



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

PARTNERING FOR ADAPTATION AND RESILIENCE – AGUA (PARA-AGUA) PROJECT

CONTRACT NO. I4SI6384WK01, ORDER NO. OAA-TO-13-00037

QUILCA CHILI

WEAP MODEL WITH REFINED STRATEGY

June 2016

This publication was produced for review by the United States Agency for International Development.
It was prepared by AECOM.

PARTNERING FOR ADAPTATION AND RESILIENCE – AGUA (PARA-AGUA) PROJECT QUILCA CHILI WEAP MODEL WITH REFINED STRATEGY

CONTRACT NO. 14SI6384WK01, ORDER NO. OAA-TO-13-00037

Submitted to:

AECOM International Development

Prepared by:

The Stockholm Environmental Institute

Subcontract Number:

Master Services Agreement No: 14SI6384WK01

Task Order No.: 8

Deliverable No.: 13

Project Task:

Task 3: Strengthening planning systems that optimize water use over the whole length of watersheds in the context of climate change adaptation

Language:

The document is in the Spanish language and includes a one page executive summary in English. The WEAP model is submitted separately to fulfill the requirements of Deliverable 3.

DISCLAIMER:

DISCLAIMER:

This document is made possible by the generous support of the American people through the U.S. Agency for International Development (USAID). The contents of this document do not necessarily reflect the views of USAID or the U.S. Government.

TABLA DE CONTENIDOS

Executive Summary	5
Introducción	6
Área de Estudio	7
Aplicación del modelo WEAP en el área de estudio	7
PRIMERA ETAPA: Actualización de datos y calibración	8
SEGUNDA ETAPA: Desarrollo de estrategias refinadas	22
Conclusiones	28
Anexo 1. Using the WEAP model folder	30

Acrónimos

AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ADR	Apoyo a las Decisiones Robustas
ALA	Administración Local del Agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua
AUTODEMA	Autoridad Autónoma de Majes
ARMA	Autoridad Regional de Medio Ambiente
CRHC QC	Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca Chili
DESCO	Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo
EGASA	Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa
FDUA	Formalización de Derechos de Agua
GORE	Gobierno Regional
INADE	Instituto Nacional de Desarrollo
INGEMMET	Instituto Nacional de Geología Minera y Metalúrgica
PADH	Plan de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas
PARA Agua	Partnering for Adaptation and Resilience -Agua
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
PGRHC	Plan de Gestión de Recursos Hídricos de Cuenca
PMGRH	Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RDS	Robust Decision Support
SEI	Stockholm Environment Institute
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública
SMCV	Sociedad Minera Cerro Verde
USAID	United States Agency for International Development
UNSA	Universidad Nacional San Agustín
WEAP	Water Evaluation and Planning system
ZEE	Zonificación Ecológica Económica
XLRM	X: Exógenos, L: Elementos, R: Relaciones, M: Medidas

EXECUTIVE SUMMARY

After the first Performance Workshop on March 30th 2016, the WEAP model underwent an extended process of updates and calibration as new data and information, particularly about the regional recharge and extraction of groundwater, reservoir characteristics and operations, and recent water permit values, became available. Additionally, four integrated strategies were refined and prepared for implementation in WEAP, with the support and input of the Quilca-Chili modeling group.

A local report characterizing groundwater flows in the Quilca-Chili context provided important insight about the location and process of groundwater recharge and the locations and supply of water from springs, particularly in the Oriental subwatershed (INGEMET 2010). This new information was applied to the WEAP model via a refined representation of recharge and use of groundwater and spring water. Additionally, more recent data about reservoir operations and physical characteristics became available, the most important being updated Elevation-Volume curves for the seven reservoirs in the Chili Regulado system. The water demand from the agricultural, industrial, and domestic sectors were also updated to the most recent 2015 water permit values. In parallel, a trial-and-error calibration process identified the values for soil parameters, such as root zone conductivity and soil water capacity, for each land use type in the WEAP model catchment objects that produce streamflows most closely correlated to observed streamflows.

Additionally, the modeling group for the Quilca-Chili watershed participated in a brainstorming process to develop four integrated strategies that have been further refined and will be implemented in the WEAP model as future scenarios. These four strategies are more thorough than the strategies initially explored in the first performance workshop, to allow local actors to visualize more completely the impact these adaptation actions may have on reducing the vulnerability of the Quilca-Chili watershed to climate change and other future uncertainties.

