



Corporación Regional de Desarrollo Productivo Región de Coquimbo

**ESTUDIO DE MODELOS DE GESTIÓN
DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS,
PARA LAS CUENCAS DE LAS PROVINCIAS DE
ELQUI, LIMARÍ Y CHOAPA**

RESUMEN EJECUTIVO

Diciembre de 2014



Equipo de trabajo

Damaris Orphanópoulos Stehr

Jefe de Proyecto

Pascal Dumoulin Weitzel

Ingeniero de Modelación

Pablo Isensee Martínez

Especialista Modelación

Guido Soto Alvarez

Coordinador en Región

Sebastián Vicuña

Pablo Alvarez

Equipo asesor WEAP y WEAP Limarí

Gonzalo Arévalo

Abogado

Juan Luis Walker

Psicólogo Organizacional

Contraparte técnica e Inspección

Cristián Baquedano

Comisión Regional de Desarrollo Productivo

Eje Recursos Hídricos

**ESTUDIO DE MODELOS DE GESTIÓN
DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS,
PARA LAS CUENCAS DE LAS PROVINCIAS DE
ELQUI, LIMARÍ Y CHOAPA**

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivo del estudio	1
3. Campañas de terreno	2
4. Talleres de participación de actores y usuarios.....	2
5. Habilitación y estructura del modelo WEAP	2
6. Metodología de extracción y análisis de resultados modelo WEAP.....	3
7. Modelo WEAP_Elqui_CRDP_2014.....	4
8. Modelo WEAP_Limarí_CRDP_2014.....	7
9. Modelo WEAP Choapa CRDP 2014	11
10. Modelo de pronóstico.....	14
11. Talleres de capacitación	15
12. Conclusiones y recomendaciones.....	15

1. Introducción

La Corporación Regional de Desarrollo Productivo de la Región de Coquimbo, entidad sin fines de lucro creada el año 2009 con el objetivo de ser un articulador entre organismos públicos, privados, académicos, científicos y la comunidad, licitó públicamente el “Estudio de modelos de gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos, para las cuencas de las provincias de Elqui, Limarí y Choapa”, con fecha 1 de Diciembre de 2013. La presente propuesta se enmarca dentro del eje de Recursos Hídricos.

La necesidad de realizar el presente estudio emanó no sólo del hecho de que la región se ve afectada por un prolongado período de sequía, sino que también del uso cada vez más intensivo que cada usuario hace de sus derechos de agua, al crecer la Región en cuanto a sus actividades productivas. Entre las estrategias consideradas por la CRDP para apoyar el desarrollo productivo, se encuentra la gestión integrada del recurso hídrico, y la gestión de los acuíferos en su calidad de almacenamiento natural.

2. Objetivo del estudio

Por lo señalado, el objetivo central del presente estudio fue generar una herramienta que pudiera ser aplicada para la gestión de los recursos hídricos, en especial para la gestión de los acuíferos en épocas de sequía. La herramienta debió ser entregada a los usuarios interesados en manejarla, de modo que también hubo que generar contacto con ellos en cada una de las cuencas, y hacer capacitaciones para iniciarlos en el uso del modelo.

La selección de la herramienta a aplicar fue producto de un análisis de varios de los modelos hoy más usados en el medio científico con fines similares. La elección cayó en el modelo WEAP, debido a la semejanza conceptual con el modelo MAGIC, y su uso creciente en Chile. El modelo WEAP fue recientemente aplicado en la cuenca del Huasco, y está siendo estudiado, ampliado y aplicado en las cuencas del Limarí, Maipo y otras, tanto por la Universidad de Chile como por la Universidad Católica de Chile.

El estudio tuvo los siguientes objetivos específicos:

- a) Configurar y calibrar el sistema de gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos a utilizar, para la modelación de las cuencas de Elqui, Limarí y Choapa.
- b) Desarrollar escenarios para las cuencas de Elqui, Limarí y Choapa, en base a requerimientos de la CRDP Coquimbo, en conjunto con organizaciones de usuarios de agua de las cuencas de Elqui, Limarí y Choapa.
- c) Desarrollar capacitación a miembros de las organizaciones de usuarios de agua de las cuencas de Elqui, Limarí y Choapa, que participaran en el estudio.

3. Campañas de terreno

Durante el presente estudio se realizaron 5 campañas de terreno, en los meses de marzo, abril, julio, octubre y noviembre de 2014, que tuvieron por objetivo reconocer el terreno, hablar con los usuarios relevantes con fines de precisar y actualizar algunos aspectos para la modelación, realizar los talleres de participación ciudadana y efectuar las capacitaciones, todo ello, en cada una de las tres cuencas.

4. Talleres de participación de actores y usuarios

Se llevaron a cabo talleres en La Serena, Ovalle y Salamanca, con el objetivo de incorporar el enfoque territorial relacionado con cada cuenca. En especial, interesó dar difusión al proyecto, y conocer las medidas y acciones que los actores quisieran explorar a través de las posibilidades que abre un modelo de simulación como el WEAP, y en particular, los escenarios a explorar en el presente estudio. Se usó la metodología de facilitación grupal de espacio abierto, y como resultado se obtuvo un listado de temas los cuales se tuvieron en cuenta en el momento de proponer y consensuar escenarios de modelación.

5. Habilitación y estructura del modelo WEAP

El modelo WEAP se puede descargar en forma gratuita desde el sitio www.weap21.org. Si no se cuenta con licencia, esta versión de descarga sólo permite trabajar con sistemas muy pequeños, de un máximo de 3 nodos y 6 tramos, de manera de guardar los resultados para una siguiente sesión. Para modelos mayores, si bien permite abrirlos, trabajar con ellos y calcular los resultados, no permite guardar los cambios. Para esta consultoría se adquirió una licencia de modelación por US\$ 3.000. Para otro tipo de usos, por ejemplo académicos, el costo sería más bajo. El modelo WEAP trae tutoriales gratuitos para su aprendizaje, que se encuentran en el mismo sitio web www.weap21.org.

