



# “PLANIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN EN REVESTIMIENTOS HÍDRICOS”

FIC-R 2016

---

Universidad de La Serena  
**Región de Coquimbo**



Abril 2018

---



INFORME DE AVANCE TÉCNICO			Fecha de emisión:
FIC REGIONAL			Abril 2018
Fecha de inicio: 20/Diciembre/2017	Fecha de término: 20/Octubre/2019	N° de informe: 1	Duración: 22 meses
Nombre del proyecto:	Planificación de la Inversión en Recursos Hídricos		
Financiamiento:	Monto total del proyecto:	M\$ 222.188	
	Aporte FIC-R:	Año 1: M\$ 90.040	
		Año 2: M\$ 109.928	
	Aporte institución:	M\$ 22.220	
Institución ejecutora:	Universidad de La Serena		
Responsable del proyecto:	Dr. Pablo Álvarez Latorre		
Cargo:	Director del proyecto		
E-mail:	pabloa@userena.cl		
Fono:	51-2554913		

## Tabla de contenidos

<b>1</b>	<b>Resumen del Proyecto</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Resumen del período a informar</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Actividades programadas y ejecutadas</b>	<b>5</b>
3.1	Carta Gantt . . . . .	5
3.2	Detalle de actividades realizadas . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Cuadro de antecedentes financieros</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Gráfico curva de avance físico v/s programado</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Metodología</b>	<b>9</b>
6.1	Componente 1. Actividad 1.1. Diagnóstico técnico-social del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la eficiencia de Conducción Hídrica	9
6.1.1	Información requerida por el Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica. . . . .	9
6.1.2	Recopilación información de la zona a evaluar y de la Organización de Usuarios de Aguas. . . . .	11
6.1.3	Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) de la red hídrica de una Organización de Usuarios de Aguas . . . . .	11
6.1.4	Determinación de pérdidas generales por conducción . . . . .	16
6.1.5	Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica . . . . .	19
6.1.6	Diagnóstico del Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica . . . . .	19
6.2	Componente 1. Actividad 1.2. Definición parámetros y generación de los protocolos de variable superficie bajo riego y potencial. . . . .	19
6.3	Componente 1. Actividad 1.3. Definición de parámetros y generación de los protocolos para la variable modelamiento hidrológico. . . . .	20
6.4	Componente 1. Actividad 1.4. Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica. . . . .	21
<b>7</b>	<b>Resultados e Hitos</b>	<b>22</b>
7.1	Componente 1. Actividad 1.1. Diagnóstico del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la eficiencia de Conducción Hídrica . . . . .	22
7.1.1	Propuesta de fortalecimiento . . . . .	22
7.2	Componente 1. Actividad 1.2. Definición parámetros y generación de los protocolos de variable superficie bajo riego y potencial. . . . .	23
7.3	Componente 1. Actividad 1.3. Definición de parámetros y generación de los protocolos para la variable modelamiento hidrológico. . . . .	23
7.4	Componente 1. Actividad 1.4. Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica. . . . .	31
7.4.1	Componente 1. Actividad 1.4.1. Validación S.I.G. red de distribución y bocatomas para desarrollo de protocolo . . . . .	31
7.4.2	Componente 1. Actividad 1.4.2. Validación variable superficie bajo riego y potencial. . . . .	33
7.4.3	Componente 1. Actividad 1.4.3. Validación variable modelación hidrológica. . . . .	34

## 1 Resumen del Proyecto

La iniciativa denominada "Planificación de la Inversión en Revestimientos Hídricos", se adjudicó un financiamiento FIC de \$ 199.968.000, lo que sumado a los aportes de la contraparte totalizan \$ 220.188.000. Ejecutándose desde Diciembre de 2017 a Octubre de 2019, por un período de 22 meses.

El proyecto tiene por finalidad planificar el mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica, a través de la transferencia de conocimientos y herramientas a las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA's) para apoyar la gestión de recursos hídricos. El impacto directo o propósito es incrementar la oferta neta, por medio de la priorización de las inversiones público-privadas basados en parámetros técnico-social.

El área en la cual se desarrolla esta iniciativa corresponde a la cuenca del río Choapa, abarcando toda el área de influencia de la Junta de Vigilancia del río Chalinga y sus Afluentes, la Junta de Vigilancia del río Illapel y sus Afluentes, y la Junta de Vigilancia del río Choapa y sus Afluentes. Por lo mismo, las instituciones asociadas al proyecto son la Junta de Vigilancia del río Chalinga y sus Afluentes, la Junta de Vigilancia del río Illapel y sus afluentes, y la Junta de Vigilancia del río Choapa y sus Afluentes, además como beneficiarios indirectos la Fundación Minera Los Pelambres e instituciones públicas como la Dirección de Obras Hidráulicas y la Comisión Nacional de Riego.

Los resultados esperados de este proyecto son:

- Protocolo técnico-social de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica.
- Plan de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para la red de distribución de la Junta de Vigilancia Río Chalinga y sus Afluentes.
- Plan de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para la red de distribución de la Junta de Vigilancia Río Illapel y sus Afluentes.
- Plan de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para la red de distribución en la Junta de Vigilancia Río Choapa y sus Afluentes.
- Programa de capacitación en gestión hídrica.
- Sistema virtual de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para las cuencas del río Choapa.
- Protocolo técnico-social de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica.

El mérito innovador del proyecto se visualiza en establecer bases para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, a través de un ordenamiento de la inversión en mejoramiento de eficiencia de conducción, por medio de la modelación dinámica del sistema hídrico.

El equipo de trabajo de este proyecto está constituido por profesionales del Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA) perteneciente al Departamento de Agronomía de la Universidad de La Serena, liderado por el Dr. Pablo Álvarez Latorre.

## 2 Resumen del período a informar

El proyecto FIC-R 2016 - Planificación de la Inversión en Revestimientos Hídrico - código BIP XXXX, comenzó con su ejecución el 20 de Diciembre de 2017. En este informe se presenta el avance de ejecución de la componente 1, que abarca el período entre el 20 de Diciembre de 2017 y el 20 de Abril de 2018.

Según carta Gantt del proyecto, se ejecutaron las siguientes actividades:

- Diagnóstico técnico-social del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la Eficiencia de Conducción Hídrica: Se realizó una revisión y diagnóstico del protocolo diseñado en el proyecto SIMCA - ELQUI, en función de los componentes técnicos y sociales, generando una propuesta de fortalecimiento.
- Definición parámetros y generación del protocolo de las variables superficie bajo riego y potencial: Se definió los parámetros a incorporar en esta variable, además de generar el protocolo que permite incorporar estos criterios técnicos de superficie bajo riego (*ha*) y potencial (*ha*) asociada al área de influencia de cada canal, al protocolo
- Definición de parámetros y generación de los protocolos para la variable modelamiento hidrológico: Se definió los parámetros que permitan incorporar la variable modelamiento hidrológico, además de generar el protocolo que permita considerar los efectos dinámicos del mejoramiento en la eficiencia de conducción en las cuencas.
- Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica.

Además se ha comenzado con el desarrollo de las actividades de la componente 2. Plan de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para la red de distribución de la Junta de Vigilancia del río Chalinga y sus afluentes.

- SIG Red de distribución y conducción hídrica de Junta de Vigilancia Río Chalinga y sus afluentes.
- Transferencia de capacidades en la aplicación del protocolo técnico-social de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica.

### 3 Actividades programadas y ejecutadas

#### 3.1 Carta Gantt

RESULTADOS	Año 1												Año 2									
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20	m21	m22
<b>Componente 1</b>																						
Actividad 1.1	X	X	X	X																		
Actividad 1.2			X	X	X																	
Actividad 1.3			X	X	X																	
Actividad 1.4				X	X																	
<b>Componente 2</b>																						
Actividad 2.1				X	X	X	X	X	X	X												
Actividad 2.2					X	X	X	X	X	X												
Actividad 2.3								X	X	X												
Actividad 2.4								X	X	X												
Actividad 2.5				X	X	X	X	X	X	X												
Actividad 2.6									X	X												
<b>Componente 3</b>																						
Actividad 3.1									X	X	X	X	X	X	X							
Actividad 3.2										X	X	X	X	X	X							
Actividad 3.3													X	X	X							
Actividad 3.4													X	X	X							
Actividad 3.5									X	X	X	X	X	X	X							
Actividad 3.6														X	X							
<b>Componente 4</b>																						
Actividad 4.1															X	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 4.2															X	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 4.3																			X	X	X	X
Actividad 4.4																				X	X	X
Actividad 4.5															X	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 4.6																				X	X	X
<b>Componente 5</b>																						
Actividad 5.1	X																					X
Actividad 5.2					X																	
Actividad 5.3										X												
Actividad 5.4														X								
Actividad 5.5																		X				
<b>Componente 6</b>																						
Actividad 6.1															X	X	X	X				
Actividad 6.2																X	X	X	X	X		
Actividad 6.3																			X	X	X	X

### 3.2 Detalle de actividades realizadas

Componente	N° Actividad	Actividades Programadas	Actividades Ejecutadas	Discrepancias	% de avance físico
1. Protocolo técnico-social de Priorización de la Inversión en Mejoramiento de la Eficiencia de Conducción Hídrica	1	Diagnóstico técnico-social del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la eficiencia de Conducción Hídrica	Ejecutada (E)	No	100%
	2	Definición parámetros y generación del protocolo de las variables superficie bajo riego y potencial	Ejecutada (E)	No	100%
	3	Definición de parámetros y generación del protocolo para la variable modelamiento hidrológico	Ejecutada (E)	No	100%
	4	Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica	Ejecutada (E)	No	100%
2. Plan de priorización de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para la red de distribución de la Junta de Vigilancia del río Chalinga y sus afluentes	1	SIG Red de distribución y conducción hídrica de Junta de Vigilancia Río Chalinga y sus afluentes	En Ejecución (EE)	No	30%
	2	Determinación de pérdidas canales Junta de Vigilancia Río Chalinga y sus Afluentes	En Ejecución (EE)	No	15%
	5	Transferencia de capacidades en la aplicación del protocolo técnico-social de la inversión en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica	En Ejecución (EE)	No	15%

#### **4 Cuadro de antecedentes financieros**



## **5 Gráfico curva de avance físico v/s programado**

## 6 Metodología

### 6.1 Componente 1. Actividad 1.1. Diagnóstico técnico-social del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la eficiencia de Conducción Hídrica

Fecha de Inicio	20-12-2017	Fecha de Término	20-04-2017
Presupuesto (M\$)			
Total	xxxxx	FIC-R	XXXXXXX
Porcentaje de Avance	100%		

Se estableció una mesa técnica, compuesta por los profesionales de las diferentes áreas del equipo para la revisión y diagnóstico del protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica, generado por el proyecto FIC-R 2013, "*Diseño y puesta en marcha de un sistema de monitoreo de caudales y de un protocolo de determinación de pérdidas de agua, para la priorización de las inversiones público-privadas (SIMCA – ELQUI)*", el cual tenía por objetivo unificar, estandarizar y normalizar los criterios, procedimientos y decisiones ligadas al mejoramiento de canales pertenecientes a una organización de regantes. Esta actividad nos permitirá generar una propuesta de fortalecimiento, a través de la incorporación de mayor cantidad información, nuevas metodologías de recopilación de antecedentes y nuevas metodologías de priorización.