The four integrated strategies are: an improved efficiency in use and distribution of water in the agricultural sector, an optimization of reservoir operations to improve both water quality and quantity, the conservation of soils in forests, wetlands, and grasslands for increased infiltration, and the construction and operation of three new reservoirs (Casa Blanca, Mosopuquio, and Asta de Venadao). These strategies will be modeled in WEAP in three phases of time and at three corresponding implementation levels, with the exception of the optimized reservoir operations which will be applied in a uniform manner to the entire length of the future scenario. In response to feedback from local actors, the ecological flow requirements will be recalculated and implemented in the base case scenario rather than as an adaptation strategy, as will the operation of the already-constructed La Enlozada treatment plant.

These strategies have been developed and will be implemented into the WEAP model, after which the results of future scenarios will be visualized using Tableau and presented for discussion at the second Performance Workshop in August 2016.

INTRODUCCIÓN

El reporte detalla las actividades de la mejora del modelo de la cuenca Quilca-Chili a partir de la retroalimentación del taller de evaluación del desempeño de medidas de adaptación del 30 de marzo 2016, realizado en la ciudad de Arequipa, en donde se consideraron mejoras en el modelo y las estrategias de adaptación al cambio climático implementadas. El modelo WEAP siendo un modelo hidrológico flexible puede ir mejorando y haciéndose más robusto con la información que puede ser incluida. En este caso, se puso mucho énfasis en la simulación de aguas subterráneas y con ello lograr mejorar la calibración principalmente en la cuenca Oriental.

Así mismo, se mejoró la información de embalses, principalmente con información de la curva volumen – elevación y parte de la cuenca Colca, y se actualizó la información de demandas de acuerdo a las licencias entregadas a los diferentes usuarios agrícolas al 2015.

También, el reporte contiene las estrategias implementadas y validadas durante el taller del 30 de marzo y las que fueron mejoradas con la participación del grupo de modelamiento, específicamente desarrolladas en el mes de abril, en que se realizó un taller de seguimiento con el grupo de modelamiento que se centró en una discusión de estrategias integradas. Como conclusión de este taller, se dejaron dos estrategias a ser simuladas en la serie actual desde el modelo base: la implementación de caudales ecológicos y la operación de la planta de tratamiento La Enlozada. Además, se agregaron algunas estrategias adicionales, como la construcción de las represas Asta de Venado en la cuenca Quilca Chili y Mosopuquio en la cuenca Oriental.

Con la participación del grupo de modelamiento y el apoyo de la Secretaria Técnica del CRHC Quilca-Chili, se definieron y se refinaron cuatro estrategias integradas a implementar en el modelo WEAP para un segundo análisis de desempeño de escenarios futuros. Estas estrategias integradas tienen el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la cuenca al cambio climático y a otras incertidumbres futuras. Las cuatro estrategias son: conservación de cobertura de suelo, operación de embalses para optimizar calidad y cantidad de agua, incremento de eficiencia en uso agrario y en conducción, e incremento de capacidad de regulación con el ingreso de nueva infraestructura como las dos represas ya mencionadas.

En la simulación se propuso la implementación de las cuatro estrategias integradas por fases en el tiempo y en su implementación, en donde la fase I será simulada complementando con las fases 2 y 3, con el fin de observar el impacto de las estrategias de acuerdo a la propuesta de ejecución. Estas estrategias constituyen entonces proyectos de adaptación al cambio climático que toman en cuenta los plazos en los que es posible implementarlas a corto, mediano y largo plazo de acuerdo al Plan de Gestión de Recursos Hídricos de Cuenca (PGRHC).

ÁREA DE ESTUDIO

El modelo incluye la parte alta de la cuenca Colca donde se ubican los embalses Pañe, Sumbay y Condoroma cuyas aguas llegan al río Chili mediante la derivación Pañe Sumbay haciendo un área de 15 853.44 Km². La cuenca tiene una zona regulada donde su oferta depende de la descarga de los 7 embalses; éstos son: Pañe, Bamputañe, Dique los Españoles, Pillones, Challhuanca, El Frayle y Aguada Blanca. En este último embalse se regula la descarga hasta los sitios de demanda de Chili Regulado.