WEAP consta de cinco vistas principales, que someramente son las siguientes:

- a) Vista esquemática: permite armar el modelo en base a elementos que se agregan mediante selección y arrastre. La vista esquemática incluye una interfaz SIG básica, la cual es de gran utilidad para adjuntar y desplegar información georreferenciada, como ayuda para el armado del modelo y la ubicación relativa de los elementos modelados.
- b) Datos: se ingresan todos los datos y estadísticas que caracterizan tanto la oferta como la demanda, y todas las ecuaciones que rigen los flujos en forma externa, como por ejemplo las reglas de operación.
- c) Resultados: Es el botón mediante el cual WEAP calcula el escenario solicitado. Los resultados se despliegan de tres formas: en gráficos, tablas o en un mapa. Los formatos del gráfico y mapas permiten una visualización animada de los resultados a través del tiempo. Los resultados de las tablas pueden ser exportados a Excel. Los

gráficos pueden ser guardados como favoritos. Desde los favoritos, se puede armar un conjunto de gráficos en el explorador de escenarios, y exportarlo a Excel.

- d) Explorador de Escenarios: El explorador de escenarios permite agrupar una serie de gráficos representativos para revisar en forma rápida el comportamiento de algunas variables clave de un escenario simulado, o de varios escenarios juntos para compararlos. De esta forma, permite evaluar muy fácilmente los efectos que los cambios introducidos en un escenario producen en los resultados. Esta herramienta se utiliza también para exportar en forma masiva los resultados fuera del modelo, hacia archivos .xls o .csv.
- e) Notas: Abriendo esta pestaña, el operador tiene la posibilidad de agregar comentarios, documentar los datos ingresados, establecer los supuestos asumidos, etc. Esta posibilidad es muy atractiva para el traspaso del modelo desde el modelador a los usuarios, pues éstos se informan directamente de todos los supuestos y aspectos que el modelador estimó conveniente consignar. La versión del modelo WEAP que se entrega con este informe, incluye las notas.
- f) Apoyo externo al modelo: Además de las coberturas SIG, el modelo WEAP es capaz de buscar los elementos que requiere para los cálculos, desde cualquier ubicación en el computador, que se le indique mediante una ruta.

6. Metodología de extracción y análisis de resultados modelo WEAP

El modelo entrega una gran cantidad de resultados como producto de los balances hídricos que realiza para cada elemento del sistema. Por lo tanto, es muy importante contar con una metodología de análisis de resultados. Por esta razón, en el estudio CAZALAC / RODHOS 2006 se desarrolló una forma de agrupar la gran cantidad de resultados que entregaba el modelo MAGIC, en grupos de variables relacionadas, para luego visualizarlas gráficamente, en diferentes planillas de análisis. Para el presente estudio, dichas planillas se completaron con los resultados adicionales que es posible obtener con el modelo WEAP, se agregaron algunas variables útiles de visualizar, y se reordenaron los resultados para permitir una mejor comprensión del sistema a través de la visualización de todas las variables.

En el modelo WEAP, todos los resultados son directamente exportables a planillas excel (Microsoft Inc.). Sin embargo, también se pueden previamente ordenar por tema, estructurar un explorador de escenario con varios favoritos, y luego exportar los resultados, agrupados por tema, a planillas excel. La exportación se hace mediante una instrucción en Visual Basic, desde el propio modelo WEAP.

Se armaron 5 exploradores principales que corresponden a las 5 temáticas de visualización de resultados:

- Balance_AC: Balance de acuíferos
- Balance_ZR: Balance de zonas de riego
- Balance_CA: Balance de canales

Calib_SUP: Calibración superficial
 Calib_SUB: Calibración subterránea

El análisis de todas las planillas permite perseguir el camino del agua en cada elemento, y verificar, validar o corregir los supuestos iniciales.

7. Modelo WEAP Elqui CRDP 2014

Se entregan en este capítulo los grandes números que caracterizan el balance hídrico de la cuenca del Elqui.

a) Oferta

Hay dos tipos de oferta, la de precipitación que genera escorrentía, y la de almacenamiento. En los 15 años de período de calibración, 1999-2014, la cuenca del Elqui se caracteriza por una oferta de precipitación que genera la escorrentía de la Tabla 7.1 adjunta.

Tabla 7.1
Caudal total cuenca Elqui y probabilidad de excedencia asociada

Probabilidad de excedencia %	Caudal total m3/s
0.04	27.11
0.08	20.10
0.12	14.40
0.15	13.64
0.19	13.04
0.23	11.16
0.27	11.02
0.31	10.63
0.35	9.97
0.38	9.19
0.42	8.24
0.46	7.78
0.50	7.68
0.54	7.05
0.58	6.24
0.62	6.02
0.65	5.81
0.69	5.27
0.73	4.53
0.77	4.07
0.81	3.61
0.85	3.37
0.88	2.85
0.92	2.17
0.96	2.15

Según se puede apreciar en la Tabla 7.1, la oferta del año 85% sería de 3,37 m3/s, lo que equivale a 106 millones de m3/año, mientras que la oferta del año 50% sería de 7,68 m3/s, lo que equivale a 242 millones de m3/año.

La oferta de almacenamiento superficial está representada por dos embalses, La Laguna y Puclaro, con una capacidad de 240 millones de m3. En la actualidad casi sólo aporta el embalse La Laguna.

La oferta de almacenamiento subterráneo sería de unos 450 millones de m³, como volumen máximo, incluyendo 180 millones de m³ del acuífero Culebrón. Bajo el embalse Puclaro se encontrarían unos 220 millones de m³, mientras que sobre el embalse los restantes 50 millones de m³. Algunos acuíferos, en la actualidad, no estarían a capacidad máxima, entre ellos, Culebrón y Elqui Bajo.

b) Demanda

La demanda tiene dos formas de manifestarse: como demanda neta o consuntiva, y como demanda total. La demanda actual, consuntiva y total de los diferentes usos, se muestra en las Tablas 7.2 y 7.3.

Tabla 7.2
Demanda neta y total por uso cuenca Elqui, en m³/s

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	4.18	6.55
Agua Potable	0.58	1.23
Minería	0.80	0.80
Industria	0.43	0.43
Total	6.14	9.15

Tabla 7.3
Demanda neta y total por uso cuenca Elqui, en millones de m³/año

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	132	207
Agua Potable	20	39
Minería	25	25
Industria	14	14
Total	191	284

c) Regla de operación del sistema Elqui

Para cumplir con el objetivo de simular escenarios futuros, tanto un escenario base como los escenarios de operación, fue necesario conocer la regla de operación del sistema hídrico que la Junta de Vigilancia aplica para determinar los desmarques y operar el sistema. Esta regla no existía explícitamente, y se considera un logro del estudio, haberla podido explicitar. En base a lo señalado por la Junta de Vigilancia, también se estableció la forma en que se distribuye espacialmente el desmarque entre los diferentes sectores de riego, y temporalmente a lo largo del año en cada uno de dichos sectores.

