

CNR-0404_V1

“MEJORAMIENTO CANALES BELLAVISTA, VILLALÓN Y BUZETA”

CANAL VILLALÓN

INFORME EJECUTIVO

Santiago, diciembre de 2015



“MEJORAMIENTO CANALES BELLAVISTA, VILLALÓN Y BUZETA”

CANAL VILLALÓN

INFORME EJECUTIVO

Santiago, diciembre de 2015



**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO
MINISTERIO DE AGRICULTURA**

**“MEJORAMIENTO CANALES BELLAVISTA, VILLALÓN Y
BUZETA”**

N° 4184-2000-GA-INF-008_0

INFORME EJECUTIVO CANAL VILLALON

REV.		Ejecutor	Revisor	Aprobador	DESCRIPCIÓN
B	Nombre Firma	C. Sandoval/ S. Perez /P. Muñoz / S. Rivano /P. Murua / R. Suarez	P. Zúñiga	D. González	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	27.02.15	27.02.15	27.02.15	
0	Nombre Firma	C. Sandoval/ S. Perez /P. Muñoz / S. Rivano /P. Murua / R. Suarez	P. Zúñiga	D. González	Revisión y Aprobación Cliente
	Fecha	18.12.15	18.12.15	18.12.15	

“MEJORAMIENTO CANALES BELLAVISTA, VILLALÓN Y BUZETA”

BORRADOR INFORME FINAL CANAL VILLALON

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	REVISIÓN DE ANTECEDENTES EXISTENTES.....	6
2.1	ANTECEDENTES.....	6
2.2	ÁREA DE ESTUDIO	8
3	ANTECEDENTES BÁSICOS GENERADOS PARA EL ESTUDIO	9
3.1	CATASTRO Y ESTADO DE INFRAESTRUCTURA	9
3.2	TOPOGRAFÍA.....	9
3.3	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	10
3.3.1	<i>Desprendimientos Superficiales.....</i>	<i>11</i>
3.3.2	<i>Filtraciones en sector de quebradas.....</i>	<i>11</i>
3.4	DETERMINACION DE PÉRDIDAS POR FILTRACION	12
3.5	INSPECCIÓN DE TÚNELES	12
3.6	PROBLEMAS IDENTIFICADOS POR LOS REGANTES.....	12
4	ESTUDIOS BÁSICOS.....	15
4.1	HIDROLOGÍA.....	15
4.1.1	<i>Caudales de Crecida</i>	<i>16</i>
4.2	ANÁLISIS HIDRÁULICO	17
4.2.1	<i>Modelación en Operación Normal.....</i>	<i>19</i>
4.2.2	<i>Modelación de la Capacidad en Crecidas.....</i>	<i>21</i>
4.3	GEOTECNIA.....	22
4.3.1	<i>Campaña de prospecciones.....</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>Calicatas</i>	<i>24</i>
4.3.3	<i>Programa de Ensayos.....</i>	<i>24</i>
4.3.4	<i>Ensayos In situ</i>	<i>25</i>
4.3.5	<i>Parametrización y monografía geotécnica.....</i>	<i>25</i>
4.3.6	<i>Conclusiones.....</i>	<i>28</i>
4.4	GEOLOGÍA.....	28
5	DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA DE RIEGO	31
5.1	DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DE USUARIOS	31
5.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OPERACIÓN DEL CANAL.....	32
5.3	DIAGNOSTICO GENERAL	32
5.3.1	<i>Estado general del canal y sus obras.....</i>	<i>32</i>
5.3.2	<i>Diagnóstico Hidráulico</i>	<i>36</i>
5.3.3	<i>Problemas en la Seguridad Física.....</i>	<i>38</i>
5.3.4	<i>Proposición alternativa de Obras.....</i>	<i>39</i>
5.3.5	<i>Situación Ambiental</i>	<i>40</i>
6	PRESUPUESTO DE OBRAS	41

6.1.1	Análisis de precios Unitarios.....	41
6.1.2	Presupuesto.....	42
7	EVALUACIÓN ECONÓMICA	44
7.1.1	Rentabilidad del Proyecto Riego.....	44
7.1.2	Tamaño Óptimo del proyecto.....	45
7.1.3	Momento óptimo de inversión	46
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3-1:	Participación en actividades de PAC, según género	12
Tabla 4-1:	Estimación de caudales afluentes al canal Villalón	17
Tabla 4-2	Identificación de puntos de desborde en operación normal.....	20
Tabla 4-3	Caudales afluentes al canal Villalón	21
Tabla 4-5:	Resultados ensayos de densidad in situ	25
Tabla 4-7:	Rangos representativos ángulos de fricción distintos materiales. (Ref.5).....	27
Tabla 4-8:	Rangos representativos permeabilidades para distintos materiales. (Ref. 5).....	27
Tabla 4-9:	Parámetros geotécnicos nivel ingeniería de prefactibilidad.....	28
Tabla 5-1:	Usuarios y Acciones de Derechos de Agua. Canal Villalón.....	31
Tabla 5-2:	Turnos de Operación	32
Tabla 5-4	Estado de Revestimientos en canal Villalón	33
Tabla 5-5	Estado Obras de Cruce	33
Tabla 5-6	Estado Obras de entrega, descarga o distribución.....	34
Tabla 5-7	Obras de cruce deficientes.....	35
Tabla 5-8:	Detalle Compuertas en Estado Deficiente, Canal Villalón	35
Tabla 5-9	Revestimientos existentes en el canal Villalón	36
Tabla 5-10	Diagnóstico sistema de aforos en canal Villalón.....	37
Tabla 5-12	Alternativas de Obras – Operación de Riego	39
Tabla 5-13	Alternativas de Obras – Operación de Riego	39
Tabla 5-14:	Relación del Proyecto y elementos ambientales	40
Tabla 6-1:	Costos de mejoramiento del canal Villalón	42

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1	Compuertas Canal Villalón	5
Figura 3-1	Monolito PR ubicado en ruta D595 frente a Embalse Recoleta.....	10
Figura 3-2.	Ubicación canal Villalón (el canal Villalón se indica en trazo blanco).....	11
Figura 3-3:	Participación Ciudadana Villalón	14
Figura 4-1:	Ubicación general área de estudio	15
Figura 4-2:	Secciones transversales en el canal Villalón con obras de arte, HEC RAS	18

Figura 4-3 Identificación de puntos de desborde en operación normal	20
Figura 4-4: Caudal acumulado en el canal bajo el escenario de lluvia de T=2 años. Canal Villalón	22
Figura 4-5: Ubicación de Prospecciones canal Villalón	23
Figura 4-6: Distribución granulométrica canal Villalón	24
Figura 4-7: Sectorización del canal Villalón	26
Figura 4-8.- Sectorización del canal Villalón. En trazo azul canal, en trazos azules túneles, en trazo amarillo aducción.	29
Figura 5-1: Organigrama de Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta	31
Figura 5-2 Ubicación de Aforadores	37
Figura 7-1: Curva del VAN a Precios Sociales	45
Figura 7-2: Curva del VAN a Precios Privados	45

1 INTRODUCCIÓN

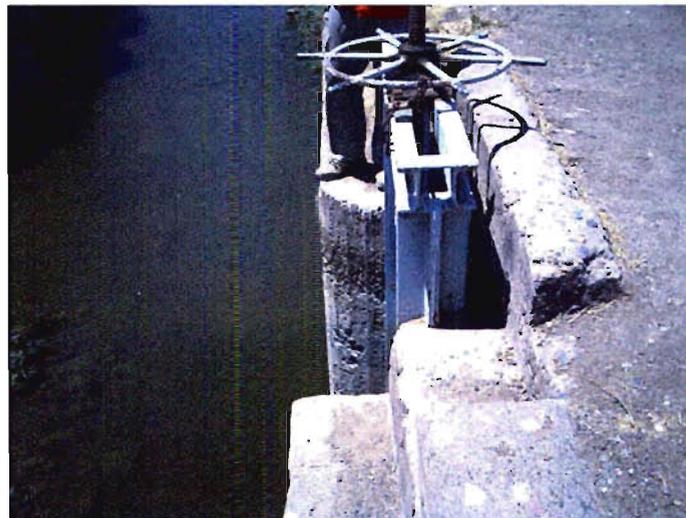
La presente consultoría corresponde a la elaboración del Estudio de Prefactibilidad para el Proyecto “Mejoramiento Canales Bellavista, Villalón y Buzeta”, encargado a ARCADIS Chile por la Comisión Nacional de Riego (en adelante CNR) del Ministerio de Agricultura. Este estudio tiene por objetivo realizar una propuesta de mejoramiento y optimización para los sistemas de riego de los canales. Dicha propuesta se debe realizar a nivel de prefactibilidad, considerando obras con criterio de optimización de las inversiones y que se justifiquen económicamente.

En forma preliminar, es necesario realizar un diagnóstico respecto del estado actual de la infraestructura de cada canal y de su estado de conservación general, proponiendo las obras que permitan reducir pérdidas de agua (ya sea por filtración o mal estado de obras) y generar las mejoras en la seguridad física del canal y sus obras anexas (colapso en cruces de quebradas, mejoras en la estabilidad de túneles, cortes de ladera, etc) así como de la operación del sistema, de modo que las aguas se distribuyan de acuerdo a derecho, asegurando la entrega del recurso a los usuarios en la cantidad y oportunidad que les corresponde.

Además se incorporará el concepto de multiuso de las aguas para riego con potencial de hidrogenación eléctrica, aprovechando las aguas de riego y los desniveles que la topografía de cada canal presenta. Se analizará y evaluará económicamente la posibilidad de generación, con los recursos de cada canal y supeditado a la operación del riego. El conjunto de obras propuestas debe evaluarse económicamente, considerando que las inversiones realizadas en el mejoramiento de cada canal, permitirá generar beneficios agrícolas producto de la mayor seguridad que cada usuario percibirá al tener una sistema de riego que permita la entrega de las aguas en la cantidad y oportunidad de acuerdo a derecho y disponibilidad hidrológica del recurso.

El presente documento corresponde al informe ejecutivo del Canal Villalón.

Figura 1-1 Compuertas Canal Villalón



2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES EXISTENTES

2.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes revisados para este estudio han sido los siguientes:

- Catastro de Usuarios de Aguas de la Cuenca del Río Limarí, IV Región. Santiago DGA. REG Ricardo Edwards G. - Ingenieros LTDA. (1992).
- Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores. Santiago, 2007.
- Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA. Recuperado el 2013 de Diciembre de 4, de Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas: www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- Información Estadística Hidrológica en línea, www.dga.cl. 2013
- Actualización Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos Zona I Norte, Regiones I a V.
- Consultoría OME-39: Mejoramiento del Canal Villalón, IRH, 1994.
- Mejoramiento Integral de Canales de la Cuenca del Río Elquí, IV Región
- Consultoría OME-04 Mejoramiento Sistema Paloma
- Estudio de Prefactibilidad Construcción Embalse Canelillo
- Evaluación del Programa de Obras de Riego Medianas y Menores – PROMM Volumen 1: Texto Principal, CIMA Consultores S.A., 1998.
- Estudio de los Recursos Hídricos en el Secano IV Región para una propuesta de desarrollo agrícola, Resumen Ejecutivo, Geofun Ltda. 2003.
- Consultoría: Catastro de Obras de Riego y elaboración del Plan de Inversiones al año 2018 Zona Norte - Regiones de Arica y Parinacota a Metropolitana, Procivil, Ingeniería Ltda., 2009.
- Mejoramiento del canal Villalón. IRH-MOP. Consultoría OME-39. 1994.
- Optimización del Sistema de Riego Embalse Corrales Río Choapa
- Estudio Integral de Riego Valle del Río Elquí. CNR.
- Estudios de Suelos de los Valles del Elquí, Limari y Choapa
- Diversos estudios elaborados entre los años 1979 y 1993 y que actualmente se encuentran integrados a la Publicación N°125 de CIREN, año 2005.
- Estudio Integral de Riego Proyecto Choapa. CNR
- Diagnóstico de los Embalses el Bato y Corrales, IV Región. CNR
- Estudio de los Recursos Hídricos en el Secano de la IV Región, para una Propuesta de Desarrollo Agrícola. CNR Luis Arrau
- Propuesta de Modificación a Metodologías de Evaluación de Proyectos de Riego
- Estudio elaborado para la Comisión Nacional de Riego bajo la firma GCF Consultores, durante los años 2003 y 2004. Esta información ha servido de base en la elaboración de la metodología de evaluación del presente estudio.
- Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección
- Diagnóstico y Caracterización de los Problemas de Drenaje en Chile

- Estimación Potencial Hidroeléctrico asociado a Obras de Riego existentes o en Proyecto Región de Atacama a Región de la Araucanía, Comisión Nacional de Energía y Comisión Nacional de Riego, 2007.
- Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta (ACER) información en línea <http://www.embalserecoleta.cl/> 2013.
- Geología de la Hoja Ovalle. Provincia de Coquimbo. Boletín N° 23 escala 1:250.000. Chile, 1967.
- Geología del Área Ovalle-Peñablanca, Región de Coquimbo. Carta geológica de Chile, Serie Geología Básica N° xx escala 1:100.000. Chile, en edición.
- Programa Desarrollo Territorial de Áreas Productivas Bajo Riego para Pequeños Agricultores de las Comunas de Illapel y Salamanca, Provincia de Choapa. SEREMI IV Region
- VI y VII Censo Nacional Agropecuario. INE (1997 y 2007)
- Centro Información Recursos Naturales (CIREN)
- Ortofotos Digitales de suelos escala 1:10.000: Esta información servirá de base para el estudio agrológico a efectuar en el área de estudio.
- Manual de Obras Menores de Riego, año 1996. Comisión Nacional de Riego – CIREN – CORFO.
- Directorio de Infraestructura y Agroindustria Frutícola IV Región. Ciren
- Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile (CIREN-CNR).
- Atlas Agroclimático y Atlas Bioclimático de Chile de la Universidad de Chile
- FAO N° 24 y N° 56
- Diagnóstico Perfil Agroeconómico Mediante Estándares de Producción. MIDEPLAN
- Compendio de Información Ambiental, Socioeconómica y Silvoagropecuaria de la IV Región de Coquimbo del año 2001 Universidad Chile
- Vicente Giaconi, Cultivo de Hortalizas, 1998.
- Manual de Producción de Hortalizas. Prodecop-Fida-INIA-INDAP. 1998.
- Revista Agroeconómico, Fundación Chile (Diversos Números).
- Manual Fitosanitario Online, año 2013, AFIPA A.G.