#### 6.1.1 Información requerida por el Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica.

Durante la revisión se identificó la información necesaria para el Protocolo de Priorización de Inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica para generar el Plan de priorización de canales y/o tramos de la red de distribución de una Organización de Usuarios de Aguas, las que se detallan en las siguientes variables:

- Comunidad de Aguas o Canal. Permite identificar de forma individual cada uno de los componentes de la red de distribución de la Organización de Usuarios de Aguas.
- Número de acciones o litros/segundo. La cantidad de acciones o  $l/s$ , permite determinar la importancia y/o representatividad del canal, tanto dentro de la zona de influencia, así como dentro de la organización a la que pertenece.
- Capacidad de porteo. Este criterio determina la capacidad máxima de conducción del canal. Además esta variable se relaciona fuertemente con las acciones del canal, lo cual nos permite estimar la importancia del mismo tanto en la zona donde se emplaza, así como dentro de la organización que lo agrupa.
- Número de beneficiarios. El número de beneficiarios hace referencia a la cantidad de usuarios del canal en estudio que se verán favorecidos con cualquier posible mejoramiento en obras de conducción del sistema de distribución de aguas. Hay que tener en consideración que el número de beneficiarios no está en directa relación con el nivel o superficie productiva. Además se debe recordar que dependiendo del tramo del canal, ya sea este matriz o conducción, se verán beneficiados un mayor o un menor número de usuarios, respectivamente.
- Superficie regada. Corresponde al área que el canal abastece con recursos hídricos, dicha superficie corresponde al área de riego bajo cota de canal. Esta variable permite definir la importancia del canal tanto dentro del sector donde se ubica, así como dentro de la cuenca donde está inmerso.

- Longitud total del canal ( $km$ ). Hace referencia a la distancia involucrada desde cuando nace el canal (bocatoma) hasta donde finaliza o hace su última entrega. Es un factor importante al momento de determinar el nivel de priorización para la inversión pública privada, ya que su longitud esta en directa relación con el área o superficie a mejorar (revestir). De tal manera que si se introducen mejoras en su estructura de conducción, se permitirá realizar una mejor distribución y disminuirá los tiempos de entrega a cada uno de los regantes.
- Longitud total del canal en uso ( $km$ ). Dice relación la longitud actual del canal que efectivamente se está utilizando y que no necesariamente corresponde a la longitud del trazado original del canal. Este factor es esencial para determinar la superficie afecta a mejoramiento del canal ( $m^2$  a revestir).
- Longitud tramo matriz ( $km$ ). Corresponde a la distancia entre la compuerta que da origen al canal y la primera entrega predial. Es imprescindible contar con esta información, ya que, permite estimar superficie de este tramo afecta a mejoramiento. Cabe recordar que cualquier mejora en este tramo, beneficia a la totalidad de los usuarios del canal.
- Longitud tramo conducción ( $km$ ). Corresponde la distancia existente entre la primera y la última entrega predial. También puede ser expresada como la diferencia entre la longitud total del canal y la longitud del tramo matriz. Es necesario contar con dicha información debido a que permite estimar la superficie afecta a mejoramiento.
- Pérdidas generales por conducción ( $l/s$ ). El agua que se utiliza para el riego, llega a los cultivos después de recorrer un conjunto de canalizaciones desde la fuente de abastecimiento. Durante ese recorrido se producen pérdidas que hacen que la cantidad de agua que realmente llega hasta el predio sea muy inferior a la disponible en la iniciación del sistema de irrigación.
- Longitud de tramos afectos a mejoramiento. Los tramos afectos a mejoramiento son todos aquellos que no presentan revestimiento de tipo permanente, vale decir no están revestidos o presentan revestimiento con geomembrana, la cual para efectos de este estudio es considerada como temporal.
- Dimensiones de la sección afecta a revestimiento. Se relaciona a factores tales como ancho y alto de los tramos que se pretenden mejorar, con esta información se puede determinar un valor estimativo de  $m^2$  de revestimiento necesarios para el mejoramiento.
- Área y longitud a revestir. Conocer el área y longitud de un canal, es de vital importancia al momento de generar una mejora en su sistema de conducción, ya que en función de estos dos parámetros se puede calcular el costo de inversión de la obra de mejoramiento.
- Volumen recuperado por temporada. A partir de las pérdidas por conducción detectadas ( $l/s$ ) tanto a nivel general, así como por tramo se pueden determinar los volúmenes posibles a recuperar en caso de efectuar una mejora en el canal. Estos nuevos volúmenes serán expresados tanto en  $m^3/temporada$ ,  $m^3/ha$ , etc.
- Volumen recuperado por temporada en función de longitud de mejoramiento. Este indicador dice relación a los  $m^3$  que pueden ser recuperados por  $m^2$  de mejoramiento. Para la estimación de dicho volumen se utilizarán los  $m^3/temporada$  definidos anteriormente.

La recopilación de información requerida por el protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica, considera tanto fuentes primarias como secundarias. En primer lugar, se debe generar una revisión bibliográfica de la zona a evaluar, en conjunto con una recopilación de información de la OUA's, para recabar la mayor cantidad de información disponible. Posteriormente se realiza una caracterización y determinación de pérdidas, las que de forma general nos permitirán obtener una descripción de la infraestructura y pérdidas de la red hídrica perteneciente a la Organización de Usuarios de Aguas. La metodología para la obtención de la información requerida se detalla a continuación.

### 6.1.2 Recopilación información de la zona a evaluar y de la Organización de Usuarios de Aguas.

Se realiza a través de una revisión bibliográfica, referida a estudios de recursos hídricos de la zona a evaluar. Además se recopila la información de la red de distribución (canales) que posee la OUA's, incluyendo información que pueda ser útil para la logística y operación en el levantamiento de datos de la caracterización y determinación de pérdidas.

- Revisión bibliográfica
  - Fichas de registro de bocatomas, Dirección General de Aguas.
  - Canales de riego a nivel de matrices hasta 2do derivado, Comisión Nacional de Riego.
  - Estudios de recursos hídricos de la zona a evaluar.
- Información OUA's
  - Diagrama unifilar
  - Ubicación geográfica bocatomas
  - Número de acciones totales
  - Número de acciones por comunidad de aguas
  - Dotaciones o desmarques
  - Capacidad de porteo de cada canal
  - Número de usuarios comunidad de aguas
  - Superficie regada por comunidad de aguas
  - Contacto celadores

### 6.1.3 Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) de la red hídrica de una Organización de Usuarios de Aguas

La generación del Sistema de Información Geográfica de la red de distribución de aguas de los canales bajo el área de influencia de una OUA's, tiene como propósito, generar la georeferenciación y caracterización de los elementos que componen a cada comunidad de aguas que formará parte de la priorización.

Se realiza desde la fuente de abastecimiento hasta el final del trazado del canal, ejecutándose solo a través del canal matriz, es decir, no incluye derivados o ramales. Consta de una caracterización y georeferenciación de los componentes de los canales, referidos a obras de arte e infraestructuras, además de revestimientos y posibles observaciones. Esta información nos permitirá visualizar el recorrido y componentes del canal, para ser utilizados directamente como variables en el protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia hídrica y en el desarrollo de otras, además de la operación y ejecución de actividades posteriores.

El levantamiento de datos del canal comienza desde la bocatoma, la que tiene como principal objetivo captar y/o desviar parte o la totalidad del agua que escurre por un cauce hasta llegar a la compuerta de carga correspondiente a la comunidad de aguas, donde se levanto la información de los diferentes elementos que la componen, indicados a continuación:

- **Barrera de desviación:** Corresponde a la estructura utilizada con el fin de desviar el agua desde la fuente (río, estero, quebrada, etc) hacia una posición en particular. Esta puede ser fabricada tanto por materiales fluviales, madera, plástico, como por hormigón o metal. Ésta barrera puede ser temporal o permanente, dependiendo del material y de la resistencia a las crecidas.

- **Canal de aducción:** Canal por donde se deriva el caudal captado.
- **Compuerta de carga o punto de entrega:** corresponde a la estructura de control en donde se entrega el recurso hídrico, este puede ser una compuerta, captación o marco partidor.
- **Sección de control:** Zona en la cual se controla el caudal entregado, en otras palabras, sección de aforo. Este puede ser de diversos tipos, dentro de los más comunes está el aforador de escurrimiento crítico y la regla limnimétrica.

En la conducción del recurso hídrico desde la compuerta de carga, es necesario caracterizar las obras de arte con las cuales se distribuye las aguas. Esto se refiere a infraestructura de gestión y entregas, de las cuales debemos indicar su tipo y material, además de posibles observaciones como filtraciones. Además debemos georeferenciar inicio, término y material de los revestimientos presentes, ya que son las características de mayor relevancia al momento de evaluar las pérdidas en canales.

El revestimiento de un canal tiene como objetivo disminuir o erradicar las pérdidas por conducción de agua, el cual puede ser parcial o total, para efectos prácticos se determinó que 1/3 revestido corresponde a una cara del canal revestida; 2/3 revestido, a dos caras del canal revestidas; y 100% revestido, a las tres caras del canal revestidas. Por otro lado, el material del canal corresponde al componente del revestimiento en el caso que tenga algún grado de revestimiento o al material observado en las caras del canal sin revestir. Además se recolectan datos de observaciones como filtraciones o alteraciones visibles, quebradas, extracciones, etc., que generan un nivel de riesgo para la conducción. Las características recolectadas se exponen a continuación:

Cuadro 1: S.I.G. red hídrica

S.I.G.	Componente	Atributo	Opción
Bocatoma	Barrera desviación	Tipo de Obra	Barrera Frontal
			Barrera Lateral
			Pata de Cabra
			Prefil Material Fluvial
			Otro
		Dimensión	Ancho barrera
	Canal de aducción	Tipo de Punto	Inicial
			Intermedio
			Final
		Tipo de Bocatoma	Permanente
			Temporal
		Tipo de Fuente	Gravitacional
			Bombeo
			Otro
		Ribera	Izquierda
			Derecha
		Material	Mezcla suelo
			Hormigón
			Madera
			Mampostería
			Otro
	Compuerta de Carga	Fuente de Abastecimiento	Cauce Natural
			Canal
			Estero
			Quebrada
			Permanente
			Quebrada Eventual
			Vertiente
			Otro
		Material	Metálica
			Madera
			Otro
		Sistema	Con Mecanismo
			Manual
		Devolución	No
			Compuerta
			Vertedero
			Compuerta y Vertedero
		Dimensiones Vertedero	Ancho
			Alto Compuerta
			Ancho Compuerta
		Dimensiones Sección	Largo
			Alto Inicial
			Ancho Inicial
			Alto Final
			Ancho Final