d) Calibración y validación del modelo

El modelo se calibró para el período 1999-2011, y posteriormente se validó para el período 2011-2014. La validación mostró que en el período de sequía ha bajado el rendimiento

hídrico de las cuencas pluviales de los ríos Claro, Paihuano y Elqui arriba de Puclaro, aproximadamente al 50% de su rendimiento anterior. La reducción proviene del hecho de que en el mediano plazo, con una sequía prolongada, cesan algunos flujos que alimentan la cuenca con un desfase de años. Asimismo, mostró que la expectativa de riego también bajó, aproximadamente a un 70% de la demanda máxima o potencial, como producto de la reducción del área cultivada, o de la aplicación de riego deficitario.

e) Escenario Operación 1 sobre Futuro Base 3

Proyección en escenario de sequía con demanda de riego reducida al 70%. Se libera el uso de los acuíferos. Hay beneficio para casi todos los sectores con esta medida, y la cuenca sería capaz de suplir el recurso necesario durante la época de sequía, si ésta se prolongara otros tres años. Sufren bajas importantes los acuíferos Santa Gracia, Elqui Bajo y Culebrón.

f) Escenario Operación 2 sobre Futuro Base 3

Proyección en escenario de sequía con demanda de riego al 100%. Se libera el uso de los acuíferos. En esta condición, si bien hay beneficio para casi todos los sectores de riego, finalmente colapsan los acuíferos Santa Gracia, Elqui Bajo y Culebrón, dejando a todos los usos sin agua.

g) Escenario Operación 4 sobre Futuro Base Ext 2

Proyección en escenario de 15 años, Embalse de Cabecera Estero Derecho de 2 millones de m³. Demanda agrícola al 100%. El embalse tendría un efecto positivo sobre la seguridad de riego de las zonas del Estero Derecho, sin afectar en forma sensible la disponibilidad hacia aguas abajo. El volumen almacenado en el embalse Puclaro se reduciría en 0,9 millones de m³ como promedio del período 2014-2029, lo que no es significativo para el desmarque de los canales. Este resultado confirma el obtenido en el estudio del Plan Maestro de Recursos Hídricos, 2013, donde ya se analizó y se recomendó este embalse.

h) Escenario Operación 5 sobre Futuro Base Ext 2

Proyección en escenario de 15 años, mejoramiento de canales principales de los ríos Cochiguaz, Claro, Turbio y Elqui, disminuyendo las pérdidas a la mitad. En este escenario se reducen significativamente las pérdidas desde canales, en unos 700 l/s. Ello impacta de forma diferente los diferentes sectores acuíferos y zonas de riego. Todas las zonas de riego mejoran, en mayor o menor medida, aumentando en total unos 300 l/s la entrega desde los canales a nivel de zona de riego. Esto significa, a su vez, que los acuíferos reciben menos agua por filtraciones desde canales, y más por ineficiencias de riego, al regarse con más agua. El efecto conjunto de ambos aspectos es negativo para el acuífero de Elqui Bajo, y positivo para el acuífero de Culebrón.

i) Visión sinóptica de resultados

En la Tabla 7.4 a continuación, se presentan los valores de las variables más importantes o significativas del balance hídrico realizado por el modelo WEAP, para cada uno de los escenarios. De esta forma, se facilita la comparación y la comprensión de lo que ocurre en cada uno de los escenarios.

Tabla 7.4
Resultados de las variables por escenario

Cuenca Elqui (caudales en m3/s)							
Escenario	Calibración	Futuro Base 3	Operación 1	Operación 2	Futuro Base Ext 2	Operación 4	Operación 5
Período	1999-2014	2014-2017	2014-2017	2014-2017	2014-2029	2014-2029	2014-2029
Área de riego	25318	25318	25318	25318	25318	25318	25318
Caudal captado por canales	12.3	6.0	6.0	5.7	11.8	11.8	11.7
Caudal entrada ZR	5.4	3.4	3.4	3.5	6.2	6.2	6.5
Caudal demanda ZR	6.7	5.9	5.9	8.3	8.3	8.3	8.3
Caudal aporte acuíferos	1.1	2.1	2.4	4.2	1.7	1.7	1.5
Devolución canales	3.4	1.1	1.1	0.8	2.3	2.3	2.8
Afloramiento subt	5.5	1.8	1.7	1.3	4.7	4.7	4.2
Recarga Neta	2.1	2.2	2.5	3.2	3.1	3.1	2.9
Total extracción bombeo	2.3	3.8	4.2	5.8	3.4	3.4	3.3
Demanda Suplida en %	98.9	96.0	99.3	93.6	96.5	96.4	98.1
Salidas al mar	4.6	1.0	1.0	0.9	3.2	3.1	3.1

8. Modelo WEAP Limarí CRDP 2014

El modelo WEAP de la cuenca del Limarí se trabajó con un modelo desarrollado en ambiente académico (Universidad Católica y Universidad de La Serena), en adelante WEAP-UC-ULS, el cual, a su vez, fue elaborado con apoyo en el modelo MAGIC-Limarí del estudio CAZALAC / RODHOS 2006. Se adaptaron algunos aspectos del modelo WEAP-UC-ULS a la presente consultoría. El gran valor del modelo WEAP-UC-ULS, para el presente trabajo, radicó en la programación de la regla de operación del Sistema Paloma, y en la caracterización de las áreas cultivadas.

Las adaptaciones, modificaciones y simplificaciones que fue necesario realizar para poder calibrar el modelo a nivel de cuenca completa, se refieren a los aspectos de hidrología de cabecera, definición de acuíferos, cálculo de la demanda de riego, ajuste de áreas de riego, límite a la extracción desde acuíferos mediante derechos, inclusión de la demanda evapotranspirativa por parte de la vegetación de cauce, ajustes menores de la topología y reordenamiento de todas las prioridades tanto de distribución como de suministro.

En el Informe Final se encuentra la descripción de todos los elementos en base a los cuales quedó habilitado el modelo WEAP para la cuenca del Limarí, tanto los elementos de oferta que son los ríos, embalses, canales y acuíferos, como los de demanda, que son las zonas de riego y centros de demanda no agrícola, con toda la información que los caracteriza, y con su interrelación en cuanto a caudales.

a) Oferta

Se definen dos tipos de oferta, la de precipitación y la de almacenamiento.

En los 15 años de período de calibración, la cuenca del Limarí se caracteriza por una oferta de escorrentía generada por la precipitación, según se muestra en la Tabla 8.1 adjunta.