El contenido de cada uno de estos queda especificado en Anexo 1: Revisión de Antecedentes.

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

El canal matriz Villalón se encuentra en la comuna de Ovalle, Provincia de Limarí, IV Región de Coquimbo. Este sistema de riego se encuentra asociado a los embalses Recoleta-Paloma-Cogotí con una longitud total de 49 km.

Según la información publicada en el sitio web www.embalserecoleta.cl (2013), el canal Villalón es uno de los canales más importantes del sistema, abarcando más del 60 % de la superficie total de riego, su capacidad máxima es del orden de los 6.000 l/s a los 6 km. del inicio del canal Villalón, donde se encuentra la entrega del canal Derivado Recoleta que trae agua desde el Embalse La Paloma, de este modo el canal Villalón puede abastecerse indistintamente desde el Embalse Recoleta o desde el Embalse Paloma.

En Planos Generales se muestra el trazado del canal Villalón y el área de estudio.

3 ANTECEDENTES BÁSICOS GENERADOS PARA EL ESTUDIO

3.1 CATASTRO Y ESTADO DE INFRAESTRUCTURA

Se ha recorrido el canal de tal forma de identificar y ubicar georeferencialmente toda la infraestructura, a continuación se presenta un resumen:

Resumen Catastro Canal Villalón

Obra	Núm. de Obras
Aforador	4
Alcantarilla	6
Bocatoma	2
Canoa	24
Compuerta	54
Marco partidor	18
Sifon	2
Túnel	26
Vertedero	1
Total	137

En donde el 18 % se encuentra en estado deficiente, 19% en estado regular y 63 % en buen estado. La definición de estado de cada una de la infraestructura se especifica en Fichas de catastro elaboradas para cada obra donde se incorpora su ubicación y monografía correspondiente que se detallan en Anexo 2: Catastro. El criterio para definir estado de obras se detalla a continuación:

En las Figuras del Anexo 2 se presenta la ubicación de todas las obras anteriormente descritas, como también los revestimientos existentes.

3.2 TOPOGRAFÍA

Los trabajos topográficos realizados y que se detallan en Anexo 3 de este Informe comprenden la realización de los siguientes trabajos:

- Red de vinculación GPS primaria y Red GPS secundaria realizada para el control de los futuros trabajos de topografía.
- Nivelación geométrica corriente para el total de vértices monumentados en terreno, para ello se consideraron cuarenta y seis (46) Hitos o vértices PRs. Todos los trabajos realizados se encuentran normados por las Especificaciones Técnicas Topográficas ETT-DOH Año 2011.
- Levantamiento Aerofotogramétrico realizado para el Proyecto "Mejoramiento Canales Bellavista, Villalón y Buzeta, Región de Coquimbo". Para ello, se realizaron nuevos vuelos Color a escala 1:8.000 y 1:20.000 para obtener una restitución escala 1:2.000 y 1:5.000 respectivamente.

- Planos de Planta y Perfiles transversales a lo largo del Canal Buzeta, de una franja de 20 m de ancho del canal y las Obras de Arte que se encuentren en el Canal. Para ello se entregan planos en escala 1:500.
- Además se realizó un balizado a lo largo de todo el Canal, de manera de que cualquier visitante pueda ubicar las obras existentes y proyectadas.
- Todos los productos topográficos se entregan en formato dwg, pdf en el caso de los planos y .xls para las planillas de cálculo de nivelaciones, coordenadas y procesamiento de datos. El Sistema de Referencia utilizado es Datum SIRGAS, UTM 19 ETT_DOH 2011.

Figura 3-1 Monolito PR ubicado en ruta D595 frente a Embalse Recoleta



3.3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

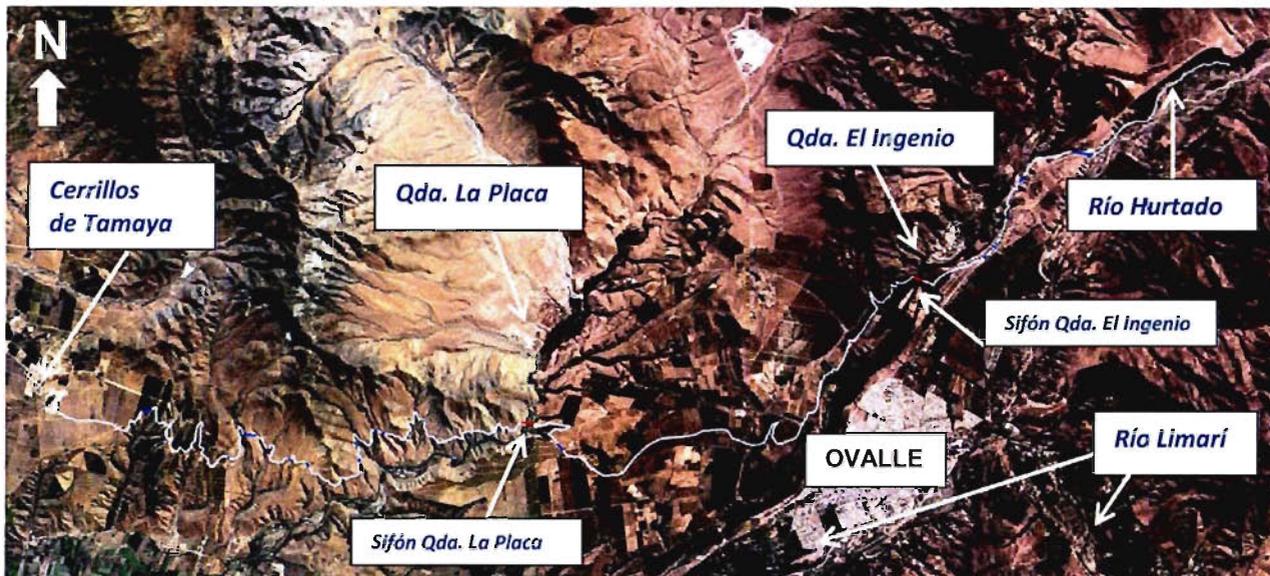
A lo largo de su trazado, el canal Villalón se encuentra constituido por tramos canalizados con revestimiento de hormigón total y/o parcial, tramos sin revestimiento y tramos en túneles.

Los tramos en túneles fueron analizados en Anexo 5, informe de Inspección “Geológico - Geotécnica de túneles del canal Villalón”. Respecto de los tramos canalizados a lo largo del trazado se tienen los siguientes aspectos geotécnicos de consideración:

- Desprendimientos superficiales.
- Filtraciones en sectores de quebradas.

En la siguiente figura se presenta una ubicación del trazado del canal, con distintos lugares de referencia donde se localizan los aspectos geotécnicos a considerar.

Figura 3-2. Ubicación canal Villalón (el canal Villalón se indica en trazo blanco)



3.3.1 Desprendimientos Superficiales

A lo largo del trazado se observan puntos de desprendimientos superficiales de bolones y clastos de dimensiones significativas, los que pudiesen generar problemas de operación en el canal. Estos desprendimientos se observan mayoritariamente en los sectores aledaños al río Hurtado (cerca del embalse Recoleta), ruta D-595 y ruta 43 (camino Ovalle – La Serena), aguas arriba del Sifón Quebrada El Ingenio.

En el tramo entre Sifón Qda. El Ingenio y Sifón Qda. La Placa se observan sectores de desprendimientos superficiales de menor consideración.

En el tramo entre el Sifón Qda. La Placa y Cerrillos de Tamaya, los sectores de desprendimientos se encuentran asociados principalmente a las inmediaciones de portales de entrada y salidas de túneles.

3.3.2 Filtraciones en sector de quebradas

A la fecha de elaboración de este informe el canal se encontraba sin agua, por lo que las infiltraciones solo se podrán asociar a sectores donde el canal se encuentra sin revestimiento y en conjunto con la presencia de vegetación masiva. Con lo anterior, las zonas donde se observó este patrón corresponde al tramo entre el Sifón Qda. La Placa y Cerrillos de Tamaya. Particularmente, corresponden a sectores donde las aguas son canalizadas sin revestimiento y cercanas a quebradas.

3.4 DETERMINACION DE PÉRDIDAS POR FILTRACION

En consideración a los criterios estipulados en las bases del estudio, se establecieron secciones de aforos cada 2 km, para medir el caudal en todos los tramos. Con estos aspectos se definieron 23 tramos para la ejecución de series de aforos en el canal Villalón.

Sin embargo, la campaña de aforos del Canal Villalón no se pudo ejecutar debido a que la zona se encuentra en un periodo de sequía. Según lo indicado por la Administración del Embalse Recoleta, los periodos de riego se limitan a una entrega de agua cada 18 días, por lo que el canal se encuentra sin el recurso hídrico, imposibilitando los trabajos de aforo.

3.5 INSPECCIÓN DE TÚNELES

El canal Villalón posee veinte y seis tramos en túnel, con longitudes entre 20 y 510 metros. La mayoría de ellos están excavados en suelos y solo algunos se excavaron total o parcialmente en roca.

Los primeros 12 túneles carecen de denominación local mientras que los últimos 14 han sido denominados con nombres alusivos a las quebradas principales que cruzan o a las localidades más cercanas. De acuerdo a lo anteriormente señalado se utilizará un número referencial para identificar cada túnel indicando entre paréntesis el nombre correspondiente o la ausencia de éste (n/n).

Los 26 túneles se encuentran completamente revestidos con hormigón (piso incluido), por lo que la inspección geológica se refiere solo a las características geológicas observadas en superficie y en los sectores de portales de entrada y salida de cada túnel.

3.6 PROBLEMAS IDENTIFICADOS POR LOS REGANTES

Para cerrar el levantamiento básico de los problemas en el canal, se realizaron reuniones de participación ciudadana en el transcurso del año 2014.

Las actividades de PAC desarrolladas para el canal Villalón en el marco del estudio contaron con una participación promedio de poco más de 32 personas. En tanto la primera actividad de PAC fue la que contó con mayores niveles de participación (55 personas), en la segunda actividad asistió poco menos de la mitad de esa cantidad (26 personas). Por su parte, la tercera actividad contó con la más baja participación: sólo 16 personas asistieron a la reunión.

Tabla 3-1: Participación en actividades de PAC, según género

Actividad	Hombres	%	Mujeres	%	Total	%
Primera PAC	52	94,5%	3	5,5%	55	100%
Segunda PAC	25	96,2%	1	3,8%	26	100%
Tercera PAC	15	93,8%	1	6,3%	16	100%
Promedio	30,7	94,8%	1,7	5,2%	32,3	100%

Fuente: Elaboración propia

Del punto de vista del género, la participación femenina fue, en todas las actividades de PAC, casi nula: 3 mujeres asistieron a la primera actividad, en tanto sólo una asistió a la segunda y tercera actividad.

Respecto de la baja participación que, en general, se observó en las tres actividades, especialmente después de realizada la primera de ellas, cabe señalar que podría estar relacionada con la naturaleza del estudio y las expectativas y necesidades de los regantes. En efecto, los canalistas del canal Villalón expresan diversas dificultades para el desarrollo de la actividad agrícola, las que estarían fuertemente determinadas por la crisis hídrica que experimenta la cuenca desde hace unos 7 a 10 años. Una muestra de dicha situación la constituye el hecho que el embalse Recoleta se haya secado en el mes de marzo de 2014, situación que no se observaba desde fines de la década de los '60.

Al respecto, se señala que todos los regantes del canal Villalón dependen del canal, por cuanto no habría aguas subterráneas que permitan suplir la carencia de agua en él. Las aguas subterráneas estarían disponibles a una profundidad tal que hace inviable para los pequeños agricultores aprovecharlas dada la magnitud de la inversión que se requeriría para ello. Adicionalmente, los regantes no desarrollarían esfuerzos conjuntos para disponer de estanques de acumulación comunitarios. Conjuntamente con ello, se señala la dificultad que representa el hecho que los precios de los productos agrícolas no reflejen los costos de producción, dada la escasez hídrica. Si bien habría habido esfuerzos por constituir cooperativas para la mejor comercialización de los productos, ellos no habrían tenido éxito.

Como consecuencias de dicha situación se habría producido una disminución de la actividad agrícola desarrollada por pequeños agricultores, y habría aumentado la actividad de los grandes agricultores, los que tendrían capacidad de invertir para resolver la escasez de agua. Ante la inseguridad de riego, muchos pequeños agricultores habrían optado por vender el agua a grandes empresas agrícolas, o arrendar y vender sus parcelas para que dichas empresas las exploten.

Así, las preocupaciones de los regantes, especialmente de los pequeños agricultores, estarían en la actualidad volcadas a lograr soluciones de corto plazo para la obtención de acceso al recurso agua. Dado aquello, es probable que el interés por participar de reuniones para informarse del presente estudio sea baja, especialmente tras la primera actividad de PAC, una vez que se informaron de sus objetivos y alcances, verificando que las urgentes necesidades de agua que tienen no se relacionan con los tiempos y plazos de ejecución de las soluciones que se propone en el marco del estudio.

En tal sentido, si bien parte importante de las observaciones realizadas por los participantes de la actividades de PAC fueron acogidas e incorporadas en el estudio, varias de ellas dicen relación con aspectos que exceden los alcances del presente estudio, como son el invertir en el mejoramiento del sifón El Ingenio, entre otras. Abordar los problemas que expresan los regantes exigiría apoyos específicos para el desarrollo de inversiones que, destinadas a mejorar la seguridad del riego, sean posibles de implementar en el corto plazo.