Cuadro 1: S.I.G. red hídrica (continuación)

S.I.G.	Componente	Atributo	Opción
Bocatoma	Sección de Control	Tipo	Escorrentamiento crítico
			Regla limnimétrica
			Estación Limnigráfica
			Barrera con Reglilla
			Sección Rectangular con Regla
			Barrera Triangular
			Barrera Triangular y Regla
			Aforo de Garganta
			Aforo Parshall
			Sensor de Presión
			Otro
		Dimensiones Sección	Ancho
			Largo
			Alto
Conducción y distribución	Conducción	Tipo de Punto	Convergencia
			Garganta
			Divergencia
		Forma	Inicial
			Intermedio
			Final
			Indefinida
			Rectangular
			Trapezoidal
			Túnel
			Circular
			Embovedado
			Parabólico
			Triangular
			Semi-circular
		Revestimiento	Sin revestimiento
			1/3 caras revestidas
			2/3 caras revestidas
			3/3 caras revestidas
		Material	Mezcla Suelo
			Hormigón
			Loseta
			Geomembrana
			Tubo HDPE
			Geomembrana asfáltica
			Hormigón Roca
			Mampostería
			Roca
			Lecho de río
			PVC
			Tubo metálico
			Otro

Cuadro 1: S.I.G. red hídrica (continuación)

S.I.G.	Componente	Atributo	Opción
Conducción y distribución	Distribución	Función	Entrega
			Gestión Frontal
			Gestión Lateral
			Ramal
			Ramal
		Tipo	Compuerta Volante
			Compuerta Hoja
			Taco
			Captación Bomba
			Captación Gravitacional c/regulación
			Captación Gravitacional s/regulación
			Marco Partidor
			Solo Marco
			Otro
		Material	Metal
			Madera
			Tubo Metálico
			Tubo Plástico Rígido
			Manguera
			Suelo
			Piedra
			Lata
			Saco
			Hormigón
			Otro
	Observaciones	Tipos	Inicio Desborde
			Punto Desborde
			Fin Desborde
			Inicio Quebrada
			Punto Quebrada
			Fin Quebrada
			Inicio Derrumbe
			Punto Derrumbe
			Fin Derrumbe
			Cruce Camino Inicio
			Cruce Camino Fin
			Inicio Embancamiento
			Punto Embancamiento
			Fin Embancamiento
			Extracciones
			Inicio Contaminación
			Inicio Zona Poblada
			Fin Zona Poblada
			Zona de Filtración



Cuadro 1: S.I.G. red hídrica (continuación)

S.I.G.	Componente	Atributo	Opción
			Aporte Continuo
			Aporte Eventual
			Cámara de Inspección
			Ramal Intermedio
			Ramal Fin
			Otro

El S.I.G. de la red hídrica se genera con el fin de proporcionar esta información a las OUA's, como base de datos en formatos que permitan su visualización. Además con esta información se genera información para realizar la determinación de pérdidas y posterior priorización de tramos y/o canales para el mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica.

#### 6.1.4 Determinación de pérdidas generales por conducción

La determinación de pérdidas de agua por conducción, se basa en la metodología de aforo de caudal. La variable pérdidas generales es fundamental para el desarrollo del Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica. Con la información generada por el S.I.G., podemos generar los tramos y subtramos de aforo.

**6.1.4.1 Determinación de tramos y subtramos:** Con la información de longitud y material de revestimientos presentes, se definen tramos de aforo dentro del canal. Estos se dividen en matriz, el cual se considera hasta la primera entrega, y posteriormente tramos por tipo de revestimiento, los cuales nos permitirán establecer las pérdidas generales por conducción del canal y/o tramo. Cada tramo o subtramo consta de un aforo inicial y final, además de los posibles puntos de entregas o aportes que se puedan presentar y/o reglas operacionales del canal (turnos), por lo cual se podrían generar subtramos de forma instantánea al no completarse el trayecto de forma continua.

Una vez determinados los puntos de inicio y final del tramo, debemos seleccionar la sección de aforo, la que dependiendo de sus características, determinará el equipo de aforo que se utilizará.

**6.1.4.2 Procedimiento de aforo:** Previo a la ejecución del aforo, es necesario seleccionar la sección donde se va realizar la medición. Esta sección debe cumplir con ciertos requisitos técnicos y logísticos para obtener una medición confiable, dentro de lo que destaca la ubicación de esta, la que debe ser en un tramo recto del cauce, donde se aprecien líneas de flujo uniformes y paralelas a los márgenes de la corriente, con una pendiente longitudinal constante (evitar tramos con quiebres fuertes y áreas de aguas muertas, además de contracorrientes o remolinos). La base de la sección debe ser lo más regular posible, con un cauce estable y sin obstáculos o vegetación que interfieran, evitando lechos fangosos. La geología del terreno deberá facilitar, en caso de ser necesario, el acceso para construcción, medición y mantención de obras.

Los aforos se realizaron siguiendo el método de Área-Velocidad, el que consiste en la determinación del área de la sección transversal y la velocidad media del flujo de esta, obteniendo como producto el caudal pasante. El comienzo de la toma de datos, consiste en la medición del ancho total de la sección conductora, el que se obtiene mediante la medición de la distancia horizontal desde un punto de referencia ubicado en el plano de la sección

transversal (espejo de agua). Con este ancho, se determina el número de subsecciones, el que está basado *Manual Auto instructivo de aforo en canales no revestidos – Ley N°18.450* de la CNR y que se define por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{T}{n}$$

donde:

$n$ : Número de subsecciones.

$T$ : Ancho superficial (m).

Cuadro 2: Valores de  $n$

Ancho $T$ (m)	$n$
Menos de 1 m	4
1 - 2 m	6
2 - 4 m	10
4 - 8 m	16
8 - 10 m	20
Más de 10 m	24

En la planilla PROMMRA Q-CANAL, las subsecciones se determinan de forma automática al ingresar el ancho del canal; procediendo posteriormente a la determinación de la profundidad de cada subsección, lo que se realiza en la parte central de cada una, además de agregar la profundidad de ambos costados del cauce. Con esta información y a partir de la profundidad de las verticales ( $h_{ws}$ ), las mediciones son realizadas al 20%, 60% u 80% de la profundidad de la vertical. Con esta información se genera dos tipos de valores; (1) La primera clasificación corresponde al valor de la altura desde la lámina de agua a la base del canal (del cual deriva el método tradicional de medición) y (2) el valor de altura desde la base a la lámina de agua, cuyo valor es más práctico en terreno.

Cuadro 3: Alturas consideradas para la determinación de velocidad

$h_{ws}$	Medida de velocidad en la subsección
$h_{ws} \leq 0,2 \text{ m}$	$0,6h_{ws}$
$0,2 \text{ m} < h_{ws} \leq 0,5 \text{ m}$	$0,2h_{ws}; 0,6h_{ws}$
$h_{ws} \geq 0,5 \text{ m}$	$0,2h_{ws}; 0,6h_{ws}; 0,8h_{ws}$

Para la determinación del caudal, se utilizó un molinete de tipo electromagnético marca HACH modelo FH 950. Las velocidades determinadas por este equipo fueron ingresadas a la planilla de aforo (PROMMRA Q-Canal) con lo cual se obtuvo el caudal de forma inmediata. Además del caudal, la planilla entrega una gráfica con el perfil transversal de la sección aforada, así como la distribución de las velocidades.

Finalmente se deberán seguir algunas consideraciones al realizar el aforo, entre las cuales tenemos:

- El molinete debe quedar completamente sumergido de forma de no incorporar distorsiones en la medida realizada.
- El molinete debe colocarse de forma perpendicular a la sección de aforo, paralelo al escurrimiento de forma tal que mida la velocidad del punto.

- Se deben tomar 3 medidas o repeticiones para determinar el valor de la velocidad en cada punto.
- Es recomendable comenzar tomando las medidas en una vertical desde el fondo del canal.
- Se debe comenzar el aforo desde el lado izquierdo del canal, observando este desde hacia aguas abajo.
- La toma de medida en un punto, debe durar al menos 60 segundos, anotándose posteriormente la velocidad obtenida, en la hoja respectiva destinada para el aforo. Se considerará válido el promedio de 3 repeticiones por punto.

**6.1.4.3 Procedimiento de aforo con trazador químico:** La medición de caudal mediante este método está basada en la determinación del grado de dilución en el agua de una sustancia trazadora y como esta modifica la conductividad eléctrica del flujo a medir. Este método permite conocer el caudal a partir de la variación de concentración de una sustancia que es inyectada en el flujo. Este tipo de aforo se recomienda para canales con láminas de agua de poca profundidad (menor a 20 cm), de sección irregular, con flujo turbulento, pendientes importantes, lechos inestables y líneas de flujo desordenadas, donde los métodos tradicionales de aforo (molinetes) no son aplicables.

El criterio principal para definir el emplazamiento, donde se llevara adelante la determinación de caudal mediante el empleo de este método, es que en ese punto se produzca una mezcla homogénea de la solución inyectada en un tramo relativamente corto del canal. La mezcla del trazador con el flujo, se ve potenciada con las rugosidades propias del canal y la presencia de piedras o cantos, los cuales aumentan la turbulencia de la corriente.

- La selección del sitio de inyección, donde se llevara adelante la determinación de caudal mediante el empleo de este método, es que en ese punto se produzca una mezcla homogénea de la solución inyectada en un tramo relativamente corto del canal. La mezcla del trazador con el flujo, se ve potenciada con las rugosidades propias del canal y la presencia de piedras o cantos, los cuales aumentan la turbulencia de la corriente.
- Como regla general se recomienda comenzar la medición en la variación de la conductividad eléctrica, desde el punto final del tramo a evaluar hacia atrás, es decir devolviéndose por el canal. Con esto se evita que restos de sales de mediciones anteriores pudiesen interferir al momento de una nueva determinación de la conductividad eléctrica y por ende afectar en la determinación del caudal.
- A modo referencial, la cantidad de trazador a utilizar para determinar caudal se estima en 10 g de trazador por cada l/s de caudal. Para estimar el caudal pasante se puede utilizar el método de aforo con flotador.
- Se deberá determinar la distancia (L) entre el punto de inyección y el punto de medición, la cual se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$L = 0,13 * C + \left( \frac{(0,7 * C) + 6}{g} \right) * \frac{b^2}{d}$$

donde:

*b*: Ancho medio del canal.

*d*: Profundidad media del flujo.

*C*: Coeficiente de Chezy para el tramo ( $15 < C < 50$ ).

*g*: Aceleración de gravedad.

El coeficiente de Chezy (*C*), puede determinarse con la siguiente expresión:

$$C = \left( \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \right)$$

donde:

*n*: Rugosidad del canal (Manning).

$R$ : Radio hidráulico de la sección (área/perímetro).

En caso de no conocer los valores del coeficiente de Manning ( $n$ ), así como la pendiente del tramo a evaluar se recomienda la utilización de la siguiente expresión:

$$L = 2 * v * \frac{b^2}{d}$$

donde:

$L$ : Distancia para la dilución del trazador ( $m$ ).