De acuerdo con dicha tabla, la oferta del año 85% sería de unos 7 m³/s, lo que equivale a 220 millones de m³/año, mientras que la oferta del año 50% sería de 13 m³/s, lo que equivale a 410 millones de m³/año.

La oferta de almacenamiento superficial está representada por tres embalses, Recoleta, Cogotí y La Paloma, con una capacidad de 1000 millones de m³, los cuales en la actualidad están secos o casi secos, aportando muy poco al sistema de riego bajo embalse.

La oferta de almacenamiento subterráneo sería de unos 500 millones de m³, como volumen máximo, de los cuales 280 millones se encontrarían ligados al cauce del río Grande y Limarí bajo el embalse Puclaro, y 80 millones en las terrazas sur del río Limarí.

Tabla 8.1
Caudal total cuenca Limarí y probabilidad de excedencia asociada

Probabilidad de excedencia	Caudal total m³/s
0.04	88.2
0.08	53.8
0.12	35.2
0.16	28.5
0.2	26.3
0.24	23.9
0.28	21.3
0.32	20.5
0.36	17.6
0.4	17.3
0.44	14.3
0.48	13.9
0.52	12.3
0.56	12.1
0.6	11.0
0.64	10.0
0.68	9.4
0.72	9.4
0.76	8.2
0.8	7.8
0.84	7.6
0.88	6.0
0.92	5.5
0.96	5.2

b) Demanda

La demanda tiene dos formas de manifestarse: como demanda neta o consuntiva, y como demanda total. La demanda actual, consuntiva y total de los diferentes usos, se muestra en las Tablas 8.2 y 8.3.

Tabla 8.2
Demanda neta y total por uso, cuenca Limarí, en m³/s

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	12.80	19.60
Agua Potable	0.22	0.35
Minería	0.00	0.00
Industria	0.09	0.09
Total	13.11	20.04

Tabla 8.3
Demanda neta y total por uso, cuenca Limarí, en millones de m³/año

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	404	618
Agua Potable	7	11
Minería	0	0
Industria	3	3
Total	413	632

c) Calibración y validación del modelo

El modelo se calibró para el período 2000-2011, y se validó para el período 2011-2014, de sequía.

De acuerdo con la modelación, en dicho período, las demandas de riego, entendidas como promedio ponderado de toda la cuenca, y considerando tanto los meses de verano como los de invierno, se suplen en un 77%. Este porcentaje de cobertura muestra que la cuenca tiene una gran parte de su área sin riego seguro.

Además, se puede apreciar que el porcentaje de cobertura de la demanda es muy variable dentro de la cuenca. Hay zonas con un área de riego relativamente muy grande, tratando de proveerse de un recurso hídrico escaso, como el Pama y el Combarbalá, mientras que hay zonas casi siempre bien suplidas, como el Hurtado, Rapel, Grande y Limarí, donde las demandas están dentro de lo que los recursos existentes permiten suplir.

Por otro lado, se aprecia que las zonas más deficitarias son las asociadas al Sistema Paloma, que no tienen respaldo de acciones de río, como las terrazas de Punitaqui por el sur del río Limarí, y las zonas de Q.Ingenio y Q. Seca (Villalón) por el norte, donde se extiende gran parte del área cultivada de esta cuenca.

En relación con los canales, ellos reflejan la complejidad del Sistema Paloma, al haber entregas entre ellos.

En relación con los acuíferos, se puede decir que muy mayoritariamente ellos están en un estado alto, debido a que las extracciones que permiten los derechos, son menores que el potencial de recarga. Esto significa que, en muchos casos, hay recargas disponibles que no

están siendo aprovechadas, debido al estado lleno de los acuíferos, y que en algunos casos no son despreciables, como los acuíferos de los ríos Grande y Limarí.

Durante el período 2011-2014, correspondiente al período de sequía, se observa que el Sistema Paloma no se ciñó a la regla de operación, sino que realizó una operación diferente, más solidaria.

De ello se desprende que, si en la sequía no se aplica la regla de operación, será conveniente analizar la forma en que el sistema opera en la realidad durante las sequías, y modificar la regla de operación en ese sentido. De este modo se podrá lograr una operación más realista en escenarios futuros de sequía.

d) Escenario de Operación 1 sobre Futuro Base 1

Proyección en escenario de 15 años de hidrología repetida. Activación de embalses Valle Hermoso y Rapel. Observando el indicador del promedio del porcentaje de demanda suplida, éste sube de 21% a 64% en el sector de riego de Pama, de 91% a 97% en el sector de riego de Rapel, y baja en una gran parte de las zonas de riego que se encuentran bajo los embalses Cogotí, Paloma y Recoleta. A nivel de cuenca completa, ponderado para la toda la cuenca, sube de 70,7% a 75%. El efecto sobre los acuíferos es menor, y no difiere sustancialmente de lo que ocurre en el escenario Futuro Base 1.

e) Escenario Operación 2 sobre Futuro Base 1

Proyección de 15 años de hidrología repetida. Mejoramiento de canales matrices Cogotí, Matriz Paloma, Derivado Recoleta, Derivado Cogotí, Camarico y Matriz Recoleta. El valor global del porcentaje de demanda suplida sube de 70.7% a 71.5%. No hay sectores perjudicados. El revestimiento de canales reduce levemente la recarga potencial de los acuíferos. Sin embargo, la recarga neta se ve muy poco afectada, y tampoco el estado de los niveles

f) Escenario Operación 3 sobre Futuro Base 1

Proyección de 15 años de hidrología repetida. Aumento de eficiencia de riego en toda la cuenca. Se aumentó la eficiencia de riego de los métodos menos eficientes, de 0.5 a 0.65, y de 0.3 a 0.5. Los métodos eficientes (de 0.9) se mantuvieron iguales. Eleva el porcentaje de demanda suplida de 70.7% a 75.9%. Prácticamente toda la cuenca se beneficia, sólo habría un sector que se vería significativamente perjudicado, Punitaqui, por la disminución de los derrames provenientes desde la Terrazas Sur del Limarí. Disminuye notoriamente la recarga disponible o potencial de los acuíferos, afectando poco la recarga neta.

g) Visión sinóptica de resultados

En la Tabla 8.4 a continuación, se presentan los valores de las variables más importantes del balance hídrico realizado por el modelo WEAP, para cada uno de los escenarios. De

esta forma, se facilita la comparación de los escenarios y la comprensión de lo que ocurre en cada uno de ellos.