Un estimado de 969,284 habitantes reside actualmente en la cuenca Quilca-Chili, concentrada en la región metropolitana de Arequipa. Los distritos más poblados de Arequipa son Cerro Colorado (148,164 habitantes), Paucarpata (124,755 habitantes), Cayma (91,802 habitantes), Alto Selva Alegre (82,412 habitantes), José Luis Bustamante y Rivero (76,711 habitantes), Socabaya (78,135 habitantes).

La cuenca Quilca-Chili sostiene las actividades agrícolas, donde los agricultores plantan cultivos en función de las características locales de clima, suelo y agua. Gran parte de la agricultura es en pequeña escala. El 70,5% de los agricultores poseen parcelas de menos de 3 hectáreas, representando el 15,9% del área total. Predominan cultivos de alfalfa, cebolla, maíz chala, grano, patatas, pimienta, calabaza, ajo y alcachofas.

Además, de la agricultura se encuentran otros usos productivos y el uso poblacional y primario; dentro de los usos productivos tenemos el uso minero, energético e industrial (como fábrica de cementos, curtiembres y embotelladoras). Ellos tienen como fuente principal el río Chili y manantiales que se encuentran en la cuenca.

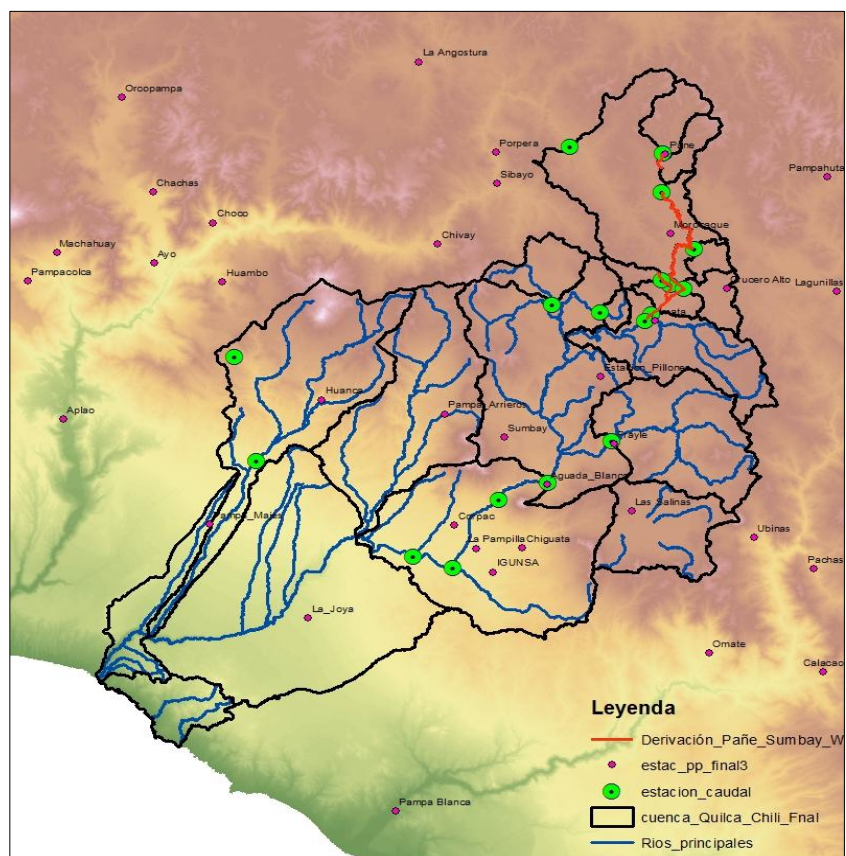


Figura I. Cuenca Quilca Chili

Fuente: Elaboración propia - SEI

APLICACIÓN DEL MODELO WEAP EN EL ÁREA DE ESTUDIO

PRIMERA ETAPA: ACTUALIZACIÓN DE DATOS Y CALIBRACIÓN

Siguiendo el primer taller de desempeño de escenarios del 30 de marzo, el donde se presentaron resultados del modelamiento y la implementación de las estrategias, se procedió a mejorar el modelo en cuanto a la calibración, la actualización de datos y de condiciones históricas, y la implementación de estrategias integradas hasta el futuro. El mejoramiento del modelo como primera etapa se centró en la mejora de la representación de las aguas subterráneas y la operación de embalses, así mismo la calibración de la parte hidrológica.

