)	679.650.430	672.532.518
Conducción Aguas Río Grande		
Presión		
Conducción Aguas Río Grande (Q=250 L/s)-Alternativa 1	834.559.125	789.474.417
Conducción Aguas Río Grande (Q=600 L/s)-Alternativa 4	1.383.708.434	1.337.637.266
Conducción Aguas Río Grande (Q=800 L/s)-Alternativa 4	1.441.367.689	1.394.959.100
Conducción Aguas Río Grande (Q=1.000 L/s)-Alternativa 4	1.802.991.850	1.756.226.236
Acueducto		
Conducción Aguas Río Grande (Q=250 L/s)-Alternativa 1	1.131.575.272	1.085.912.750
Conducción Aguas Río Grande (Q=600 L/s)-Alternativa 4	1.901.643.417	1.852.666.942
Conducción Aguas Río Grande (Q=800 L/s)-Alternativa 4	2.241.086.196	2.191.723.590
Conducción Aguas Río Grande (Q=1.000 L/s)-Alternativa 4	2.241.086.196	2.191.723.590
Conducción Aguas Río Salado		
Canal Abierto		
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s) -Alternativa 2	2.168.749.933	2.022.305.879
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s)-Alternativa 3	2.850.267.405	2.665.700.651
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s)-Alternativa 3	2.937.635.751	2.748.303.597
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s)-Alternativa 3	3.018.872.985	2.825.109.846
Acueducto		
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s) -Alternativa 2	1.434.902.416	1.623.718.029
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s)-Alternativa 3	2.468.905.756	2.949.559.473
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s)-Alternativa 3	2.945.316.675	4.082.895.795
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s)-Alternativa 3	3.447.780.112	4.808.717.698
Presión		
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s) -Alternativa 2	1.673.828.603	1.388.280.172
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s)-Alternativa 3	3.002.648.969	2.420.248.691
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s)-Alternativa 3	4.136.755.481	2.896.117.670
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s)-Alternativa 3	4.863.362.960	3.397.982.121
Embalse de Riego Río Salado		
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 0,8 hm ³	11.136.235.806	10.510.855.460
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 1,5 hm ³	11.956.306.941	11.279.033.588
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 3,0 hm ³	14.487.703.330	13.649.076.683
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 4,5 hm ³	16.585.112.863	15.605.077.064
Embalse Riego Río Salado V. Útil = 6,1 hm ³	18.897.999.210	17.754.942.806
Embalse de Control de Crecidas		

**CUADRO 13.6.26.2.2-1
COSTO OBRAS DE TRASVASE, CONDUCCIÓN Y EMBALSE**

Descripción	Precios Privados	Precios Sociales
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 4,3 hm ³	7.196.520.183	6.596.525.384
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 7,1 hm ³	7.137.001.324	6.554.590.599
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas V. Útil = 10,2 hm ³	6.914.679.561	6.378.629.278

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

**CUADRO 13.6.26.2.2-2
COSTO OBRAS MEJORAMIENTO RED DE CANALES**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento de Canales Red Primaria	669.226.687	535.381.349
Ampliación de Canales Red Primaria	140.979.406	132.535.345
Mejoramiento de Canales Red Secundaria	695.766.148	668.404.645
Red de Aforadores Remotos	42.999.731	38.387.699

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.6.3. Costo de Operación

El costo de operación de las obras civiles se define en forma conservadora como el 1% de los costos directos. Este porcentaje es usual para los costos operacionales de este tipo de obras.

13.6.4. Expropiaciones

Para todas las alternativas se consideraron superficies y costos diferenciados, considerando que se expropián terrenos fiscales a costo nulo, y terrenos privados con costos no nulos, según se resume en el Cuadro 14.6.4-1. La información detallada se encuentra en el Capítulo 11.

**CUADRO 13.6.46.4-1
VALOR DE LAS EXPROPIACIONES**

Obra	Superficie a Expropiar (ha)			Valor Total de Expropiación (\$)
	Fiscal	Privada	Total	
Alternativa 1	53,71	13,86	67,56	381.084.000
Alternativa 2	58,37	1,93	60,30	53.080.500
Alternativa 3	118,35	1,93	120,28	53.080.500
Alternativa 4	113,69	13,86	127,55	381.084.000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.6.5. Mejoramiento Caja del Río

Tal como se indicó en etapas anteriores, se determinó el costo de mejorar la caja del río, de modo que no se produzcan crecidas para caudales especificados. Los costos se muestran en el Cuadro 14.6.5-1.

**CUADRO 13.6.5-1
COSTO MEJORAMIENTO CAJA DEL RÍO (\$)**

Descripción	PRIVADOS	SOCIALES
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 50 m ³ /s	893.112.363	803.801.127
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 100 m ³ /s	2.009.399.713	1.808.459.742
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 150 m ³ /s	3.386.378.163	3.047.740.347

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.6.6. Costos Mini Central Hidroeléctrica

Tal como se indicó, en todas las alternativas se evaluó la posibilidad de generación hidroeléctrica, esto se hizo combinando el modelo de simulación con el diseño. En el Cuadro 14.6.6-1 se muestra la mejor MCH asociada a cada una de las alternativas.

**CUADRO 13.6.6-1
CARACTERÍSTICAS Y COSTOS MCH**

Alternativa	Potencia Instalada (kW)	Costo Total (US\$)	Costo Línea (US\$)	Costo Total (US\$)
3-1	150,8	557.733,5	20.000,0	577.733,5
3-2	187,7	663.184,3	20.000,0	683.184,3
3-3	276,3	1.005.110,4	20.000,0	1.025.110,4
3-4	360,0	1.488.697,4	20.000,0	1.508.697,4
3-5	550,8	3.644.889,1	20.000,0	3.664.889,1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

13.6.7. Costos Ambientales

En el Cuadro 14.6.7-1 se presentan en forma resumida los costos ambientales determinados en el Estudio de Análisis Ambiental (Volumen 4), asociados a los diferentes tipos y tamaños de las obras.

**CUADRO 14.6.7-1
COSTO AMBIENTAL (\$)**

Variante	TOTAL	Año 1 (Construcción)	Año 2 (Primer año de operación)
1a Q=250 l/s presión	341.835.134	215.225.484	126.609.650
1b Q=250 l/s presión	1.065.609.613	670.926.776	394.682.838
1a Q=250 l/s acueducto	372.924.457	234.799.875	138.124.582
1b Q=250 l/s acueducto	1.096.698.936	690.501.167	406.197.770
2a Q=250 l/s canal	410.347.292	258.361.958	151.985.335
2b Q=250 l/s canal	1.134.121.772	714.063.250	420.058.522
2a Q=250 l/s acero	358.542.805	225.744.931	132.797.875
2b Q=250 l/s acero	1.082.317.285	681.446.223	400.871.062
2a Q=250 l/s acueducto	333.533.884	209.998.869	123.535.015
2b Q=250 l/s acueducto	1.057.308.363	665.700.161	391.608.202
3a-1 Q=650 canal	1.650.040.778	1.038.895.037	611.145.741
3a-2 Q=650 canal	1.735.879.399	1.092.940.561	642.938.838
3a-3 Q=850 canal	2.009.991.173	1.265.526.212	744.464.962
3a-4 Q=850 canal	2.229.531.570	1.403.752.752	825.778.818
3a-5 Q=1050 canal	2.480.129.668	1.561.533.775	918.595.894
3a-1 Q=650 acero	1.665.990.886	1.048.937.509	617.053.377
3a-2 Q=650 acero	1.751.829.508	1.102.983.033	648.846.475
3a-3 Q=850 acero	2.135.505.632	1.344.552.348	790.953.283
3a-4 Q=850 acero	2.355.046.028	1.482.778.889	872.267.139
3a-5 Q=1050 acero	2.673.196.427	1.683.092.042	990.104.385
3a-1 Q=650 acueducto	1.610.122.829	1.013.761.986	596.360.843
3a-2 Q=650 acueducto	1.695.961.450	1.067.807.510	628.153.940
3a-3 Q=850 acueducto	2.010.795.152	1.266.032.411	744.762.741
3a-4 Q=850 acueducto	2.230.335.549	1.404.258.952	826.076.597
3a-5 Q=1050 acueducto	2.525.024.306	1.589.800.237	935.224.068
3b-1b Q=650 canal	2.373.815.257	1.494.596.330	879.218.928
3b-2 Q=650 canal	2.459.653.879	1.548.641.853	911.012.026
3b-3 Q=850 canal	2.733.765.653	1.721.227.504	1.012.538.149
3b-4 Q=850 canal	2.953.306.049	1.859.454.045	1.093.852.005
3b-5 Q=1050 canal	3.203.904.148	2.017.235.067	1.186.669.081
3b-1 Q=650 acero	2.389.765.366	1.504.638.802	885.126.564

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 14.6.7-1
COSTO AMBIENTAL (\$)**

Variante	TOTAL	Año 1 (Construcción)	Año 2 (Primer año de operación)
3b-2 Q=650 acero	2.475.603.987	1.558.684.325	916.919.662
3b-3 Q=850 acero	2.859.280.111	1.800.253.640	1.059.026.470
3b-4 Q=850 acero	3.078.820.507	1.938.480.181	1.140.340.326
3b-5 Q=1050 acero	3.396.970.906	2.138.793.334	1.258.177.572
3b-1 Q=650 acueducto	2.333.897.308	1.469.463.278	864.434.030
3b-2 Q=650 acueducto	2.419.735.929	1.523.508.802	896.227.127
3b-3 Q=850 acueducto	2.734.569.632	1.721.733.703	1.012.835.928
3b-4 Q=850 acueducto	2.954.110.028	1.859.960.244	1.094.149.784
3b-5 Q=1050 acueducto	3.248.798.785	2.045.501.529	1.203.297.256
4a-1 Q=600 presión	1.567.673.358	987.035.044	580.638.314
4a-2 Q=600 presión	1.653.511.979	1.041.080.567	612.431.412
4a-3 Q=800 presión	1.924.514.038	1.211.708.286	712.805.752
4a-4 Q=800 presión	2.144.054.434	1.349.934.827	794.119.608
4a-5 Q=1000 presión	2.424.001.239	1.526.194.317	897.806.922
4a-1 Q=600 acueducto	1.621.886.734	1.021.168.750	600.717.984
4a-2 Q=600 acueducto	1.707.725.355	1.075.214.273	632.511.081
4a-3 Q=800 acueducto	2.008.222.305	1.264.412.501	743.809.804
4a-4 Q=800 acueducto	2.227.762.702	1.402.639.042	825.123.660
4a-5 Q=1000 acueducto	2.469.857.523	1.555.066.249	914.791.274
4b-1 Q=600 presión	2.291.447.837	1.442.736.336	848.711.501
4b-2 Q=600 presión	2.377.286.458	1.496.781.859	880.504.599
4b-3 Q=800 presión	2.648.288.517	1.667.409.578	980.878.939
4b-4 Q=800 presión	2.867.828.914	1.805.636.119	1.062.192.795
4b-5 Q=1000 presión	3.147.775.719	1.981.895.609	1.165.880.110
4b-1 Q=600 acueducto	2.345.661.213	1.476.870.042	868.791.171
4b-2 Q=600 acueducto	2.431.499.834	1.530.915.565	900.584.268
4b-3 Q=800 acueducto	2.731.996.785	1.720.113.793	1.011.882.991
4b-4 Q=800 acueducto	2.951.537.181	1.858.340.334	1.093.196.847
4b-5 Q=1000 acueducto	3.193.632.002	2.010.767.541	1.182.864.461

*** LA LETRA "A" Y "B" DENOTA LA INCLUSIÓN Y LA NO INCLUSIÓN DEL RETENEDOR DE CRECIDAS, RESPECTIVAMENTE.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.6.8. Presupuesto de Obras por Alternativa

Los presupuestos de las alternativas se pueden ver en el Capítulo 12, Cuadro 12.4-2 y Cuadro 12.4-3, para precios de mercado y precios sociales, respectivamente.

13.7. Beneficios

13.7.1. Generalidades

En esta sección se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación, los cuales se pueden resumir en los siguientes ámbitos:

- Riego:
 - Según Método del Presupuesto, tanto para la condición sin mejoramiento de la calidad del agua, como con mejoramiento
 - Según Método del Valor Incremental de la Tierra
 - Según Método del Incremento de las Transacciones de Derechos de Aguas
- Control de Crecidas
- Uso para Suministro de Agua Potable
- Generación Hidroeléctrica

13.7.2. Beneficios Derivados del Riego

13.7.2.1. Beneficios Según Método del Presupuesto

Uno de los beneficios más importante de este proyecto es el aumento en la seguridad de riego. Lo anterior, en Situación Con Proyecto, permite por una parte mejorar la expresión del potencial productivo de los cultivos, además de incorporar cultivos de mayor rentabilidad los que sin la seguridad de riego necesaria presentarían un alto riesgo a la inversión.

El beneficio agroeconómico neto del proyecto se obtiene a partir de la sustracción entre los márgenes netos de las Situaciones Con y Sin Proyecto. Los valores de los márgenes se presentan en el estudio agroeconómico, en el cual también se entrega la información detallada según predio promedio, nivel tecnológico y sectores de riego.

En términos generales el efecto del proyecto se refleja en el aumento de superficie con 85% de seguridad de riego. El área de riego física actual, 709 ha, posee un 0% de seguridad de riego. El Cuadro 14.7.2.1-1 resume la superficie de riego actual y las superficies de riego futuras con 85% de seguridad de riego para cada alternativa de proyecto. Las áreas se obtuvieron a partir del modelo de simulación generado para el presente proyecto.

Por otra parte, en los Cuadros 14.7.2.1-2 y 14.7.2.1-3 se presenta un resumen, a precios de mercado (privados) y sociales, con los beneficios asociados al riego para las diferentes alternativas de proyecto, en términos del flujo económico neto con respecto a la Situación Sin Proyecto.

La metodología y los resultados detallados de los beneficios derivados del riego se presentan en el Estudio Agroeconómico (Volumen 3).

**CUADRO 13.7.2.1-1
SUPERFICIES DE RIEGO SEGÚN ALTERNATIVA**

ID Alternativa	Volumen Útil (hm³)	Sup. Regada 85% (ha)
SA-SSP	0,0	233,0
1a	0,0	259,0
1b	0,0	268,0
2	0,0	278,0
3-1	0,8	256,0
3-2	1,5	286,0
3-3	3,0	380,0
3-4	4,5	475,0
3-5	6,1	614,0
4a-1	0,8	238,0
4a-2	1,5	265,0
4a-3	3,0	337,0
4a-4	4,5	424,0
4a-5	6,1	550,0
4b-1	0,8	247,0
4b-2	1,5	276,0
4b-3	3,0	347,0
4b-4	4,5	436,0
4b-5	6,1	572,0

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE MODELO DE SIMULACIÓN Y OPERACIÓN.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 13.7.2.1-2
BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
PRECIOS DE MERCADO (\$)**

Año	Flujos Netos (\$)							
	1a	1b	2	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-17.653.132	-5.685.358	8.042.398	-19.205.336	12.838.818	105.869.839	213.541.964	397.328.586
2	-27.348.374	-13.958.730	1.108.043	-26.617.463	3.790.298	108.155.894	228.289.692	377.563.370
3	-50.644.453	-37.629.170	-23.823.545	-47.304.608	-13.284.092	96.600.153	259.287.854	469.456.671
4	-48.841.048	-31.303.530	-12.735.631	-40.710.486	-958.634	145.533.283	340.587.880	688.062.826
5	-38.538.298	-18.714.096	1.189.204	-40.225.515	5.873.395	176.131.732	426.193.238	910.921.168
6	-35.090.120	-9.996.720	14.513.960	-35.560.303	25.296.945	255.911.130	598.412.826	1.223.246.705
7	-68.703.750	-40.732.013	-13.806.823	-76.166.784	-3.615.155	267.283.725	665.679.956	1.478.837.138
8	42.568.080	70.122.826	95.956.774	30.979.845	112.043.236	420.989.497	862.578.363	1.712.776.104
9	116.027.552	145.838.536	173.527.219	100.875.100	187.533.761	518.333.063	1.006.370.782	1.957.302.655
10	134.279.814	169.384.225	202.896.268	124.702.401	222.595.116	601.613.250	1.131.948.733	2.086.764.185
11	135.369.833	170.043.528	202.984.529	119.399.174	224.119.555	613.790.580	1.171.267.535	2.169.842.174
12	139.465.537	176.202.606	211.407.021	124.430.276	230.956.959	638.986.182	1.216.253.963	2.250.025.771
13	137.874.117	174.547.896	209.632.117	119.640.818	229.328.745	642.389.864	1.221.874.833	2.166.304.737
14	163.440.931	208.317.739	252.777.936	153.501.771	278.155.289	740.652.565	1.342.973.501	2.326.409.092
15	134.058.204	169.984.051	204.166.250	109.920.519	224.304.997	637.584.982	1.107.351.724	1.901.017.611
16	149.009.441	189.231.112	227.324.010	146.442.932	277.924.664	756.927.500	1.406.493.131	2.451.131.788
17	139.323.924	177.082.423	213.337.704	118.873.586	229.120.498	651.136.401	1.237.756.400	2.311.313.445
18	143.569.704	182.384.355	219.844.085	127.431.527	244.776.271	681.632.422	1.296.125.016	2.289.542.039
19	151.379.298	192.553.090	232.677.987	141.151.791	259.964.301	716.576.847	1.360.306.588	2.366.341.872
20	161.531.216	200.305.366	236.745.279	138.555.471	266.942.434	742.636.924	1.360.838.590	2.377.900.433
21	132.504.927	167.558.700	200.776.371	109.970.127	223.115.461	634.340.846	1.189.813.393	2.154.248.817
22	145.211.236	184.195.669	221.888.089	126.932.819	240.067.668	661.836.296	1.263.548.082	2.460.482.518
23	171.726.200	217.747.356	263.450.678	174.453.464	296.681.686	782.341.564	1.461.250.006	2.487.139.462
24	143.599.067	181.495.678	217.984.736	132.237.010	241.620.001	667.711.396	1.265.813.812	2.403.845.038
25	127.270.558	159.555.408	189.713.329	105.416.265	209.464.089	588.565.107	1.097.692.012	1.889.660.489
26	123.908.228	155.255.703	184.442.127	99.703.573	204.738.187	582.225.161	1.070.395.954	1.837.335.732
27	157.708.256	199.403.772	240.178.921	157.898.417	274.334.897	728.919.323	1.357.240.028	2.340.521.761
28	126.683.241	159.399.626	189.988.076	101.052.052	210.082.069	601.320.556	1.147.468.290	2.093.860.292
29	134.700.623	170.208.304	203.947.494	115.606.406	220.054.509	620.405.382	1.193.577.855	2.147.032.127