Tabla 8.4
Resultados de las variables por escenario

Cuenca Limarí (caudales en m ³ /s)					
Escenario	Calibración	Futuro Base 1	Operación 1	Operación 2	Operación 3
Período	2000-2014	2014-2028	2014-2028	2014-2028	2014-2028
Área de riego	54634	54634	54634	54634	54634
Caudal captado por canales	15.5	13.8	13.5	14.1	14.1
Caudal canales entrada ZR	12.4	12.2	11.5	12.5	11.1
Caudal demanda ZR	19.9	20.7	19.5	20.7	17.1
Caudal aporte acuíferos	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Devolución canales	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2
Afloramiento subt	4.2	3.7	3.5	3.1	2.9
Recarga Neta	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
Total extracción bombeo	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
Demanda Suplida en %	74.3	70.7	75.0	71.5	75.9
Salidas al mar	4.0	2.5	2.8	2.7	2.6

9. Modelo WEAP Choapa CRDP 2014

En el Informe Final se encuentra en detalle la forma en que se habilitó el modelo WEAP para la cuenca del Choapa, a partir de todos sus elementos topológicos de oferta, como ríos, embalses, canales y acuíferos, y sus elementos topológicos de demanda, como zonas de riego y centros de demanda no agrícola, con toda la información que los caracteriza, y con su interrelación en cuanto a caudales.

a) Oferta

Se define la oferta de precipitación que genera escorrentía, y la oferta de almacenamiento. En los 15 años de período de calibración, 2000-2014, la cuenca del Choapa se caracteriza por una oferta de precipitación, que se muestra en la Tabla 9.1 adjunta.

Según se puede apreciar en dicha Tabla, la oferta del año 85% sería de 5,7 m³/s, lo que equivale a 180 millones de m³/año, mientras que la oferta del año 50% sería de 11,4 m³/s, lo que equivale a 360 millones de m³/año.

En cuanto a la oferta de almacenamiento, en la cuenca hay dos embalses superficiales, Corrales y El Bato, con una capacidad de 75,5 millones de m³.

La oferta de almacenamiento subterráneo sería de unos 400 millones de m³, como volumen máximo, repartidos como sigue: 140 millones de m³ en el Choapa Alto, 35 millones en el Chalinga, 120 millones en el Choapa Medio incluido el Camisas, 35 millones en el río Illapel y 70 millones en el Choapa Bajo. A diferencia de las dos cuencas anteriores, en este caso los valores de capacidad acuífera fueron estimados a partir de los resultados del estudio hidrogeológico que Corfo está llevando a cabo en la región.

Tabla 9.1
Caudal total cuenca Choapa y probabilidad de excedencia asociada

Probabilidad de excedencia %	Caudal total m ³ /s
0.04	54.0
0.08	42.6
0.12	25.5
0.16	25.3
0.20	23.4
0.24	20.1
0.28	19.5
0.32	18.1
0.36	17.5
0.40	17.4
0.44	15.5
0.48	12.2
0.52	10.6
0.56	10.1
0.60	9.8
0.64	9.4
0.68	8.9
0.72	7.7
0.76	7.3
0.80	6.4
0.84	5.8
0.88	5.5
0.92	5.0
0.96	4.3

b) Demanda

La demanda tiene dos formas de manifestarse: como demanda neta o consuntiva, y como demanda total. La demanda actual, consuntiva y total de los diferentes usos, se muestra en las Tablas 9.2 y 9.3.

Tabla 9.2
Demanda neta y total por uso cuenca Choapa, en m³/s

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	4.73	9.82
Agua Potable	0.09	0.14
Minería	0.54	0.54
Industria	0.01	0.01
Total	5.37	10.51

Tabla 9.3
Demanda neta y total por uso cuenca Choapa, en millones de m³/año

Uso	Demanda neta	Demanda total
Riego	149	310
Agua Potable	3	4
Minería	17	17
Industria	0	0
Total	169	331

c) Calibración del modelo

El modelo se calibró para el período 2000-2014. En este período se asumió una política de desmarques basados en una estadística real para el río Choapa, mientras que para los ríos Chalinga e Illapel se dejó que el modelo WEAP asignara los desmarques optimizados, de acuerdo con los cálculos internos, hasta la entrada de operación del embalse El Bato en el río Illapel, en marzo de 2012, y hasta marzo 2014 en el río Chalinga. Se obtiene un porcentaje de demanda suplida, de 91,6%, entendiendo este valor como promedio de todos los meses, de invierno y verano, a lo largo del período de calibración.

Si bien la calibración del modelo resultó exitosa, es necesario reconocer que hay muy pocos acuíferos con registro de nivel estático, por lo que la calibración subterránea está poco sustentada en la realidad.

d) Escenario Futuro Operación 1 sobre Futuro Base 1

Proyección de 3 años se sequía similar a la actual. Apoyo de acuíferos para suplementar canales y lograr desmarque mínimo deseado, en sequía. Se obtienen caudales de explotación adicional de 157 l/s, muy reducidos, que no tienen efectos sensibles sobre los acuíferos. Esto muestra que el sistema hídrico de la cuenca del Choapa permitiría suplir las demandas mínimas deseadas casi solamente con aguas superficiales, sin necesidad de acudir a los acuíferos. Solamente el acuífero de Zapallar, en la cabecera del río Chalinga, no podría ser habilitado para entregar mayores caudales, pues es muy pequeño, y muy dependiente de la hidrología, por lo que en años secos llegaría a colapsar.

e) Escenario Futuro Operación 2 sobre Futuro Base 2

Proyección de 3 años de sequía extrema, recurso 70% de la sequía actual. Apoyo de acuíferos para suplementar canales y lograr desmarque mínimo deseado. En este escenario, los caudales de explotación subterránea adicional serían de unos 1100 l/s, y harían descender el nivel de varios acuíferos, tanto del Choapa como del Illapel y del Chalinga. Sin embargo, los acuíferos aún estarían lejos de colapsar, salvo el de Zapallar. Bien administrados y controlados, los acuíferos podrían generar el recurso necesario para suplir la demanda deseada por tres años más, en estas muy precarias condiciones de oferta.

f) Escenario Futuro Operación 3 sobre Futuro Base 3

Proyección de 14 años. Embalses Chalinga y Totoral. Embalses Chalinga de 5 millones de m³ en La Palmilla, y Totoral, de 30 millones de m³ en la junta de los ríos Choapa y Valle, ambos con regla de operación. Se observa que las zonas de riego bajo el embalse Chalinga obtendrían una mejora de 2% en el porcentaje de demanda suplida. Ello se debe a que el embalse es muy chico, y opera casi sólo en sequía, pero tampoco cubre grandes lapsos de años secos. A nivel de cuenca completa, ambos embalses generan un aumento no relevante, de 0,5% en el porcentaje de la demanda suplida.

g) Visión sinóptica de resultados

En la Tabla 9.4 a continuación, se presentan los valores de las variables más importantes del balance hídrico realizado por el modelo WEAP, para cada uno de los escenarios. De esta forma, se facilita la comparación de los escenarios y la comprensión de lo que ocurre en cada uno de ellos.