Figura 3-3: Participación Ciudadana Villalón



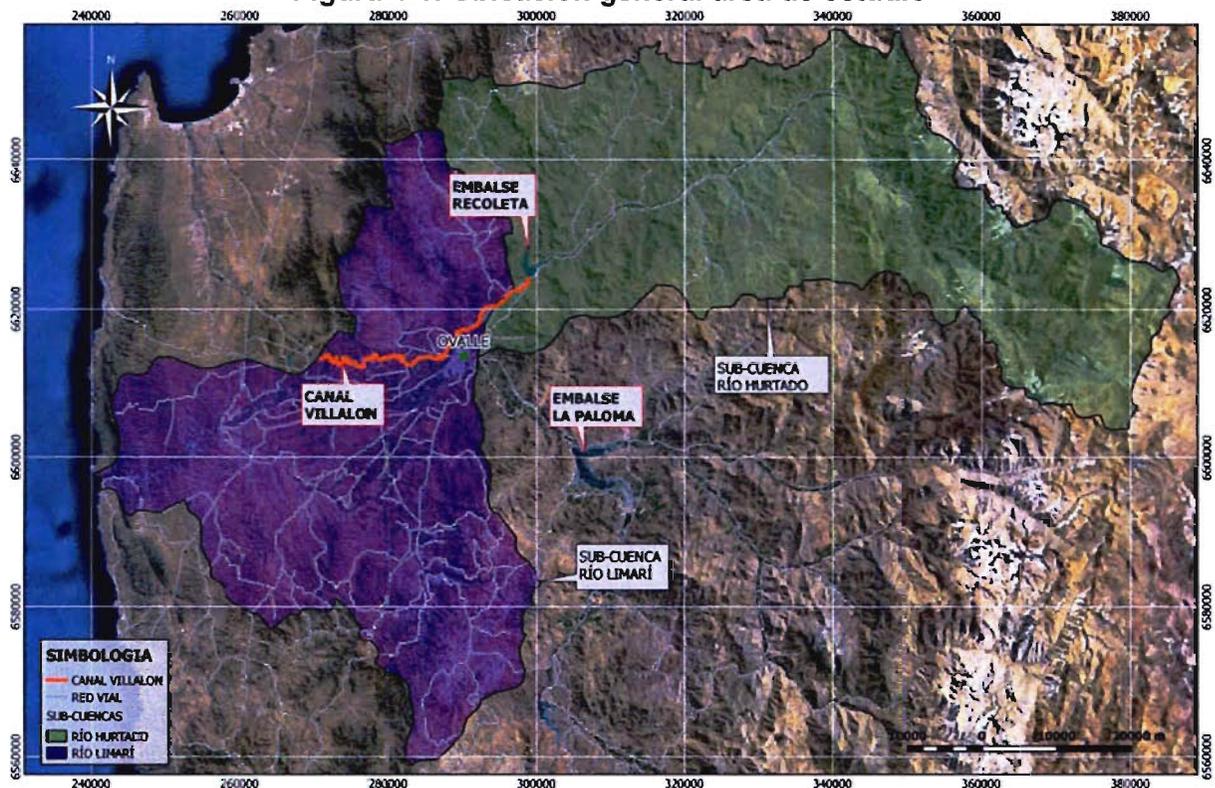
4 ESTUDIOS BÁSICOS

4.1 HIDROLOGÍA

El canal Villalón se ubica en la cuenca del río Limarí, en la IV región. Esta hoya hidrográfica se encuentra entre los valles de los ríos Elqui por el norte y Choapa por el sur, abarcando una superficie aproximada de 11.800 km².

El canal Villalón nace a 2 km aguas abajo del embalse Recoleta, el cual abarca tres subcuencas: río Hurtado, río Limarí y Quebrada Camarones. Su tramo de mayor extensión se encuentra en la subcuenca del río Limarí, la cual se forma por la confluencia de los ríos Hurtado y río Grande Bajo. La porción aportante del río Hurtado se encuentra regulado por el embalse Recoleta, donde aguas abajo se une el río Grande Bajo, siendo este también regulado aguas arriba por el embalse La Paloma. La superficie de la subcuenca del río Limarí es de aproximadamente 2.350 km². En la Figura 4-1 se presenta la ubicación general del área de estudio.

Figura 4-1: Ubicación general área de estudio



El abastecimiento de agua del canal Villalón se encuentra netamente regulado por el embalse Recoleta, el cual comenzó a operar a fines del año 1934 y presenta una capacidad de 100 millones de m³. Esta obra se abastece de las escorrentías del río Hurtado y el río Higuierillas.

Con la finalidad de determinar los recursos hídricos en el cauce del río Limarí se procedió a conformar la curva de variación estacional para distintas probabilidades de excedencia, en base a los caudales medios mensuales de la estación más cercana a la bocatoma del canal.

Se identificaron las estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas (DGA) existentes en el río Limarí. De tal información se deduce que la estación más cercana a la zona de interés es Canal Tuqui en salida embalse Recoleta, de donde se extraen las aguas para conducir las 2 km aguas abajo hacia el canal Villalón.

También se efectuó un análisis de precipitaciones el cual tiene como objetivo determinar el régimen pluviométrico en la zona de estudio del canal Villalón. Con los registros de precipitación máxima diaria es posible procesar la estadística mediante distribuciones de probabilidad y de esta manera generar un mapa de isoyetas y las curvas de intensidad duración frecuencia (IDF).

Se recopilaron los registros de precipitaciones disponibles en la DGA, chequeando la calidad y longitud de la información. Adicionalmente, se analizaron los estudios hidrológicos disponibles en la zona.

Con la finalidad de representar zonas con distribuciones de lluvia similares se revisó el estudio de Precipitaciones Máximas anuales en 1, 2 y 3 días desarrollado por la DGA. De esta manera se constató que el canal Villalón se encuentra contenido por el oriente en la zona homogénea IV.3, mientras que un segundo tramo aguas abajo recae dentro de la zona homogénea IV.2. Las isoyetas de precipitación máxima anual en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años dan cuenta que el canal se ubicaría entre los 65-75 mm de precipitación.

Adicional a lo anterior, puede destacarse que la única estación inmersa en la zona homogénea IV.2 es La Torre, mientras que las restantes se ubican en la zona IV.3. Sin embargo, analizando la estadística disponible de hace 40 años, se concluye que todas las estaciones presentan un comportamiento similar.

4.1.1 Caudales de Crecida

Por medio de una inspección visual de fotos satelitales se determinó la existencia de 14 quebradas que dirigen sus aportes directamente al canal. De ello, se delimitaron cada una de sus cuencas para estimar los parámetros morfológicos, los que son utilizados como datos de entrada para la estimación sus tiempos de concentración.

En la Tabla 4-1 se indica la estimación de caudales de las quebradas afluentes al canal Villalón utilizando el método racional (los detalles morfológicos de la cuenca se adjuntan en el Anexo 9.3). Los cálculos se realizaron para distintos periodos de retorno.

Para la estimación de los tiempos de concentración de cada quebrada se utilizó la expresión de Giandotti, cuyos valores finales fueron redondeados a 15 o 30 minutos para obtener directamente la intensidad de lluvia de las curvas IDF

Tabla 4-1: Estimación de caudales afluentes al canal Villalón

Código	Km	A (km ²)	Tc (min)	C TOTAL	T=2 años		T=5 años		T=10 años		T=50 años		T=100 años	
					I (mm/hr)	Q (m ³ /s)								
MC Q01	27500	0.05	15	0.58	6.7	0.05	16.9	0.14	23.6	0.19	37.3	0.30	42.5	0.34
MC Q02	27805	0.30	30	0.56	5.5	0.26	13.7	0.65	19.1	0.91	30.2	1.43	34.4	1.63
MC Q03	28683	0.15	15	0.59	6.7	0.16	16.9	0.41	23.6	0.58	37.3	0.91	42.5	1.04
MC Q04	28945	0.31	30	0.55	5.5	0.26	13.7	0.64	19.1	0.89	30.2	1.42	34.4	1.61
MC Q05	29103	0.04	15	0.59	6.7	0.04	16.9	0.10	23.6	0.14	37.3	0.22	42.5	0.25
MC Q06	29493	0.03	15	0.61	6.7	0.04	16.9	0.09	23.6	0.12	37.3	0.20	42.5	0.22
MC Q07-08	30313	0.17	30	0.56	5.5	0.15	13.7	0.37	19.1	0.52	30.2	0.82	34.4	0.94
MC Q09	31013	0.06	15	0.56	6.7	0.06	16.9	0.15	23.6	0.21	37.3	0.34	42.5	0.38
MC Q10	34787	0.15	30	0.55	5.5	0.12	13.7	0.31	19.1	0.43	30.2	0.68	34.4	0.78
MC Q11	35559	0.06	15	0.59	6.7	0.06	16.9	0.16	23.6	0.23	37.3	0.36	42.5	0.41
MC Q12	36410	0.06	15	0.58	6.7	0.07	16.9	0.17	23.6	0.24	37.3	0.38	42.5	0.43
MC Q13	36926	0.30	30	0.56	5.5	0.26	13.7	0.64	19.1	0.90	30.2	1.42	34.4	1.61
MC Q14	39089	0.18	15	0.57	6.7	0.19	16.9	0.48	23.6	0.67	37.3	1.05	42.5	1.20

4.2 ANALISIS HIDRAÚLICO

El eje hidráulico del canal Villalón se realizó con el software HEC-RAS versión 4.1.0, que cuenta con un procedimiento computacional unidimensional, basado de la ecuación de la energía. Las pérdidas friccionales son evaluadas a través de la ecuación de Manning y las contracciones/expansiones se determinan según un coeficiente y la altura de velocidad.

Se utilizará el software ante citado, el cual utiliza datos de entrada de archivos que contienen toda la información relativa a perfiles transversales del canal, rugosidades para cada subsección (ver detalle en Anexo 10), pendiente longitudinal y caudales de cálculo. Como resultados entrega los niveles de escurrimiento, área de flujo, velocidad media, altura media, altura crítica, altura normal y el número de Froude, en cada sección y para cada caudal analizado.

La metodología incluye la revisión de las singularidades que pudieran tener efectos sobre las condiciones de escurrimiento del canal. Para ello se incorporaron las obras y elementos singulares, tanto a partir del levantamiento topográfico como del levantamiento monográfico de las obras de arte existentes (puentes, túneles, alcantarillas y sifones), a fin de evaluar adecuadamente las restricciones hidráulicas y puntos críticos que se presenten en cada

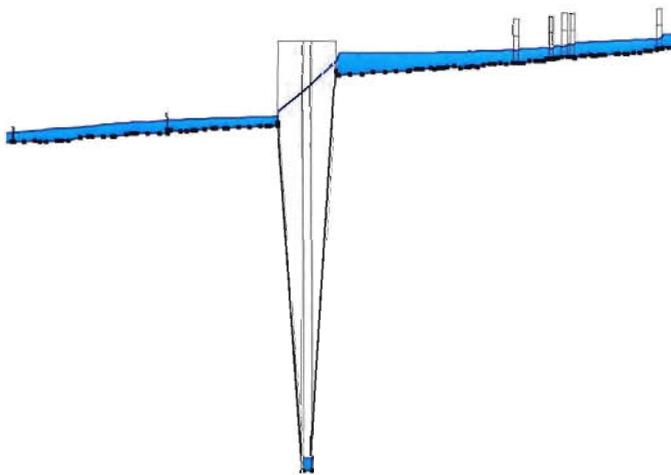
sección del canal. Dado que en el canal Villalón se presenta la condición de régimen mixto, se consideró como condición de borde de aguas arriba y de aguas abajo altura normal.

La modelación en el canal Villalón consideró 3 escenarios de evaluación:

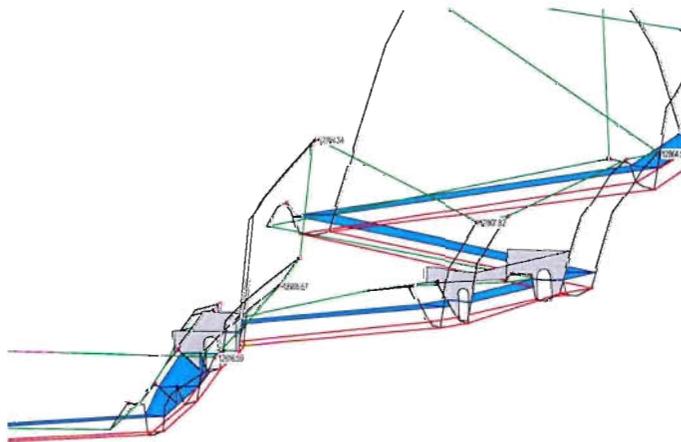
- Transporte hidráulico con caudales en operación normal
- Transporte hidráulico en capacidad máxima del canal
- Transporte hidráulico en crecidas para periodo de retorno de 2 años

El eje hidráulico en situación actual, sin obras de mejoramiento consideró las condiciones actuales del canal, incorporando las obras de arte existentes las que eventualmente podrían interferir con el escurrimiento de las aguas, como se ejemplifica en la figura siguiente.

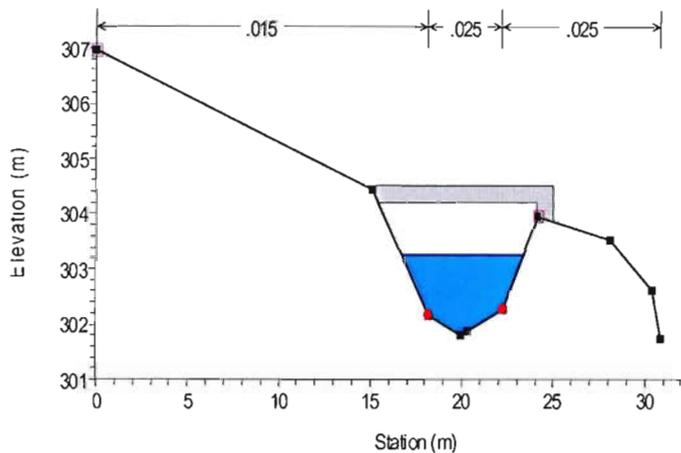
Figura 4-2: Secciones transversales en el canal Villalón con obras de arte, HEC RAS
Sifón (Km=10,640)



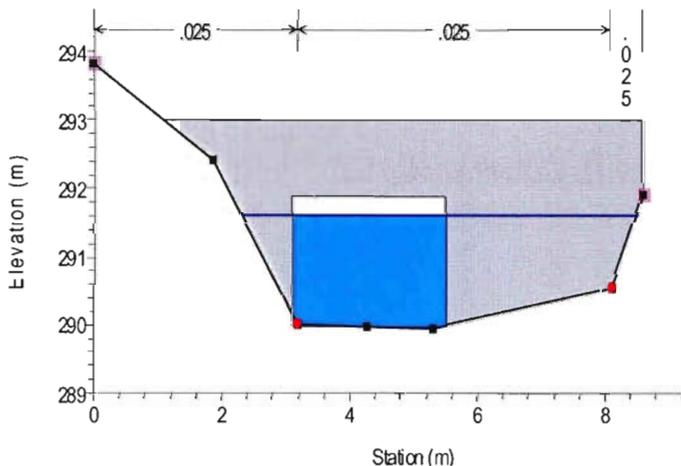
Túnel (Km=34,340)



Puente (Km=12,151)



Alcantarilla (Km=22,787)



Para las condiciones de borde en el modelo se consideró que el flujo alcanza la altura de escurrimiento normal aguas abajo para una pendiente del 0,2%.