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

30	134.365.727	170.240.727	204.373.902	111.397.377	226.400.062	643.521.843	1.202.188.675	2.314.422.199
VAN	271.339.932	474.116.011	674.667.339	222.898.713	784.856.597	2.850.352.504	5.701.812.680	10.685.982.696

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio agroeconómico.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 13.7.2.1-3
BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
PRECIOS DE MERCADO (\$) (CONTINUACIÓN)**

Año	Flujos Netos (\$)									
	4a-1	4a-2	4a-3	4a-4	4a-5	4b-1	4b-2	4b-3	4b-4	4b-5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-43.876.884	-11.515.971	62.371.246	152.606.249	300.179.693	-32.218.698	-343.173	74.654.293	164.571.914	322.159.728
2	-53.618.702	-23.201.889	59.700.648	158.659.972	272.006.438	-40.855.947	-10.551.619	72.959.127	173.626.761	307.401.792
3	-70.138.758	-41.977.563	43.785.659	159.646.830	394.085.204	-55.825.483	-26.585.977	56.840.070	175.404.530	417.189.833
4	-73.726.777	-36.041.386	72.847.425	223.111.006	440.937.335	-57.562.295	-18.779.882	92.356.719	239.152.956	526.331.108
5	-70.355.798	-31.866.058	88.184.488	275.706.773	640.700.968	-54.058.364	-12.382.177	110.684.006	289.224.894	694.992.430
6	-72.191.372	-22.805.860	137.059.819	388.331.795	858.587.284	-52.242.316	2.818.968	167.138.260	408.705.391	963.660.538
7	-113.050.138	-56.979.822	131.967.530	425.518.257	1.007.002.312	-93.817.981	-27.834.775	166.032.403	448.548.560	1.096.950.572
8	-9.900.650	59.776.267	273.139.485	599.156.760	1.210.921.236	12.214.234	89.249.331	309.889.447	623.916.009	1.325.056.072
9	57.720.868	131.413.171	366.419.198	719.548.765	1.410.999.485	81.188.684	163.454.263	406.467.175	746.004.929	1.516.282.303
10	72.144.133	154.206.065	424.837.181	819.912.398	1.503.693.149	99.494.220	192.466.729	467.018.142	856.221.875	1.652.787.304
11	68.562.023	156.579.743	431.919.665	844.991.952	1.575.258.852	95.234.803	194.702.438	478.481.564	877.101.733	1.732.692.306
12	70.069.131	159.027.967	450.672.463	882.404.500	1.634.609.937	98.114.387	199.456.739	499.735.197	916.321.972	1.793.855.356
13	65.905.211	157.549.292	452.513.686	884.712.347	1.569.214.627	93.686.531	198.061.819	501.672.772	922.216.146	1.728.466.422
14	89.097.839	187.334.496	509.907.425	978.763.660	1.675.996.623	121.707.918	236.827.420	566.445.437	1.037.299.674	1.849.754.098
15	58.341.106	154.171.544	449.300.369	807.098.593	1.357.964.809	85.264.899	194.093.461	497.794.120	860.043.522	1.503.059.868
16	86.673.180	195.881.592	538.815.671	1.033.558.127	1.804.313.399	116.693.542	241.958.660	593.013.849	1.072.713.645	1.976.446.915
17	64.979.702	155.416.458	459.440.567	895.003.404	1.655.053.063	93.406.305	197.014.060	508.140.287	932.982.453	1.833.793.389
18	69.982.597	167.658.605	478.784.518	939.418.998	1.662.919.778	99.295.089	210.874.408	530.981.102	976.972.984	1.830.744.993
19	78.955.989	177.347.161	500.277.776	982.010.386	1.724.008.588	110.241.023	223.171.954	555.419.029	1.021.224.488	1.892.787.337
20	71.323.254	177.429.834	514.870.317	1.000.247.904	1.699.926.268	105.322.522	227.212.257	574.451.829	1.037.178.262	1.888.380.241
21	59.779.474	154.668.632	442.239.363	863.273.258	1.574.335.139	86.153.442	193.652.708	490.003.261	898.641.222	1.739.959.213
22	75.386.803	163.325.246	460.600.001	917.034.212	1.778.162.434	104.386.360	206.175.150	510.502.589	947.904.002	1.922.577.322
23	102.469.543	202.634.182	541.948.198	1.054.727.818	1.932.119.006	138.108.771	253.764.830	599.148.653	1.100.260.494	2.113.897.570
24	75.797.725	166.674.172	466.767.712	911.207.636	1.615.160.843	104.725.920	208.566.921	518.230.374	950.198.056	1.792.350.912
25	59.843.110	147.456.992	414.329.591	799.516.430	1.334.725.282	84.354.457	183.060.780	459.073.950	846.967.860	1.484.537.181
26	55.851.666	144.615.988	406.660.678	780.800.871	1.297.207.078	79.588.125	179.279.234	450.170.911	830.225.473	1.442.827.987
27	93.582.400	189.828.146	507.995.792	979.821.056	1.694.707.234	125.832.013	236.193.915	564.397.240	1.023.115.486	1.863.004.119

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

28	55.163.118	147.125.607	420.259.254	832.348.177	1.515.604.864	79.788.452	183.389.771	465.159.508	864.895.967	1.669.311.298
29	64.049.528	151.353.360	438.419.990	864.873.558	1.551.178.683	90.940.489	190.359.702	485.628.459	896.165.134	1.709.583.104
30	59.800.114	156.159.280	450.990.723	871.699.910	1.688.908.655	86.722.325	196.088.844	499.574.025	907.663.940	1.823.484.014
VAN	-93.475.662	383.968.455	1.865.982.106	4.011.805.434	7.678.346.662	71.162.789	600.751.213	2.117.447.301	4.211.741.569	8.447.011.592

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio agroeconómico.

**Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama,
Región de Antofagasta**

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 13.7.2.1-4
BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
PRECIOS SOCIALES (\$)**

Año	Flujos Netos (\$)							
	1a	1b	2	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-19.011.035	-6.463.405	8.293.279	-20.320.683	13.672.722	112.614.769	226.023.758	418.003.331
2	-32.331.730	-18.331.417	-1.810.210	-30.939.488	1.566.255	112.322.700	238.830.857	397.700.921
3	-62.013.987	-48.171.231	-31.685.183	-56.991.772	-20.115.091	98.679.997	270.524.287	495.393.769
4	-65.616.108	-47.070.369	-24.874.351	-55.111.701	-11.748.426	145.982.091	352.853.221	719.771.690
5	-61.543.916	-40.098.875	-14.281.015	-59.236.251	-7.309.098	181.280.309	450.746.085	967.710.293
6	-62.121.239	-34.642.107	-1.572.166	-56.948.704	12.518.106	270.314.331	641.711.026	1.314.593.471
7	-96.120.391	-65.222.506	-28.310.718	-97.140.603	-14.116.003	289.872.661	723.366.602	1.594.658.467
8	17.037.322	47.955.339	84.563.164	12.129.964	105.003.288	451.159.647	932.351.320	1.848.213.782
9	90.193.157	123.801.066	163.512.467	82.459.958	182.478.738	555.289.026	1.087.729.420	2.112.061.600
10	107.442.076	146.390.972	192.426.405	105.551.787	217.217.373	639.418.109	1.215.574.913	2.246.043.791
11	109.456.531	148.052.158	193.507.411	101.113.561	219.771.264	653.307.337	1.257.160.351	2.332.627.035
12	113.427.685	154.083.817	201.933.539	106.071.182	226.722.894	678.978.379	1.303.040.283	2.414.537.316
13	112.362.908	153.007.636	200.750.153	101.769.052	225.733.011	683.557.826	1.310.379.804	2.333.335.240
14	135.095.164	183.794.025	241.521.763	133.390.646	272.267.394	779.762.163	1.430.455.759	2.494.189.899
15	109.393.250	149.355.520	196.141.982	92.825.944	221.590.547	680.171.458	1.198.579.255	2.070.546.015
16	119.733.412	163.972.946	215.765.379	125.516.972	271.349.741	795.982.139	1.494.501.202	2.621.120.129
17	113.953.309	155.727.805	204.759.211	101.189.712	225.991.591	693.498.030	1.328.219.076	2.481.482.970
18	117.726.747	160.537.209	210.869.762	109.311.811	241.104.006	723.395.510	1.386.020.968	2.459.690.955
19	124.474.256	169.600.338	222.818.691	122.129.274	255.421.753	757.447.042	1.449.466.707	2.536.490.788
20	133.551.545	176.337.789	226.152.777	118.994.618	261.632.068	782.426.277	1.449.204.967	2.547.172.987
21	107.759.453	146.855.211	192.719.980	92.798.336	220.327.946	676.917.229	1.280.545.536	2.324.428.647
22	118.704.255	161.658.238	212.362.636	108.376.088	235.988.476	703.349.194	1.353.322.076	2.630.652.043
23	141.455.100	191.291.856	250.788.645	152.704.873	289.369.010	820.485.929	1.548.405.438	2.657.308.987
24	117.115.757	158.982.002	208.476.808	113.564.248	237.435.553	708.936.591	1.355.359.367	2.573.993.955
25	102.561.154	138.888.151	181.683.503	88.275.278	206.703.804	631.204.500	1.188.585.505	2.059.809.405
26	100.076.615	135.446.200	177.028.185	83.252.188	202.510.621	624.962.907	1.161.100.090	2.006.608.286
27	129.267.968	174.854.362	229.043.317	137.552.466	268.423.725	768.422.011	1.445.496.602	2.510.701.590
28	102.495.640	139.276.374	182.395.146	84.361.608	207.749.897	644.315.166	1.238.389.269	2.264.029.817
29	109.457.509	148.986.399	195.475.185	98.002.256	216.985.056	662.813.924	1.283.995.785	2.317.201.652

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Capítulo 14 - 745

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

M^a Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

30	109.645.131	149.561.821	196.334.826	94.246.590	223.647.763	686.146.422	1.292.967.969	2.484.571.115
VAN	567.836.762	1.003.361.277	1.518.128.821	526.097.639	1.798.291.297	6.437.495.977	12.693.960.007	23.536.114.894

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio agroeconómico.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 13.7.2.1-5
BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO
PRECIOS SOCIALES (\$) (CONTINUACIÓN)**

Año	Flujos Netos (\$)									
	4a-1	4a-2	4a-3	4a-4	4a-5	4b-1	4b-2	4b-3	4b-4	4b-5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-46.510.837	-12.600.103	65.892.137	161.565.530	316.905.073	-34.471.007	-715.116	78.802.382	175.663.963	340.644.363
2	-60.056.169	-27.992.577	59.853.652	164.847.917	287.320.240	-46.901.780	-14.585.271	73.793.536	183.438.965	325.125.103
3	-83.725.779	-53.324.756	39.291.313	163.850.864	412.137.716	-68.911.429	-36.919.911	53.314.376	187.059.704	439.698.502
4	-93.343.121	-52.904.917	64.572.062	225.935.860	462.164.686	-76.570.473	-34.369.076	85.277.871	252.608.558	553.597.794
5	-97.872.719	-54.899.763	79.143.415	284.744.847	679.833.951	-80.577.590	-33.362.049	103.594.810	315.665.469	744.355.302
6	-105.885.718	-49.888.759	130.663.052	408.773.285	923.819.746	-84.471.619	-21.242.910	163.625.347	454.401.855	1.043.840.724
7	-148.413.513	-84.252.031	129.811.043	455.876.103	1.091.260.351	-127.309.613	-51.414.905	167.391.923	508.230.083	1.199.075.810
8	-44.097.116	34.460.408	275.936.116	638.439.596	1.310.921.225	-19.913.745	68.149.103	316.648.837	695.183.145	1.444.855.051
9	22.199.800	105.961.021	372.591.665	766.783.830	1.526.092.585	48.009.617	142.757.454	417.100.971	828.850.243	1.653.585.860
10	35.238.065	127.633.504	430.559.087	867.889.220	1.622.163.145	64.939.110	170.711.855	477.376.807	942.382.299	1.794.449.991
11	32.640.285	130.975.794	438.960.814	894.583.485	1.696.286.256	61.724.190	173.993.278	490.127.544	966.013.159	1.877.833.429
12	33.978.649	133.356.022	457.639.149	932.165.407	1.756.687.642	64.425.834	178.673.498	511.312.852	1.006.892.336	1.940.831.629
13	30.346.420	132.453.490	460.340.526	935.779.168	1.693.673.262	60.568.576	177.909.100	514.159.592	1.014.639.395	1.877.892.697
14	50.440.410	159.125.228	514.683.476	1.027.402.169	1.800.115.309	85.388.946	213.403.819	575.847.680	1.130.409.940	1.999.964.251
15	23.700.731	129.981.051	458.338.311	860.908.683	1.485.588.396	53.119.170	174.913.022	511.547.141	954.300.653	1.654.914.255
16	46.506.820	166.045.832	542.211.433	1.081.510.141	1.929.308.785	78.990.318	217.109.520	601.212.072	1.167.273.351	2.128.734.333
17	29.484.153	130.604.798	467.889.299	947.373.258	1.781.610.121	60.378.472	177.199.298	521.342.851	1.027.636.879	1.986.241.589
18	33.943.167	142.115.084	486.465.201	990.863.895	1.789.355.472	65.701.770	190.299.192	543.362.707	1.071.614.094	1.983.173.886
19	41.706.876	150.627.091	506.722.605	1.032.285.563	1.849.986.337	75.390.835	201.375.265	566.542.168	1.115.865.597	2.045.216.231
20	33.478.151	149.851.262	520.077.647	1.049.342.066	1.825.149.064	69.786.335	204.435.408	584.247.957	1.131.318.115	2.040.014.187
21	25.005.649	130.315.376	451.208.263	916.037.908	1.701.185.147	53.875.436	174.314.134	503.696.974	993.302.307	1.892.417.066
22	38.577.168	137.229.298	467.928.905	968.141.181	1.903.751.495	70.013.968	185.027.794	522.568.163	1.042.558.429	2.075.025.522
23	61.561.483	172.164.506	544.482.375	1.101.512.141	2.056.193.503	99.452.757	228.071.573	606.393.814	1.194.914.921	2.266.345.770
24	39.017.799	140.438.342	473.714.916	962.083.535	1.741.376.872	70.363.614	187.273.351	529.865.485	1.044.839.166	1.944.779.805
25	25.114.544	123.146.472	423.304.736	852.431.217	1.462.290.289	52.122.437	163.764.952	472.772.987	941.608.970	1.636.966.074
26	22.171.140	121.201.219	416.244.173	833.962.845	1.424.312.205	48.399.491	160.847.143	464.444.545	924.365.326	1.594.461.933
27	54.554.509	161.252.330	512.497.218	1.028.482.510	1.820.110.967	89.135.653	212.473.314	573.543.555	1.117.776.571	2.015.461.973

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

28	21.035.695	123.390.185	429.846.230	885.462.099	1.642.587.100	48.181.377	164.691.738	479.481.918	959.550.394	1.821.759.498
29	28.701.445	126.621.953	446.954.877	917.123.595	1.677.911.474	58.065.794	170.628.214	498.896.036	990.819.560	1.862.031.304
30	25.058.577	131.859.359	459.980.696	924.589.719	1.815.293.030	54.476.835	176.804.012	513.288.153	1.002.305.050	1.975.912.907
VAN	-257.390.693	797.465.552	4.117.082.205	8.901.584.639	16.964.053.713	80.642.811	1.276.729.697	4.669.318.431	9.706.443.445	18.787.016.007

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio agroeconómico.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

13.7.2.2. Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra

El paso desde una situación Sin Proyecto a una Con Proyecto implica un cambio en el uso del suelo, incrementando su valor productivo y por ende comercial. Es así como la incorporación de nuevas zonas a partir de la habilitación de terrenos sin uso y la implementación de cultivos intensivos justifica esta variación.