Tabla 9.4
Resultados de las variables por escenario

Cuenca Choapa (caudales en m3/s)							
Escenario	Calibración	Futuro Base 1	Operación 1	Futuro Base 2	Operación 2	Futuro Base 3	Operación 3
Período	2000-2014	2014-2017	2014-2017	2014-2017	2014-2017	2014-2028	2014-2028
Área de riego	16791	16791	16971	16791	16791	16791	16791
Caudal captado por canales	16.1	7.8	7.9	6.6	7.5	18.0	18.4
Caudal canales entrada ZR	6.1	4.3	4.4	3.8	4.3	7.2	7.2
Caudal demanda ZR	7.1	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
Caudal aporte acuíferos	0.1	0.2	0.3	0.2	1.3	0.05	0.05
Devolución canales	4.4	1.1	1.1	0.7	0.8	4.9	5.2
Afloramiento subt	8.7	3.2	3.1	2.5	2.2	9.2	9.4
Recarga Neta	0.7	1.1	1.3	1.1	2.0	0.8	0.8
Total extracción bombeo	0.7	1.1	1.3	1.2	2.2	0.8	0.8
Demanda Suplida en %	91.6	70.9	71.6	66.3	71.2	94.7	95.2
Salidas al mar	10.6	2.3	2.3	1.1	1.1	10.5	10.4

10. Modelo de pronóstico

El estudio incluyó el desarrollo de un modelo de pronóstico de derretimiento de nieves, aplicado en forma de piloto a la cuenca del río Elqui en Algarrobal. El modelo utilizado fue el llamado HBV, en su versión light, disponible en forma gratuita en internet.

El modelo se suele utilizar para generar la escorrentía histórica en cuencas no controladas, a partir de su calibración en una cuenca con control fluviométrico. También puede servir para generar la escorrentía esperada en una temporada futura determinada, si se puede conocer o anticipar la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración potencial en dicho período futuro. En la Región de Coquimbo, la precipitación de la temporada de verano tiene alta probabilidad de ser nula, y las temperaturas y evapotranspiración pueden ser estimadas en base a registros históricos, por lo cual este modelo resultó apto para ser usado como modelo de pronóstico.

Se desarrolló un modelo HBV para cada una de las subcuencas aportantes hasta la estación Elqui en Algarrobal, definidas en el modelo WEAP. En cada subcuenca se calcula una escorrentía de derretimiento, la que se introduce como hidrología de entrada al modelo WEAP, el cual aporta todas las demandas y genera todas las interacciones, para llegar finalmente a un determinado caudal en la estación Elqui en Algarrobal. Aquí, la estadística pronosticada se compara con los caudales efectivamente observados en la estación.

El proceso de calibración consistió en adecuar los parámetros de las diversas subcuencas

modeladas con el modelo HBV, hasta lograr reproducir los caudales de la estación Elqui en Algarrobal.

El posterior proceso de pronóstico se realizó con los valores de los parámetros calibrados. Se realizaron los pronósticos de todos los años entre 2011 y 2014, incluido el pronóstico para la temporada actual octubre 2014-abril 2015, con un resultado totalmente aceptable, en especial para la última temporada de riego. También se efectuó un pronóstico para la temporada agosto 2014 – marzo 2015, de 42 millones de m³. El pronóstico DGA para septiembre 2014-marzo 2015 es de 49 millones de m³.

Se considera que la aplicación del modelo HBV aún podría mejorarse, explorando capacidades de modelación de glaciares y consideración de orientación de laderas, que, dados los plazos y alcances del trabajo, no fueron incluidos.

11. Talleres de capacitación

Uno de los objetivos específicos del estudio era hacer una capacitación en cada cuenca, en la cual se realizara el traspaso de la herramienta de modelación desarrollada, WEAP Elqui, WEAP Limarí y WEAP Choapa respectivamente, a todos los usuarios interesados de la Región.

Con este fin, se programaron misiones intensivas de capacitación de dos días en cada cuenca. Se estructuró un instructivo con algunas indicaciones que los asistentes debían atender en forma previa al taller mismo. Durante el taller, se pasaron algunos tutoriales del modelo WEAP, para familiarizar a los asistentes con el modelo. En base a los escenarios modelados en cada cuenca, se configuró una guía con ejercicios, los que fueron desarrollados con los asistentes durante el taller. Finalmente, se preparó un CD, en el cual se grabó la última versión del modelo WEAP de cada cuenca, además de todo el material del taller y los resultados de los ejercicios, para apoyar el trabajo posterior de cada alumno.

12. Conclusiones y recomendaciones

a) Cuenca Elqui

Se desarrolló un modelo WEAP con apoyo en el modelo MAGIC-Elqui desarrollado en el trabajo de CAZALAC / RODHOS 2006.

Durante la calibración del modelo WEAP-Elqui, se pudo observar que la productividad de la cuenca se está reduciendo a raíz de la sequía. Para reproducir los valores medidos, hubo que reducir al 50% el aporte hidrológico pluvial de algunos sectores en los últimos años.

En los acuíferos Culebrón y Elqui bajo Quebrada Marquesa, en la condición actual los derechos existentes permiten una explotación muy fuerte, que eventualmente podría llevar a una situación de sobreexplotación temporal en épocas de sequía. En estos acuíferos se recomienda controlar las extracciones actuales y los niveles.

Los demás acuíferos, aunque pequeños, si bien no podrían alimentar derechos permanentes, podrían aliviar la escasez de una sequía como la actual.

A raíz de algunos escenarios de proyección de la sequía por otros 3 años, se pudo estimar que el conjunto de acuíferos de la cuenca del Elqui podría dar soporte a las demandas reducidas a un 70% de la demanda potencial. Para ello sería necesario permitir su uso más allá de los derechos actuales, salvo en Elqui Bajo, Culebrón y Santa Gracia.

El acuífero Costa, en ninguno de sus tres sectores norte, centro y sur, pareciera verse aún afectado por la sequía. Ello hace pensar que tal vez sería adecuado trasladar hacia este acuífero, en su sector sur (AC_COS_03), los derechos que la minera Teck hoy explota en el Elqui Bajo. El análisis de la viabilidad de esta propuesta podría realizarse con el modelo WEAP-Elqui.