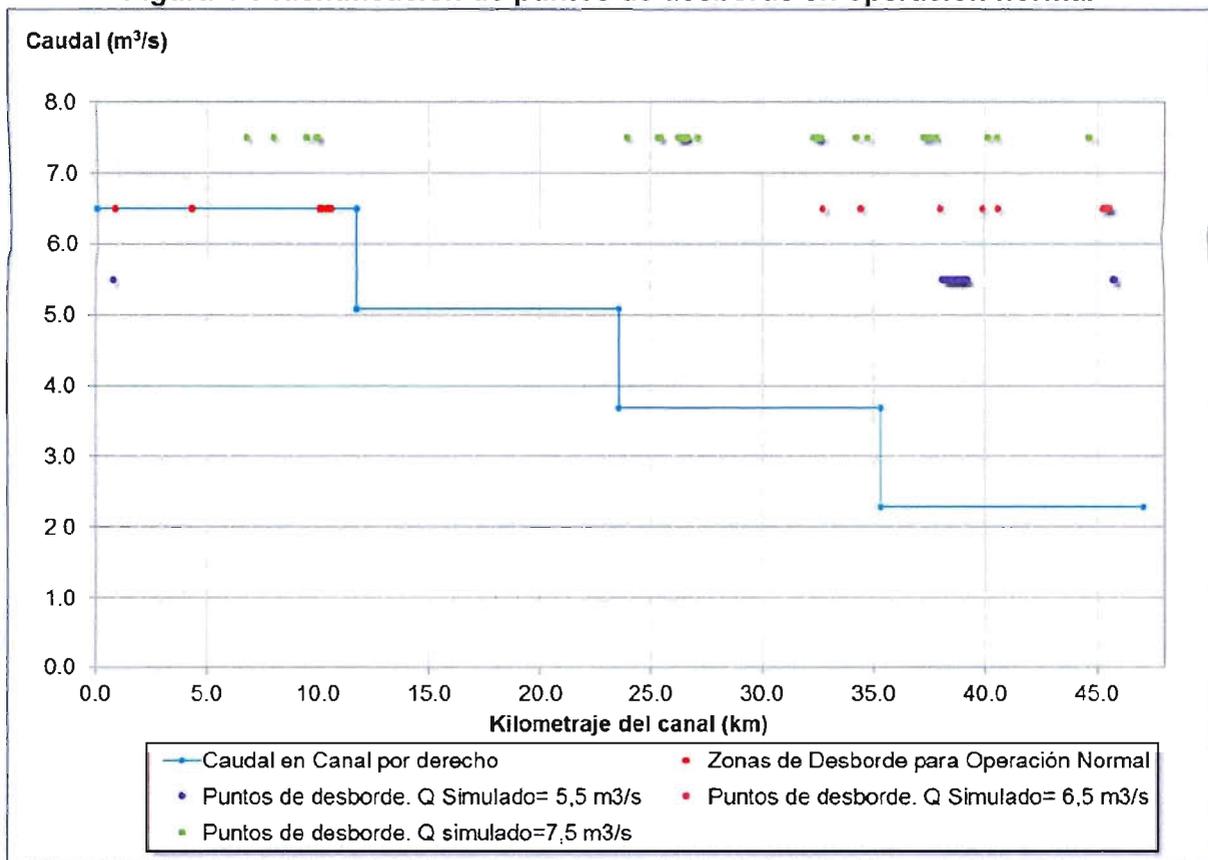
4.2.1 Modelación en Operación Normal

Para definir la operación normal del canal Villalón, se consideró que las entregas de caudal se realizan en 4 puntos del canal, dividiéndose de manera equitativa el caudal portado en cada una de dichas entregas. Con la suposición anterior se tienen 4 tramos de canal con caudal constante, los que varían entre a 6,5 m³/s en bocatoma (caudal por derecho de aprovechamiento de aguas) y 2,8 m³/s al final de su trazado (35% del caudal en bocatoma).

La caracterización anterior se realiza debido a que se desconoce el diagrama unifilar del canal por lo que no es posible especificar en detalle el caudal y ubicación (kilometraje) de cada entrega.

En la Figura 4-3 se presenta el caudal de operación normal del canal y los puntos de desborde identificados en el numeral anterior, obteniéndose que existen 3 zonas donde el caudal de operación supera la capacidad del canal, generándose desbordes (puntos de color rojo localizados sobre la línea de color celeste en la Figura 4-3).

Figura 4-3 Identificación de puntos de desborde en operación normal



El kilometraje de las zonas de desborde se especifican en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Identificación de puntos de desborde en operación normal

Zona de desborde	Perfil HECRAS	Km
1	46265,86	0,81
2	42768,99	4,31
3	36976,95	10,10
	36668,78	10,41
	36565,46	10,51
	36461,92	10,62

4.2.2 Modelación de la Capacidad en Crecidas

Para analizar el comportamiento de canal Villalón durante eventos de crecida se ha considerado que las compuertas de bocatoma se cierran ante dichos eventos, por lo que los caudales a ser transportados por el canal corresponden únicamente a aquellos que ingresan por las quebradas laterales.

Se ha definido un periodo de retorno de 2 años para la identificación de puntos de desborde en periodo de crecidas, pues corresponde a un evento recurrente, cuyo caudal debiese ser porteado sin problemas por el canal, limitándose las mantenciones a crecidas mayores. No se considera para diseño una crecida de mayor periodo de retorno, puesto que el canal Villalón tiene como objeto realizar la distribución de los caudales de riego, no el control de crecidas.

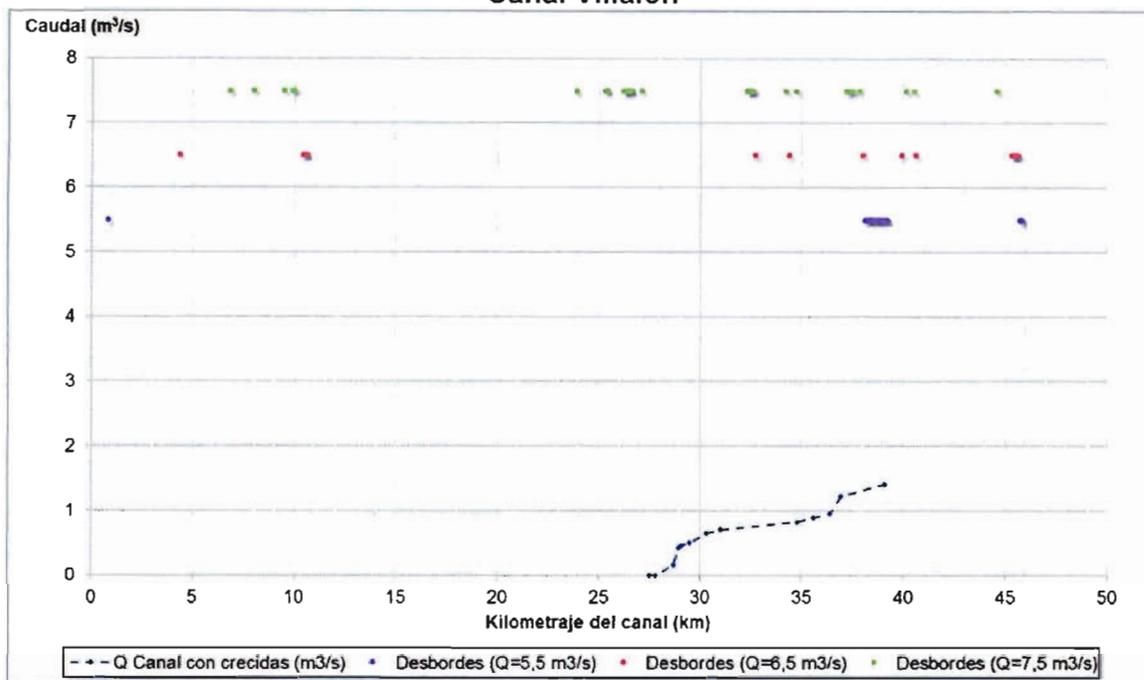
Las quebradas laterales aportantes al canal Villalón fueron identificadas en el estudio hidrológico de código 4184-2000-IH-MEC-001 y corresponden a las listadas en la Tabla siguiente:

Tabla 4-3 Caudales afluentes al canal Villalón

Código	Km	A (km ²)	T=2 años
			Q (m ³ /s)
MC Q01	27,50	0,05	0,05
MC Q02	27,81	0,30	0,26
MC Q03	28,68	0,15	0,16
MC Q04	28,95	0,31	0,26
MC Q05	29,10	0,04	0,04
MC Q06	29,49	0,03	0,04
MC Q07-08	30,31	0,17	0,15
MC Q09	31,01	0,06	0,06
MC Q10	34,79	0,15	0,12
MC Q11	35,56	0,06	0,06
MC Q12	36,41	0,06	0,07
MC Q13	36,93	0,30	0,26
MC Q14	39,09	0,18	0,19

En la siguiente figura se contrastan los caudales de crecida acumulados en el canal Villalón (aportes de las quebradas laterales), con la capacidad hidráulica del mismo.

Figura 4-4: Caudal acumulado en el canal bajo el escenario de lluvia de T=2 años. Canal Villalón



En la Figura anterior se observa que el caudal acumulado en el canal proveniente de las quebradas laterales alcanza un máximo del orden de 1,5 m³/s, por lo que es posible inferir que no existirían problemas de desbordes asociados a los caudales de crecidas que ingresan al canal.

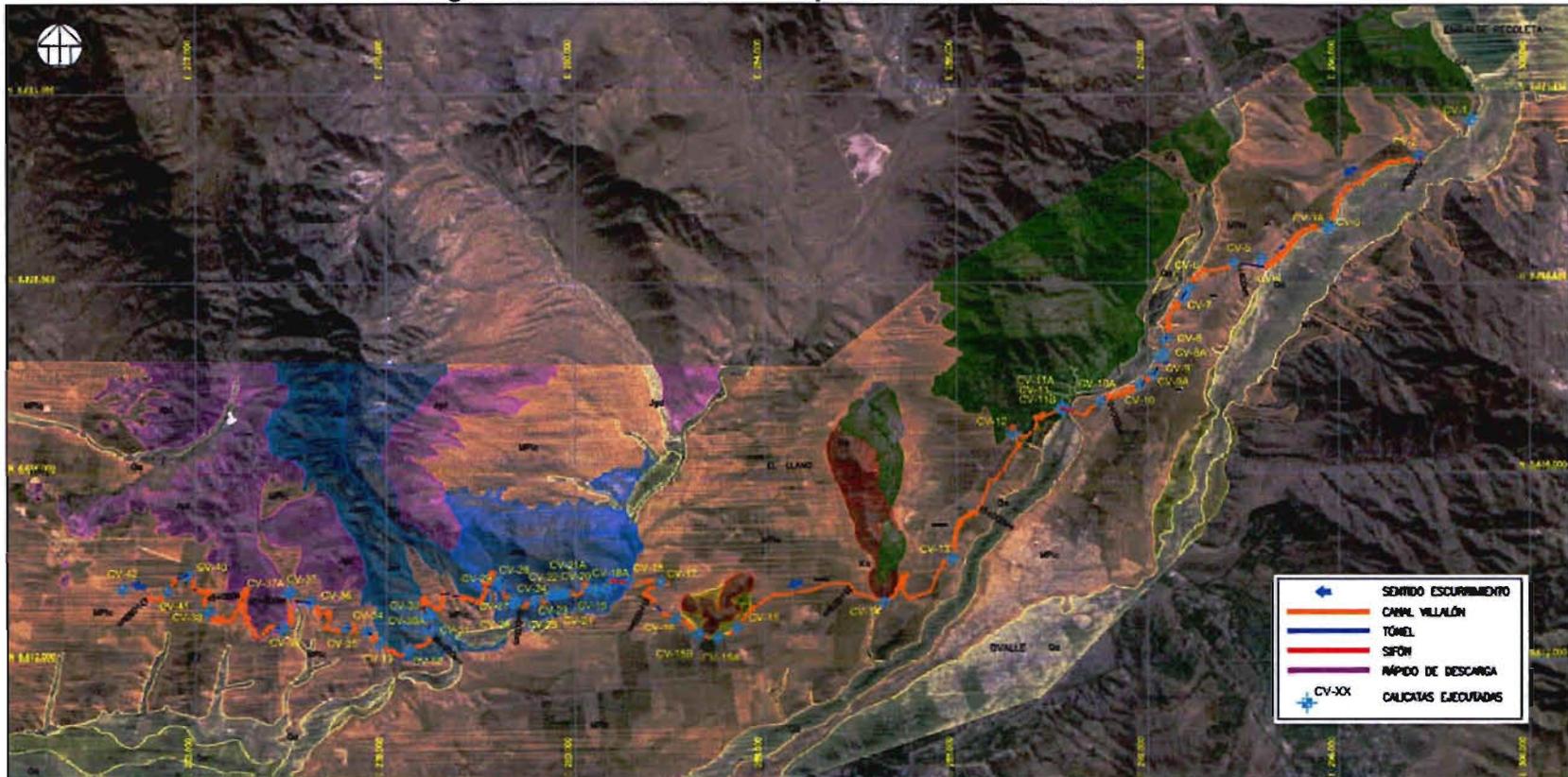
Se observa que el canal tiene una capacidad máxima de escurrimiento de 6,5 m³/s en casi la totalidad de su recorrido y que el caudal acumulado en el canal a partir de las quebradas laterales alcanza un caudal máximo de menos de 2 m³/s. La modelación se efectuó sin considerar el caudal base del canal, dado que para eventos de crecidas se cierra la bocatoma hacia el canal para evitar rebases y mantener la estabilidad del canal.