El Cuadro 14.7.2.2-1 resume la variación del uso del suelos según el tamaño de embalse y escenario, cuyo cambio desde la Situación Actual se estabiliza el año 7, según la gradualidad de incorporación prevista en el estudio agroeconómico.

**CUADRO 13.7.2.2-1
CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

ID Alternativa	Volumen Útil (hm ³)	Sup. Regada 85% (ha)	Sup. Sin Seguridad (ha)	Total Potencialmente Regable (ha)
SA-SSP	0,0	233,0	1.116,3	1.349,3
1a	0,0	259,0	1.090,3	1.349,3
1b	0,0	268,0	1.081,3	1.349,3
2	0,0	278,0	1.071,3	1.349,3
3-1	0,8	256,0	1.093,3	1.349,3
3-2	1,5	286,0	1.063,3	1.349,3
3-3	3,0	380,0	969,3	1.349,3
3-4	4,5	475,0	874,3	1.349,3
3-5	6,1	614,0	735,3	1.349,3
4a-1	0,8	238,0	1.111,3	1.349,3
4a-2	1,5	265,0	1.084,3	1.349,3
4a-3	3,0	337,0	1.012,3	1.349,3
4a-4	4,5	424,0	925,3	1.349,3
4a-5	6,1	550,0	799,3	1.349,3
4b-1	0,8	247,0	1.102,3	1.349,3
4b-2	1,5	276,0	1.073,3	1.349,3
4b-3	3,0	347,0	1.002,3	1.349,3
4b-4	4,5	436,0	913,3	1.349,3
4b-5	6,1	572,0	777,3	1.349,3

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL ESTUDIO AGROECONÓMICO.

Posteriormente se calcula el beneficio asociado al incremento de superficie multiplicando por el valor esperado de venta. En la evaluación del costo de las expropiaciones, se estimó un valor promedio de la tierra productiva de \$ 27.500.000 por hectárea, dentro de los cuales se pueden encontrar terrenos sin uso o no habilitados para la agricultura valor promedio es igual a \$ 10.000.000 por hectárea, mientras que terrenos en producción se valoran en \$35.000.000 por

hectárea en promedio. Es importante hacer hincapié en el hecho de que estos valores pueden estar influenciados en forma importante por la posibilidad de ser usados para fines turísticos.

13.7.2.3. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas

Para evaluar los beneficios asociados a la disponibilidad de recursos hídricos, se determina el valor del caudal equivalente medio asociado al proyecto, el que se muestra en el Cuadro 14.7.2.3-1. Estos valores se determinaron como el promedio del caudal efluente desde cada uno de los embalses considerados. Se hace notar que el caudal medio disponible se determina a partir del volumen anual disponible de embalsar, por lo que el uso de una u otra variable es equivalente.

**CUADRO 13.7.2.3-1
CAUDAL MEDIO ASOCIADO A CADA ALTERNATIVA**

ID Alternativa	Volumen Útil (hm³)	Caudal Asociado (l/s)
SA-SSP	0,0	208,5
1a	0,0	293,8
1b	0,0	303,8
2	0,0	293,7
3-1	0,8	268,8
3-2	1,5	307,0
3-3	3,0	384,7
3-4	4,5	453,0
3-5	6,1	518,4
4a-1	0,8	269,0
4a-2	1,5	299,9
4a-3	3,0	378,4
4a-4	4,5	447,6
4a-5	6,1	513,1
4b-1	0,8	279,9
4b-2	1,5	312,5
4b-3	3,0	390,2
4b-4	4,5	460,0
4b-5	6,1	531,6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El siguiente elemento a considerar es la evaluación del valor del agua. Con este fin se utilizó la información contenida en el estudio tarifario de la empresa sanitaria Aguas Antofagasta S.A. para el periodo 2006-2011 (Anexo 14-1), en cuyo Capítulo 6, referente a la determinación del valor del agua cruda, se tiene que, para caudales mayores de 0,05 L/s, el valor del agua cruda es de 1.550,0

UF/L/s. Con este valor se determinaron los beneficios diferenciales asociados a las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas evitadas debido al proyecto.

13.7.3. Beneficio Asociado a la Generación Hidroeléctrica

Para la zona de San Pedro se adoptó el valor del tramo más bajo de venta de energía por parte de CESP (Cooperativa Eléctrica San Pedro de Atacama), que corresponde a Venta Energía: 196 \$/kWh. Este valor es válido para los consumidores de menor cuantía. A mayor consumo, mayor es el valor de venta, lo que muestra que el análisis que se presenta está por el lado de la seguridad.

13.7.4. Beneficios Asociados al Control de Crecidas

Tal como se indicó en el Capítulo 6, se considera el beneficio asociado al control de crecidas el que incluye: daño evitado por menores daños y disminución de los caudales porteados por el río. Los resultados de este análisis permiten determinar el daño evitado por la construcción del embalse, resultados que para la inclusión del embalse controlador de crecidas y mejoramiento de la caja del río. Los beneficios fueron determinados en el Acápite 6.14 y se presentan en el Cuadro 14.7.4-1 para el mejoramiento de la caja del río, el efecto del embalse controlador de crecidas en el Cuadro 14.7.4-2, el embalse de riego en el Cuadro 14.7.4-3, y en el Cuadro 14.7.4-4 para el efecto conjunto.

CUADRO 13.7.4-1
DAÑO EVITADO MEJORAMIENTO CAJA DEL RÍO (millones \$)

Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Daño Evitado
50	41,8
100	105,0
150	186,9

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CUADRO 13.7.4-2
DAÑO EVITADO EMBALSE RÍO GRANDE (millones \$)

Caudal Mejoramiento Caja Río (m³/s)	Volumen Útil (hm³)		
	4,3	7,1	10,2
0	331,7	384,9	592,9
50	331,7	384,9	600,3

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

100	542,6	561,1	679,8
150	716,0	720,4	731,7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CUADRO 13.7.4-2
DAÑO EVITADO EMBALSE RÍO SALADO (millones \$)

Caudal Mejoramiento Caja Río (m ³ /s)	Volumen Útil (hm ³)				
	0,8	1,5	3,0	4,5	6,1
0	0,4	17,3	130,9	225,2	257,3
50	327,1	329,2	338,8	358,9	390,9
100	548,0	549,6	551,2	654,9	657,1
150	715,1	715,2	715,3	715,6	716,2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CUADRO 13.7.4-3
DAÑO EVITADO EMBALSE RÍO GRANDE + RÍO SALADO (millones \$)

Caudal Mejoramiento Caja Río (m ³ /s)	Volumen Útil (hm ³)				
	0,8	1,5	3,0	4,5	6,1
Volumen Útil CC 4,3 hm³					
0	1,4	14,5	130,9	225,2	257,3
50	328,1	329,7	338,8	358,9	390,9
100	548,0	549,6	551,2	654,9	657,1
150	715,1	715,2	715,3	715,6	716,2
Volumen Útil CC 7,1 hm³					
0	1,4	17,8	130,9	225,2	257,3
50	328,1	329,7	338,8	358,9	384,5
100	548,0	549,6	551,2	654,9	661,7
150	715,1	715,2	715,3	715,6	730,0
Volumen Útil CC 10,2 hm³					
0	586,1	590,4	601,5	608,1	632,3
50	593,6	597,9	601,5	608,1	680,2
100	680,2	680,2	680,2	680,2	680,2
150	732,1	732,1	732,1	732,1	732,1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.8. Resultados de la Evaluación Económica

13.8.1. Aspectos Generales

A continuación se presentan los resultados de la evaluación económica para las alternativas descritas anteriormente descritos, con sus respectivos costos y beneficios. Se hace notar que al analizar los costos del embalse controlador de crecidas, se observa que esta obra es más barata a mayor tamaño. Esto se debe a que el vertedero está excavado en roca, por lo que mientras menor es el tamaño del embalse, mayor es el volumen de material a excavar. Por lo tanto, esto significa que no es necesario considerar todos los tamaños de embalse, sino que sólo el de mayor volumen, que a su vez es el que controla mayores caudales, y por lo tanto genera los mayores beneficios. Lo anterior significa que el número de combinaciones a analizar se reduce de 465 a 225.

Las evaluaciones se presentan en los Anexos 14-2 a 14-8, según se indica:

Anexo 14-2: Mejoramiento Caja del Río

Anexo 14-3: Embalse Controlador de Crecidas

Anexo 14-4: MCH

Anexo 14-5: Alternativa 1

Anexo 14-6: Alternativa 2

Anexo 14-7: Alternativa 3

Anexo 14-8: Alternativa 4

13.8.2. Evaluación Proyecto Mejoramiento Caja del Río

Para la evaluación del mejoramiento de la caja del río, se consideran los costos del Cuadro 14.6.5-1 y los beneficios del Cuadro 14.7.4-1. Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 14.8.2-1, y se observa claramente que el proyecto es no rentable.

CUADRO 13.8.2-1
RESULTADOS EVALUACIÓN MEJORAMIENTO CAJA DEL RÍO

Caudal Mejoramiento (m ³ /s)	Precios	VAN (millones \$)	VAN/Sup (millones \$/ha)	n/k	TIR (%)
50	PM	-508,33	-0,60	0,37	2,44%
100	PM	-1.056,25	-0,56	0,42	3,31%
150	PM	-1.699,69	-0,53	0,44	3,77%
50	PS	-205,29	-0,26	0,72	3,28%
100	PS	-312,46	-0,18	0,81	4,20%
150	PS	-389,25	-0,13	0,86	4,68%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.8.3. Evaluación Embalse Control de Crecidas

Para la evaluación del mejoramiento de la caja del río, se consideran los costos del Cuadro 14.6.2.2-1 y los beneficios del Cuadro 14.7.4-2. Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 14.8.3-1, y se observa claramente que el embalse para el control de crecidas no es rentable.

**CUADRO 13.8.3-1
RESULTADOS EVALUACIÓN EMBALSE CONTROL DE CRECIDAS**

Volumen (hm ³)	Precios	VAN (millones \$)	IVAN	n/k	TIR (%)
4,3	PM	-8.068,37	-0,82	0,19	No Hay
7,1	PM	-7.554,92	-0,78	0,23	0,39%
10,2	PM	-5.812,64	-0,62	0,38	3,16%
4,3	PS	-5.710,69	-0,64	0,39	No Hay
7,1	PS	-4.841,27	-0,54	0,48	0,91%
10,2	PS	-2.182,28	-0,25	0,75	3,78%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.8.4. Mini Central Hidroeléctrica

En este acápite se presenta la evaluación económica de la MCH por si sola. Para esto se consideran 2 costos: costo de construcción de la MCH y costo de ampliar la tubería de conducción desde el diseño realizado para el riego y lo requerido para la MCH. La diferencia está dada en el diámetro de la tubería, para el primer caso se consideran diámetros bajos, que generan grandes pérdidas, pero requieren menor resistencia. Por otra parte, se consideran mayores diámetros, además de considerar un diseño resistente al golpe de ariete que puede darse. Los resultados de la evaluación se presentan en el Cuadro 14.8.4-1.

**CUADRO 14.8.4-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA MCH**

Precios	Conducción	VAN (MM \$)	IVAN	n/k	TIR (%)
PM	Presión	500,3	0,12	1,11	13,308%
PS	Presión	4.691,6	1,15	1,97	13,315%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los resultados del cuadro anterior muestran que la MCH es rentable tanto a precios privados como sociales.

13.8.5. Evaluación Económica Alternativas Propuestas

En el Cuadro 14.8.4-1 se presentan los mejores resultados para cada una de las 4 alternativas de proyecto analizadas, considerando los diferentes tipos de conducción y por tipo de embalse. El total de las soluciones se presenta en cada uno de los anexos antes mencionados.

Se observa que para la alternativa 1 no hay factibilidad, lo que es compatible con la baja cantidad de superficie regada. Por otra parte, la alternativa 2 no es rentable, aunque cuando se incorpora el control de crecidas se tiene que el proyecto mejora considerablemente. En el caso de la alternativa 3 se observa que no hay variaciones rentables, aunque hay alternativas que se encuentran muy cercanas a ser rentables. Tanto para el caso sin controlador o con controlador, lo más rentable es el embalse de riego más grande con tubería en presión. Estas alternativas tienen la particularidad adicional que pueden generar hidroelectricidad, por lo que serán analizadas en mayor detalle, tanto en el análisis de sensibilidad como en el análisis de generación de hidroelectricidad.

Al analizar en detalle las mejores soluciones asociadas a la Alternativa 3, se observa que la mejor variación sin embalse de control de crecidas engloba adicionalmente el mejoramiento de la caja del río para conducir caudales de hasta 100 m³/s. Por otra parte, la mejor alternativa que incluye el embalse de control de crecidas no incluye mejoramiento de la caja del río, lo que es compatible, ya que incluir ese mejoramiento aumenta los costos, pero aumenta marginalmente los beneficios. Por último, es interesante considerar que los mejores indicadores se obtienen para la alternativa 3 sin control de crecidas, esto es porque el embalse de riego, aunque controla en forma muy limitada las crecidas, afecta los periodos de retorno más bajos, los que en definitiva contribuyen en mayor medida a disminuir los daños.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

**CUADRO 13.8.3-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Alternativa	Precios	Volumen Riego (hm ³)	Volumen CC (hm ³)	Caudal Mejoramiento (m ³ /s)	Conducción	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
Alternativa 1										
1A-1	PS	-	-	-	Acueducto	-4.270,9	-2,90	-13,3	0,15	No Hay
1A-2	PS	-	-	-	Presión	-3.860,6	-2,62	-12,0	0,16	No Hay
1B-1-3-1	PS	-	10,2	0	Acueducto	-5.882,4	-0,59	-17,7	0,57	2,10%
1B-2-3-1	PS	-	10,2	0	Presión	-5.472,1	-0,54	-16,4	0,59	2,29%
Alternativa 2										
2A-1	PS	-	-	-	Canal	-4.183,6	-9,32	-12,53	0,23	No Hay
2A-2	PS	-	-	-	Acueducto	-3.917,5	-8,73	-11,73	0,25	No Hay
2A-3	PS	-	-	-	Presión	-3.520,1	-7,85	-10,54	0,26	No Hay
2B-1-3-1	PS	-	10,2	0	Canal	-6.578,3	-0,75	-19,70	0,57	2,29%
2B-2-3-1	PS	-	10,2	0	Acueducto	-5.272,7	-0,60	-15,79	0,62	2,81%
2B-3-3-1	PS	-	10,2	0	Presión	-5.981,3	-0,68	-17,91	0,59	2,51%
Alternativa 3										
3A-1-5-3	PS	6,1	0,0	100	Canal	-7.635,5	-0,2	-10,2	0,78	4,36%
3A-2-5-3	PS	6,1	0,0	100	Acueducto	-7.767,7	-0,2	-10,3	0,78	4,37%
3A-3-5-3	PS	6,1	0,0	100	Presión	-7.158,4	-0,2	-9,5	0,80	4,47%
3B-1-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Canal	-16.545,5	-0,43	-22,0	0,61	2,89%
3B-2-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Acueducto	-16.021,2	-0,42	-21,3	0,63	3,00%
3B-3-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Presión	-16.068,4	-0,42	-21,4	0,63	3,00%
Alternativa 4										
4A-2-1-5-1	PS	6,1	0,0	0	Acueducto	-10.249,4	-0,3	-13,6	0,71	3,74%
4A-3-1-5-1	PS	6,1	0,0	0	Presión	-10.140,2	-0,3	-13,5	0,71	3,76%
4B-2-1-1-3	PS	6,1	10,2	100	Acueducto	-21.197,8	-0,5	-28,2	0,53	2,11%
4B-3-1-1-1	PS	6,1	10,2	0	Presión	-19.945,2	-0,5	-26,6	0,54	2,22%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta

13.9. Evaluación potencial hidroeléctrico

Para las alternativas seleccionadas se incluyó la MCH predimensionada anteriormente en el Acápite 10.12. En el Cuadro 14.9-1 se resumen los resultados de la evaluación, en los que se muestran los indicadores sin y con la MCH. Los resultados del Cuadro 14.9-1 muestran claramente que los indicadores financieros mejoran notablemente, siendo mayor la mejora para la alternativa 3.