En cuanto a la evaluación de nuevas obras, se analizó el efecto de un embalse de cabecera de 2 millones de m³ en la cabecera del Estero Derecho, el cual mostró ser positivo, porque al mismo tiempo que favorece mucho al sector de riego del Estero Derecho, no genera efectos negativos perceptibles sobre el sistema de aguas abajo. Por lo señalado, la implementación de este embalse es técnicamente justificable.

También se analizó el efecto del revestimiento de canales. Se observa que este hecho tiene efectos tanto positivos, sobre las zonas de riego, a las que favorece directamente aumentando su demanda suplida, como negativos, en especial sobre los sectores acuíferos que dejan de percibir las infiltraciones por ineficiencias, por lo que se hace necesario evaluar localmente el efecto de este tipo de medidas.

Se considera un logro, obtenido en conjunto con la Junta de Vigilancia, el hecho de haber podido establecer una regla de operación para el sistema hídrico de la cuenca del Elqui. Con los años de estadística disponible en la Junta de Vigilancia, y la experiencia en el manejo del recurso, se pudo entender y expresar matemáticamente la forma en que se establece el desmarque de la cuenca, en función de las características hidrológicas de los períodos antecedentes, y del estado del embalse Puclaro en agosto de cada año. Ello significa un avance técnico importante para la Junta de Vigilancia.

b) Cuenca Limarí

Se trabajó sobre un modelo preexistente, WEAP-UC-ULS, modificando y simplificando algunos aspectos para poder calibrarlo a nivel de cuenca completa.

El trabajo de calibración mostró que, si bien hay muchas estaciones de cabecera, hay pocas estaciones alteradas que sirven para calibración, especialmente en los ríos Grande y Limarí. Por esta razón, una de las recomendaciones que se desprende del presente trabajo, es contar con algunas estaciones en régimen alterado, especialmente bajo embalses, en los ríos Hurtado y Limarí, en apoyo a la calibración de modelos de gestión integrada.

La calibración también mostró que en los últimos años de sequía, la entrega se ha alejado de la regla preestablecida. Esto efectivamente ha ocurrido, debido a que la gestión se hace

en forma más solidaria de lo que permite la regla. De este hecho se desprende la recomendación de revisar la regla de operación y proponer una nueva regla para estados de extrema escasez, como el actual, que se produce después de varios años de sequía, donde la regla vigente, en su forma estricta, no tiene aplicación.

En vista de la prolongada sequía, se observa una reducción del área cultivada, porque el agua disponible sólo alcanza a cubrir una fracción de la demanda. La cuenca está preparada para una entrega de agua reducida, con cultivos anuales en general poco tecnificados, de alrededor de un 50% del área total cultivada. Sin embargo, la falta de agua ya ha superado ese límite, y el área que estuvo bajo cultivo en la temporada 2013-2014, se estima entre 30 y 40%, de acuerdo con los resultados de la modelación.

Los acuíferos no tienen gran importancia en esta cuenca, salvo bajo los embalses Recoleta y Paloma. En los ríos de cabecera, sobre embalses, en general los acuíferos son pequeños, y están suficientemente explotados con los pocos derechos que tienen en la actualidad. Los acuíferos más importantes se encuentran en el río Hurtado bajo Recoleta, Grande bajo Paloma, río Limarí y Terrazas de Punitaqui. Con excepción de éste último, que se deprime sensiblemente en épocas de sequía, los acuíferos en general no están afectados por el uso actual, manteniéndose siempre llenos.

Si bien no se ha hecho el análisis del grado en que podrían explotarse los acuíferos para dar sustento al sistema de aguas superficiales, se puede decir que al menos los acuíferos grandes del río Grande bajo Paloma y Limarí, pueden ser usados para aliviar situaciones de extrema escasez en sequía, y que sería conveniente simular algunos escenarios en ese sentido. El problema del uso de estos acuíferos podría ser el de la calidad del agua.

En cuanto a acciones mayores como la construcción de embalses, se aprecia que el embalse Valle Hermoso se ubica en una de las zonas actualmente peor suplidas de la cuenca. Para ser eficiente, debe ser cuidadosamente operado, y acompañado con una tecnificación total del riego y mejoramiento de canales. De esta forma, podría elevar el porcentaje de demanda suplida en la zona de riego del Pama, de 10% en la actualidad, a 35% en la condición desarrollada. El embalse Rapel, en cambio, se inserta en una zona que es una de las mejor suplidas dentro de la cuenca del Limarí, por lo que se recomienda revisar su justificación.

Ambos embalses en conjunto, afectan una gran parte de las zonas de riego bajo los embalses Cogotí, Paloma y Recoleta, que quedan levemente desfavorecidas con estas obras. Sin embargo, el aumento global del porcentaje de demanda suplida, a nivel de cuenca, resulta de 4,3%.

En cuanto al mejoramiento de canales, es eficiente poner el énfasis en los canales mayores. Las pérdidas por infiltración que se evitan y que los acuíferos dejarían de percibir, no afectan en forma significativa a ningún sector, y, por el contrario, la medida beneficia a una gran parte de la cuenca. El aumento del porcentaje de demanda suplida es de 1%.

La tecnificación de riego se perfila, una vez más, como una alternativa técnicamente muy atractiva para abordar el problema crónico de falta de agua en la cuenca bajo embalses. Genera beneficios prácticamente para toda la cuenca, sin perjuicios salvo en la zona de riego del estero Punitaqui, cuya afección podría manejarse de otra forma, por ejemplo con mayor acceso al agua subterránea. El aumento del porcentaje de demanda suplida se estima en 2,3%.

c) Cuenca del Choapa

Como se ha visto, la modelación es una herramienta que puede llegar a ser bastante confiable si se sustenta en un buen conocimiento de la realidad. En la cuenca del Choapa hay una cantidad adecuada de controles superficiales de caudal, enfocados hacia la determinación de los caudales de entrada al sistema, intermedios, y de salida. Algunas estaciones intermedias que han sido suspendidas, como Choapa en Limáhuida, por presentar un régimen alterado, cumplirían un fin importante desde el punto de vista de calibración. Se recomienda reponerla. También se sugiere controlar el caudal de salida de la cuenca del río Chalinga, antes de su confluencia con el río Choapa.