$v$ : Velocidad media ( $m/s$ ).

$b$ : Ancho medio del canal ( $m$ ).

$d$ : Profundidad media del flujo ( $m$ ).

- Se debe medir la conductividad eléctrica inicial del flujo ( $C_0$ ), registrar dicha información.
- Medición de la temperatura del flujo y registro de su valor. Se registra esta información para efectuar el ajuste necesario de la CE (a  $20^\circ C$ ) de manera de poder comparar mediciones, realizadas bajo distintas condiciones de temperatura.
- Este procedimiento se debe repetir 3 veces por punto de medición, para obtener una lectura confiable.

**6.1.4.4 Planilla PROMMRA Q- Canal:** En el aforo de una sección debemos completar la información básica y obligatoria que hace referencia la planilla automática PROMMRA Q-Canal, detallando la ubicación y características de la sección y caudal, además de datos de operación. De cada punto obtendremos el caudal instantáneo.

**6.1.4.5 Determinación de pérdidas:** Una vez determinados los caudales de inicio y final del tramo, podremos determinar la pérdida de este. En el caso que las pérdidas superen el 20% y la longitud de este tramo sea mayor a 1 km, debemos proceder a realizar la evaluación de los subtramos necesarios, ejecutando un aforo intermedio, que como resultado obtenga una pérdida menor al 20% o hasta obtener un subtramo de longitud igual a 1 km.

Una vez aforados los tramos y subtramos del canal, procederemos a la tabulación de los datos de este. Ese proceso se lleva a cabo a través del trabajo de gabinete, donde se debe realizar una codificación de los aforos para un mejor ordenamiento de las variables a evaluar. Los datos tabulados presentan las características del canal, los detalles de cada uno de los aforos, la determinación de pérdidas por tramo y la determinación de pérdidas a nivel general del canal, detallando las pérdidas en el sector de canal matriz y de distribución.

#### **6.1.5 Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica**

Las variables que contiene el protocolo de priorización aplicado en SIMCA – ELQUI, las cuales se seleccionaron estadísticamente a través de la correlación de PEARSON, mayor a 0,80, en relación a la variable pérdidas generales (l/s) de los tramos.

#### **6.1.6 Diagnóstico del Protocolo de priorización de inversiones en mejoramiento de la eficiencia de conducción hídrica**

### **6.2 Componente 1. Actividad 1.2. Definición parámetros y generación de los protocolos de variable superficie bajo riego y potencial.**

Para definir los parámetros de las variables de superficie bajo riego y potencial, se consideran estas variables, como superficie que se encuentra cultivada en el período del proyecto para la primera

variable y como superficie potencial es a la totalidad de la superficie cultiva o no cultivada al momento del proyecto.

Esta superficie se obtiene del Proyecto FIC-R Coquimbo 2015 "Generación e implementación de un programa de seguimiento y monitoreo de suelo agrícola para el ordenamiento del territorio" (PROMUS), con algunas modificaciones en los polígonos representantes de superficie agrícola, entendiendo el constante seguimiento, actualización del dinamismo del uso agrícola en la región.

Como variable de superficie potencial se define como toda la superficie que haya sido o esta actualmente cultivada, esta superficie se obtuvo realizando polígonos que representan cuarteles o superficie de suelo erosionada mediante agricultura, que a través de imágenes satelitales fue posible detectar.

La variable superficie cultivada corresponde al resultado de la clasificación de uso de suelo agrícola generada por PROMUS, el cual cada uno de estos polígonos que representan la superficie potencial, es asignada una clase de cultivo, (frutales caducos, frutales persistentes, cultivos de ciclo corto, praderas, cultivos bajo plástico y la clase sin cultivo) mediante clasificación de imágenes satelitales.

Para conocer estas variables por cada canal que serán sometidos a priorización. En primera instancia, con la capa de canales obtenidas de la CNR, a través del recorrido de estos quedan sujetos al canal los polígonos que se encuentran mas próximos al trazado de este, los polígonos bajo cota del canal quedan asignados a estos, si en el caso de existir polígonos sobre canales este queda sujeto al trazado del canal mas próximo.

Una vez asignados los polígonos que representan superficie a cada canal, desde terreno, mediante entrevistas con representantes de cada canal y con validación con levantamiento de información en le trazado de cada canal, se rectifican o validan los polígonos asignados a cada uno de ellos, determinando las variables de superficie para cada canal.

### **6.3 Componente 1. Actividad 1.3. Definición de parámetros y generación de los protocolos para la variable modelamiento hidrológico.**

Para visualizar los efectos que genera el revestimiento de los canales sobre los componentes hidrológicos de la cuenca, se modelarán estos escenarios a través del modelo WEAP. Esta herramienta ha sido utilizada ampliamente en la planificación y gestión de los recursos hídrico en la región. La consultora RODHOS el 2014, desarrollo tres modelos de gestión para las tres cuencas de la región de Coquimbo, bajo el estudio financiado por el Gobierno Regional denominado "Estudio de modelos de gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos, para las cuencas de las provincias de Elqui, Limarí y Choapa". Posterior a ello, el Laboratorio PROMMRA de la Universidad de La Serena, actualizó cada uno de estos modelos en su serie temporal, en el marco del estudio (2016) "Análisis Modelación de Embalses de Pre cordillera", financiado por el Gobierno Regional.

Basándose en la última actualización del modelo WEAP para la cuenca del río Choapa, se generará la modelación y evaluación del mejoramiento en las eficiencias de conducción de los canales de la cuenca.

La configuración topológica del modelo de gestión de la cuenca del río Choapa, se basa en la agrupación de canales bajo ciertos criterios: superficie regada por canal, distribución de los canales en la cuenca, y ubicación de estos. Esta topología se desarrolló en función de las capacidades técnicas que posee el modelo y la disponibilidad de los datos como *input* asociado a la serie temporal modelada.

WEAP, es un modelo semi-distribuido, el cual establece características hidrológicas similares en zonas de la cuenca; de esta manera, la agrupación de canales permite un correcto balance

hídrico y calibración de lo sucedido en el sistema, obteniendo resultados zonificados de los efectos hidrológicos del revestimiento en las obras de conducción de la cuenca.

La definición de los parámetros de evaluación, se especifican de acuerdo a los resultados que el modelo WEAP es capaz de entregar, asociado a la zonificación de los escenarios y, los efectos hidrológicos que el revestimiento de canales puede generar en otros componentes hidrológicos de la cuenca.

Parte del proceso de ajuste del modelo para generar los escenarios de revestimiento, es la confirmación de los datos utilizados en la configuración de los canales y su agrupación. Para ello es necesario disponer de información actualizada de estas obras a partir de las distintas comunidades de agua.

Con dicha información, se ajustará el modelo de gestión para las distintas organizaciones y se evaluarán los efectos de revestimiento a partir de la generación de escenarios que el protocolo establece para la variable modelamiento hidrológico.

Para dicha variable del protocolo, se establecerán las etapas de actualización de *inputs* en el modelo WEAP, asociado a las comunidades de agua, y la posterior visualización de resultados de los parámetros establecidos, respecto a los escenarios de mejoramiento en la eficiencia de conducción.

#### **6.4 Componente 1. Actividad 1.4. Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica.**

Se realizó una validación del protocolo fortalecido, la cual se realizó mediante consultas con las OUAS interferidas y el levantamiento de datos necesarios.

## 7 Resultados e Hitos

### 7.1 Componente 1. Actividad 1.1. Diagnóstico del Protocolo de Priorización de Inversiones en Mejoramiento de la eficiencia de Conducción Hídrica

En la actualidad, el uso de los recursos hídricos se proyecta a nivel de cuenca, a través de un manejo integrado y sustentable de los diferentes usuarios de aguas. Es por esto, que se busca incluir variables de tipo social, para fortalecer la toma de decisiones en la distribución de recursos para inversión público-privada, y así realizar mejoramientos de la eficiencia de conducción hídrica en sectores donde se promueva el crecimiento y desarrollo, además de no interceder en la disponibilidad de los recursos de otras zonas.

La inclusión de parámetros sociales que permitan tener una mirada ,Desde el punto de vista técnico, se diagnosticó la falta de algunos criterios en los distintos niveles organizacionales

Propuesta de fortalecimiento en consenso con las OUA'S

#### 7.1.1 Propuesta de fortalecimiento

**7.1.1.1 Antecedentes generales de la cuenca:** Se realiza a través de una revisión bibliográfica de fuentes secundarias, como estudios de organismos referidos a los recursos hídricos de la cuenca a intervenir, como ejemplo se presentan las siguientes fuentes:

- Fichas de registro de bocatomas, Dirección General de Aguas
- Canales de riego a nivel de matrices hasta 2do derivado, Comisión Nacional de Riego
- Estudios de recursos hídricos de la zona a evaluar

**7.1.1.2 Antecedentes a nivel organizacional:** Se realiza a través de reuniones y mesas de trabajo sostenidas con las organizaciones de usuarios de agua, donde se recoge información primaria la cual se detalla a continuación:

- Diagrama unifilar
- Ubicación geográfica bocatomas
- Número de acciones totales
- Número de acciones por comunidad de aguas
- Dotaciones o desmarques
- Capacidad de porteo canal
- Número de usuarios comunidad de aguas
- Contacto celadores

#### 7.1.1.3 Levantamiento de información en terreno:

- Diagrama unifilar
- Ubicación geográfica bocatomas
- Número de acciones totales

- Número de acciones por comunidad de aguas
- Dotaciones o desmarques
- Capacidad de porteo canal
- Número de usuarios comunidad de aguas
- Contacto celadores

Se determinó que la información levantada en el protocolo a nivel de cuenca, no es suficiente para incorporar variables de tipo social, ya que

poder realizar la modelación hídrica en la zona de estudio, ya que se requieren parámetros agroclimáticos y registros de estaciones fluviométricas presentes en la zona. En cuanto a los antecedentes de la organizaciones de usuarios de aguas, se determinó que es base suficiente para la recopilación de antecedentes en este nivel.

Para tener un mayor conocimiento del trazado del canal y sus singularidades, además de obtener una idea general de la superficie y cultivos irrigados, se estableció recopilar antecedentes a nivel de comunidades de aguas, de forma directa a través de la entrevista con un representante, por lo que se generaron los siguientes parámetros:

- Número de acciones
- Número de usuarios
- Longitud canal (km)
- Número de entregas
- Número de ramales
- Capacidad de porteo canal
- Manejo operacional (secciones)
- Tipos y porcentajes de revestimientos
- Superficie regada por há
- Principales cultivos
- Sistemas de riego empleados (%)
- Descarga final al río

## **7.2 Componente 1. Actividad 1.2. Definición parámetros y generación de los protocolos de variable superficie bajo riego y potencial.**

## **7.3 Componente 1. Actividad 1.3. Definición de parámetros y generación de los protocolos para la variable modelamiento hidrológico.**

A partir de la modelación de escenarios de revestimiento zonificados en las distintas organizaciones de regantes, se establecieron 5 parámetros que el modelo WEAP entrega a partir de sus resultados, para evaluar los efectos hidrológicos en la cuenca. Tales parámetros se detallan a continuación.