Resumen del Modelo WEAP de Quilca Chili

Características

- Paso de tiempo: Mensual
- Período de modelación: 1970 hasta 2015
- 131 catchments (Método Precipitación – escorrentía)
- 9 reservorios
- Canales de derivación (Pañe Sumbay) y Condoroma – Tuti
- 143 sitios de demanda actualizadas (Poblacional, agrícola, industrial y minera)
- 7 hidroeléctricas
- 2 plantas de tratamiento de aguas residuales
- Escenarios futuros: 2015 hasta 2050.
- Modelo de gestión Integral de Cuenca

Información de diversas instituciones

- Registros de Variables meteorológicas e Hidrológicas Históricas (Temperatura, Precipitación, Caudales, Humedad Relativa, Viento, etc.) – SENAMHI – AUTODEMA, EGASA, SMCV, Fundo Don Mario, SENASA, Fundo América.
- Usos actuales del Agua Superficial y Subterránea: poblacional, agrario, minero, industrial, energético – CRHC, AAA I O, ALA Chili, ALA CSCH, JU (Volúmenes otorgados de acuerdo a licencias).
- Mapa hidrogeológico (Geología, tipos de suelo, etc.), Inventario de manantiales y pozos - INGEMMET.
- Cobertura vegetal (Secretaría Técnica del CRHC).
- Infraestructura y Reglas de Operación: Embalses, Canales – AUTODEMA, CRHC.
- Hidroeléctrica – EGASA.