4.3 GEOTECNIA

4.3.1 Campaña de prospecciones

La campaña de prospecciones efectuadas como parte de los estudios de apoyo a la Ingeniería de Prefactibilidad en el canal Villalón, se desarrolló entre los días 02 y 31 de Julio de 2014 y consideró la excavación por medios mecánicos manuales de 54 calicatas ubicadas a lo largo del trazado del canal, de hasta 3,0 m de profundidad. Estas prospecciones, cuya ubicación se presenta en la Figura 4-5, fueron supervisadas en forma permanente por un Técnico Laboratorista de ARCADIS, apoyado en forma parcial por Ingenieros Geotécnicos y prevencionista de riesgo, quienes efectuaron visitas técnicas a terreno durante su ejecución.

Figura 4-5: Ubicación de Prospecciones canal Villalón



4.3.2 Calicatas

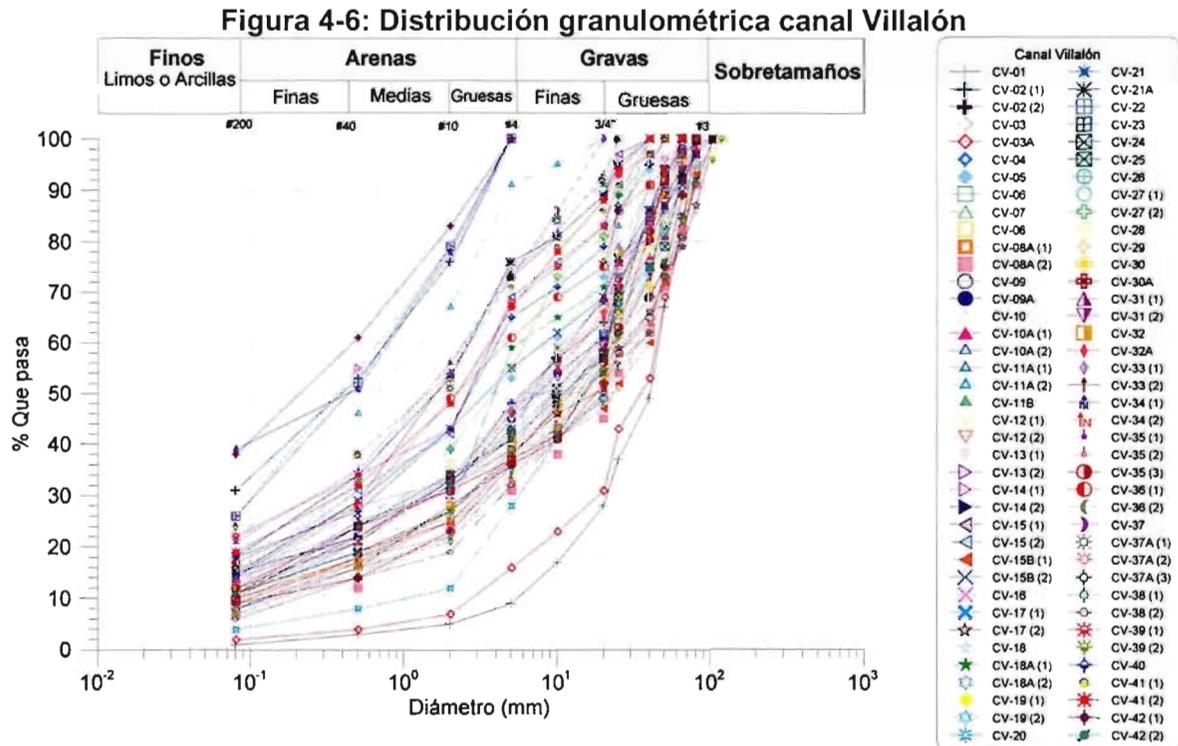
Como parte de la campaña se proyectó inicialmente la excavación de 42 calicatas con un máximo de 3,0 m de profundidad mediante excavación manual. Cabe destacar que la profundidad nominal de excavación propuesta inicialmente no se logró en la totalidad de las calicatas debido a la presencia de roca, desmoronamiento de paredes y/o nivel freático. Debido a las condiciones de terreno y a fin de lograr el metraje establecido inicialmente se efectuaron 54 calicatas.

En cada calicata se efectuó una exhaustiva descripción estratigráfica y se procedió a la recolección de muestras representativas de los distintos estratos detectados para la ejecución de ensayos de laboratorio. La descripción estratigráfica y registro fotográfico de las calicatas se presenta en el Anexo 5.

4.3.3 Programa de Ensayos

Con el propósito de caracterizar los materiales sobre los cuales se apoya el canal, se programaron ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de suelos extraídas de las calicatas, los cuales fueron ejecutados por el laboratorio Andino.

El resumen de los resultados de los ensayos granulométricos efectuados sobre las muestras extraídas de las calicatas se presenta en la Figura siguiente:



medio de 49%; las arenas se presenta con un contenido entre 8 y 74% con un valor medio de 37%; los finos se presentan con un contenido entre 1 y 39% con valor medio de 13%.

Los certificados de estos ensayos se adjuntan en el Anexo 5 del presente informe.

4.3.4 Ensayos In situ

Se realizaron ensayos de densidad in situ mediante el método de cono de arena en 17 calicatas, cuyos resultados se reportan en la Tabla 4-4. El detalle de estos ensayos se presenta en Anexo 5.

Tabla 4-4: Resultados ensayos de densidad in situ

Calicata	Profundidad de ensayo (m)	Densidad Húmeda, γ_w (t/m ³)
CV-02	2,30	2,00
CV-04	3,00	1,98
CV-07	3,00	1,85
CV-08	3,00	1,94
CV-09	3,00	1,79
CV-09-A	3,00	1,92
CV-10-A	3,00	1,99
CV-12	1,70	1,85
CV-13	2,50	1,88
CV-15	3,00	1,87
CV-15-B	3,00	1,81
CV-16	3,00	2,14
CV-17	3,00	2,08
CV-27	3,00	2,23
CV-31	3,00	1,91
CV-35	3,00	1,88
CV-39	3,00	1,89

4.3.5 Parametrización y monografía geotécnica

Tal como fue mencionado anteriormente, en base a las prospecciones realizadas, ensayos de laboratorio y observaciones visuales de cortes naturales se ha reconocido que las unidades geológicas presentes en el trazado del canal corresponden principalmente a rocas intrusivas y/o materiales granulares del tipo arenas limosas, arenas gravosas y gravas arenosas con presencia de finos de baja a nula plasticidad. La sectorización geológica geotécnica del canal se presenta a continuación:

Figura 4-7: Sectorización del canal Villalón



Debido a que las unidades de suelos presentes en el trazado del canal corresponden a materiales granulares de compacidad media y algún grado de cementación (de acuerdo a la campaña de prospecciones), se han estimado valores de cohesión de hasta $3,0 \text{ t/m}^2$ (30 kPa).

Se estima que los materiales granulares correspondientes a gravas arenosas y arenas gravosas con un grado de compacidad medio pueden poseer valores de ángulo de fricción entre 32° y 38° , mientras que los suelos con mayor contenido de finos en la matriz pueden poseer ángulos de hasta 32° .

De acuerdo a estas características, y para el nivel de Ingeniería de Prefactibilidad, se utilizan de modo conservador los rangos de valores para ángulo de fricción interna de los materiales señalados en la Tabla siguiente:

Tabla 4-5: Rangos representativos ángulos de fricción distintos materiales. (Ref.5)

Type	Description/state	Friction angle (degrees)
Cohesionless	Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal)	30–40
Compacted	Hard sedimentary (conglomerate, sandstone)	35–45
Broken rock	Metamorphic	35–45
	Igneous	40–50
Cohesionless Gravels	Very loose/loose	30–34
	Medium dense	34–39
	Dense	39–44
	Very dense	44–49
Cohesionless Sands	Very loose/loose	27–32
	Medium dense	32–37
	Dense	37–42
	Very dense	42–47
Cohesionless Sands	Loose	
	Uniformly graded	27–30
	Well graded	30–32
	Dense	
	Uniformly graded	37–40
	Well graded	40–42

Complementariamente, es posible establecer valores de permeabilidad para las unidades presentes a lo largo del trazado del canal. En la Tabla 4-6 se presentan valores típicos reportados en la literatura técnica de acuerdo al sistema USCS.

Tabla 4-6: Rangos representativos permeabilidades para distintos materiales. (Ref. 5)

Soil type	Description	USC symbol	Permeability, m/s
Gravels	Well graded	GW	10^{-3} to 10^{-1}
	Poorly graded	GP	10^{-2} to 10
	Silty	GM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	GC	10^{-8} to 10^{-6}
Sands	Well graded	SW	10^{-5} to 10^{-3}
	Poorly graded	SP	10^{-4} to 10^{-2}
	Silty	SM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	SC	10^{-8} to 10^{-6}
Inorganic silts	Low plasticity	ML	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	MH	10^{-9} to 10^{-7}
Inorganic clays	Low plasticity	CL	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	CH	10^{-10} to 10^{-8}
Organic	with silts/clays of low plasticity	OL	10^{-8} to 10^{-6}
	with silts/clays of high plasticity	OH	10^{-7} to 10^{-5}
Peat	Highly organic soils	Pt	10^{-6} to 10^{-4}

En base a lo anterior, los parámetros geotécnicos a nivel de ingeniería de prefactibilidad son los indicados en la Tabla 4-7:

Tabla 4-7: Parámetros geotécnicos nivel ingeniería de prefactibilidad.

Sistema	Tipo de Suelo	Densidad Natural [t/m ³]	Cohesión [t/m ²]	Angulo de fricción [°]	Permeabilidad [m/s]
Depósitos de Formación Confluencia (MPlc)	Gravas arenosas con clastos sub – redondeados y sub – angulares con compacidad media.	1,90 – 2,30	1,0 – 3,0	34 - 39	10 ⁻⁶ – 10 ⁻²
Depósitos coluviales (Qc)	Arena fina a media con presencia de finos y bloques	1,80 – 2,00	0,5 – 2,0	32 – 37	10 ⁻⁷ – 10 ⁻³
Depósitos de cono de deyección (Qc).	Arenas y gravas arenosas gruesas, escasa presencia de bloques	1,80 – 2,00	1,0 – 2,0	32 – 37	10 ⁻⁶ – 10 ⁻²
Depósitos Fluviales (Qf)	Gravas gruesas en matriz de arenas. Tienen intercalaciones de gravas finas y arenas.	1,80 – 2,00	0,5 – 1,5	34 – 39	10 ⁻⁵ – 10 ⁻²
Depósitos Aluviales (Qa)	Gravas con matriz de arena y limos	1,80 – 2,10	0,5 – 1,5	34 - 39	10 ⁻⁵ – 10 ⁻²

Resulta necesario destacar que estos valores son estimativos y deberán confirmarse mediante ensayos de laboratorio para una etapa posterior de ingeniería.

4.3.6 Conclusiones

- Los depósitos de suelos superficiales que componen los sistemas corresponden principalmente a rocas y/o materiales granulares del tipo gravas arenosas, arenas limosas, arenas gravosas con presencia de finos de baja plasticidad de compacidad baja a media y en algunos sectores alta. La potencia de los estratos que componen cada sistema es variable a lo largo del trazado del canal y se adecúa a la topografía presente en el entorno. Los depósitos de suelo se consideran excavables con maquinaria convencional.
- En base a las prospecciones mediante calicatas y a la información disponible, se ha podido estimar los parámetros geotécnicos preliminares del suelo de fundación de los distintos sistemas. Esta estimación deberá ser verificada con ensayos de laboratorio para futuras etapas de ingeniería del proyecto.
- Se realizó un diagnóstico geotécnico del canal Villalón describiendo los principales hallazgos geotécnicos asociados principalmente a desprendimientos superficiales locales y filtraciones en sectores de quebradas.

4.4 GEOLOGÍA

El canal Villalón puede ser dividido en 3 grandes sectores o tramos los que poseen características morfológicas, geológicas y topográficas distintivas que justifican esta subdivisión. Los límites de estos sectores corresponden a los sifones construidos para cruzar las quebradas El Ingenio y La Placa.

De este modo los sectores o segmentos del canal son los siguientes:

- Sector 1. Se extiende desde el final del rápido que alimenta al canal (km 0) en el valle del río Hurtado y el sifón que cruza la quebrada El Ingenio (Km 10,98-11,23).
- Sector 2. Va desde el sifón de la quebrada El Ingenio (Km 10,98-11,23) hasta el sifón de la quebrada La Placa (Km 29,07-29,38).
- Sector 3. Se inicia en el sifón de la quebrada La Placa hasta el final del canal en terrenos de la hacienda El Sauce.

Figura 4-8.- Sectorización del canal Villalón. En trazo azul canal, en trazos azules túneles, en trazo amarillo aducción.



El canal Villalón, con una longitud aproximada de 51 Km de los cuales aproximadamente 1,70 km corresponde a 26 tramos en túnel, se excavó principalmente en depósitos de suelos aluviales, aluviales y coluviales y aluviales pertenecientes principalmente a la Formación Confluencia del Mioceno Plioceno y, en menor proporción, en rocas volcánicas e intrusivas del Jurásico a Cretácico.

Solo en el primer Sector del trazado del canal, éste quedó emplazado en sedimentos fluviales recientes del Cuaternario, pertenecientes al cauce actual del valle del río Limarí. En el cruce de algunas quebradas del Sector 3 el canal cruza, en tramos de corta longitud, depósitos aluviales proximales recientes.