1. *Volumen almacenado en los embalses.* Se evaluará la condición de los volúmenes almacenados a lo largo de la serie temporal, a partir del escenario base con su condición histórica. A partir de este parámetro, se considerará como efecto negativo la disminución del volumen almacenado en la serie temporal, producto de una menor disponibilidad en la asignación para las siguientes temporadas, y viceversa.



El indicador es el porcentaje de disminución o aumento del volumen almacenado como promedio de la serie modelada en el escenario con revestimiento, respecto al escenario base.

2. *Volumen almacenado en los acuíferos de la zona de influencia.* Se evaluará la dinámica de los volúmenes almacenados en los acuíferos que se encuentren en el área de influencia de los canales, considerando como efecto negativo, una disminución en su almacenamiento a lo largo de la serie temporal, y viceversa. Esto, debido a la menor disponibilidad hídrica para demandas que se abastecen de esta fuente de agua, sobretodo en periodos de escasez hídrica.

El indicador es el porcentaje de disminución o aumento del volumen almacenado como promedio de la serie modelada en el escenario con revestimiento, respecto al escenario base.

3. *Caudales superficiales.* Se evaluará el comportamiento de los cauces naturales en puntos establecidos de la cuenca, con el fin de evidenciar la dinámica a lo largo de la serie temporal. Se considerará como efecto negativo, la disminución de los caudales a lo largo de la serie, debido a la disminución de la oferta hídrica en la asignación de la temporada, y viceversa.

El indicador es el porcentaje de disminución o aumento del caudal superficial como promedio de la serie modelada en el escenario con revestimiento, respecto al escenario base.

4. *Satisfacción de la demanda agrícola.* Se evaluará el porcentaje de la cobertura de la demanda agrícola, tanto de los cultivos frutales, como cultivos anuales. En ambos casos, se considerará como efecto positivo, el aumento de la satisfacción de la demanda a lo largo de la serie temporal, y viceversa.

El indicador es el porcentaje de disminución o aumento de la cobertura de la demanda en el escenario con revestimiento, respecto al escenario base.

5. *Seguridad de la cobertura de la demanda agrícola.* Se evaluará el porcentaje de la cobertura de la demanda agrícola, tanto de los cultivos frutales, como cultivos anuales. En ambos casos, se considerará como efecto positivo, el aumento de la satisfacción de la demanda a lo largo de la serie temporal, y viceversa.

El indicador es el porcentaje de disminución o aumento de la cobertura de la demanda en el escenario con revestimiento, respecto al escenario base.

La variable modelación hidrológica en el protocolo, consiste en evaluar los parámetros ya establecidos bajo escenarios de revestimiento de canales zonificados en las tres áreas de influencia de cada organización, Junta de Vigilancia del río Chalinga y sus Afluentes; Junta de Vigilancia del río Choapa y sus Afluentes; y Junta de Vigilancia del río Illapel y sus Afluentes. Cada escenario de revestimiento será contrastado con un escenario base, el cual cuenta con una serie temporal entre 1990 – 2016, y detalla la situación histórica ocurrida en la cuenca.

Para la generación de estos escenarios de revestimiento, se debe disponer de información de cada comunidad, que permita contrastar la información utilizada en el modelo para su verificación. A continuación, se mencionan la información necesaria a verificar y el proceso de actualización.

- **Diagrama unifilar de los canales de cada organización:** Dicha información permitirá verificar la zonificación de los canales y su correspondiente agrupación dentro del modelo respecto a: área de influencia de riego, ubicación y distribución dentro de la cuenca.

En el modeo WEAP de la cuenca del río Choapa, es posible verificar la agrupación de canales establecidas en la topología, éstas son flechas de color naranja llamadas “*Diversion*”. En la figura 3, se observa la topología establecida para la modelación de la cuenca.

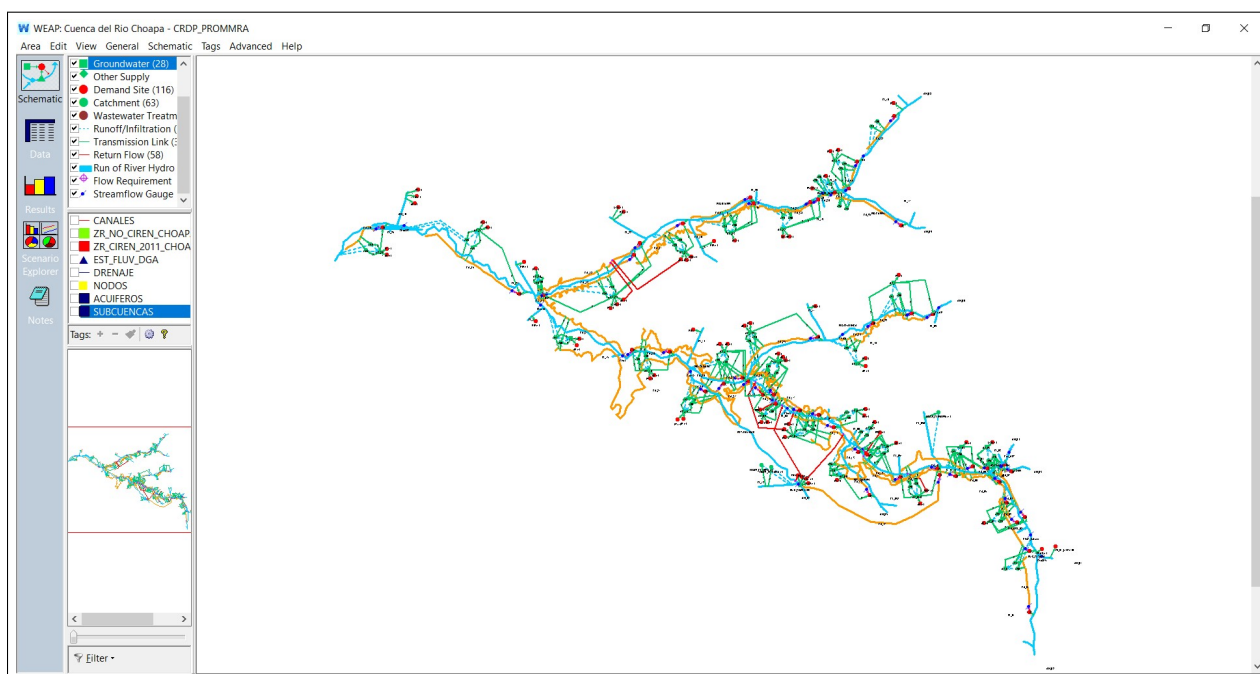


Figura 3: Topología Modelo WEAP: Cuenca del río Choapa CRDP - PROMMRA

En el siguiente cuadro 4 , se presenta la configuración topológica inicial del modelo Cuenca del río Choapa para sus distintos canales y, la fuente de cada uno de ellos. Además de los nombres de los canales, correspondiente a su respectiva agrupación.

Cuadro 4: Nomenclatura y composición de las agrupaciones de canales del modelo.

Nomenclatura WEAP	Nombre	Fuente
CA-01	Los Morros, Cabecita de León, Eusebio, Huinganal, Los Blancos, El Valle	Río Valle
CA-02	Piedrino	Río Choapa
CA-03	Batuco, Manzano Derecho, Manzano Izquierdo	Río Choapa
CA-04	Rodadero o Manzano	Río Choapa
CA-05	Pangue o Inquilinos	Río Choapa
CA-06	Molino de Tranquilla	Río Choapa
CA-07	Molino de Tencadán, Tencadán Derecho, Tencadán Izquierdo, Codicia o Las Pampitas, Tencadán Cortadera Derecho, Tencadán Aletón Izquierdo	Río Tencadan
CA-08	Buitrón, El Bosque, Los Loros o Los Arriendos	Río Cuncumén
CA-09	Tiralarga	Río Cuncumén
CA-10	Araya, Barraco Grande, Los Ranchos Choapa	Río Choapa
CA-11	Silvano	Río Choapa
CA-120	Barraco Chico, Del Sauco	Río Choapa
CA-121	Aguas Claras de Chillepín, El Pavo	Río Choapa
CA-13	El Molino de Quelén	Río Choapa
CA-14	Breas o Molino de Limpo	Río Choapa
CA-15	De La Higuera, Potrero El Buey, Maitén	Est. Quelén

CA-16	Panguecillo Uno o Del Medio, Panguecillo Dos	Río Choapa
CA-17	Higueral	Río Choapa
CA-18	Pardo	Río Choapa
CA-19	El Queñe, Aguas Claras	Río Choapa
CA-20	Población	Río Choapa
CA-21	Buzeta	Río Choapa
CA-22	Molino de Zapallar	Río Chalinga
CA-23	Batuco de Chalinga	Río Chalinga
CA-24	Alameda, Maravillal o La Viña, Palquial o Molino de San Agustín, Valentino y Canelo	Río Chalinga
CA-25	Vert. Los Guindos, Vert. San Francisco, Vert. Las Casas, Chañar Chalinga, Cunlagua, Huanque, Arboleda Grande, Chalinga o Cancha Brava, Chilcas, Tebal	Río Chalinga
CA-26	Tahuincano, Las Viudas	Río Choapa
CA-27	Caracha	Río Choapa
CA-28	El Boldo o Chuchiñí	Río Choapa
CA-29	Jote, Camisas o Batito	Est. Camisas
CA-30	El Molino de Peralillo, Las Chacras, Los Loros o Del Medio	Río Choapa
CA-31	Pintacura Norte, Pintacura Sur o Alto	Río Choapa
CA-32	Los Gonzalez, Salinas, Las Burras Bajas, El Durazno Illapel, Los Perales Illapel, Las Burras Altas	Río Illapel
CA-33	Llano Alto, Llano Bajo, Covachas, Los Manque, Alcantarilla, Pichicaven, Calderón, Mala Ladera, El Agüita, Los Sauces, La Montaña, Rodado, El Bajo, El Macal Illapel	Río Illapel
CA-34	Santa Margot	Río Illapel
CA-35	Molino de Carén Illapel, Santa Ana, San Arturo, Carrizo Carén, San Isidro Carén, El Buitre Carén, Tizón	Río Caren
CA-36	Santa Margarita, El Palqui Illapel	Río Illapel
CA-37	El Peumo, San Jorge, Santa Isabel, San Javier	Río Illapel
CA-38	La Turbina	Río Illapel
CA-39	Santa Olga, Los Pelados, San Isidro, El Silo, San Patricio, Camarote, Escorial Illapel, Plantación	Río Illapel
CA-40	La Higuera, Cocinera	Río Illapel
CA-41	Vert. Luna, Hospital, Molino de Cárcamo, Potrero Nuevo	Río Illapel
CA-42	Zepedino, Cuz Cuz, Población Los Guindos, San Juan de Dios	Río Illapel
CA-43	Inquilinos o Del Bajo, Molino El Peral, Bellavista o Del Alto, Del Medio o Bellavista Bajo	Río Illapel
CA-44	Junta El Maitén	Río Illapel
CA-45	Coyuntagua Norte, Coyuntagua Sur Uno, Coyuntagua Sur Dos, San Francisco, San Pedro, Doña Juana, Mincha Norte, Mincha Sur Arriba, Mincha Sur Abajo, Matriz de Mincha, Tunga Norte Bajo	Río Choapa

CA-46	Salinero, Millahue Uno o Lílenes, Millahue Dos o Los Patos, Los Rulos, San Antonio, Molino de Choapa	Río Choapa
CA-47	Canal Alimentador Corrales	Río Choapa

- **Actualización de las acciones y capacidad de porteo:** En el modelo WEAP de la cuenca del río Choapa, existe una sección llamada datos, en ella, podemos observar todos los *inputs* que componen los nodos del modelo: *Key Assumptions*, *Demand Sites and Catchments*, *Hydrology*, *Supply and Resources*, y *Other Assumptions* (Figura 4).