**CUADRO 14.9-1
RESULTADOS INCLUSIÓN MCH**

Alternativa	Sin MCH		Con MCH		Δ VAN (MM\$)
	VAN (MM \$)	TIR (%)	VAN (MM \$)	TIR (%)	
3A-3-5-3	-7.158,4	4,47%	324,6	6,06%	7.483,0
3B-3-3-5-1	-16.068,4	3,00%	-7.659,8	4,67%	8.408,6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.10. métodos alternativos

En los Cuadros 14.10-1 y 14.10-2 se incluyen los resultados de la evaluación según los métodos alternativos. La principal conclusión al respecto es que ninguna de las alternativas resulta conveniente debido principalmente al alto costo de las obras, a pesar de que, según los antecedentes disponibles, tanto el valor de la tierra como el del agua son bastante mayores a otras zonas del país. La alternativa con mejores resultados es la 1a.

CUADRO 13.10-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA (\$)

ID Alternativa	Volumen Útil (hm3)	Valor Total Tierra (\$)	Valor Incremental (\$)	Costo Totales (\$)	Beneficio Neto (\$)
SA-SSP	0,0	19.317.782.244	-	-	-
1a	0,0	19.967.782.244	650.000.000	5.116.449.364	-4.466.449.364
1b	0,0	20.192.782.244	875.000.000	5.547.122.777	-4.672.122.777
2	0,0	20.442.782.244	1.125.000.000	5.737.529.413	-4.612.529.413
3-1	0,8	19.892.782.244	575.000.000	24.641.889.313	-24.066.889.313
3-2	1,5	20.642.782.244	1.325.000.000	25.830.992.459	-24.505.992.459
3-3	3,0	22.992.782.244	3.675.000.000	29.628.201.324	-25.953.201.324
3-4	4,5	25.367.782.244	6.050.000.000	32.669.445.147	-26.619.445.147
3-5	6,1	28.842.782.244	9.525.000.000	36.140.924.340	-26.615.924.340
4a-1	0,8	19.442.782.244	125.000.000	23.828.875.428	-23.703.875.428
4a-2	1,5	20.117.782.244	800.000.000	25.017.978.575	-24.217.978.575
4a-3	3,0	21.917.782.244	2.600.000.000	28.772.109.257	-26.172.109.257
4a-4	4,5	24.092.782.244	4.775.000.000	31.813.353.080	-27.038.353.080
4a-5	6,1	27.242.782.244	7.925.000.000	35.691.393.318	-27.766.393.318
4b-1	0,8	19.667.782.244	350.000.000	24.579.881.153	-24.229.881.153
4b-2	1,5	20.392.782.244	1.075.000.000	25.768.984.299	-24.693.984.299
4b-3	3,0	22.167.782.244	2.850.000.000	29.931.701.093	-27.081.701.093
4b-4	4,5	24.392.782.244	5.075.000.000	32.972.944.916	-27.897.944.916
4b-5	6,1	27.792.782.244	8.475.000.000	36.326.630.120	-27.851.630.120

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 13.10-2
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODOS DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS (\$)

ID Alternativa	Volumen Útil (hm ³)	Valor Total Agua (\$)	Valor Incremental (\$)	Costo Totales (\$)	Beneficio Neto (\$)
SA-SSP	0,0	7.382.069.269	-	-	-
1a	0,0	10.401.100.589	3.019.031.320	5.116.449.364	-2.097.418.044
1b	0,0	10.755.461.120	3.373.391.851	5.547.122.777	-2.173.730.926
2	0,0	10.398.410.388	3.016.341.120	5.737.529.413	-2.721.188.293
3-1	0,8	9.516.147.222	2.134.077.954	24.641.889.313	-22.507.811.359
3-2	1,5	10.868.991.369	3.486.922.101	25.830.992.459	-22.344.070.358
3-3	3,0	13.617.855.258	6.235.785.990	29.628.201.324	-23.392.415.334
3-4	4,5	16.037.948.849	8.655.879.580	32.669.445.147	-24.013.565.567
3-5	6,1	18.351.012.812	10.968.943.544	36.140.924.340	-25.171.980.796
4a-1	0,8	9.521.904.279	2.139.835.011	23.828.875.428	-21.689.040.417
4a-2	1,5	10.617.034.060	3.234.964.792	25.017.978.575	-21.783.013.783
4a-3	3,0	13.396.191.671	6.014.122.403	28.772.109.257	-22.757.986.854
4a-4	4,5	15.845.842.301	8.463.773.033	31.813.353.080	-23.349.580.047
4a-5	6,1	18.165.221.635	10.783.152.366	35.691.393.318	-24.908.240.952
4b-1	0,8	9.908.321.810	2.526.252.541	24.579.881.153	-22.053.628.612
4b-2	1,5	11.062.470.284	3.680.401.016	25.768.984.299	-22.088.583.283
4b-3	3,0	13.812.920.006	6.430.850.737	29.931.701.093	-23.500.850.356
4b-4	4,5	16.283.717.627	8.901.648.358	32.972.944.916	-24.071.296.558
4b-5	6,1	18.820.169.815	11.438.100.546	36.326.630.120	-24.888.529.574

Fuente: Elaboración propia.

13.11. análisis de sensibilidad Proyecto de riego + control de crecidas

Al hacer cualquier evaluación económica, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las variables y alternativas que se estudian, lo que dificulta una toma de decisiones con mayor certeza. Una forma de disminuir o dimensionar esta incertidumbre es a través un análisis de sensibilidad, el que busca identificar las variables que más afectan el resultado económico de un proyecto y la magnitud de su incidencia. Tal como se indicó en el Acápite 14.8, el análisis de sensibilidad se presenta para 2 variaciones de la Alternativa 3, y se incluye en el Anexo 14-9. Como primer paso, el Cuadro 14.11-1 muestra el cambio que experimenta el VAN, ante la variación de 10% de las partidas involucradas en la evaluación económica, esto para saber las que tienen mayor repercusión en la rentabilidad del proyecto.

Para la Variante 3A-3-5-3, las variables más importantes son el ingreso agrícola seguido del costo del embalse, para luego influir el beneficio del control de crecidas. Por otra parte, para la Variante 3B-3-3-5-1, a las variables anteriores, se agrega el costo del embalse controlador de crecidas.

CUADRO 13.11-1
ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS VARIABLES
EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO
ALTERNATIVA 3

Ítem Evaluación		Variación	VAN0 (MM \$)	VAN1 (MM \$)	ΔVAN (MM \$)	Elasticidad
3A-3-5-3						
Beneficios	Agrícolas	10,00%	-7.158,4	-2.141,4	5.017,1	-7,01
	Control Crecidas	10,00%	-7.158,4	-6.316,0	842,5	-1,18
Inversión	Obras Civiles	10,00%	-7.158,4	-7.203,3	-44,9	0,06
	Embalse Riego	10,00%	-7.158,4	-9.480,8	-2.322,3	3,24
	Conducción	10,00%	-7.158,4	-7.537,3	-378,8	0,53
	Riego	10,00%	-7.158,4	-7.333,5	-175,0	0,24
	Mejoramiento Caja Río	10,00%	-7.158,4	-7.334,2	-175,7	0,25
Operación	Obras Civiles	10,00%	-7.158,4	-7.162,8	-4,4	0,01
	Embalse Riego	10,00%	-7.158,4	-7.195,6	-37,1	0,05
	Conducción	10,00%	-7.158,4	-7.386,1	-227,6	0,32
	Riego	10,00%	-7.158,4	-7.174,4	-15,9	0,02
Expropiaciones		10,00%	-7.158,4	-7.163,8	-5,3	0,01
Costos Ambientales		10,00%	-7.158,4	-7.359,8	-201,3	0,28
3B-3-3-5-1						
Beneficios	Agrícolas	10,00%	-16.068,4	-14.038,3	2.030,2	-1,26
	Control Crecidas	10,00%	-16.068,4	-15.257,7	810,7	-0,50
Inversión	Obras Civiles	10,00%	-16.068,4	-16.113,3	-44,9	0,03
	Embalse Riego	10,00%	-16.068,4	-18.390,7	-2.322,3	1,45
	Conducción	10,00%	-16.068,4	-16.447,2	-378,8	0,24
	Embalse CC	10,00%	-16.068,4	-16.967,1	-898,7	0,56
	Riego	10,00%	-16.068,4	-16.243,4	-175,0	0,11
	Mejoramiento Caja Río	10,00%	-16.068,4	-16.068,4	0,0	0,00
Operación	Obras Civiles	10,00%	-16.068,4	-16.072,8	-4,4	0,00
	Embalse Riego	10,00%	-16.068,4	-16.105,5	-37,1	0,02
	Conducción	10,00%	-16.068,4	-16.296,0	-227,6	0,14
	Riego	10,00%	-16.068,4	-16.084,3	-15,9	0,01
	Embalse CC	10,00%	-16.068,4	-16.150,2	-81,8	0,05
Expropiaciones		10,00%	-16.068,4	-16.073,7	-5,3	0,00
Costos Ambientales		10,00%	-16.068,4	-16.324,2	-255,8	0,16

Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el análisis, se analizan con mayor detalle las variables beneficios y el costo de los embalses. Los resultados se muestran en el Cuadro 14.11-2.

CUADRO 13.11-2
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
BENEFICIOS Y COSTOS EMBALSES

3A-3-5-3					
Ítem Evaluación	Variación (%)				Variación para VAN=0 (%)
	10%		-10%		
	VAN(millones \$)	TIR (%)	VAN (millones \$)	TIR (%)	
Beneficio Agrícola	-2.141,4	5,56%	-11.632,4	3,41%	13,97%
Beneficio CC	-6.316,0	4,66%	-8.000,9	4,29%	84,97%
Embalse Riego	-9.480,8	4,09%	-4.836,1	4,91%	-30,76%
3B-3-1-5-2					
Ítem Evaluación	Variación (%)				Variación para VAN=0 (%)
	10%		-10%		
	VAN(millones \$)	TIR (%)	VAN (millones \$)	TIR (%)	
Beneficio Agrícola	-14.294,1	3,39%	-18.354,4	2,52%	80,41%
Beneficio CC	-15.513,5	3,13%	-17.135,0	2,81%	201,35%
Embalse Riego	-18.646,5	2,69%	-14.001,9	3,27%	-70,30%
Embalse CC	-17.223,0	2,84%	-15.425,5	3,09%	No Hay

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Al analizar los resultados del Cuadro 14.11-3 se observa que para que la Variante **3A-3-5-3** sea rentable se requiere una disminución moderada del costo del embalse, un aumento menor de los ingresos agrícolas o un aumento de gran magnitud de los beneficios del control de crecidas. Por otra parte, para la variante **3B-3-1-5-2**, los beneficios deben variar en gran cantidad, incluso el beneficio del control de crecidas debe duplicarse. Por otra parte, el costo del embalse de riego debe disminuir a menos de la mitad, y no hay variación posible en el costo del embalse de control de crecidas que haga posible la rentabilidad del proyecto.

Un análisis de sensibilidad adicional consiste en modificar la gradualidad de los cambios en la Situación Con Proyecto, los que se desprenden de la incorporación de los cultivos que conforman el nuevo uso del suelo.

Dada lo anterior se confeccionó un escenario denominado “temprano” en donde la incorporación de los cultivos fuera más rápida que la estimada inicialmente, y otro “tardío” en el cual los cambios se producen en forma más lenta. El Cuadro 14.11-2 muestra las tasas de incorporación utilizadas en cada caso.

Estas tasas tienen repercusión en la gradualidad de la incorporación de la superficie, costos indirectos, habilitación de suelos, inversión en riego tecnificado, asistencia técnica y la estabilización de los márgenes brutos.

Los flujos agroeconómicos netos a precios sociales a partir de este análisis se resumen en el Cuadro 14.11-3.

CUADRO 14.11-3

TASAS DE INCORPORACIÓN CULTIVOS ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN AGRÍCOLA

Año	C. Anuales y frutales existentes E1 Y E2			Año	C. anuales y frutales existentes E3, E4 Y E5		
	Base	Temprano	Tardío		Base	Temprano	Tardío
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
1	5,0	5,0	5,0	1	5,0	5,0	5,0
2	10,0	10,0	7,5	2	10,0	15,0	10,0
3	20,0	20,0	15,0	3	20,0	25,0	20,0
4	30,0	30,0	20,0	4	30,0	50,0	30,0
5	45,0	50,0	30,0	5	50,0	70,0	45,0
6	65,0	70,0	45,0	6	70,0	80,0	65,0
7	80,0	80,0	65,0	7	80,0	90,0	80,0
8	90,0	90,0	80,0	8	90,0	100,0	90,0
9	95,0	100,0	90,0	9	100,0	100,0	95,0
10	100,0	100,0	95,0	10	100,0	100,0	100,0
11	100,0	100,0	100,0	11	100,0	100,0	100,0
12	100,0	100,0	100,0	12	100,0	100,0	100,0
Año	Frutales			Año	Alfalfa		
	Base	Temprano	Tardío		Base	Temprano	Tardío
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
1	5,0	5,0	5,0	1	10,0	10,0	5,0
2	7,5	10,0	7,5	2	25,0	30,0	15,0
3	15,0	20,0	15,0	3	50,0	60,0	25,0
4	20,0	30,0	20,0	4	70,0	90,0	50,0
5	30,0	45,0	30,0	5	90,0	100,0	75,0
6	45,0	65,0	45,0	6	100,0	100,0	90,0
7	65,0	80,0	65,0	7	100,0	100,0	100,0
8	80,0	90,0	75,0	8	100,0	100,0	100,0
9	90,0	95,0	85,0	9	100,0	100,0	100,0
10	95,0	100,0	90,0	10	100,0	100,0	100,0
11	100,0	100,0	95,0	11	100,0	100,0	100,0
12	100,0	100,0	100,0	12	100,0	100,0	100,0

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CUADRO 14.11-4
FLUJOS AGROECONÓMICOS ALTERNATIVA 3
ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN AGRÍCOLA (\$)

Año	Flujos Netos (\$)		
	Base	Temprano	Tardío
0	0	0	0
1	418.003.331	418.003.331	429.855.619
2	397.700.921	418.495.523	408.262.386
3	495.393.769	541.031.138	531.374.050
4	719.771.690	890.750.948	710.968.867
5	967.710.293	1.281.316.168	860.654.293
6	1.314.593.471	1.548.933.161	1.134.029.152
7	1.594.658.467	1.804.538.431	1.461.081.781
8	1.848.213.782	2.062.158.233	1.811.639.441
9	2.112.061.600	2.274.818.127	2.032.852.872
10	2.246.043.791	2.330.091.627	2.191.333.721
11	2.332.627.035	2.436.811.831	2.327.243.086
12	2.414.537.316	2.475.582.962	2.378.273.933
13	2.333.335.240	2.370.791.916	2.312.694.091
14	2.494.189.899	2.519.170.438	2.469.400.552
15	2.070.546.015	2.080.319.928	2.052.015.885
16	2.621.120.129	2.623.294.174	2.608.701.841
17	2.481.482.970	2.482.142.595	2.478.467.232
18	2.459.690.955	2.460.348.950	2.459.361.958
19	2.536.490.788	2.536.490.788	2.536.152.645
20	2.547.172.987	2.546.830.050	2.547.515.923
21	2.324.428.647	2.324.109.468	2.326.567.670
22	2.630.652.043	2.594.558.706	2.634.809.764
23	2.657.308.987	2.649.884.827	2.663.814.003
24	2.573.993.955	2.476.657.242	2.579.115.415
25	2.059.809.405	2.041.577.476	2.092.214.144
26	2.006.608.286	2.049.208.499	2.012.378.974
27	2.510.701.590	2.530.945.658	2.475.498.964
28	2.264.029.817	2.277.338.822	2.271.005.887
29	2.317.201.652	2.379.624.672	2.337.469.551
30	2.484.571.115	2.491.881.915	2.456.999.441
VAN	23.536.114.894	24.652.748.331	23.134.641.551

Fuente: Elaboración propia.

Usando la información anterior, se presenta en el Cuadro 14.11-5 el análisis de sensibilidad para la incorporación de la tierra a la agricultura de riego, el que muestra que si la gradualidad de los cambios sucede en un periodo menor, el efecto de aumento de los beneficios agrícolas en los primeros años provoca que la rentabilidad del proyecto aumente.

CUADRO 14.11-5
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN DE AGRÍCOLA

Escenario	VAN Social (MM \$)	TIR (%)
3A-3-5-3		
Temprano	-6190,4	4,67%
Tardío	-6.818,3	4,52%
3B-3-1-5-2		
Temprano	-15.100,4	3,17%
Tardío	-16.424,3	2,94%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores muestran que se hace necesario considerar variaciones múltiples de parámetros con el fin de determinar la viabilidad de las soluciones, tal como se muestra en el Cuadro 14.11-6. En este cuadro se analizan variaciones simultáneas de 3 parámetros: beneficios agrícolas, de control de crecidas, y costo del embalse de riego.

Para la variante **3A-3-5-3** se observa que hay combinaciones en que se logra la rentabilidad del proyecto, ya que con un aumento de 10% en los beneficios y una disminución de 10 % en el costo del embalse de riego se logra la rentabilidad. Esas variaciones no son imposibles de obtener. Por otra parte, para la variante **3B-3-1-5-2**, no hay combinaciones que hagan rentable el proyecto, lo que es compatible con el análisis de una variable que muestra que para lograr rentabilidad se requieren cambios muy grandes en las variables de interés.