El canal Villalón en su conjunto aparece estable y no se reconocieron situaciones o elementos que afecten la estabilidad de él. Sin embargo debe considerarse mejoras en los portales del túnel Villalón 4.

El canal Villalón es un canal construido en más de un 70% en suelos de gravas semilitificadas y el resto en rocas volcánicas con diverso grado de meteorización. Además todos los túneles están totalmente revestidos y en buen estado general, excepto los portales

del túnel Villalón 4 que presentan algunos defectos constructivos que pueden ser mejorados, los cuales, sin embargo, no afectan a la estabilidad del canal.

Durante las visitas de terreno se pudo constatar que la mayor parte del canal no posee revestimiento de sus costados y piso, de modo que durante precipitaciones intensas ocurren fenómenos de erosión locales y superficiales sin afectar la continuidad de funcionamiento de éste. Tampoco se observaron episodios de socavamiento importantes de los flancos del canal.

En consecuencia, los mejoramientos a la estabilidad del canal se refieren solamente a las reparaciones de fisuras en el revestimiento del portal de salida en el túnel Villalón 4 mediante inyección de lechadas y al mejoramiento de las antiguas obras de contención existentes sobre el portal de entrada del mismo túnel. Para mayor detalle ver Informe Anexo 8: Estudio Geológico y Plano Geológico confeccionado.

5 DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DE USUARIOS

Está representado por la Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta, RUT N° 70.208.700-7, presidida por don Luis Heriberto Pizarro González con domicilio en Avenida La Feria N° 801, Ovalle.

La Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta (ACER), es una persona jurídica desde 1953, responsable de distribuir las aguas del embalse Recoleta, el más antiguo de la región. Ubicado a 18 km de la ciudad de Ovalle, este embalse, que recoge las aguas del río Hurtado, tiene una capacidad útil de 100 millones de metros cúbicos, destinados exclusivamente al riego.

Su organización corresponde al siguiente organigrama:

Figura 5-1: Organigrama de Asociación de Canalistas del Embalse Recoleta



Conforme a la información proporcionada por el abogado de la organización del canal es don Luis Urqueta, teléfono 92194699, mail laautovalle@hotmail.com, el total de litros por segundo con derecho, corresponden 3.180 L/S.

Tabla 5-1: Usuarios y Acciones de Derechos de Agua. Canal Villalón

Canal	Número de Usuarios	Acciones
Villalón	284	11.494,19

Fuente: Asociación de Canalistas Embalse Recoleta

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OPERACIÓN DEL CANAL

Como ya se ha indicado el Canal Villalón recibe sus aguas del embalse Recoleta, por lo que la operación del canal está directamente ligada al volumen disponible en el embalse, en función de dicho parámetro se ha definido el sistema de turnos indicado en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Turnos de Operación

TURNOS	DÍAS DE AGUA					
SEPT - OCTUBRE 2014	28-sep-14	29-sep-14	30-sep-14	01-oct-14	02-oct-14	03-oct-14
OCTUBRE 2014	26-oct-14	27-oct-14	28-oct-14	29-oct-14	30-oct-14	31-oct-14
NOVIEMBRE 2014	23-nov-14	24-nov-14	25-nov-14	26-nov-14	27-nov-14	28-nov-14
DICIEMBRE 2014	14-dic-14	15-dic-14	16-dic-14	17-dic-14	18-dic-14	19-dic-14
ENERO 2015	11-ene-15	12-ene-15	13-ene-15	14-ene-15	15-ene-15	16-ene-15
FEBRERO 2015	08-feb-15	09-feb-15	10-feb-15	11-feb-15	12-feb-15	13-feb-15
MARZO 2015	15-mar-15	16-mar-15	17-mar-15	18-mar-15	19-mar-15	20-mar-15

Ante eventos de crecida el canal cierra sus compuertas en bocatoma, por lo que sólo requiere portear los aportes de quebradas laterales.

5.3 DIAGNOSTICO GENERAL

En términos generales, los trabajos realizados identificaron que el canal presenta problemas tanto en la Operación Normal de Riego como en la Seguridad Física del Canal. A continuación se detallan cada uno de estos problemas.

5.3.1 Estado general del canal y sus obras

En función de la información recopilada en terreno, se ha clasificado el estado de las obras en Bueno, Regular y Deficiente.

Considerando la clasificación antes indicada se ha determinado el estado de la sección del canal y sus revestimientos, encontrándose aproximadamente un 50% del canal en estado deficiente, un 24% en estado regular y un 26% en buen estado. El detalle según tipo de revestimiento y estado se presenta en la Tabla 5-3.

Cabe señalar que actualmente, no existen sellos de fondo en los tramos no revestidos del canal por lo que muchas de sus secciones no pueden ser re-perfiladas tras un proceso de limpieza.

Tabla 5-3 Estado de Revestimientos en canal Villalón

Material	Revestimiento	Estado		
		Bueno	Regular	Deficiente
Hormigón	Sección Completa	2,71	0,96	0,80
	Ribera Izquierda			3,26
	Ribera Derecha			1,93
	Canal Abovedado			0,31
Mampostería	Sección Completa	0,02		
	Ribera Izquierda	1,35	2,00	0,16
	Ribera Derecha			0,06
Enrocado	Sección Completa			0,09
Geomembrana	Sección Completa			2,40
Shotcrete	Ribera Izquierda		0,56	0,04
Mixto (Hormigón, Mampostería y shotcrete)	Fondo y ribera Izquierda	3,99	0,32	1,80
Sin Revestimiento	-	1,22	7,17	12,82
Otros	Obras Especiales (sifones, túneles y alcantarillas)	3,12		

Adicionalmente, se ha identificado el estado de las obras de cruce y de entrega o distribución, los que se detallan en la Tabla 5-4 y Tabla 5-5.

Tabla 5-4 Estado Obras de Cruce

Correlativo	Tipo Obra	Ubicación	Estado	Material	
1	CN	Canoa	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
2	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
1	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
3	CN	Canoa	Transversal al canal	Regular	Hormigón
4	CN	Canoa	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
2	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
3	PT	Puente	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
4	PT	Puente	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
5	PT	Puente	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
6	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
5	CN	Canoa	Transversal al canal	Regular	Hormigón
6	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
1	SF	Sifón	Longitudinal	Bueno	Hormigón y Acero
7	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Madera
8	PT	Puente	Transversal al canal	Regular	Hormigón
9	PT	Puente	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
10	PT	Puente	Transversal al canal	Regular	Hormigón
11	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
12	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
7	CN	Canoa	Transversal al canal	Regular	Acero
13	PT	Puente	Transversal al canal	Regular	Hormigón
14	PT	Puente	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
2	SF	Sifón	Longitudinal	Bueno	Acero
8	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
9	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
10	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
11	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
12	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
13	CN	Canoa	-	Bueno	Hormigón
14	CN	Canoa	Transversal al canal	Regular	Hormigón
15	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
16	CN	Canoa	Transversal al canal	Bueno	Hormigón
17	CN	Canoa	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón
18	CN	Canoa	Transversal al canal	Deficiente	Hormigón

Correlativo	Tipo Obra	Ubicación	Estado	Material
19	CN	Canoa	Deficiente	Hormigón
15	PT	Puente	Deficiente	Madera
16	PT	Puente	Bueno	Hormigón
20	CN	Canoa	Bueno	Acero
21	CN	Canoa	Bueno	Acero
17	PT	Puente	Deficiente	Madera
22	CN	Canoa	Deficiente	Hormigón
23	CN	Canoa	Bueno	Acero
24	CN	Canoa	Bueno	Acero
18	PT	Puente	Regular	Madera

Tabla 5-5 Estado Obras de entrega, descarga o distribución

Correlativo	Tipo Obra	Ubicación	Estado	Material
1	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
2	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
3	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
4	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
5	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
6	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
7	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
8	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
9	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
10	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
11	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
12	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
13	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
14	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
15	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
16	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
17	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
18	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
19	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
20	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
21	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
22	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
23	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
24	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
25	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
26	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
27	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
28	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
1	VT	Vertedero	Buena	Hormigón
29	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
30	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
31	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
32	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
33	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
34	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
35	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
36	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
37	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
38	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
39	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
40	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
41	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
42	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
43	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
44	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
45	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
46	CP	Compuerta	Regular	Hormigón, compuerta de acero
47	CP	Compuerta	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
48	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero
49	CP	Compuerta	Buena	Hormigón, compuerta de acero

Tabla 5-5 Estado Obras de entrega, descarga o distribución

Correlativo	Tipo Obra	Ubicación	Estado	Material	
50	CP	Compuerta	Ribera derecha	Regular	Hormigón, compuerta de acero
51	CP	Compuerta	Ribera izquierda	Bueno	Hormigón, compuerta de acero
52	CP	Compuerta	Frontal al canal	Regular	Hormigón, compuerta de acero
53	CP	Compuerta	Frontal al canal	Deficiente	Hormigón, compuerta de acero
54	CP	Compuerta	Ribera derecha	Bueno	Hormigón, compuerta de acero

De acuerdo a las tablas anteriores existen 12 obras de cruce y 13 compuertas en estado deficiente. Los principales problemas técnicos que presentan dichas obras se resumen en la Tabla 5-6 y la Tabla 5-7.

Tabla 5-6 Obras de cruce deficientes

Nomenclatura	Obra de Cruce	Km	Descripción Problema Técnico
CN1	Canoa	0,09	Obstrucción de vegetación
CN4	Canoa	0,51	Obstrucción de vegetación
PT3	Puente	1,43	Obstrucción de material de la quebrada
PT4	Puente	1,55	Obstrucción de material de la quebrada
PT5	Puente	1,80	Obstrucción de material de la quebrada
PT9	Puente	14,52	Mal estado del hormigón
CN17	Canoa	39,25	Obstrucción de vegetación y sedimentos
CN18	Canoa	39,80	Obstrucción de vegetación y sedimentos
CN19	Canoa	42,73	Obstrucción de vegetación y sedimentos
PT15	Puente	43,84	Mal estado de la madera
PT17	Puente	44,49	Mal estado de la madera
CN22	Canoa	45,72	Obstrucción de vegetación

Los puentes PT3, PT4 y PT5 no se encuentran operativos actualmente ya que fueron construidos únicamente con la finalidad de la construcción del canal, por lo que no obstruyen ningún tipo de camino vial. Los puentes PT9, PT15 y PT17 si se encuentran operativos en rutas secundarias, pero se encuentran en mal estado y podrían afectar la estabilidad del canal, además de ser un peligro para las personas que transitan por él.

Tabla 5-7: Detalle Compuertas en Estado Deficiente, Canal Villalón

N° Correlativo de Compuerta	KM Canal	Ubicación	Material	Descripción
5	9,266	Ribera derecha	Hormigón, compuerta de acero	
7	10,593	Ribera derecha	Hormigón, compuerta de acero	
8	11,197	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
12	16,614	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
18	21,132	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
19	21,239	Ribera derecha	Hormigón, compuerta de acero	Compuerta abandonada.
20	22,399	Ribera derecha	Hormigón, compuerta de acero	
21	22,685	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
35	37,378	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
36	37,622	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
38	38,522	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
47	44,890	Ribera izquierda	Hormigón, compuerta de acero	
53	47,080	Frontal al canal	Hormigón, compuerta de acero	Derivado San Antonio - La Concepción

5.3.2 Diagnóstico Hidráulico

Los resultados del eje hidráulico en el canal Villalón son los presentados en el capítulo referido a análisis hidráulico.

5.3.2.1 Reducción de Perdidas

El canal Villalón presenta un caudal de derecho en bocatoma de 6,5 m³/s, el cual va disminuyendo en la medida que se extraen los caudales para regadío. Sin embargo, no se dispone de información de los puntos de extracción de cada uno de los derechos, por lo tanto no puede conocerse el caudal pasante a lo largo del canal.

De la información desarrollada como parte de este proyecto, no se ha podido ejecutar la campaña de aforos debido a que la zona se encuentra en un periodo de sequía. Según lo indicado por la Administración del Embalse Recoleta, los periodos de riego se limitan a una entrega de agua cada 18 días, por lo que el canal se encuentra sin el recurso hídrico, imposibilitando los trabajos de aforo.

Del catastro en terreno se puede rescatar la información asociada a las obras de mejoramiento ya existentes, las cuales se listan en la Tabla 5-8, donde la longitud total corresponde a la longitud total donde se encuentra el revestimiento, mientras que la efectiva consideró que los tramos donde existe revestimiento en una sola ribera, su longitud fuera dividida en dos, y donde existían tres tipos de revestimiento, fuera dividida en tres. Adicionalmente se suman otras obras tales como sifones, alcantarillas y túneles, las cuales suman un total de 4 km.

Tabla 5-8 Revestimientos existentes en el canal Villalón

Longitud	Hormigón (km)	Enrocado (km)	Geomembrana (km)	Mampostería (km)	Shotcrete (km)	Otras obras (km)
Total	17,74	0,11	2,14	11,59	5,21	4,059
Efectiva	10,83	0,11	2,14	5,16	2,52	-

Los tramos donde existen mejoras en Villalón son bastantes, quedando sin revestir solo un 20,88 km del canal. Sin embargo, considerando los sectores donde existe revestimiento en una sola ribera, este valor asciende a 26,3 km.

El criterio adoptado para optimizar la reducción de pérdidas por infiltración corresponde a un análisis de costos del revestimiento, para una longitud de 10 km. Como no se conoce específicamente los lugares con mayores pérdidas, solamente se efectuará un análisis de los costos y una evaluación económica de las alternativas.

Entre las alternativas de mejoramiento del canal a objeto de disminuir las pérdidas por infiltración, se han evaluado 6 alternativas de revestimiento: hormigón, mantas de hormigón, shotcrete, mampostería y geomembrana; en entubamiento: con tubería de HPDE en escurrimiento libre.