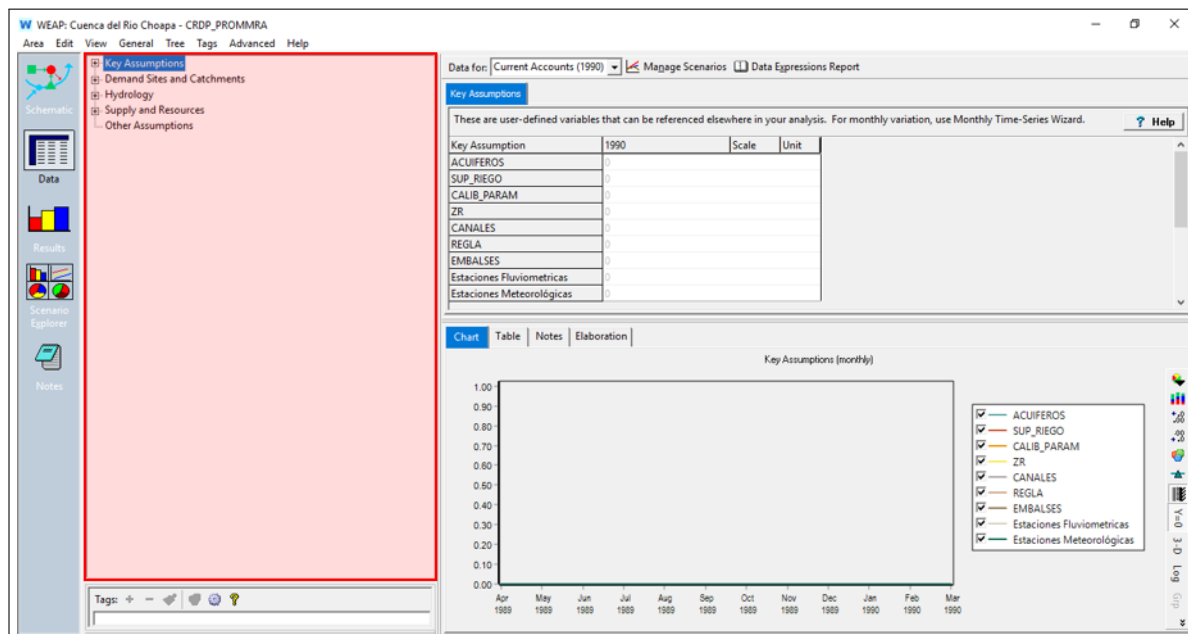


Figura 4: Herramientas del Modelo WEAP.

En la sección Key Assumptions, se especifican los datos que forman parte de la demanda u oferta del sistema, o datos matemáticos dentro del modelo, que permiten establecer algoritmos de cálculo o lógica. En esta sección, existen variables que permiten ir actualizando al modelo de acuerdo a la disponibilidad de datos y a la configuración establecida. En la sección CANALES, se observa que posee las variables ACCIONES, CAPACIDADES y PERDIDAS para las 3 organizaciones de la cuenca respectivamente (Figura 5).

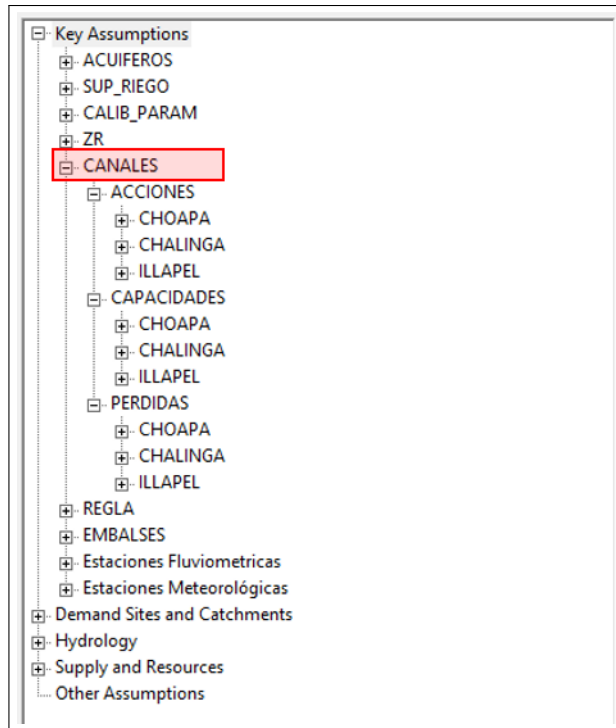


Figura 5: Key Assumptions del modelo.

En la sección **ACCIONES**, es posible configurar el número de los derechos nominales que cada comunidad presenta de las tres Juntas de Vigilancia, en función de los litros/segundo que poseen sobre el río.

De igual manera, es posible configurar la capacidad de porteo ( $L/s$ ) que cada canal posee, de acuerdo a cada organización. Esta variable se actualiza en la sección **CAPACIDADES**.

- **Generación de escenarios de revestimiento:** Para la generación de escenarios de revestimiento de canales, se procederá mejorando la eficiencia de conducción por cada agrupación, comparando los efectos frente al escenario base y, además a los grupos de canales dentro de su misma área de influencia de cada Junta de Vigilancia.

Para crear estos escenarios, se debe ingresar a la sección *Data* del modelo y luego a *Manage Scenarios*, tal como se observa en la figura 6.

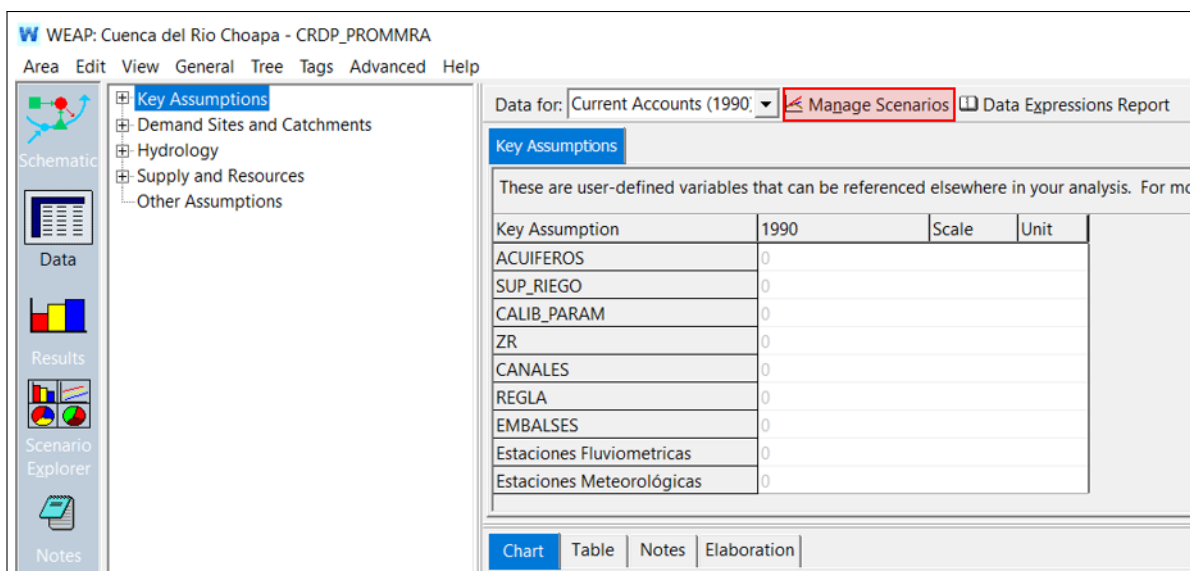


Figura 6: Manage Scenarios.

En esta sección se crean los escenarios, en función de los cambios que se deseen realizar. En este caso, se desarrollan escenarios de mejoramiento en la eficiencia de conducción de los canales, basados en la conformación por grupos en el modelo. Se configurará como pérdida por conducción, de 0%; esto representará el revestimiento de los canales en su totalidad.

Para ello, a partir del escenario base, se crea un nuevo escenario correspondiente al revestimiento de canales. En la pantalla Data, se creará automáticamente el escenario para su posterior configuración, (Figura 7).

En dicha pantalla y, en la sección de Key Assumptions, se modifica en **PERDIDAS**, los valores del % de pérdidas de los canales a revestir en el escenario. Posterior a ello se "corre" el modelo en la sección Results, para la visualización de resultados de los distintos parámetros a evaluar.