CUADRO 14.11-6
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD: VAN (MM \$)
MÚLTIPLES PARÁMETROS

Beneficio Agrícola	10%			
Beneficio CC	10%		20%	
Embalse Riego	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	-3.621,2	-5.943,5	-5.943,5	-5.101,1
3B-3-3-5-3	-15.549,8	-17.872,1	-14.739,1	-17.061,4
Beneficio Agrícola	10%			
Beneficio CC	10%		20%	
Embalse Riego	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	1.023,4	3.345,7	1.865,8	4.188,1
3B-3-3-5-3	-10.905,2	-8.582,9	-10.094,5	-7.772,1
Beneficio Agrícola	10%			
Beneficio CC	-10%		-20%	
Embalse Riego	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	-5.306,1	-7.628,4	-6.148,6	-8.470,9
3B-3-3-5-3	-17.171,3	-19.493,6	-17.982,0	-20.304,4
Beneficio Agrícola	10%			
Beneficio CC	-10%		-20%	
Embalse Riego	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	-661,5	1.660,8	-1.504,0	818,3
3B-3-3-5-3	-12.526,7	-10.204,4	-13.337,4	-11.015,1
Beneficio Agrícola	-10%			
Beneficio CC	10%		20%	
Embalse Riego	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	-13.112,3	-15.434,6	-12.269,9	-14.592,2
3B-3-3-5-3	-19.610,1	-21.932,4	-18.799,4	-21.121,7
Beneficio Agrícola	-10%			
Beneficio CC	10%		20%	
Embalse Riego	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	-8.467,7	-6.145,4	-7.625,2	-5.302,9
3B-3-3-5-3	-14.965,5	-12.643,2	-14.154,8	-11.832,5
Beneficio Agrícola	-10%			
Beneficio CC	-10%		-20%	
Embalse Riego	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	-14.797,2	-17.119,5	-15.639,7	-17.962,0
3B-3-3-5-3	-21.231,6	-23.553,9	-21.231,6	-23.553,9
Beneficio Agrícola	-10%			
Beneficio CC	-10%		-20%	
Embalse Riego	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	-10.152,6	-7.830,3	-10.995,0	-8.672,7
3B-3-3-5-3	-16.587,0	-14.264,7	-17.397,7	-15.075,4

Fuente: Elaboración propia.

13.12. *análisis de sensibilidad proyecto multipropósito: riego + control de crecidas + hidroelectricidad*

Para este análisis se considera adicionalmente la inclusión de la hidroelectricidad, que según lo indicado anteriormente hace rentable la variante **3A-3-5-3**, manteniendo no rentable la variante **3B-3-3-5-3**, aunque con indicadores altamente mejorados. En el Cuadro 14.12-1 se presenta el cálculo de las elasticidades, teniéndose que para ambas variables, la variable con mayor efecto es el beneficio de venta de energía. Por otra parte, el análisis de sensibilidad del Cuadro 14.12-2 muestra que la variante **3A-3-5-3** deja de hacerse rentable con una pequeña disminución en valor de venta, o un gran aumento en su costo. En cambio, para la variante **3B-3-3-5-1** el valor de venta debe aumentar mucho.

CUADRO 13.12-1
ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS VARIABLES
EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO
HIDROELECTRICIDAD

Ítem Evaluación		Variación	VANO (MM \$)	VAN1 (MM \$)	ΔVAN (MM \$)	Elasticidad
3A-3-5-3						
Beneficios	Hidroelectricidad	10,00%	324,6	1.296,0	971,4	29,93
Inversión	MCH	10,00%	324,6	243,9	-80,6	-2,48
3B-3-3-5-1						
Beneficios	Hidroelectricidad	10,00%	324,6	1.296,0	971,4	29,93
Inversión	MCH	10,00%	324,6	168,2	-156,4	-4,82

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 13.12-2
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
HIDROELECTRICIDAD

3A-3-5-3					
Ítem Evaluación	Variación (%)				Variación para VAN=0 (%)
	10%		-10%		
	VAN(millones \$)	TIR (%)	VAN (millones \$)	TIR (%)	
Beneficios MCH	1.296,0	6,25%	-646,9	5,87%	-3,34%
Costo MCH	243,9	6,05%	405,2	6,08%	40,26%
3B-3-1-5-2					
Ítem Evaluación	Variación (%)				Variación para VAN=0 (%)
	10%		-10%		
	VAN(millones \$)	TIR (%)	VAN (millones \$)	TIR (%)	
Beneficios MCH	-6.688,3	4,84%	-8.631,2	4,50%	78,85%
Costo MCH	-7.816,1	4,65%	-7.503,4	4,69%	No hay

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En último lugar se presenta en el Cuadro 14.12-3 los resultados del análisis de sensibilidad múltiple. Se observa que la Variante 3A-3-5-3, puede ser rentable o no rentable dependiendo de los parámetros considerados. En cambio, la variante 3B-3-3-5-3 siempre es no rentable.

CUADRO 13.12-3
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
MÚLTIPLES PARÁMETROS: HIDROELECTRICIDAD

Beneficios MCH	10%		20%	
Inversión MCH	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	1.139,7	983,3	2.111,1	1.954,7
3B-3-3-5-3	-6.844,7	-7.001,1	-5.873,3	-6.029,6
Beneficios MCH	10%		20%	
Inversión MCH	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	1.452,4	1.608,7	2.423,8	2.580,2
3B-3-3-5-3	-6.532,0	-6.375,6	-5.560,5	-5.404,2
Beneficios MCH	-10%		-20%	
Inversión MCH	10%	20%	10%	20%
3A-3-5-3	-803,2	-959,6	-1.774,7	-1.931,0
3B-3-3-5-3	-8.787,6	-8.943,9	-9.759,0	-9.915,4
Beneficios MCH	-10%		-20%	
Inversión MCH	-10%	-20%	-10%	-20%
3A-3-5-3	-490,5	-334,2	-1.462,0	-1.305,6
3B-3-3-5-3	-8.474,9	-8.318,5	-9.446,3	-9.289,9

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los resultados del análisis se presentan en el Anexo 14-10.

13.13. evaluaciones complementarias

13.13.1. Aspectos Generales

Como complemento, se presenta la evaluación del efecto del mejoramiento de la red primaria, además del efecto del mejoramiento en la red secundaria. Para esta última evaluación los antecedentes disponibles están a nivel de perfil y se utilizan con fines indicativos. Por último se presentan los resultados de la evaluación en la que se considera el proyecto multipropósito que incluye riego, control de crecidas, hidroelectricidad en conjunto con el mejoramiento de la red primaria y secundaria.

13.13.2. Mejoramiento Red Primaria

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 14-11 y se resumen en el Cuadro 14.13.2-1. Los resultados muestran que el mejoramiento de la red primaria no hacen rentable el proyecto.

CUADRO 13.13.2-1
RESULTADOS EVALUACIÓN MEJORAMIENTO RED PRIMARIA

Precios	VAN (millones \$)	TIR (%)
PM	-852,36	5,16%
PS	-169,01	5,05%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.13.3. Mejoramiento Red Secundaria

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 14-12 y se resumen en el Cuadro 14.13.3-1. Los resultados muestran que el mejoramiento de la red secundaria hacen rentable el proyecto a precios sociales, pero no precios privados.

CUADRO 13.13.3-1
RESULTADOS EVALUACIÓN MEJORAMIENTO RED SECUNDARIA

Precios	VAN (millones \$)	TIR (%)
PM	-351,84	9,04%
PS	474,86	8,36%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.13.4. Proyecto Íntegro

En último lugar se presenta en el Cuadro 14.13.4-1 los resultados del análisis integral del proyecto. Los resultados muestran que el proyecto es aún más rentable cuando se considera el mejoramiento de la red primaria y secundaria., en todo caso, el proyecto que incluye el embalse de control de crecidas continúa siendo el proyecto que presenta los indicadores más deficientes. Los resultados se presentan en el Anexo 14-13.

**CUADRO 13.13.4-1
RESULTADOS EVALUACIÓN PROYECTO ÍNTEGRO**

Alternativa	Precios	Volumen Riego (hm ³)	Volumen CC (hm ³)	Caudal Mejoramiento (m ³ /s)	Conducción	VAN (MM \$)	TIR (%)
3A-3-5-3	PM	6,1	0,0	100	Presión	-19.641,7	6,20%
3A-3-5-3	PS	6,1	0,0	100	Presión	4.867,8	6,88%
3B-3-3-5-3	PM	6,1	10,2	0	Presión	-27.319,1	4,88%
3B-3-3-5-3	PS	6,1	10,2	0	Presión	-3.557,9	5,43%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

13.14. Indicadores Adicionales

13.14.1. Generación de Empleo

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola versus la Situación Actual. En el Cuadro 14.14.1-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento anual de un 22,3% del empleo permanente femenino mensual para la alternativa 3-5.

**CUADRO 14.14.1-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA**

Tipo Jornada		SA	SCP	Variación		
				Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales						
	Masculinas	23.872	31.584	7.712	32,3%	1,8%
	Femeninas	4.406	19.418	15.012	340,7%	9,7%
Jornadas Anuales Permanentes						
	Masculinas	4.447	11.787	7.340	165,0%	6,3%
	Femeninas	206	7.030	6.825	3320,9%	24,7%
Empleos Mensuales Permanentes						
	Masculinos	16	41	25	156,3%	6,1%
	Femeninas	1	25	24	2400,0%	22,3%
Jornadas Anuales Temporales						
	Masculinas	19.425	19.797	373	1,9%	0,1%
	Femeninas	4.201	12.388	8.187	194,9%	7,0%

Fuente: Elaboración propia.

Como se hace mención anteriormente, la demanda de mano de obra producto del desarrollo de agricultura de riego en las dimensiones propuestas requiere de un análisis

pertinente de abordar en un estudio posterior de factibilidad producto que la demanda de mano de obra supera largamente a la oferta de este recurso en la zona.

13.14.2. Rentabilidad por Hectárea Productiva

La rentabilidad por hectárea productiva consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de hectáreas beneficiadas.

La rentabilidad por hectárea productiva para la alternativa 3-5 se presenta en el Cuadro 14.14.2-1. En Situación Con Proyecto se produce un incremento del orden del 1.178,7% en relación a la rentabilidad de la situación Sin Proyecto. Este resultado, y los siguientes, confirman la realidad de subsistencia de la Situación Actual y el importante impacto de la construcción de una obra de riego en el valle.

CUADRO 14.14.2-1
RENTABILIDAD POR HECTÁREA PRODUCTIVA

Situación	A - Rentabilidad Promedio Área de Estudio (\$)	B -Superficie Física Cultivada Riego (ha)	C- Rentabilidad por Hectárea (\$) (A/B)	D - Incrementos (%)
Sin Proyecto	158.485.791	709,0	223.526	-
Con Proyecto	2.026.507.018	709,0	2.858.161	1.178,7

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

13.14.3. Ingreso Per Cápita Asignable al Sector Agropecuario

El ingreso per cápita asignable al sector agropecuario consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de agricultores beneficiados con el mismo.

El ingreso per cápita de la Situación Con Proyecto se incrementa en 1.178,7% en la alternativa 3-5 en relación a la Situación Sin Proyecto, lo que coincide con las mayores utilidades por encima de las remuneraciones de la labor agrícola. Esta información se presenta en el Cuadro 14.14.3-1.

CUADRO 14.14.3-1 INGRESO PER CÁPITA

Situación	A - Rentabilidad Promedio Área de Estudio (\$)	B- Número de Agricultores	C - Ingreso Per Cápita (\$) (A/B)	D - Ingreso Per Cápita mensual (\$) (C/12)	E - Incrementos (%)
Sin Proyecto	158.485.791	1.218	130.120	10.843	-
Con Proyecto	2.026.507.018	1.218	1.663.799	138.650	1.178,7

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

13.14.4. Generación de Impuestos

La generación de impuestos corresponde al impuesto generado por el incremento de la utilidad producto de la entrada en funcionamiento del embalse.

Al respecto la generación de impuestos producto de la construcción de obras se incrementa en un 1.170,7% en la alternativa 3-5, al pasar de \$35,6 millones en Situación Actual a más de \$452,0 millones (Cuadro 14.14.4-1).

CUADRO 14.14.4-1 GENERACIÓN IMPUESTOS ALTERNATIVA 3-5

Situación	A - Utilidad Promedio Área de Estudio	B - Impuestos (\$) (A*0,2)	C - Incrementos (%)
Sin Proyecto	177.873.899	35.574.780	-
Con Proyecto	2.260.196.434	452.039.287	1.170,7

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

13.15. Momento Óptimo de la Inversión

El momento óptimo de inversión se obtiene al comparar el VAN de invertir en el momento n versus hacerlo en el momento $n+1$. La premisa fundamental para que este cálculo sea posible de realizar es que los beneficios netos anuales posibles sean independientes del momento de inicio del proyecto, es decir que su evolución y gradualidad de incorporación no dependan de la construcción del embalse, sino de la evolución de la demanda o una variación en el mercado los insumos. Un ejemplo claro de lo anterior sucede en los proyectos de agua potable o alcantarillado, en los cuales, dependiendo del año de entrada en vigencia de la obra, podrá abastecer una demanda que depende del aumento poblacional. En el proyecto de embalse en estudio los beneficios agrícolas dependen en

forma radical de la construcción de la obra, por lo que no resulta pertinente este cálculo. En este caso el momento de realización de la obra dependerá de la comparación del proyecto con otros dentro de la cartera del inversionista, en este caso el Estado²³.

13.16. Análisis Financiero y Disposición de PAGO

El presente Acápite, se refiere al análisis del financiamiento que deben considerar los agricultores según el costo que tenga la obra para ellos. Se supone que la obra será construida bajo los procedimientos que establece el DFL N°1.123 de 1981. El análisis financiero de los predios tipo se basa en los siguientes supuestos:

- Las obras asociadas al riego se construyen en el primer año de análisis (año 0), correspondiendo al segundo período el inicio de la situación con proyecto.
- Se contempla el ofrecimiento de un crédito blando a 20 años para el pago de las obras, el que debe ser contrastado con la disposición de pago de los beneficiarios, a fin de obtener el subsidio requerido para llevar a cabo el proyecto. Se ha calculado el pago potencial con tasas de 2% y 4,5%.
- La tasa de descuento es de un 12%, al igual que la evaluación económica privada.
- Los valores de ingresos agropecuarios, costos directos de la actividad agropecuaria, costos indirectos, margen neto y margen neto corregido por el efecto hidrológico, para las situaciones Con y Sin proyecto, corresponden a los valores de mercado determinados, para cada predio tipo, en la estudio agroeconómico del estudio.
- El capital de trabajo considerado para las situaciones Sin y Con Proyecto corresponde a un 20% de los costos indirectos, otros costos y las inversiones de los tres primeros años, el que es financiado mediante crédito a 10 años con una tasa de interés de un 8,0%, en cuotas iguales.
- Se ha supuesto que la realización del proyecto debe permitir, a cada predio tipo, entregar al propietario una cierta rentabilidad por su actividad, que representa su sustento familiar. De esta forma se ha definido, para el diferencial de flujos entre las situaciones Sin y Con Proyecto. El factor así definido se aplica anualmente a la utilidad después del impuesto. Dado el nivel tecnológico existente, se adopta para todos los estratos una utilidad de 10%.

²³Referencias a esta justificación se encuentran disponibles en a) Brealey, R. y Myers, S. "Fundamentos de Financiación Empresarial" - 8a Edición. Mc Graw-Hill, 2006. b) Fontaine, E.R., "Evaluación Social de Proyectos", Publisher México: Pearson Educación de México, Edición 13a. Ed. 2008 y c) Contreras, E. "Apuntes de Evaluación de Proyectos". Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Industrial FCFM, Magister en Gestión y Políticas Públicas. 2012.

Al aplicar estos supuestos se obtuvieron los resultados presentados en el Cuadro 14.16-1 a nivel de predio promedio. Cabe destacar que el costo anual por hectárea de las obras es \$2.943.090 o \$3.699.567, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente. El detalle se presenta en el Anexo 14-14.