Los controles que son muy escasos en la cuenca, son los subterráneos. Para la modelación se definieron 26 tramos acuíferos, de los cuales sólo 5 tienen control de nivel estático. En vista de la conveniencia y la necesidad de explotar los recursos subterráneos, como complemento a los recursos superficiales, en especial en épocas de sequía como la actual, es necesario establecer más controles en el acuífero, de modo de monitorear su comportamiento y gestionar su uso en tiempo real.

Los acuíferos más importantes se sitúan en el río Choapa, Alto, Medio y Bajo. También hay acuíferos, aunque menores, en los ríos Chalinga e Illapel y esteros Camisas y Quelén. Todos tienen alguna capacidad de explotación. El acuífero donde no convendría aumentar la explotación actual, sería el de Zapallar.

En cuanto a las zonas de riego agrícola, las mejor suplidas son las del Choapa Bajo, que no resienten en forma importante ni siquiera la actual sequía, y el Choapa Medio, que se surte bien en condiciones normales, pero que se resiente en las temporadas altas, desde 2012/2013, presentando fallas. También se pueden considerar bien suplidas, en años normales, las zonas de riego del río Choapa Alto, que comienzan con fallas en la temporada 2011/2012. Estas fallas podrían ser evitadas recurriendo a los acuíferos.

Las zonas de riego del río Illapel están bien suplidas en años normales, mostrando problemas a partir de la temporada 2012/2013. Hay sectores donde también se podría recurrir a los acuíferos.

En oposición a esto, se observa que las zonas de riego del río Chalinga están crónicamente mal suplidas, y peor aún en los últimos años de sequía, lo que muestra que las áreas que se pretende cultivar superan las posibilidades del recurso superficial. El valle de Chalinga también presenta acuíferos no despreciables, que sería conveniente explorar.

La recomendación para todos los sectores es hacer uso de sus acuíferos, como complemento al agua superficial, y bajo supervigilancia de la evolución de los niveles estáticos. Los acuíferos constituyen una capacidad de almacenamiento y de regulación que la cuenca necesita, y que la naturaleza ha puesto a su disposición. Además, en la actualidad, están subexplotados.

La limitante para acceder a los acuíferos es administrativa, pero puede ser revertida al menos en épocas de extrema sequía, mediante los decretos de escasez.

En cuanto a los embalses, se desprende la importancia de operarlos con reglas de operación que reduzcan la captación en el invierno, y establezcan un volumen máximo a distribuir en el verano, de modo que puedan cumplir una función de regulación al menos anual, y en lo posible, interanual. Sin embargo, la inclusión de dos embalses de cabecera, en Chalinga y Totoral, no permitió elevar en forma sustantiva el porcentaje de demanda suplida del valle (0,5%). Ello indicaría, por un lado, que los embalses deben ser acompañados de otras medidas de eficiencia, como la tecnificación y el mejoramiento de canales, y por otro lado, que la solución de este valle no habría que buscarla en los embalses superficiales, sino que, primero, en la gestión de los acuíferos, embalses naturales disponibles, y casi todos ellos subexplotados en la actualidad.

Para mejorar la gestión del recurso hídrico en esta cuenca, y entrar en la era de la gestión integrada, es de especial importancia que existan organizaciones de usuarios que puedan dotarse de conocimiento y de herramientas que le permitan monitorear y proyectar adecuadamente el sistema, y tomar decisiones adecuadas, esto significa que no sobreexploten, pero tampoco subexploten, sus recursos hídricos, pues son renovables. En ese contexto, el presente estudio constituye un muy buen comienzo.

d) Modelo HBV para pronóstico

La modelación de pronóstico, realizada con el modelo HBV, permitió conocer e introducir este modelo aún muy poco usado en Chile, pero de profusa aplicación a nivel mundial, como aplicación piloto en la cuenca afluyente a Elqui en Algarrobal. El modelo ofrece una gran variedad de posibilidades para representar la realidad nival y de derretimiento, así como la realidad pluvial de cuencas de índole muy variada. Es un modelo muy amplio, que también considera la existencia de glaciares, y que debiera ser más profundamente explorado que lo que se ha podido hacer en el contexto y dentro de los alcances del presente estudio. Como conclusión del análisis efectuado, se puede decir que el modelo constituye una herramienta sencilla, pero válida, útil, atractiva, fácil de usar, y además gratuita, que pudo ser aplicada con buenos resultados en la Región.

e) Modelo WEAP

Un modelo de simulación de balance como el WEAP es fácil de entender conceptualmente, pero requiere de una gran cantidad de antecedentes para que pueda lograrse el objetivo de hacer una representación útil de la realidad. El trabajo de modelamiento de una cuenca, la calibración del modelo y la interpretación adecuada de los resultados, requiere conocer a

fondo no sólo la manera en que el WEAP opera, y el significado de cada una de las variables que se obtienen como resultados, sino que también la cuenca y sus características en todo lo referente a recursos hídricos.

El modelo WEAP permite modelar y representar un sistema hídrico, y aplicar las reglas de operación que reflejan la forma en que los usuarios se organizan para aprovechar de la mejor forma este recurso.

El modelo muestra la interrelación entre los flujos que se producen entre los diversos elementos que configuran hídricamente un sistema:

- por parte de la oferta, las subcuencas aportantes, los cauces, acuíferos y embalses, y
- por parte de la demanda, los sistemas de riego, los usos de agua potable, industria, minería, y los requerimientos ecología.

Todos los flujos de interrelación entre estos elementos, que el modelo calcula, no es posible conocerlos sin una modelación, por la gran cantidad de complejidades inherentes al sistema hídrico y la imposibilidad de medirlos.

Una vez calibrado, el modelo también permite observar el comportamiento del sistema hídrico en función de determinadas acciones aplicadas sobre él. Al permitir predecir los efectos que dichas acciones tienen sobre el sistema, el modelo constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

Por otro lado, es necesario tener presente que todos los modelos tienen limitaciones, las cuales hay que conocer para no caer en la sobreinterpretación de los resultados.

La conclusión del estudio respecto de la modelación integrada con el modelo WEAP, es que este modelo ha podido ser experimentado como una herramienta muy versátil, suficientemente amistosa como para ser entendida por usuarios preparados, atractiva, y de gran proyección en la Región. El modelo WEAP ofrece aspectos de mucho interés que aún no han sido explorados, como la inclusión de centrales hidroeléctricas, la evaluación económica de los escenarios calculados, la modelación de la calidad a lo largo de los cuerpos de agua, y la modelación conjunta con ModFlow para una representación más acuciosa de los acuíferos. Por lo tanto, se considera que es una herramienta que debiera quedar activa en el acervo técnico-cultural de la Región.