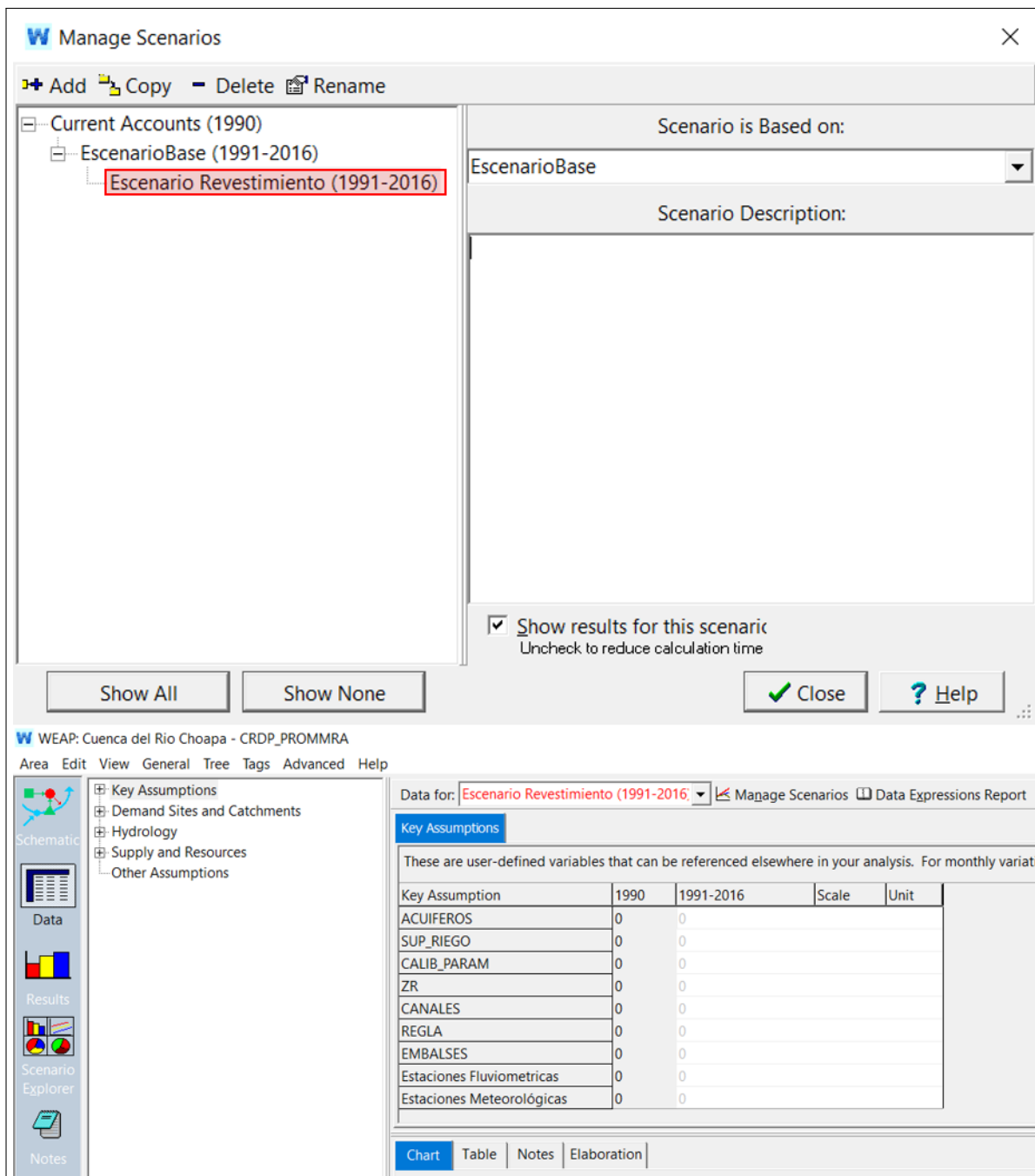


Figura 7: Creación de un nuevo escenario.

Cada parámetro a evaluar, se analiza en el campo de los resultados, configurando la visualización de la manera más óptima para su comprensión. Es decir, WEAP permite ajustar la visualización en función de la serie temporal, unidades de medida, tipos de gráficos, parámetros a comparar, entre otros. Cada resultado se puede descargar en formato .XLSX o .CSV para su análisis externo.

#### 7.4 Componente 1. Actividad 1.4. Validación del protocolo técnico-social de inversión en mejoramiento de la eficiencia en conducción hídrica.

##### 7.4.1 Componente 1. Actividad 1.4.1. Validación S.I.G. red de distribución y bocatoma para desarrollo de protocolo

La generación del Sistema de Información Geográfica de la red de distribución contemplado desde la obra de toma del recurso hídrico (bocatoma), tiene por finalidad ser una base de datos geoespacial, que permita visualizar y gestionar la información para las OUA's, proporcionar información base para el desarrollo de las variables en el desarrollo del protocolo de priorización de la inversión, generación de tramos para evaluación de pérdidas y entregar información para la variable de modelación hidrológica. Con la caracterización y posterior realización del S.I.G, el cual provee la información atribuidas a las longitudes que entran como variables.

- Longitud Total de canal
- Longitud Total de canal en uso
- Longitud tramo matriz
- Longitud tramo conducción
- Longitud de tramos afectos a mejoramiento
- Dimensiones de la sección afecta a revestimiento

Junto con las longitudes el S.I.G, cual trae consigo información de la caracterización realizada desde terreno, permitirá definir los tramos para evaluación de pérdidas por conducción, proporcionar las dimensiones de la sección afecta a revestimiento, validar o ajustar el trazado del canal que en primera instancia se obtuvo de la capa de la CNR, así rectificar las superficies que riega cada canal, las cuales fueron asignadas basadas en la capa CNR.

En una primera campaña de terreno se realizaron por completo la georreferenciación de 3 canales correspondiente al área de la Junta de Vigilancia del Río Chalinga y sus Afluentes, con los cuales fue validado lo que respecta al S.I.G. para la generación del protocolo de priorización, la metodología como llegar a obtener las diferentes longitudes no cambia en los presentado en SIMCA-Elqui. La validación se llevo a cabo en 3 canales de la segunda sección del río Chalinga, la cual posee la mayor longitud en la red de canales con 41,62 km (según capa canales CNR), por la operatividad y disponibilidad de personal de las comunidades de agua que conforman el área de Chalinga, se realizo la validación en los canales Arboleda Grande, Chalinga o Cancha Brava y Huanque, los cuales representan un 12,5%, 8,8% y 16,7% de la longitud total de la red de la segunda sección del río respectivamente según los datos obtenidos de CNR.

Mediante GPS diferencial y el diccionario incorporado a estos, se logro georreferenciar y describir cada uno de las obras a levantar en el recorrido de los canales. A modo de resumen se presenta la información recabada en las bocatoma de estos canales.

Cuadro 5: Descripción Bocatoma

Componente Bocatoma	Canales		
	Arboleda Grande	Chalinga o Cancha Brava	Huanque
<b>Obra desviación</b>	Barrera lateral	Compuerta hoja metalica	Barrera lateral
<b>Canal aducción</b>	867,45 m	568,18 m	184,73 m
<b>Compuerta Carga</b>	Compuerta manual	Compuerta manual	Compuerta manual
<b>Sección Control</b>	Aforador Parshall	Aforador Parshall	Aforador Parshall

En la red de distribución se pudo obtener las diferentes longitudes y tipos de revestimientos,



estructuras de distribución y puntos críticos que se presentaron en los canales evaluados, con el fin de generar los tramos para la evaluaciones de pérdidas.

Esta información se obtuvo a través del recorrido de cada uno de los canales apoyados con las capas de canales de canales matrices hasta 2do derivado de la CNR y con el apoyo de un representante de la comunidad de aguas. Capturando las coordenadas de inicio, intermedio y fin de tipos de revestimientos, se obtuvo la longitud de estos, incorporando a cada uno de estos puntos las dimensiones de las secciones posiblemente a revestir.

Para la definición de las diferentes longitudes que se utilizara en el protocolo, se valida el procedimiento e información a levantar para definir estos parámetros. Por lo cual tomando las coordenadas, revestimiento (número de paredes del canal revestida), tipo de revestimiento (permanente o temporal) y material de revestimiento en cada cambio de revestimiento permite dar cumplimiento para la definición de estas longitudes.

La captura y descripción de las obras de distribución en los canales permitirán primero definir el tramo de conducción (matriz) el cual corresponde al trazado entre la compuerta de carga y la primera entrega y el tramo de distribución en cada canal. Junto a los diferentes cambios de revestimientos que se presenten en el recorrido del canal y algunos puntos críticos definirán los tramos que se someterán a la evaluación de pérdidas.

A continuación se presenta un resumen de longitudes que presentan los 3 canales validados.

Cuadro 6: Longitudes por canal

Canal	Canal aducción (km)	Revestimientos (km)			Total General (km)
		Sin revestimiento	Permanente	Temporal	
<b>Arboleda Grande</b>	0.87	1.45	2.89	0.70	5.90
<b>Cancha Brava</b>	0.57	0.19	1.53	2.11	4.41
<b>Huanque</b>	0.18	0.84	4.53	1.63	7.19

Para las estructuras de distribución mediante la captura de sus coordenadas y caracterización del tipo de obra, se obtiene el requerimiento que permitirá definir tramo matriz y puntos de entrega tomándose en cuenta para la evaluación de pérdidas.

En la validación se obtiene que los canales presentan los siguientes estructuras de distribución.

Cuadro 7: Estructuras de distribución

Canal	Estructura distribución			Total general
	Entrega	Gestión	Ramal	
<b>Arboleda Grande</b>	88	32	7	127
<b>Chalinga o Cancha Brava</b>	68	53	5	126
<b>Huanque</b>	100	56	3	159

Dentro de las estructuras de distribución se agrega la función de ramal, la cual no se consideraba para el protocolo del proyecto SIMCA-Elqui, esta función busca conocer donde nacen los derivados y estimar superficie irrigada por el ramal, ajustando la asignación de la superficie a los canales si se encuentra mas de un canal cercano en el territorio.

En el recorrido de canal se obtuvieron coordenadas de inicio, fin y puntuales de algunos puntos críticos que se presenten en el canal, como filtraciones, quebradas, desbordes, entre otros, que puedan afectar la conducción y distribución normal del recurso, por lo cual dependiendo del tipo de observación y longitud de este hito se definirá si es necesario realizar un subtramo adicional para evaluación de pérdidas los cuales son definidos por los cambios de revestimientos.

Los resultados obtenidos de la validación para variables que contemple el protocolo de priorización con lo que respecta a S.I.G de canales se presentan a continuación:

Cuadro 8: Resultados variables longitudes y dimensiones

<b>Variables</b>	<b>Arboleda Grande</b>	<b>Chalinga o Cancha Brava</b>	<b>Huanque</b>
<b>Longitud total</b>	5.902	4.406	7.190
<b>Longitud total de canal en uso</b>	5.902	4.406	7.190
<b>Longitud tramo matriz</b>	0.046	0.045	0.071
<b>Longitud Tramo conducción</b>	4.989	3.792	6.934
<b>Longitud de tramos afectos a mejoramiento</b>	2.149	2.306	2.472
<b>Dimensiones a revestir (ancho; alto) en metros</b>	0,6; 0,5*	0,9; 0,7 <sup>†</sup>	0,5; 0,4 <sup>‡</sup>

#### 7.4.2 Componente 1. Actividad 1.4.2. Validación variable superficie bajo riego y potencial.

Previo al levantamiento de información desde terreno, se generó información base del trazado de canales (CNR) y polígonos que representan uso de suelo agrícola del territorio (PROMUS), cada uno de estos polígonos fue identificado con un ID y asignado a un canal, según el trazado de este.

Desde terreno se fue validando con personas correspondiente a cada canal, los polígonos que irrigan estos, junto con esto, en el recorrido de caracterización del canal se fueron levantando estas entidades y verificando si corresponde el polígono al canal asignado y uso del suelo de cada polígono. En esta labor se fue identificando zonas que están cultivadas y que no se presentaba en la capa de uso de suelo.

En la campaña de levantamiento y validación de la superficie asignada a cada canal, bajo los insumos de capa de canales (CNR) y capa uso de suelo, se asignó cuarteles correspondiente a cada canal según su trazado, con lo que se obtenía número de cuarteles y superficie según se indican en el cuadro

Cuadro 9: Superficie potencial por canal, asignada desde gabinete

<b>Canal</b>	<b>N° entidades (cuarteles)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Arboleda Grande</b>	128	46.32
<b>Chalinga o Cancha Brava</b>	96	42.25
<b>Huanque</b>	102	56.22

En la campaña de terreno, junto a usuarios de cada canal se validó el área regada de cada uno de estos, junto con esto en el recorrido de caracterización del canal, se fue levantando y contrarrestando los polígonos asignados a cada canal. Con esto se pudo validar o rectificar la superficie asignada en una primera instancia a cada canal, en el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos desde terreno, correspondiente a la superficie por canal.