**CUADRO 13.16-1
DISPOSICIÓN DE PAGO POR PREDIO PROMEDIO**

Sector	Estrato	Valor inicial a Pagar (\$)	Valor Dispuesto a Pagar (\$)	Valor a Subsidiar (\$)	Subsidio (%)
Tasas de Interés Obras 2%					
1	1	414.625	74.780	339.845	81,96
	2	1.324.508	546.748	777.760	58,72
	3	2.876.953	1.055.951	1.821.001	63,30
	4	8.282.734	3.870.399	4.412.334	53,27
	5	17.737.174	7.050.943	10.686.231	60,25
2	1	0	0	0	0,00
	2	1.738.674	998.318	740.356	42,58
	3	5.218.440	3.088.441	2.129.999	40,82
	4	7.868.913	3.170.205	4.698.708	59,71
	5	29.729.783	9.494.088	20.235.695	68,07
Tasas de Interés Obras 4,5%					
1	1	521.198	74.780	446.418	85,65
	2	1.664.953	546.748	1.118.205	67,16
	3	3.616.431	1.055.951	2.560.479	70,80
	4	10.411.687	3.870.399	6.541.288	62,83
	5	22.296.251	7.050.943	15.245.308	68,38
2	1	0	0	0	0,00
	2	2.185.574	998.318	1.187.256	54,32
	3	6.559.762	3.088.441	3.471.322	52,92
	4	9.891.500	3.170.205	6.721.295	67,95
	5	37.371.382	9.494.088	27.877.294	74,60

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados presentados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se observa que casi todos los estratos de tamaño predial tienen problemas de flujo de caja en algún momento del proyecto.
- El porcentaje de subsidio varía de manera importante dependiendo del estrato analizado, con un rango entre 40% y 85%. La mayoría de los predios requieren un subsidio entre un 55% y 70%.

- Es importante tener en cuenta que dada la característica de agricultura de subsistencia la posibilidad de que los agricultores paguen un 20% de impuesto es baja, ya que parte de su producción es vendida en términos informales.
- En este caso, dado el alto costo del proyecto y la alta superficie con riego seguro incorporada, aspectos como las inversiones intraprediales y el pago del crédito del capital de trabajo inicial tienen una relevancia menor.

13.17. recomendación del proyecto

Los resultados presentados son mixtos. Cuando se analiza el proyecto por componente, en general no hay rentabilidad, con excepción de la red secundaria. Por otra parte, al analizar el proyecto de multipropósito que incluye riego, control de crecidas inherente del embalse de riego, mejoramiento de la caja del río y generación hidroeléctrica además de APR, se tiene que el proyecto es rentable a precios sociales, con un VAN social de 324,6 millones de pesos y TIR social igual a 6,06%. Si además se incorpora el mejoramiento de la red secundaria, los resultados son aún mejores a precios sociales.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda continuar con el proyecto multipropósito de la Alternativa 3 con un volumen útil de embalse de 6,1 hm³, con uso para riego, control de crecidas para periodos de retorno bajos, mejoramiento de la caja del río, generación hidroeléctrica y APR.

14. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

14.1. Introducción

La misión del Ministerio de Agricultura es “fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país”, y en este sentido, la Comisión Nacional de Riego busca “asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país”.

El logro de la misión tanto del Ministerio como de la Comisión Nacional de Riego hacen fundamental la inclusión de la participación ciudadana en la génesis de los proyectos o estudios desarrollados en el territorio, y es por esto que toma tanta relevancia su incorporación para el Estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Mejoramiento del Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta”.

La incorporación oportuna de la Participación Ciudadana desde el inicio del ciclo de un proyecto tiene diversos beneficios, como el poder anticiparse a problemas y enriquecer el accionar del Ministerio de Agricultura y la Comisión Nacional de Riego; genera mayor cercanía entre la institucionalidad pública y los ciudadanos; permite ahorrar recursos y favorece la sinergia; y contribuye a profundizar la democracia. Por ello, la Participación Ciudadana adquiere importancia en este proyecto, debido a que es la instancia donde los actores involucrados en el mismo, se informan y plantean sus inquietudes, aportando al proceso de toma de decisiones. A la vez, se pueden detectar posibles conflictos, facilitando

el manejo de ellos para minimizar el impacto local de las actividades relacionadas con el proyecto. La adecuada participación de los actores locales en el transcurso del proyecto favorece la inclusión de las problemáticas locales, legitimándolo frente a la comunidad, facilitando –de este modo– las actividades de monitoreo posterior.

En particular, el área de estudio está inserta en el Área de Desarrollo Indígena (ADI) de Atacama La Grande, creada por Decreto MIDEPLAN N° 168 del 20 de agosto de 2004. Un ADI corresponde a “espacios territoriales en que los organismos de la administración del Estado focalizarán su acción en beneficio del desarrollo armónico de los indígenas y sus comunidades” (Ley Indígena N°19.253).

En septiembre de 2008 el Estado Chileno ratificó el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, el que entró en vigencia el año 2009. Este convenio, entre otras implicancias, establece el derecho a consulta y participación de los pueblos indígenas cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente.

Es por esto que el trabajo que se desarrolla en relación a la participación ciudadana se estructura en función de ciertos principios o características particulares, que es necesario relevar: **Coherencia y desarrollo de una secuencia lógica, Viabilidad y eficiencia, Enfoque Participativo, Enfoque de Género e Identidad Indígena.**

14.2. Objetivos del estudio

Integrar a la comunidad, autoridades y servicios relacionados al desarrollo del proyecto, ya sea a través de consultas, talleres de trabajo u otras actividades que permitirán, por una parte, informarlos de los objetivos y avances del estudio, y por otra, recoger información y sus inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el Estudio cuando sea técnica y económicamente factible.

14.3. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Contextualizar social y territorialmente el área de influencia del proyecto.
- Identificar y caracterizar a los actores relevantes, tanto comunitarios como institucionales.
- Difundir, a los actores relevantes identificados, los objetivos y alcances del estudio.
- Conocer e incorporar, en la medida que sea técnica y económicamente viable, las opiniones, inquietudes, conocimientos y sugerencias de los actores sociales relevantes para el proyecto.

- Analizar las implicancias sociales y legales que pueda tener en este proyecto el convenio OIT N°169 de pueblos originarios.
- Elaborar, a partir de las inquietudes ciudadanas, un plan de trabajo de Participación Ciudadana que se desarrollará durante la etapa siguiente del proyecto.

14.4. Principales Resultados

14.4.1. Introducción

A continuación se presentan los principales resultados del proceso de participación ciudadana.

14.4.2. Descripción del Área del Proyecto

El área de estudio se ubica en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región, aproximadamente a 100 km al suroeste de la ciudad de Calama a 2.438 m.s.n.m., cerca del extremo norte del salar de Atacama, entre los 22°22' S y los 24°21' S de latitud y entre los 67°00' O y los 68°40' O de longitud.

Los accesos a San Pedro de Atacama se encuentran en buen estado, pudiendo acceder desde Calama, Socaire y Argentina por camino asfaltado; y desde el Tatio por camino de tierra.

En la comuna de San Pedro de Atacama cruza el río San Pedro, del cual se utilizan sus aguas para riego. En el sector de Cuchabrachi se unen los afluentes río Salado y río Grande, formándose este último por la confluencia de los ríos Jauna y Putana, que nacen de las vegas del mismo nombre.

La comuna de San Pedro de Atacama se independiza de la comuna de Calama en 1980. Al norte limita con la comuna de Calama y Bolivia, al sur con la comuna de Antofagasta y Argentina, al este con Argentina, y al oeste con la comuna de Sierra Gorda. La comuna abarca una superficie de 23.439 km², que equivalen al 54,5% del territorio provincial y al 18,5% de la superficie regional.

Geográficamente coincide con una de las Áreas de Desarrollo Indígena definidas en Chile en el año 1997 por la presencia de 17 comunidades originarias en dichos territorios.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Censo de Población y Vivienda del año 2002, la población en la comuna de San Pedro de Atacama alcanza 4.969 habitantes, lo que corresponde a un 1% del total de habitantes de la Región de Antofagasta. Además la población proyectada para el año 2012 alcanzaría los 9.778 habitantes, lo que representa un aumento de 96.78%, muy por encima de lo estimado para la situación a escala regional y nacional. El Censo del año 1992 define a la comuna de San Pedro de Atacama como completamente rural, situación que cambió al año 2002, en la que se considera que un 39% del total de los habitantes son población urbana.

La mayor parte de los habitantes de la Comuna de San Pedro de Atacama está representada por personas de ascendencia indígena, principalmente de la etnia atacameña (72,58% del total, según la Encuesta CASEN 2009).

14.4.3. Diagnóstico del Territorio

El diagnóstico del territorio corresponde a la contextualización social y territorial del área de estudio, abordando la caracterización de actores y organizaciones, sus relaciones y las problemáticas que afrontan.

Se identificaron actores y organizaciones relevantes, los que viven en un territorio específico, en este caso el área de estudio, que se ven influenciados y/o tienen influencia sobre el caso de estudio. En este sentido se puede identificar una variada gama de actores, como los actores sociales, productivos y públicos, y además, en el caso del presente estudio, los usuarios de organizaciones de regantes y otras organizaciones relacionadas con el agua. Entre ellos organizaciones sociales y territoriales, y de interés público.

Además se caracteriza la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, cuyo rol ha sido muy importante en este proceso.

La organización que agrupa a los regantes del canal San Pedro, corresponde a la “Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama”, quienes tienen un caudal asignado de 870 L/s de las aguas superficiales y corrientes del río San Pedro, con derechos consuntivos, permanentes y continuos. Si bien no es una Organización de Usuarios de Aguas en sí misma, es la organización que actúa como tal y que por sus estatutos tiene la función de la captación y distribución de las aguas del río San Pedro de Atacama.

Ésta es una Asociación Indígena de conformidad a la Ley 19.253, que tiene como objetivos: tomar las aguas del río San Pedro, repartirlas entre todos los regantes, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueducto y otras que sean necesarias para su aprovechamiento común; promover y fomentar la producción agrícola, pecuaria y agroindustrial de los asociados y velar por la eficiente comercialización de los productos que se obtengan, procurando así el mayor grado de beneficios económicos para sus integrantes; propender al incremento de la superficie regada del Oasis de San Pedro de Atacama; operar economatos, centrales de comercialización, unidades de prestación de servicios agropecuarios, técnicos, de maquinarias y otras similares; preservar y promover el desarrollo de la cultura y valores propios del Pueblo Atacameño, velando por el fortalecimiento del espíritu de comunidad y solidaridad entre sus miembros y con otras comunidades y asociaciones indígenas.

Durante el mes de febrero de 2013 esta asociación ha cambiado de directiva y está constituida por las siguientes personas:

Presidente:	Justo Zuleta
Vicepresidente:	Apolinario Coca
Tesorero:	Elvis Ramos
Secretaria:	Felisa López

“La Asociación se organiza y estructura sobre la base de siete Grupos de Regantes, uno por cada canal que conduce permanentemente aguas dentro del sistema de irrigación del Río San Pedro. Cada Grupo estará integrado por los regantes cuyos terrenos captan aguas de los canales sometidos a su respectiva jurisdicción. Serán de jurisdicción de cada

La Asociación no tiene claridad respecto del número de socios, ya que los registros que posee cada uno de los grupos de riego no se encuentran actualizados, por lo que se han establecido una meta para la actualización de los listados a diciembre de 2013. Actualmente suponen que son aproximadamente 1.200 usuarios.

El sistema de riego, entonces, es administrado por la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores del río San Pedro, cuyos canales principales se encuentran permanentemente irrigados. Dentro de los canales ramales se establecen sistemas de turnos, propio de cada uno de los grupos, dependiendo de los usos y costumbres para el reparto de agua. Estos turnos están distanciados por 20 o más días, sin embargo en algunos grupos de riego se da preferencia a las chacras o siembras de maíz, otorgándoles un medio turno a la mitad del turno general, el tiempo de riego es aproximadamente de 2 horas por turno por hectárea, lo que puede variar entre los grupos.

En el territorio existen otras organizaciones tradicionales, como son las comunidades indígenas y los ayllus. Ambos tipos de organización pueden superponerse en el territorio.

En el área de estudio se pueden encontrar varios ayllus, entre ellos Catarpe, Quitar, Conde Duque, Yaye, Checar, Larache, Solcor, Séquitor, Coyo, Solor y Cúcuter.

Las comunidades indígenas corresponden a una organización de representación, de carácter tradicional y que se encuentra regulada por la Ley Indígena N° 19.253, que en su Artículo 8 define que una Comunidad Indígena es “toda agrupación de personas pertenecientes a una misma etnia indígena” que provengan de un mismo tronco familiar, reconozcan una jefatura tradicional, posean o hayan poseído tierras indígenas en común y provengan de un mismo poblado antiguo.

Las comunidades indígenas presentes en el área de estudio corresponden a:

- Comunidad Atacameña de San Pedro de Atacama
- Comunidad Atacameña de Solor
- Comunidad Atacameña de Quitar
- Comunidad Atacameña de Coyo
- Comunidad Atacameña de Larache
- Comunidad Atacameña de Séquitor y Chécar
- Comunidad Atacameña de Cúcuter
- Comunidad Atacameña de Catarpe
- Comunidad Atacameña de Solcor

- Comunidad Atacameña de Yaye
- Comunidad Atacameña de Río Grande

Las comunidades reconocen territorios de uso tradicional ancestral como sectores de pastoreo, agricultura, estancias, recolección, cerros sagrados, bofedales, fuentes de recursos naturales, sitios en que se practican rituales y ceremonias, entre otros, los que pueden superponerse entre una y otra comunidad indígena, lo que en ocasiones genera algún grado de conflicto y en otras se encuentran territorios de uso compartido, cuando se ha alcanzado acuerdo. Estos territorios son demandados por las comunidades como propios; la CONADI se ha encargado de regularizar la situación de una porción menor de estos territorios. Esta institución ha entregado en dominio o concesión algunos territorios, mediante programas que se han implementado en la comuna de San Pedro de Atacama (además de otros sectores del territorio nacional), sin embargo una gran parte del territorio demandado no ha sido entregado a las comunidades indígenas, siendo un aspecto que genera cierto grado de conflicto con la institucionalidad pública.

Las grandes obras que se proyectan en este estudio podrían afectar terrenos demandados por dos comunidades indígenas, específicamente el embalse para riego estudiado en el río Salado podría afectar principalmente a la Comunidad Indígena de Río Grande y el embalse estudiado para el control de crecidas podría afectar a la Comunidad Indígena de Catarpe.

Otro actor relevante es la Asociación Indígena Consejo de Pueblos Atacameños se articula como una instancia de reunión en que los presidentes de las comunidades indígenas de Alto El Loa y Atacama La Grande, se reúnen en representación de sus comunidades y emprenden acciones conjuntas sobre temáticas variadas. El actual presidente de esta asociación es Rolando Humire Coca.

A modo de resumen, y como principal producto del análisis de actores relevantes, se presenta la matriz de análisis de actores en el Cuadro 15.4.3-1.

**CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES**

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
Grupo 2 de riego	El Grupo 2 de riego incluye los ayllus de Catarpe y de Quito. Respecto del entrevistado cabe destacar que corresponden a un agricultor, empresario y dirigente social, vinculado al partido UDI, actual concejal de la comuna de San Pedro de Atacama	Es favorable al estudio y a la construcción de un embalse	La agricultura está en la pobreza, no permite siquiera la subsistencia. Un embalse es el gran sueño de los agricultores	Postura favorable a la conformación de una junta de vigilancia. La oposición al estudio corresponde a una oposición política de algunos dirigentes relacionados con la izquierda	Media, considerando que ocupa un cargo de elección popular	Es un líder validado dentro de la A. Regantes, que también cuenta con algunos detractores por su forma de dirigir. Por su cargo público se relaciona también a nivel comunal y es escuchado por autoridades regionales
Grupo 1 de riego	El Grupo 1 de riego incluye los ayllus de Séquitor y Coyo	Es favorable al estudio, en especial al mejoramiento del sistema de riego. Manifiesta preferencia por estudiar sistemas de acumuladores menores y la canalización del agua en sectores que aporten salinidad.	Antes había mucha más agua disponible, plantea que la escasez de agua es la que ha hecho disminuir la actividad agrícola. El grupo 4 es el que se encuentra más lejos y por las filtraciones no llega toda el agua	Ha opinado mucha gente que no son agricultores, que tienen miedo que el agua se ponga salobre o que en una crecida el embalse se desborde	Baja	Es un líder validado dentro de la A. Regantes y su grupo de riego
Grupo 5 de riego	El Grupo 5 riega el ayllu de Solor	No está de acuerdo con el embalse, ya que está seguro que aparecerán nuevos usuarios como mineras, a no ser que se distribuya el agua según los estatutos de las comunidades indígenas	Plantea que cada vez llega menos agua, lo que atribuye a la captación de aguas subterráneas, <i>"la agricultura está en retroceso por falta del agua"</i>	Considera que otras mejoras que no consideren un embalse serían muy valiosas	Baja	Es un líder validado dentro de la A. Regantes y su grupo de riego
Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama y Grupo 3	La Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama agrupa a todos los regantes que ocupan aguas del río San Pedro, desde aguas debajo de Cuchabrachi. El Grupo 3 riega los ayllus de Conde Duque, Larache y Solcor. Cabe señalar que don Justo es ex concejal independiente de la comuna y ha ocupado otros cargos de funcionario público	El estudio viene a responder una idea que lleva mucho tiempo entre los regantes, es una necesidad el estudio. Tiene una postura más bien conciliadora, pero es muy cauto en declarar que como asociación no manifestarán una postura hasta después de terminado el estudio	Existe miedo a perder el control del río y que en el caso que exista un embalse los costos no puedan cubrirse, se deben analizar muy bien los costos, específicamente los costos fijos que la organización tendrá a futuro	La planificación del oasis no debiera ser tomando en cuenta solo el riego, ya que hay sectores donde la desertificación está provocando la entrada de las dunas. Se deben evaluar los efectos positivos y negativos del embalse, tales como que no llegue el agua durante el invierno, entre otros.	Medio a Alto, tiene muy buena llegada con el resto de los dirigentes por su forma de hablar calmada y simple que aún las distintas opiniones, además fue concejal de la comuna, lo que le da una mayor influencia al haber tenido un cargo de elección popular. Es conocido por las autoridades regionales y en general hay una buena opinión sobre su gestión como dirigente	Interactúa con los dirigentes y los regantes de la A. Regantes, además es un ex concejal, por lo que se supone una amplia red de contactos, también ha logrado contacto a nivel de la Cámara de Diputados, logrando la visita de la Comisión de Recursos Hídricos
Grupo 1	El Grupo 1 riega los ayllus de Catarpe y de Quito. Don Valentín es ex Presidente A. Regantes	Está de acuerdo con el estudio, ya que para mejorar el riego se necesita el embalse, además de reparar las compuertas y los canales	La solución es un embalse, para acumular el agua de invierno, los canales y compuertas están malas.	Muchos no quieren el embalse por temor a la minería, pero los derechos son comunitarios	Baja influencia en general, pero el nivel en su grupo de riego es medio	Se relaciona con los regantes de su grupo

CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
-------	-------------	----------	---------------------	---------------------	------------	------------------------

**CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES**

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
Grupo 6	El Grupo 6 riega el ayllu de Cúcuter	Encuentra que está bien que se realice el estudio	Es necesario resolver el tema del riego y evaluar las distintas opciones como el embalse, los tranques, mejoramiento de canales	No está de acuerdo con algunas medidas y prácticas como la falta de incorporación de tecnología	Medio a bajo, a pesar de no ser indígena, es dirigente y tiene contacto con otros dirigentes	En su grupo tiene liderazgo, pero no se conoce su relación con otros actores
Grupo 6	Empresario, permacultor, delegado del Grupo 6, ex Secretario de la A. Regantes	Contrario al estudio y a otras iniciativas relacionadas con los recursos hídricos	Tiene una gran desconfianza en el estudio debido a la cercanía de un proyecto minero (BHP Billiton) con el sector del embalse estudiado y a la idea de la conformación de una junta de vigilancia. Está de acuerdo con el mejoramiento del sistema de riego, no con la posibilidad de la construcción de un embalse en la zona tanto por lo	Plantea en público situaciones en forma abrupta que no siempre son informaciones rigurosas u objetivas, generando a veces confusión	Bajo, a pesar que tiene un alto grado de influencia en un grupo minoritario. Ha perdido un poco de credibilidad dentro del grupo de la A. Regantes por su forma abrupta de plantear los temas	Tiene vínculo con regantes en Cúcuter, además de personas cercanas al turismo y medio ambiente

**CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES**

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
			planteado anteriormente, como por la cantidad de sedimentos y la evaporación relacionada con la latitud			
INDAP	Su objetivo es fomentar y apoyar el desarrollo productivo y sustentable de un determinado sector de la agricultura chilena: la pequeña agricultura, conformada por campesinas/os, pequeñas/os productoras/es y sus familias	No se enfrenta el problema de la escasez de agua en forma directa, sin embargo los programas de tecnificación abarcan en forma indirecta el problema	Con el proyecto aumentaría superficie de riego y permitiría abastecer a San Pedro con una producción típica de la zona	A través de distintas experiencias han visto el rechazo al riego tecnificado y la suspicacia ante la conformación de una Junta de Vigilancia y la construcción de un embalse, por el temor a que las mineras les quiten el agua	Medio, al ser una agencia pública en contacto con cierto tipo de agricultores	Se relaciona con los usuarios INDAP, que son agricultores que deben cumplir algunos requisitos para ser incluidos dentro de sus programas de apoyo
Grupo 7	El Grupo 7 agrupa a los regantes que acumulan agua en el estanque y sus canales derivados en el sector del pueblo	Está de acuerdo con la realización del estudio	Nunca se había realizado un estudio con este nivel de profundidad	Lo que más le preocupa es la calidad del agua, que según su parecer, se ha ido empeorando en los últimos años	Bajo	Se relaciona con los demás dirigentes de los grupos de riego
Gobernación Provincial Loa	Esta institución asiste en el ejercicio del gobierno y la administración interior del Estado al Presidente de la República	Monitorear las inversiones privadas y públicas de la provincia	El tema del embalse es una necesidad sentida en San Pedro de Atacama	El Gobierno Provincial coordina los distintos servicios públicos, monitorean la inversión pública y privada, además de presentar proyectos propios	Alta, puesto que prioriza las inversiones en la provincia	Se relaciona con todas las instituciones públicas, incluyendo los municipios

**CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES**

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
DOH	La DOH tiene la misión de proveer de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas	El trabajo de la institución en el valle se centra específicamente en las secuelas de las crecidas y en menor medida en el control de las crecidas, mediante el ordenamiento del cauce, no con grandes obras de infraestructura	El río San Pedro es el eje que sostiene la actividad agrícola en San Pedro de Atacama. Todos los estudios relativos a la optimización de los recursos hídricos son relevantes ya que responden a una necesidad crítica existente. El embalse es una obra necesaria, pero también es importante planificar como se va a manejar, de forma que se sepa optimizar su uso	Existe una problemática que es el no reconocimiento de los representantes que las mismas organizaciones locales han elegido.	Alta, ya que la parte del proyecto de control de crecidas, si es factible, es la DOH quien tomará la continuación de las siguientes etapas del proyecto	Se relaciona indirectamente con los usuarios de los recursos hídricos a través de la Municipalidad
SEREMI Agricultura	El Ministerio de Agricultura es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país, su acción estará encaminada, fundamentalmente, a obtener el aumento de la	La institución enfrenta el problema de la escasez del recurso mediante distintas políticas como fondos destinados a la reparación de canales, a la tecnificación del riego, al mejoramiento de la infraestructura, entre otros	“El estudio del embalse” debe ir de la mano con la conformación de una Junta de Vigilancia Embalse debe ubicarse sobre	El tema de la Junta de Vigilancia se ha politizado producto de las elecciones municipales	Alta, es una autoridad regional, ha logrado posicionar su idea de administración de los recursos hídricos, consiguiendo partidarios y detractores. Favoreció la solución del problema de la	y está en constante contacto con los dirigentes locales y municipales

**CUADRO 15.4.3-1
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ACTORES RELEVANTES**

Actor	Descripción	Posición	Argumento Explícito	Argumento Implícito	Influencia	Relación entre actores
	producción nacional, la conservación, protección y acrecentamiento de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones de nutrición del pueblo		ambas comunidades porque se obligan a un autocontrol. La Junta de Vigilancia facilitará la correcta repartición del agua		deuda que arrastraba la Asoc. de Regantes	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.




14.4.4. Plan de Actividades de Participación ciudadana

Se realizó una serie de actividades correspondientes al programa de participación ciudadana. A saber: una reunión inicial de trabajo, visitas a terreno, una ceremonia de Pago a la Madre-Tierra, una reunión con la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, reuniones previas por grupo de riego, una reunión Comunidad Atacameña Catarpe, una reunión organizada por la SEREMI Agricultura, dos reuniones con la Comunidad Atacameña de Río Grande y tres reuniones ampliadas de participación ciudadana.

14.4.4.1. Componente de Género

Los datos analizados sobre temas de género dejan ver una alta presencia de desigualdades de género, principalmente en el ámbito productivo, no así en el acceso a la tierra, dando cuenta que existe una brecha importante en todos los ámbitos productivos, ya que las mujeres no sólo obtienen menos trabajos que los hombres, sino que estos son más inestables.

En la organización que más se relacionan con el desarrollo agrícola y riego, que es la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, se nota una participación activa de las mujeres, sin embargo los cargos directivos son en su mayoría hombres. Una baja participación de mujeres en la toma de decisiones implica en muchos casos una baja consideración de los temas de igualdad de género en el área, siendo necesaria una intervención estatal que permita disminuir las brechas existentes.



Al analizar los posibles factores que podrían generar problemas o conflictos en términos de género producto del desarrollo del proyecto, el obstaculizador predominante corresponde a la barreras de entrada que deben sortear las mujeres para acceder a mejores trabajos y a cargos dirigenciales en organizaciones del agro, lo que puede limitar la incorporación de temas de género en las proyecciones que se realizan del área, y con ellos aumentar las brechas existentes en el país, que son discordantes a la realidad internacional, donde el rol de la mujer ha ganado espacios de importancia.

14.5. Conclusiones y Recomendaciones

El presente Estudio, especialmente en las actividades de Participación Ciudadana, se ha visto obstaculizado con otra iniciativa que en ocasiones se ha confundido con el presente estudio, que es el impulso a la conformación de una Junta de Vigilancia

La sola posibilidad de conformar una Junta de Vigilancia en el río San Pedro ha generado un ambiente complejo que se ha visualizado en las distintas reuniones relacionadas con el estudio por parte de grupos opositores al proyecto. Esto ha sido enfrentado dialogando con los distintos grupos opositores, intentando complementar el estudio a partir de las observaciones de ellos, lo que ha permitido un descenso en la reactividad del grupo y los regantes han estado llanos a escuchar, pudiendo realizarse reuniones de buena forma y donde -a pesar de la oposición- se han logrado discutir los temas que atañen al Estudio, lo que favorece una futura toma de decisiones informada por parte de los regantes.

Además el Estudio ha sido bien recibido por los regantes, quienes han comprendido que la información que será generada en su elaboración será útil, y que se trata de un estudio integral que no incluye solamente un proyecto de embalse.

Si bien las dudas persisten, el nivel de confianza percibido en la segunda y tercera reuniones de participación ciudadana fue mayor y permitió discutir sobre temáticas más relacionadas con las obras estudiadas. Las principales dudas presentadas se relacionan con el pago que deberán efectuar los regantes en caso de concretarse alguna de las obras estudiadas, sobre la pertinencia de la Consulta Indígena en la etapa actual, el comportamiento de las obras ante los altos niveles de sedimentos, la relación del embalse con la minería y sobre temas ambientales como el caudal ecológico y el efecto sobre el Salar de Atacama y el Oasis de San Pedro de Atacama.

Durante el desarrollo de las distintas actividades se presentaron diferencias internas en la asamblea de la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, que se deben a la relación de directivas anteriores con instituciones del Estado y entre dirigentes, las que se evalúan como una debilidad de la Asociación, ya que el que estas polémicas sigan en boga no les permite enfrentar nuevos desafíos con toda la energía y apoyo de la asamblea, a pesar que el problema ha sido resuelto.

Se ha percibido en los dirigentes el cansancio que ha generado la realización de este estudio, ya que han aflorado posturas extremas, que han cuestionado las intenciones de autoridades, consultores y dirigentes, poniendo en jaque a la actual directiva, quien ha asumido una postura conciliatoria. Han asumido públicamente que esperarán los resultados del estudio para discutir su postura frente a las autoridades como organización frente a un eventual embalse multipropósito.

La empresa consultora, por su parte, ha acompañado a la directiva de la asociación en este proceso, respondiendo a sus consultas con la mayor diligencia posible, además de participar en variadas reuniones dirigidas a los regantes que no estaban programadas desde el inicio y se han incorporado en este programa de participación ciudadana.

Dentro de las sugerencias para los futuros procesos de participación que se realicen en las próximas etapas del proyecto, están la realización de las actividades en días no hábiles, ya que en días hábiles gran parte de los usuarios de los recursos hídricos, dirigentes e interesados, se encuentran efectuando sus labores personales en San Pedro de Atacama o en otras localidades de la región. Esto se ve reflejado en la gran diferencia en el número de asistentes de la primera reunión ampliada respecto de la segunda y la tercera. Si bien no se pueden ligar directamente estos factores, la experiencia del consultor hace considerar que el horario ha sido clave en la menor participación de regantes y dirigentes.

Se recomienda que en las asambleas de participación ciudadana estén presentes las autoridades regionales de las instituciones vinculadas a la temática del agua, debido al alto grado de conflicto que hay en torno al tema del agua, cosa que ha sido constatada por los consultores no solo en este Estudio, al igual que por personal de la CNR; situación que se suma a la sensación de que no han sido escuchados. Esto requerirá de la coordinación interinstitucional y no tan solo de la convocatoria que pueda realizar la empresa que adjudique las próximas etapas.

El alto grado de conflictividad, se ha acrecentado por la falta de consulta en la reglamentación de la Consulta Indígena en el marco del Convenio 169 de la OIT. Aunque esto no tiene una solución de corto plazo, el consultor ha acercado este programa de participación ciudadana a las demandas de las organizaciones indígenas relacionadas con el estudio, programando reuniones que no estaban previstas en la propuesta inicial, como las reuniones establecidas con los Grupos de Riego al inicio del estudio y las reuniones con la Comunidad Indígena de Río Grande. A pesar de esto el tema va a seguir siendo visible a lo largo de este Proyecto.

Se recomienda que los resultados de esta consultoría sean sometidos a Consulta Indígena por parte del Estado a las comunidades indígenas involucradas, antes de iniciar la próxima etapa del proyecto, de manera de cumplir con los estándares del Convenio 169, ya que se dispondrá de la información pertinente para que estas comunidades puedan tomar decisiones respecto del manejo de su territorio y sus recursos naturales. Una propuesta al respecto se presenta en este informe.

Para finalizar, cabe destacar que en el caso de la construcción de un embalse para riego que va en directo beneficio de los pueblos indígenas, no basta con la aplicación de la consulta, si no que obligatoriamente tiene que haber un consentimiento previo, libre, informado y vinculante, información que el presente estudio pretendió generar.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha desarrollado el Estudio de Prefactibilidad del Proyecto "Mejoramiento del Sistema de Riego en Río San Pedro, Comuna de San Pedro de Atacama", localizado en la Región de Antofagasta, obteniéndose las siguientes conclusiones principales:

15.1. Conclusiones

1. La agricultura en el valle de San Pedro de Atacama, se encuentra bastante deprimida por la escasez de agua y por su mala calidad, lo que originó el presente estudio de prefactibilidad de un embalse regulador de las aguas para riego, obra ansiada por varios años por parte de los agricultores. De hecho, la juventud se ha ido dedicando fundamentalmente al turismo y a la minería, quedando solamente gente mayor cultivando la tierra, lo que hace prever que, con el tiempo, la superficie de riego seguirá disminuyendo, e incluso podría desaparecer.
2. A partir de lo que indica el Manual para Grandes Obras de Riego y las recomendaciones del Ministerio de Desarrollo Social, se ha analizado el proyecto de embalse a través del concepto de multipropósito considerando como usos complementarios al riego, el control de crecidas y la generación hidroeléctrica.
3. El sitio anhelado por los agricultores desde antaño fue uno ubicado en la confluencia de los ríos Jauna y Putana, nacimiento del río Grande, pero siempre fue descartado por razones económicas, ya que la obra de conducción de las aguas sería muy cara debido a la distancia a las zonas de riego. Hoy en día, además, queda descartado por razones ambientales.
4. Por los años 60 del siglo pasado, nació como sitio alternativo el del embalse Coyil, muy atractivo por tratarse de un embalse lateral, que regularía solamente las aguas normales del río, dejando pasar las aguas eventuales, de crecidas, que arrastran muchas sales y gran cantidad de sedimentos, al extremo que no es posible regar con ellas. Posteriormente, fue descartado por la DOH y por la CNR por razones geotécnicas. No existen en el río Grande otros afluentes que puedan postularse como embalses laterales en la zona baja, ni frontales en la zona alta.
5. Durante el desarrollo del presente estudio, se evaluaron a nivel de prefactibilidad dos sitios, ubicados en el río Grande aguas abajo de la confluencia con la quebrada Coyil, para situar un embalse frontal con el propósito de dar solución principalmente a la baja seguridad de riego del sector agrícola de San Pedro de Atacama y controlar las crecidas provocadas por el invierno altiplánico. En el estudio se determinó que estos sitios son inadecuados para embalsar aguas para riego con buena calidad, por cuanto atraparían las aguas contaminadas de las crecidas. Dichos sitios quedaron propuestos para ser analizados para el control de crecidas, solamente.
6. Los sondeos y otras prospecciones realizados en el sitio 1 y sitio 2 del río Grande, mostraron que no existe roca en la fundación ni estribos. Sin embargo, los ensayos realizados demuestran que el estrato es altamente cementado e impermeable, y sería suficiente para fundar una presa controladora de crecidas, sin necesidad de tratamiento complejo de la fundación. La presa puede plantearse de enrocados filtrante, o de enrocado con pantalla impermeable, como primera opción. En el primer caso, el talud de aguas abajo debe ser muy tendido, pero garantiza que la presa puede ser auto vertedora.