5.3.2.2 Sistema de Aforo Remoto de Caudales

La Tabla siguiente presenta el diagnóstico de la situación actual del sistema de registro de caudal en el canal Villalón. De ella se rescata que el actual sistema de medición actuaría en condiciones óptimas, sin necesidad de un recalibrado de los aforadores ni mantenencias adicionales. Es importante señalar que el Aforador 3AF corresponde solo a un limnómetro instalado a la entrada de la cámara de carga del sifón 2SF, a 26,7 km del inicio del canal, muy próximo al aforador 2AF.

Tabla 5-9 Diagnóstico sistema de aforos en canal Villalón

Nomenclatura	KM Canal	Lugar Aforador		Estado	Solución
		N (m)	E (m)		
1AF	24,007	6.612.825,9	282.324,1	Bueno y con sistema remoto	No requiere intervención
2AF	26,620	6.613.645,9	281.133,9	Bueno y con sistema remoto	No requiere intervención
3AF	26,640	6.613.649,5	281.118,9	Limnómetro a la entrada de sifón	No requiere intervención
4AF	46,100	6.613.734,0	271.571,0	Bueno y con sistema remoto	No requiere intervención

La siguiente figura muestra en planta la ubicación de los aforadores, donde adicionalmente se presenta la ubicación de la obra de toma del canal derivador, el cual posee compuertas de control.

Figura 5-2 Ubicación de Aforadores



Se observa que las obras de medición de caudales en el canal Villalón se encuentran en óptimas condiciones, el cual además dispone de un sistema de medición remoto de caudales.

El canal Villalón recibe las aguas de un canal derivador con compuertas, donde se presume que el caudal entrante ya se encontraría regulado y controlado por éstas, mientras que aguas abajo las obras de medición existentes sirven como un medio de control automatizado dado el funcionamiento del sistema de aforo remoto instalado.

Conforme a lo anterior, se concluye que el canal Villalón no requiere de obras de medición de caudales adicionales, ni tampoco un sistema de medición remoto adicional.

5.3.3 Problemas en la Seguridad Física

5.3.3.1 Portal de entrada Túnel 4

Para el caso del portal de entrada del túnel 4, ubicado en el KM 4,43 del canal, donde se produce el arrastre y caída de material desde el cerro se propone mejorar la barrera que actualmente se encuentra por un diseño más confiable. Se evaluaron 2 alternativas para rehacer esta barrera, la primera es el uso de gaviones, que considera la utilización de materiales locales para el armado de los gaviones. La segunda alternativa es la construcción de una barrera de malla de acero con pilares. Desde el punto de vista económico ambas alternativas presenta el mismo costo total (inversión más operación), por lo que la decisión final dependerá de otros factores, como por ejemplo, la disponibilidad de los materiales para la construcción.

No obstante, para efectos de considerar una alternativa única para este problema se considerará la implementación de una barrera de gaviones pues se estima que requiere menos mantención que la malla de acero.

5.3.3.2 Portal de Salida Túnel 4

Para el caso del portal de salida del túnel 4, ubicado en el KM 4,96 del canal, donde se ha identificado una fractura entre la pared y la bóveda del muro del lado izquierdo, se ha propuesto como única alternativa la reparación de esta fractura mediante la inyección de lechada de cemento o resina epóxica, tal como se ha detallado en el Anexo 15, informe de Estabilidad Geotécnica del Canal Villalón, Documento N° 4184-2000-GE-MEC-001.

A lo largo del trazado del canal, se observan desprendimientos superficiales asociados a escurrimientos producto de la erosión a través de aguas lluvias en los taludes a cerro. Estos desprendimientos no comprometen el funcionamiento ni la operación del canal.

Estos desprendimientos pueden ser manejados mediante mantenciones periódicas anuales y en el caso de algún evento sísmico o lluvias de gran intensidad, se sugiere verificar el correcto funcionamiento de las obras mediante una mantención adicional en los días próximos al suceso.

5.3.3.3 Cruce de Quebradas

A partir del análisis hidráulico de las quebradas detallado en capítulos anteriores se ha procedido a diseñar obras de evacuación correspondientes.

5.3.4 Proposición alternativa de Obras

Dados los antecedentes expuestos se proponen las siguientes alternativas de obras, manteniendo el foco en 2 elementos esenciales:

- Operación de Riego.
- Seguridad Física del Canal.

Tabla 5-10 Alternativas de Obras – Operación de Riego

Clasificación		Alternativa de mejoramiento
Mantenión de obras	Mantenión Compuertas	S1 - Reemplazo de compuerta y/o S2 - Mejoramiento del hormigón
	Sellos de fondo	S1 - Implementación de sellos de fondo (cada 100 m en tramos rectos o cada 20 m en curvaturas) para reestablecer la pendiente longitudinal del canal
Capacidad hidráulica	Operación normal	S1 - Peralte del canal
	Operación en crecida	S1 - Peralte del canal S2 - Compuerta de descarga
	Secciones restrictivas por presencia de algas	S1 - Introducción de peces al ecosistema S2 - Adición de productos químicos S3 - Recubrimiento o revestimiento del canal S4 - Limpieza
Reducción de pérdidas por infiltración	Revestimientos	S1 - Revestimiento (mampostería, hormigón, geomembrana, etc) S2 - Entubamiento

Tabla 5-11 Alternativas de Obras – Operación de Riego

Clasificación		Alternativa de mejoramiento
	Túnel 4: Portal de entrada	S1- Malla estabilizadora S2- Gaviones
	Túnel 4: Portal de salida	S1- Inyección de Aditivo

5.3.5 Situación Ambiental

Dada la naturaleza del proyecto y las características de su área de inserción, el diagnóstico preliminar se realizó identificando cada uno de los elementos del medio ambiente. A continuación en la Tabla 5-12 se presenta la relación del Proyecto y los elementos ambientales analizados.

Tabla 5-12: Relación del Proyecto y elementos ambientales

Información levantada	Tipo	Relación Proyecto	Diagnóstico
Antecedentes Ambientales	Áreas Protegidas	No hay relación con el Proyecto. El Proyecto no interviene con este tipo de áreas.	No se estima alteración de este elemento ambiental
	Sitios Prioritarios	No hay relación con el Proyecto. El Proyecto no interviene con este tipo de áreas	No se estima alteración de este elemento ambiental
	Humedales de Importancia Internacional RAMSAR	No hay relación con el Proyecto. El Proyecto no interviene con este tipo de áreas	No se estima alteración de este elemento ambiental
	Áreas de Desarrollo Indígena	No hay relación con el Proyecto. El Proyecto no interviene con este tipo de áreas	No se estima alteración de este elemento ambiental o hay impactos
	Instrumento de Planificación Territorial	Una parte del área del Proyecto se encuentra inserta dentro del Plan Regulador Comunal de La Serena. Sin embargo es compatible con los usos de suelo normados.	No se estima alteración de este elemento ambiental
	Otros Proyectos	No hay relación con el Proyecto. El Proyecto no interviene con este tipo de áreas	No se estima alteración de este elemento ambiental
Componentes Ambientales Principales	Flora y Vegetación Terrestre	Identificación de dos (2) áreas singulares, en las cuales se encuentran formaciones vegetacionales correspondiente a matorral arborescente abierto, que corresponden a bosque.	Pérdida de superficie de bosque.
	Fauna Terrestre	Identificación de dos (2) áreas sensibles, en las cuales se dan las condiciones adecuadas para la presencia de especies de reptiles.	Alteración en el desplazamiento de especies de baja movilidad.
	Turismo	Se identifica el evento programado celebración día del Fiesta de la Virgen del Rosario de Algarrobito, de la localidad de Algarrobito que se celebra el último domingo del mes de Octubre se podría ver afectado por las obras y/o actividades del Proyecto, puesto que comparten el uso de la ruta D-25.	Alteración en el desplazamiento de personas para el evento programado en la localidad de Algarrobito.
	Paisaje	Paisaje intervenido por la acción antrópica y poca visibilidad desde el punto del observador hacia el Proyecto.	No se estima alteración de este componente ambiental
	Patrimonio Arqueológico	<i>Falta información para realizar el diagnóstico</i>	<i>Falta información para realizar el diagnóstico</i>

6 PRESUPUESTO DE OBRAS

6.1.1 Análisis de precios Unitarios

Las bases utilizadas para la estimación de precios unitarios son las siguientes:

- Fecha base de la estimación Noviembre 2014.
- Tasa de Cambio Dólar: 1 Dólar = 589,72 CLP.
- Valor UF = 24.391,36 CLP, fecha 30 junio 2014.
- Valor petróleo = \$ 546

Los precios unitarios considerados corresponden a costos directos de construcción los que incluyen:

- Costos de mano de obra: se utilizó la mejor información disponible de proyectos similares recientes.
- Materiales principales: se usó cotizaciones referenciales recientes.
- Maquinaria y Equipos de apoyo a la construcción: se utilizó costos unitarios actualizados de obras similares.

Se usó como referencia para desarrollar los costos unitarios de las obras, los siguientes proyectos de la DOH:

- Canal Las Palmas ; Mejoramientos Canales Quebrada Arrayan; Embalse Petorca;
- Varios de estos costos actualizados sirvieron de base para desarrollar los presupuestos de estos mejoramientos.

Para la estimación del costo total de mejoramientos, se consideró un costo indirecto del 30%, el cual incluye:

- Mano de Obra Indirecta (Supervisión superior)
- Viajes (fletes, etc.)
- Camionetas, buses, minibuses.
- Comunicaciones.
- Computadores.
- Campamento y alimentación.
- Gastos generales de la Obra.
- Gastos oficina central, financieros y utilidades.

6.1.2 Presupuesto

A continuación se presenta el costo de las obras de mejoramiento que se requieren para un revestimiento de 10 km aprox.

Tabla 6-1: Costos de mejoramiento del canal Villalón

		Unidad	Cantidad Original	FC	Cantidad Final	Costo Unitario \$	Costo Total \$
1	OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO						2.028.308.561
1,1	MANTENCIÓN DE OBRAS						187.337.229
1.1.1	Mantencción compuertas						3.051.976
	Reemplazo sistema compuerta 0,2x2,0 m	un	1	1,0	1	204.379	204.379
	Reemplazo sistema compuerta 0,3x2,2 m	un	1	1,0	1	311.225	311.225
	Reemplazo sistema compuerta 1,0x2,2 m	un	1	1,0	1	944.085	944.085
	Reemplazo sistema compuerta 1,0x2,6 m	un	1	1,0	1	1.108.464	1.108.464
	Reemplazo sistema compuerta 0,6x1,8 m	un	1	1,0	1	483.823	483.823
1.1.2	Sellos de fondo						4.975.410
	Excavación en Material Común	m³	21	1,1	24	4.013	94.687
	Hormigón H-25	m³	20	1,1	21	175.185	3.757.709
	Enfierradura (50 Kg/m³)	kg	975	1,1	1.073	1.047	1.123.014
1.1.3	Reperfilamiento						171.684.843
	Excavación abierta mat. Común	m³	15510	1,1	17.061	4.013	68.465.793
	Retiro Excedentes	m³	15510	1,1	17.061	6.050	103.219.050
1.1.4	Sifón El Ingenio						7.625.000
	Estudio Espesor y estado Tubería Sifón	un	1	1,0	1	7.625.000	7.625.000
1,2	SISTEMA CONTROL DE CAUDALES						0
	No aplica						
1,3	CAPACIDAD HIDRÁULICA						6.372.274
1.3.1	Operación normal						6.372.274
	Peralte sección del canal						6.372.274
	Relleno compactado	m³	588	1,2	706	9.031	6.372.274
1,4	REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN						1.834.599.058
1.4.1	Revestimientos						1.834.599.058
	Mampostería de piedra	m²	75623	1,1	83.185	21.542	1.791.972.439
	Excavación abierta mat. Común	m³	15125	1,1	16.637	4.013	42.626.619
2	MEJORAR LA SEGURIDAD FÍSICA DEL CANAL						3.295.265
2,1	TUNEL 4 - RETENCIÓN DE MATERIAL DE LADERA EN PORTAL DE ENTRADA						1.665.070
2.1.1	Barrera de gaviones						1.665.070
	Malla galvanizada	m²	36	1,1	40	6.419	254.184
	Mampostería de piedra	m³	30	1,1	33	21.542	710.886

		Unidad	Cantidad Original	FC	Cantidad Final	Costo Unitario \$	Costo Total \$
	Mano de Obra	gl	1	1,0	1	700.000	700.000
2,2	TUNEL 4 - REPARACIÓN DE FRACTURA EN PORTAL DE SALIDA						1.630.195
2.2.1	Inyección de aditivo para reparación de fracturas						1.630.195
	Sikadur 31	kg	15	1,1	17	7.030	115.995
	Sikadur 52	kg	50,0	1,1	55	18.440	1.014.200
	Mano de Obra	gl	1,0	1,0	1	500.000	500.000
2,3	CRUCE DE QUEBRADAS						0
	No aplica						

Total costos directos \$	2.031.603.826
Total costos indirectos \$	609.481.148
TOTAL \$	2.641.084.974

Fuente: Elaboración propia.

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1.1 Rentabilidad del Proyecto Riego

La rentabilidad del proyecto se evaluó en términos de los indicadores valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

En base a esta metodología se ha considerado la situación actual a sin proyecto y la situación actual a situación con proyecto, estimando sus respectivos costos y beneficios para un horizonte de evaluación de 30 años. La diferencia de costos y beneficios entre la situación futura o con proyecto y la situación sin proyecto permite obtener los beneficios netos atribuibles al proyecto.

De los casos anteriores se realizó la evaluación económica tanto de mercado como social.

Conforme a las recomendaciones del Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO), la evaluación económica social del proyecto se realizó para una tasa de descuento del **6 %**.

A modo de obtener una curva del valor actual neto, asociada a la longitud revestida, fue necesario hacer una serie de supuestos dado que no se tiene información de las pérdidas totales. Para obtener una relación entre las pérdidas totales y el revestimiento, se tomó como supuesto una relación lineal, basada en las proporciones de los canales Bellavista y Buzeta, donde se estimó que para un revestimiento de 10 km las pérdidas de caudal se reducirían en un 30%. El segundo punto para la relación fue considerar un mejoramiento completo del canal en los lugares sin revestir (21 km), lo cual implicaría un 0% de pérdidas. Luego con esta curva es posible calcular una relación entre el VAN y la longitud de revestimiento.