Cuadro 10: superficie potencial por canal, validada desde terreno

<b>Canal</b>	<b>N° entidades (cuarteles)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Arboleda Grande</b>	131	46.76
<b>Chalinga o Cancha Brava</b>	92	40
<b>Huanque</b>	103	56.71

\*Tomados de tramos regulares revestidos rectangulares

<sup>†</sup>Promedio entre tramo revestido rectangular 1 m ancho 0,7 alto y tramo geomembrana 1 m ancho y 0,7 alto

<sup>‡</sup>Tomados de sección rectangular revestida en hormigón

Los resultados obtenidos de las superficie por canal, se puede ver que no existe una gran diferencia entre los polígonos asignados desde gabinete los que posteriormente fueron rectificados desde terreno.

### 7.4.3 Componente 1. Actividad 1.4.3. Validación variable modelación hidrológica.

A partir del diagrama unifilar (Figura 8), se puede constatar que los canales a validar, pertenecen a la segunda sección y corresponden en el modelo WEAP al canal CA-25, el cual contiene todos los canales pertenecientes a esta sección.

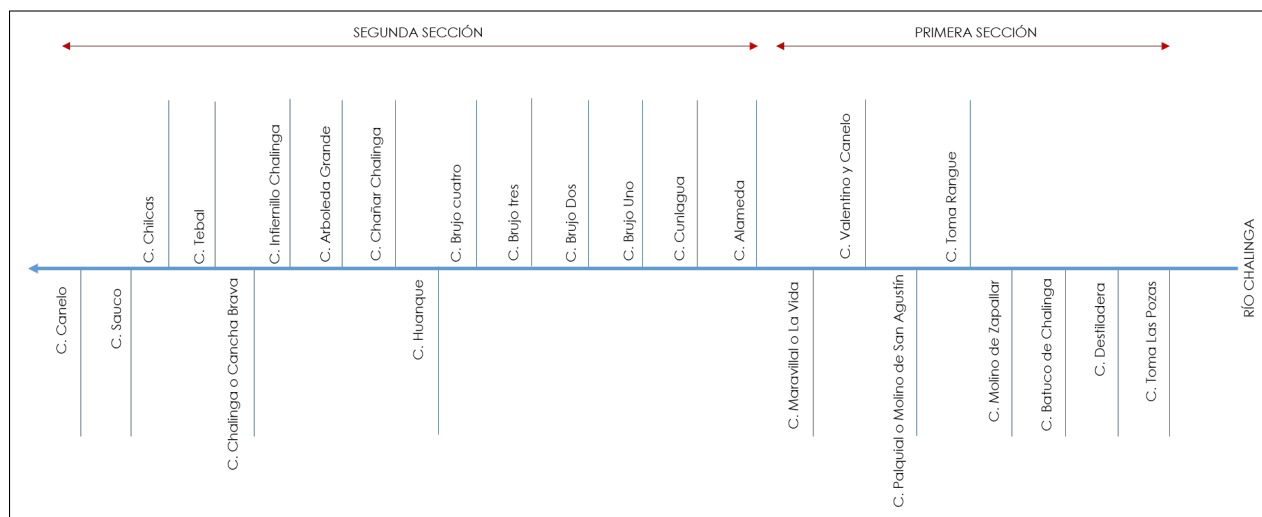


Figura 8: Diagrama Unifilar Junta de Vigilancia del Río Chalinga y sus Afluentes.

Se actualizaron los datos de acciones y capacidad de porteo a partir de la información levantada a la organización correspondiente (Junta de Vigilancia del Río Chalinga y sus Afluentes), de los canales:

- **Arboleda Grande**, con 98,76 acciones, equivalentes a 119  $L/s$ .
- **Chalinga o Cancha Brava**, con 104,93 acciones, equivalentes a 150  $L/s$ .
- **Huanque**, con 109,26 acciones, equivalentes a 140  $L/s$ .

Se generó un escenario llamado *Escenario Revestimiento*, el cual contiene la actualización del número de acciones asociada a los derechos nominales sobre el río Chalinga y la pérdida por conducción equivalente a 0%

Al correr tal escenario, el modelo muestra como el revestimiento de esta sección del río Chalinga, afecta de manera positiva la cobertura de la demanda agrícola, particularmente los cultivos anuales. Tal efecto muestra un 4% como promedio de mayor cobertura a lo largo de la serie temporal. Sin embargo, es en los momento de menor disponibilidad hídrica cuando los efectos son mayores, donde la cobertura aumenta en mas de un 10% en meses de mayor demanda.

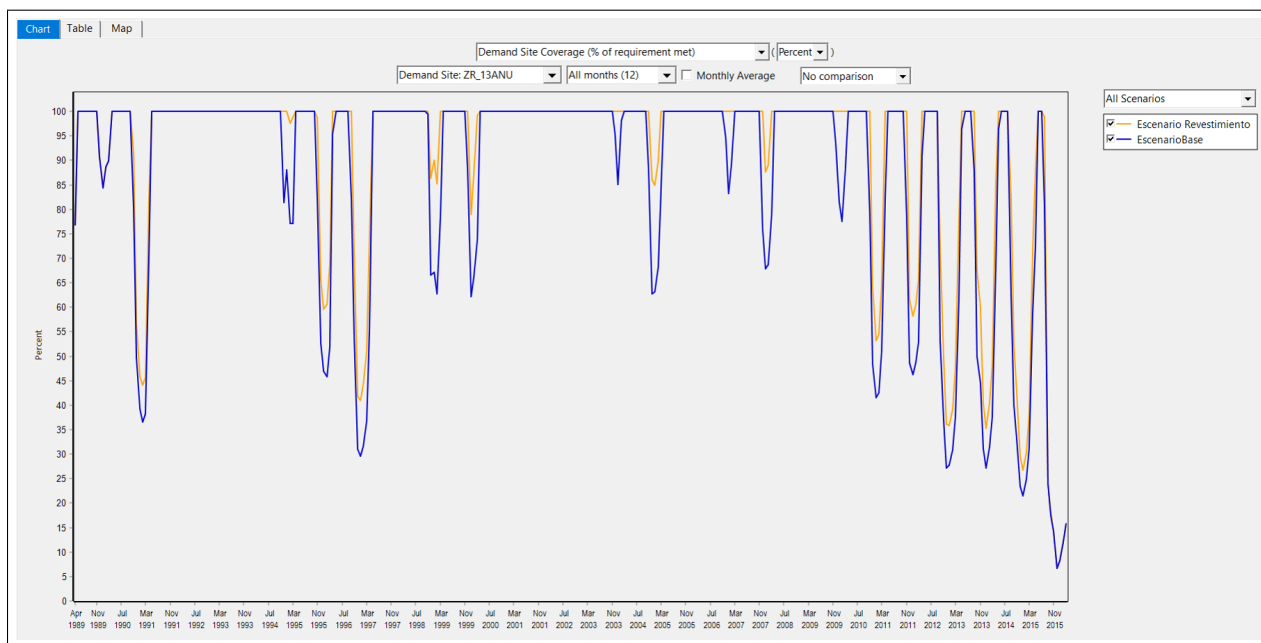


Figura 9: Cobertura de la demanda de cultivos anuales (%). Zona influenciada por los canales de la sección 2 del río Chalinga.

De igual manera la seguridad de la cobertura de la demanda de esta zona agrícola (cultivos anuales), sostuvo un aumento producto del revestimiento de sus canales a lo largo de la serie temporal. En el escenario base, la demanda fue satisfecha en un 100%, el 68,5% de las oportunidades, mientras que en el escenario con revestimiento de canales, la seguridad aumentó a un 77,2% (Figura 10).

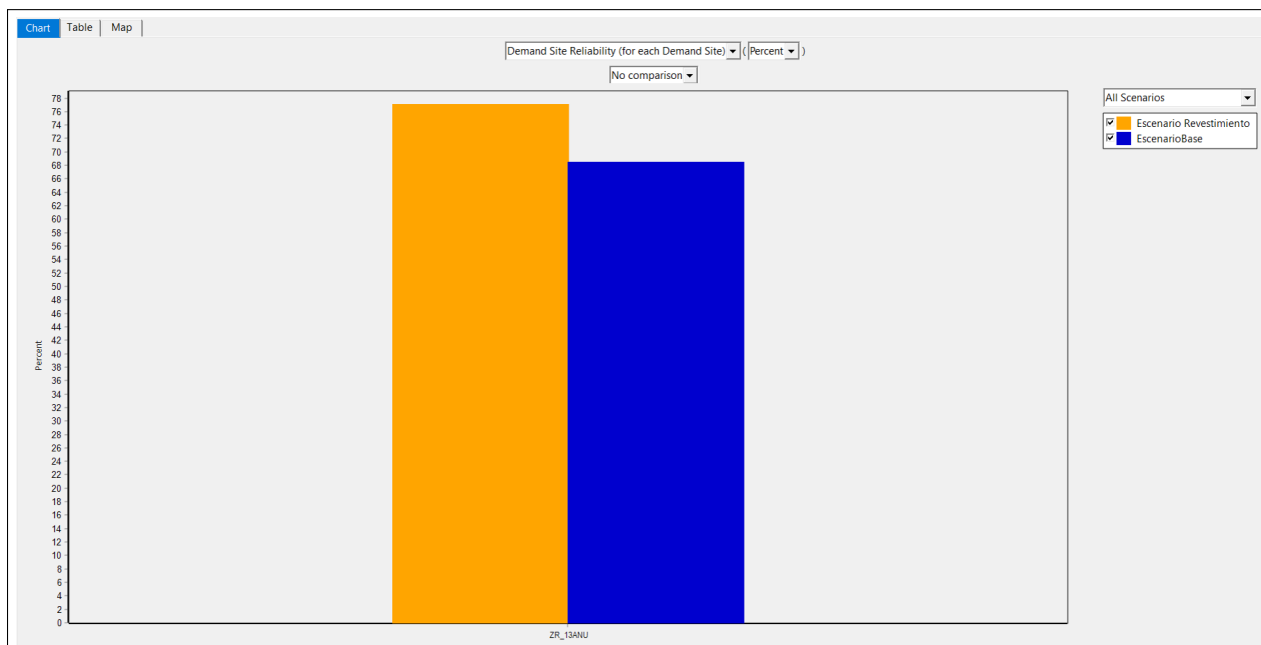


Figura 10: Seguridad en la cobertura de la demanda de cultivos anuales (%). Zona influenciada por los canales de la sección 2 del río Chalinga.

Los otros parámetros evaluados no tuvieron diferencias significativas entre ambos escenarios.