- 7.** En consideración a que no puede plantearse presa de riego en el río Grande, se inspeccionó el río Salado y se detectó un sitio posible en la zona alta, sector de cruce del río con el camino a San Bartolo, que funcionaría como sitio lateral para las aguas del río Grande, que serían trasvasadas por un túnel. En este sector, el embalse sería frontal para las aguas del río Salado y también tendría un pequeño efecto regulador de crecidas, aunque no se le dé una capacidad extra con esos fines. Este sitio fue finalmente seleccionado y analizado como única alternativa de embalse para riego, pero no fue prospectado por lo que sus diseños quedaron definidos a nivel de perfil avanzado, con algunos valores de costos sobreestimados, debido a la consideración de altos factores de seguridad.
- 8.** Para la presa de riego seleccionada en el río Salado, desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse, y de las visitas realizadas, la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFRD, es decir una presa de enrocado con pantalla de hormigón.
- 9.** El estudio hidrológico realizado permitió determinar los caudales de diseño para el túnel de desviación de la presa de riego en río Salado ($58 \text{ m}^3/\text{s}$) y para el vertedero, caudal de diseño de $520 \text{ m}^3/\text{s}$ y verificación para $1.353 \text{ m}^3/\text{s}$. De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de $3,00 \text{ hm}^3$.
- 10.** La calidad de aguas presenta restricciones en los niveles de conductividad eléctrica, que sobrepasa la norma chilena de calidad de agua para riego, lo que limita la productividad de los cultivos del área de estudio. Esto hace imprescindible considerar obras que eviten una mayor contaminación de las aguas en los tramos más salados del río, especialmente su paso por la cordillera de la sal.
- 11.** Con respecto al estudio agroeconómico, el tipo de agricultores presentes actualmente en el área de estudio, practica una agricultura de riego en la mayoría de los casos sólo con fines de autoconsumo. El tamaño predial es el característico de los valles precordilleranos del norte grande, es decir, terrenos muy pequeños, en su mayoría con una superficie menor a 5 ha, y escasa existencia de predios con más de 10 ha. Existe una cantidad no menor de predios deshabitados.
- 12.** El área de estudio presenta, en general, condiciones de clima apropiadas para el desarrollo de una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como hortalizas y frutales de hoja caduca. Los suelos presentan las características necesarias para su utilización agrícola, pero con la necesidad de efectuar lixiviación de sales para mejorar la capacidad productiva, que aumentaría el requerimiento de agua. La forma del área de riego favorece la implementación de todo tipo de cultivos y sistemas de riego.
- 13.** Las características de los agricultores y del área de estudio, además de la magnitud del cambio productivo propuesto, justifican la necesidad de realizar inversiones adicionales al embalse, en tecnificación del riego especialmente para los predios mayores, lo que permite implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área de estudio. En la evaluación agroeconómica se han

contemplado los costos de inversión y mantenimiento anual de sistemas de aspersión para alfalfa y goteo para hortalizas y frutales.

14. Los cambios propuestos no podrían concretarse sin una significativa asistencia técnica y transferencia tecnológica con enfoque local que permita incorporar prácticas de manejo productivo, eficiencia de riego y uso óptimo de las obras para el área de estudio, facilitando el paso a una agricultura de riego con un mayor nivel tecnológico. Por ello, se ha propuesto un programa de capacitación, asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el proyecto, aún cuando se espera que algunos puedan preferir continuar con sus antiguas costumbres en primera instancia. Este programa tendría una duración variable dependiendo del tipo de predio que participe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo productivo para la agricultura de la zona.
15. Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto, ya que las jornadas totales masculinas experimentarían un crecimiento anual de 6,6%, llegando a un 180,0% el año 15 del horizonte de estudio con respecto a la Situación Actual. A esto se suma el aumento de las jornadas totales femeninas, con un crecimiento anual de un 25,1%. Ante un escenario con proyecto y con mejores ingresos, se estima que la juventud podría decidir retornar o no emigrar del lugar, para trabajar en el sector agrícola.
16. Mediante la aplicación del modelo de simulación de escala mensual que se desarrolló en este estudio, se evaluó tamaños de embalse entre 0,8 y 6,1 hm³ de volumen útil, concluyendo que es posible regar hasta 709 ha con 85% de seguridad de riego.
17. El presente estudio considera el análisis de diversas alternativas a partir de la combinación de obras propuestas, que implicarían la expropiación de terrenos, en la cantidad que se detalla en el Cuadro 16.1-1

**CUADRO 16.1-1
SUPERFICIE DE EXPROPIACIÓN**

Obra	Superficie (ha)	
	Bienes nacionales	Predios
Túnel 1	6,20	0,00
Túnel 2	3,10	1,60
Tubería Río Grande	0,70	2,53
Tubería Río Salado	6,42	0,23
Embalse Río Salado	57,7	0,00
Embalse Río Grande	45,3	0,00
Tubería Aguas Salinas	3,88	0,04
Tranques Nocturnos	0,00	1,70
TOTAL	123,3	6,1

Fuente: Elaboración Propia

18. En relación con la generación hidroeléctrica a pie de embalse, se determinó que esta no es factible por la necesidad de construir una línea de transmisión muy larga, además de la baja potencia disponible. Por otra parte, la instalación de una Mini Central Hidroeléctrica (MCH) aguas abajo del embalse y antes de la zona de canales permite generar hasta 550 kW, con un factor de planta superior a 80%, y presenta la ventaja de una mayor cercanía a la zona de consumo, que sería el pueblo de San Pedro de Atacama.
19. De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, la mayoría de las alternativas analizadas y asociadas a control de crecidas en el Río Grande, no resultó rentable, tanto a precios sociales como privados, es decir el VAN es siempre menor a cero, lo que se explica principalmente por el alto costo de las obras. Sin embargo, la alternativa que considera el uso múltiple de la obra, mejorando la calidad de las aguas de riego, e incluyendo el control de crecidas del propio embalse de riego en Río Salado, una ampliación del río San Pedro y generación hidroeléctrica, además de agua potable rural, sí resulta rentable a precios sociales, sin embargo a precios privados, no resulta rentable. Esta es la alternativa 3 con 6,1 hm³ de volumen útil destinado a riego, la que presenta los siguientes costos y parámetros económicos, Cuadros 16.1-2 y 16.1-3, respectivamente.

**CUADRO 16.1-2
COSTO DE LAS OBRAS**

Alternativa	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
	3A-3-5-3	3A-3-5-3
Obras Civiles	1.465.323.729	1.453.597.934
Obras Riego	1.505.972.241	1.336.321.340
Conducción Río Salado	4.863.362.960	4.808.717.698
Embalse Río Salado	18.897.999.210	17.754.942.806
COSTO DIRECTO	26.732.658.141	25.353.579.779
Gastos Generales (45%)	12.029.696.163	11.409.110.900
SUBTOTAL	38.762.354.304	36.762.690.679
Expropiaciones (ha)	53.080.500	53.080.500
MCH	1.733.345.949	1.733.345.949
Mejoramiento Caja Río	2.009.399.713	1.808.459.742
APR (*)	2.086.767.360	2.086.767.360
COSTO TOTAL	44.644.947.826	42.444.344.230

(*) Se hace notar que el costo del sistema de APR no se incluye en la evaluación económica ya que es 100 % subsidiado por el estado.

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 16.1-3
RESULTADOS EVALUACION ECONOMICA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Alternativa (*)	VAN (MM \$)	TIR (%)
3A-3-5-3	324,6	6,06%

(*) Esta Alternativa de embalse en Río Salado consideró un análisis a nivel de perfil avanzado con factores de seguridad altos en la estimación de costos del embalse.

Fuente: Elaboración Propia

20. Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas, el proyecto no es rentable para ninguna de las alternativas analizadas, a pesar del alto valor de los terrenos agrícolas de la zona.
21. El análisis de sensibilidad de las variables más relevantes muestra que es necesario un cambio significativo en los beneficios agrícolas o en el costo del embalse, para que el proyecto de riego solamente, se vuelva rentable a precios sociales. Sin embargo, los indicadores mejoran en forma importante si se analiza el proyecto de riego y generación hidroeléctrica en forma conjunta, ya que en este caso la rentabilidad se pone en riesgo solo si hay una disminución en los beneficios agrícolas ó en los costos de las obras de mayor envergadura.
22. Con respecto a la evaluación financiera es importante destacar que la capacidad y disposición de pago determinada es muy baja con respecto al total del valor anual a desembolsar por el costo del embalse (\$2.943.090/ha o \$3.699.567/ha, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente), lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, para todos los tipos de predios analizados, sobre el 90%, y en la mayoría de los casos de 100%.
23. Durante las actividades de PAC realizadas, se pudo comprobar que existe un importante porcentaje de los beneficiarios que están de acuerdo con el proyecto, pero también hubo otro grupo no menor de gente que no lo está. Las razones que justifican la posición de quienes se encuentran de acuerdo con el proyecto van de la mano con el deseo de tener una mayor disponibilidad y mejor calidad de agua para la agricultura, quienes se autodefinen como agricultores. El grupo que es contrario al proyecto, a pesar de considerar que el agua podría ser necesario, desconfía de la conformación de una Junta de Vigilancia y duda que el agua quede definitivamente en manos de los agricultores, suponiendo que finalmente será utilizada por actividades mineras, lo que tiene asidero en la presión que ejerce la minería en el mercado del agua, especialmente por el alto precio en que se transa este recurso. Esto se contrarresta con que la posesión actual de los derechos de agua es mayoritariamente de los agricultores de la cuenca, pero la cuenca no ha sido declarada oficialmente como agotada y el proyecto generaría aguas eventuales del río Salado, lo que hace suponer a quienes dudan del proyecto que finalmente será este rubro el controlador del mercado del agua en la cuenca. Es importante continuar con un proceso de difusión de la obra, aclarando todo tipo de dudas, en especial las relativas a que los únicos beneficiarios el día de mañana serán los poseedores de los derechos de las aguas.


24. El análisis preliminar de impactos ambientales potenciales, concluye que el componente más afectado sería la Hidrología, ya que como sucede en cualquier proyecto que incluye obras de gran envergadura y numerosas intervenciones en los cauces, se ve completamente alterado el régimen de caudales y sedimentos. En cuanto a impacto, le siguen los componentes de Flora y Vegetación, junto con Fauna terrestre, ya que se han encontrado especies con problemas de conservación, que aunque son de preocupación menor cobran relevancia en un ecosistema con las características del área de estudio.
25. En relación al valor cultural y patrimonial, la prospección en la zona del Río Grande, donde se ubica el embalse de control de crecidas (inicialmente se encontraban allí las alternativas de embalse de riego), da cuenta de la presencia de sitios arqueológicos, algunos de alta relevancia en el contexto local, como sitios habitacionales y petroglifos. Algunas de las estructuras asociadas pudieron asociarse a redes viales, de tipo pastoril o incluso como parte del Camino del Inca en dirección al tambo de Catarpe. Además en el sector del Río Salado, en donde se identificaron terrenos agrícolas actualmente sin uso, de los cuales se desconoce su antigüedad.
26. Respecto del ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de la alternativa propuesta generaría impactos ambientales relevantes y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras a y c) del Reglamento del SEIA.
27. El sitio en donde se encuentra propuesto el Embalse Río Salado (Riego) y el Túnel 2, corresponden a los acuíferos Cocha y San Bartolo respectivamente. Estos acuíferos y las vegas asociadas se encuentran protegidos por el Código de Aguas y que figuran en el listado actualizado por la Resolución DGA No.529 (2003). Según la normativa vigente, cualquier intervención que se realice sobre estas áreas y que pueda generar alteraciones en su volumen, caudal o superficie, deberán ser sometidos a un Estudio de Impacto Ambiental. Esto obligaría de forma automática al ingreso al SEIA de cualquiera de las alternativas que contemplen tanto el Embalse Río Salado como el Túnel 2.

15.2. recomendaciones

A partir de las conclusiones anteriores las recomendaciones del proyecto son las siguientes:

1. Con los resultados de rentabilidad asociados a la Alternativa 3, mencionada anteriormente, el proyecto podría recomendarse para continuar con los estudios de factibilidad, tomando en consideración que es necesario profundizar el análisis a través de estudios de ingeniería y otros que se mencionan a continuación.

2. Se recomienda realizar prospecciones en el sitio seleccionado de la presa de riego en río Salado, y, alternativamente en sus vecindades, para determinar el tipo de suelo y condiciones estructurales del vaso.
3. Se debe actualizar el estudio de los suelos de la zona, tomando muestras representativas de cada formación de los sectores de riego y análisis de laboratorio de cada una. De esta forma se podrán establecer con mayor detalle las limitaciones productivas de cada serie definida y la adaptabilidad edáfica de los cultivos.
4. En un futuro estudio sería de gran utilidad realizar nuevas campañas de encuestas agropecuarias simples muestrales y estudios de caso, los que actualizarán el diagnóstico realizado y permitirán analizar la evolución de la agricultura, identificando tendencias demográficas, productivas y económicas, lo que ayuda significativamente a la elaboración de escenarios con proyecto más certeros.
5. Se recomienda realizar estudios específicos de terreno para determinar la respuesta de distintos cultivos, en términos de los rendimientos alcanzados con distintas calidades de aguas, a fin de conocer con mayor precisión y realismo los beneficios económicos potenciales de la disminución de la salinidad del agua en la zona.
6. Para ahondar en la viabilidad práctica del proyecto, se debe realizar un estudio de mercado que contemple entrevistas a actores turísticos relevantes, tales como hoteles y restaurantes, con el fin de conocer sus expectativas, fortalezas y debilidades para la generación de canales de comercialización con los agricultores de la zona. Además, es necesario evaluar los beneficios de la asociación de los agricultores para aprovechar economías de escala.
7. Debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la OIT en los siguientes pasos del proyecto. Tanto los poseedores de los derechos de aguas, los dueños de algunos terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Licanantay (atacameño). El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas.
8. Es necesario que las organizaciones de usuarios de aguas en el área de estudio, apoyen en forma participativa la redefinición de las normas de operación del sistema de riego y sus obras, con el objeto de generar una eficiente distribución del agua en ambos escenarios.
9. Si bien se ha realizado un completo diagnóstico de las aguas en situación de escurrimiento normal, la falta de datos sobre el comportamiento en régimen de crecidas, tanto de los volúmenes, como de los datos de calidad; se recomienda la instalación de una red de medición en la cuenca, que permita conocer el comportamiento de los parámetros de importancia en distintos puntos y en su relación con el caudal. Los puntos recomendados son: en el río Grande aguas arriba del pueblo de Río Grande y en San Bartolo; en el río Salado 1 km aguas arriba del camino a San Bartolo y 1 km antes de la confluencia con el río Grande; en el río San



Pedro en la estación río San Pedro en Cuchabrachi, 1 km aguas arriba de la bocatoma del canal San Pedro y a la altura del hotel Alto Atacama. También se recomienda registrar la calidad de las aguas a la entrada y a la salida de los tranques Huachar, Siete y Solor.

- 10.** Se debe realizar en las próximas etapas de este proyecto un estudio hidrogeológico del sector donde se propone implementar el embalse de acumulación, para poder estudiar el efecto sobre la salinidad y concentración de otros parámetros, que pudiera tener el suelo siendo fondo y paredes del embalse propuesto.
 - 11.** Respecto al Estudio de Análisis Ambiental, la recomendación primordial es realizar los estudios en el área de influencia directa del proyecto. Esto considerando que todos los estudios fueron desarrollados considerando las alternativas iniciales en el sector de Río Grande y sus resultados fueron extrapolados en función de las características ambientales de la zona, que deben ser corroborados.
 - 12.** Se recomienda la realización de estudios ambientales específicos: actualización y seguimiento de la línea de base, específicamente respecto al medio biótico, es fundamental identificar los efectos del cambio en el régimen del río, producto de la instalación de las obras propuestas, sobre las especies que actualmente habitan la ribera del cauce, que aunque no presentan estado de conservación que implique protección, son de relevancia para los habitantes de la zona, como sucede con el Chañar.
 - 13.** Se recomienda estudiar el funcionamiento hidrogeológico y ecosistémico del Oasis y el Salar de Atacama, el caudal ecológico basado en criterios biológicos (no sólo hidrológicos), calidad del aire y ruido, con el fin de afinar el conocimiento referente a estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo.
 - 14.** Considerando los resultados relacionados con el patrimonio cultural en el área de estudio, se recomienda la prospección exhaustiva del área en las futuras etapas, además de la realización de prospecciones arqueológicas en el sector del Río Salado, de forma participativa con los habitantes de la zona
 - 15.** Se recomienda realizar estudios de detalle específicamente en la zona de ubicación del embalse Río Salado y el Túnel 2, para evaluar los efectos de estas obras sobre los acuíferos protegidos existentes, cuyos resultados permitan evaluar los efectos de las obras sobre estos sistemas, y en caso de ser necesario proponer una nueva ubicación.
 - 16.** Sobre los derechos de aguas, se recomienda solicitar cambio de ubicación de la captación de los derechos permanentes de las comunidades beneficiadas. Solicitar los derechos consuntivos eventuales y continuos de las aguas del río Salado y además solicitar los derechos no consuntivos de todas las aguas que llegarían al embalse.
- 