Con este set de datos estimados, se calcularon nuevos costos de inversión (CAPEX) y costos de operación y mantenimiento (OPEX) para cada longitud a revestir. Para los CAPEX se simplificó mediante un multiplicador, estimado como la razón entre la longitud a revestir y los 10 km de revestimiento. Para el OPEX, sólo el costo de mantención asociado al revestimiento (nuevo y existente) fue ponderado con el mismo multiplicador. Con esto, se tienen valores de CAPEX y OPEX según la longitud de revestimiento.

Las Figura 7-1 y Figura 7-2 muestran de manera gráfica el comportamiento del VAN en función de la longitud a revestir.

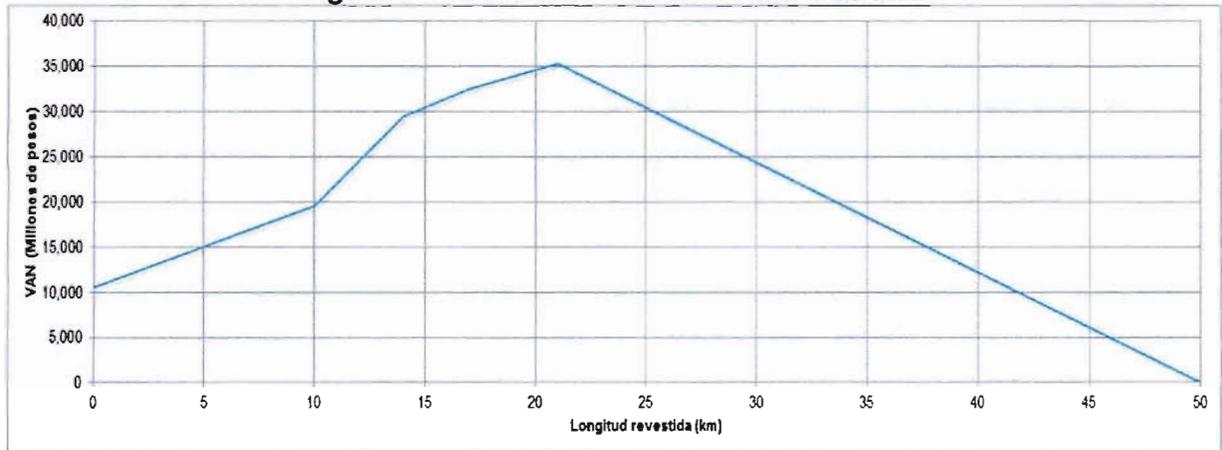
Los indicadores VAN, TIR y IVAN según precio social y privado se presentan en la Tabla 4 46 y Tabla 4 47 respectivamente. Adicionalmente se incluye la superficie futura de riego considerando mismos rendimientos actuales.

De los resultados se observa la existencia de un óptimo dado para el precio social, donde dada cierta longitud de revestimiento, el VAN comienza a decrecer,. Las cifras del precio social son bastante mayores, con un orden de magnitud mayor del VAN en comparación con el precio privado.

Del indicador TIR se desprende que, considerando una tasa de descuento del 12%, la inversión dejaría de ser atractiva al momento de invertir en un revestimiento con una longitud menor a 20 km. De los gráficos se puede observar que entre los 10 y los 20 km de

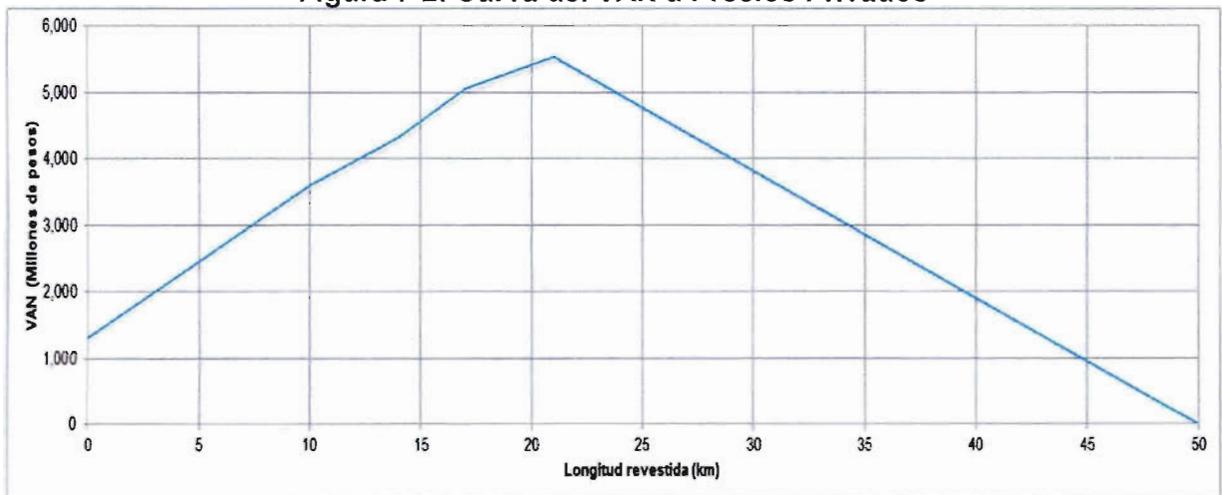
revestimiento se encuentra el óptimo del proyecto, el cual solo se alcanzaría a tasas sociales (inversión del estado).

Figura 7-1: Curva del VAN a Precios Sociales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-2: Curva del VAN a Precios Privados



Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Tamaño Óptimo del proyecto

El tamaño óptimo de un proyecto busca determinar, la solución que maximice el valor actual neto de las opciones en el análisis de un proyecto. Los factores determinantes en estos son, la relación precio-volumen, y la relación costo-volumen.

De la evaluación económica efectuada, se obtuvo que la máxima rentabilidad a precios sociales se logra para una longitud de revestimiento entre los 10 y 30 km. Este análisis se realizó con el fin de conocer la tendencia de la rentabilidad del proyecto frente a la incorporación de superficie de riego.

De la información desarrollada anteriormente como parte de este proyecto, no se ha podido ejecutar la campaña de aforos debido a que la zona se encuentra en un periodo de sequía. Según lo indicado por la Administración del Embalse Recoleta, los periodos de riego se limitan a una entrega de agua cada 18 días, por lo que el canal se encuentra sin el recurso hídrico, imposibilitando los trabajos de aforo.

Considerando que el canal tiene una longitud cercana a los 50 km, los tramos donde existen mejoras en Villalón son bastantes, quedando sin revestir solo un 20,9 km del canal. Con ello y a partir del análisis económico, este consultor considera que al menos de estos 20 km se deben revestir 10 km

7.1.3 Momento óptimo de inversión

Para determinar el momento óptimo de hacer una inversión se puede recurrir a distintos criterios, que dependen de las características específicas que presenta el proyecto.

Para medir esto se ocupa la rentabilidad inmediata, la cual mide la rentabilidad del primer año de operación respecto a la inversión realizada. La rentabilidad inmediata está fundamentada en que puede haber un proyecto con flujos de caja tan altos en los años futuros que compensaría a flujos que pudieran ser muy bajos en los años iniciales, mostrando un VAN positivo para el total del proyecto.

El proyecto debe ser implementado cuando el primer flujo sobre la inversión, de un resultado igual o superior a la tasa de retorno que exige el inversionista.

En este caso, ocupando tasa social el proyecto resulta rentable a pesar de los flujos negativos los primeros años (compensándolo casi cinco veces en el transcurso de 30 años), por tanto el momento óptimo de inversión corresponde a iniciar las obras lo más tempranamente posible.

Si el financiamiento del proyecto es del tipo público-privado, se puede considerar la distribución de la inversión en el tiempo para disminuir la carga de inversión de los agricultores que tengan que contribuir al proyecto.

La alternativa consideraría distribuir la inversión, y por ende la construcción de las obras, en periodos de 10 años. El proyecto podría ser costado en tres pagos cada 10 años, a diferencia de realizar la inversión en tres años consecutivos al inicio del proyecto (como fue planteado originalmente). Con ello, la carga de inversión de los agricultores asociados al canal disminuiría en los primeros años, entregando cierta holgura para distribuir los gastos de inversión al tiempo que se ejecutan las obras.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la evaluación económica realizada, se puede concluir que el proyecto de mejoramiento del canal Villalón es rentable y cuenta con mínimos riesgos de inversión, a nivel social.

De acuerdo a la evaluación social se logra un máximo VAN cercano a los 35 mil millones de pesos para una inversión en revestimiento del canal de entre los 10 y 30 km. Con ello se alcanza una TIR cercana al 20%. En el caso más desfavorable (riesgo), este VAN se reduciría un 15%, aun siendo positivo y con tasa mayor al 6%.

Ahora bien, la evaluación privada presenta VAN positivos menores a los anteriores pero con tasas mayores al 12 % exigidas con una longitud de revestimiento óptima de 21 km.

Este consultor, recomienda en base a los resultados obtenidos, que la inversión sea ejecutada en una alianza público privada, en donde por ejemplo el sector privado ejecute las obras de mejoramiento de pérdidas (21 km revestidos como mínimo) y el estado las obras de seguridad geológica y geotécnica del canal.

Además, los indicadores económicos adicionales como la relación beneficio-costos, rentabilidad por hectárea regada o los ingresos per cápita debido al proyecto, arrojan resultados positivos como resultado de llevar a cabo las obras. Por ello, el momento óptimo de inversión sería iniciar las obras lo más pronto posible.

Por otra parte, de los métodos alternativos de evaluación del proyecto de riego descritos en este informe, se aprecia que el método de valor incremental de la tierra entrega un mayor beneficio que el del valor de transacciones de agua. Estos resultados son discutibles dada una serie de limitaciones que existen para realizar estos análisis. En primer lugar no existen una cantidad de datos suficiente para ambos métodos de análisis que permitan tener resultados precisos. Varios de los datos que se utilizaron para el análisis dependen de factores que no aparece en los registros lo que impide que sean objetivos los resultados. Además no existe un mercado lo suficientemente grande que represente precios de compra venta reales del bien transado, como en es el caso de los derechos de agua.

Dadas las limitaciones antes descritas, se recomienda considerar los resultados del método del valor del producto marginal como representativos de la rentabilidad del proyecto.

Finalmente en la siguiente Tabla, se presenta la situación de mejoramientos proyectados y su ubicación por tramo de canal. De lo anterior, se puede visualizar que existen tramos con beneficios múltiples dependiendo el foco de mejoramiento que se requiere. En el caso del canal Villalón, se puede ver que todo el canal presenta algún tipo de problema que necesita ser solucionado, solo los tramos 1 y 2 presentan un grado de urgencia mayor.

Tabla 8-1: Tipo de Mejoramiento Considerado por Tramo de Canal (km)

		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
1 OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO							
1.1	MANTENCIÓN DE OBRAS						
1.1.1	Mantencción compuertas	X	X		X	X	
1.1.2	Sellos de fondo	X	X	X	X	X	X
1.1.3	Reperfilamiento	X	X	X	X	X	X
1.1.4	Sifon El Ingenio		X				
1.2	SISTEMA CONTROL DE CAUDALES						
	No aplica						
1.3	CAPACIDAD HIDRÁULICA						
1.3.1	Operación normal	X					
1.4	REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN						
1.4.1	Revestimientos	X					
2 MEJORAR LA SEGURIDAD FÍSICA DEL CANAL							
2.1	TUNEL 4 - RETENCIÓN DE MATERIAL DE LADERA EN PORTAL DE ENTRADA						
2.1.1	Barrera de gaviones	X					
2.2	TUNEL 4 - REPARACIÓN DE FRACTURA EN PORTAL DE SALIDA						
2.2.1	Inyección de aditivo para reparación de fracturas	X					
	Prioridad	7	4	2	3	3	2

Teniendo en vista los resultados del estudio, este consultor recomienda lo siguiente:

- Continuar la ingeniería de mejoramientos del canal, a través de algún medio legal de modo de acelerar la ejecución de estas obras. Este canal es uno de los más antiguos de Chile y presenta pérdidas importantes, por lo cual urge realizar todos los mejoramientos indicados en este informe. Esto conlleva un aumento considerable de la seguridad de riego del sector.
- Introducir un sistema de selección de mejoramientos en función de la capacidad de pago de la asociación de regantes.
- Dar prioridad a la rehabilitación y mejoramiento de obras existentes por sobre la iniciación de obras nuevas de mayor envergadura, como por ejemplo reperfilamientos y sellos de fondo.
- Concentrar los esfuerzos en los tramos en donde se obtienen los mayores beneficios, como lo visualizado en tabla anterior.

- Fortalecer la labor del administrador y sus celadores, dado que actualmente cubren una gran área con pocos recursos humanos.
- Mantener el esquema de operación manual y a corto plazo incorporar telecontrol y tele medición de los caudales en diferentes tramos de manera de actuar en forma oportuna y preventiva ante contingencias o extracciones.
- Dar la posibilidad a los usuarios de coparticipar en la supervisión de la obra, por ejemplo designando a un profesional que acompañe periódicamente a los encargados de la construcción, con ello se evitarían discusiones por posibles fallas o problemas los cuales son traspasados a CNR o DOH finalmente.
- Que la asociación de canalistas identifique que mejoramientos pueden atraer aportes de privados de los propios usuarios y explotar la posibilidad de concesión, de manera de acelerar la ejecución de los trabajos. Incluso revisar otras alternativas que en este estudio se han analizado.
- Realizar talleres en asociación de canal de manera de realizar un plan para disminuir las extracciones ilegales existentes que se presentan en forma esporádica. En el trascurso de este estudio esta situación ha ido en aumento, por lo cual es un tema que debe ser abordado en conjunto con el gobierno regional.
- Difundir en talleres a la comunidad que el impacto ambiental del proyecto es ampliamente favorable, debido al mejoramiento del riego de los terrenos actualmente mal regados. Por otra parte, los impactos negativos debido a la construcción de las obras son pequeños, pues las obras nuevas van en su mayoría en laderas de cerro, compatible con la infraestructura de riego existente.