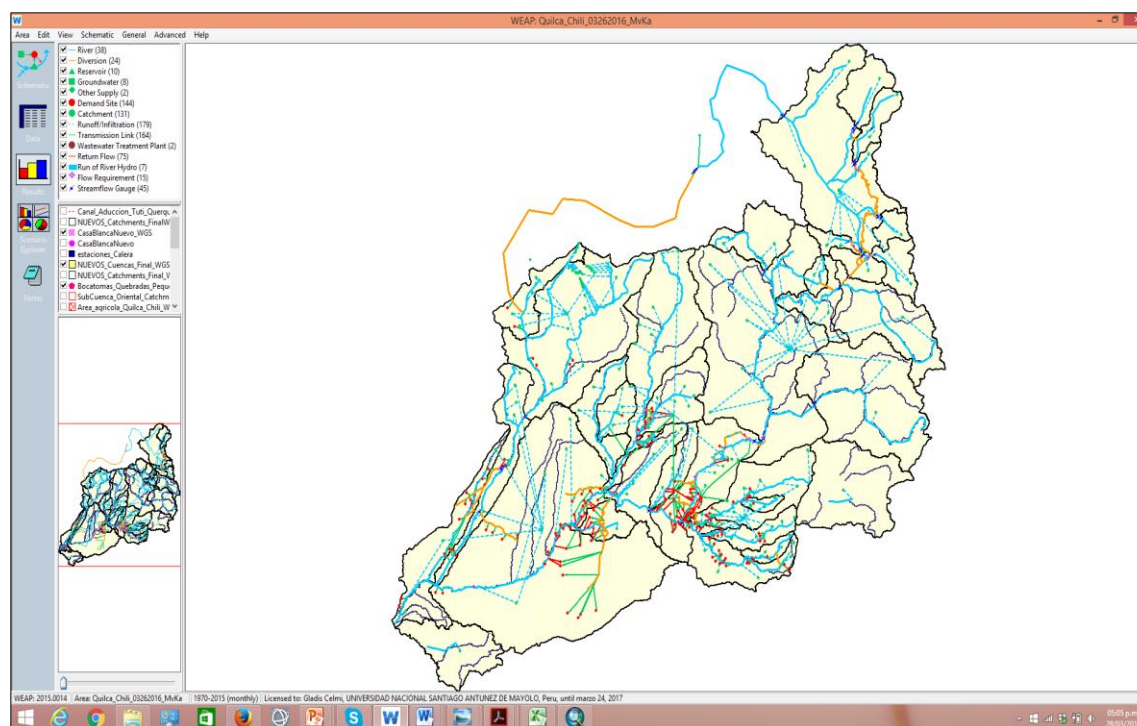


Figura 2. Esquema Modelo WEAP

Fuente: Modelo Hidrológico WEAP – SEI

Agua subterránea

En cuanto a la simulación del agua subterránea en la cuenca, se realizó en función al mapa hidrogeológico de INGEMMET. Sin embargo, la limitada información no permitió conocer el proceso que ocurre en la cuenca de una manera clara. Entonces, para mejorar la representación del proceso de abastecimiento y uso de agua subterránea, se obtuvo el estudio realizado en el 2010 en la cuenca oriental de Quilca Chili por INGEMMET.

Dicho estudio es uno de los pocos que sirve de referencia de la dinámica que ocurre en el flujo sub superficial y su parte del ciclo del agua en la cuenca, sin embargo aún se requiere mayor información; por ejemplo, sobre tiempo de residencia de agua en el acuífero y volumen infiltrado, para su simulación mucho más cercana al proceso físico que ocurre.

Según ese estudio, afloran manantiales principalmente del grupo barroso, que yace discordantemente sobre la Formación Capillune, que se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos morrénicos, fluvio-glaciares y cenizas volcánicas. El volcán Misti, las montañas Pichu Pichu y varios focos volcánicos tiene como litología principal lavas andesíticas y traquiandesitas del Grupo Barroso cuyo espesor es del orden de 1400 m (Guevara, 1969 citado en INGEMMET, 2010). Estas lavas se encuentran altamente fracturadas fundamentalmente verticales, aunque alrededor de los centros volcánicos tienen disposición e inclinación radial que llega hasta los 40° constituyendo un sistema de acuíferos volcánico de tipo fisurado volcánico que da origen a los manantiales de gran caudal (INGEMMET, 2010).

Según el análisis hidrogeológico, hidroquímico e isotópico se ha determinado la existencia de dos sistemas predominantes de flujos (locales e intermedios) cuya dinámica interna obedece al estado de fracturamiento que presentan los acuíferos volcánicos, las mismas que descargan a través de numerosas sugerencias naturales. La recarga proviene de la precipitación pluvial, que se infiltra en rocas permeables de la parte

alta (flujo más regional) para los pozos y a diferentes niveles para los manantiales (flujos locales). Las características geoquímicas e isotópicas de los manantiales de mayor caudal (La Bedoya, Yumina, Ojo del Milagro, Agua de Jesús y Tingo) demuestran estar definidas por sistemas de flujos intermedios a regionales (aguas cloruradas Sódicas), cuyo acuífero de procedencia son los Volcánicos del Grupo Barroso.

Los manantiales de menor caudal están determinados por flujos de corta residencia (aguas sulfatadas cálcicas y bicarbonatos sódicas - cálcicas), estos se recargan en laderas y cumbres del volcán Pichu Pichu, aflorando en el contacto con materiales finos (cenizas y tobas), algunos condicionados por zonas de anomalías, como fallas y fracturas. La única fuente de flujo regional es la fuente termal Aguas de Jesús, estas aguas son de moderada temperatura (23° C) y su componente mineral lo califican como aguas minero medicinal (INGEMMET, 2010). De acuerdo a la información el modelo WEAP se configuró con 23 acuíferos en toda la cuenca, los cuales son alimentados por vínculos de los catchments, para que parte del agua escurra a los ríos y parte alimente al acuífero, dependiendo del tipo de año (húmedo o seco) de los 23 hay 11 principales acuíferos y 12 son manantiales que abastecen tanto a la parte poblacional, agrícola e industrial.



Figura 3. Modelo esquemático del sistema de recarga natural

Fuente: INGEMMET, 2010



Figura 4. Vista general del área de estudio

Fuente: INGEMMET, 2010

Tabla 1. Resultado de análisis isotópicos de la cuenca oriental de Arequipa

N°	Z (m)	Nombre	Código	Q (L/s)
1	2564	Manantial Yumina	I3205-012	240
2	3335	Pozo Mosopuquio	I3205-013	2
3	2566	Manantial Ojo de Characato	I3205-014	130
4	3200	Fuente termal Charcani V	I3205-024	2.5
5	2897	Manantial La Bedoya	I3205-028	320
6	2222	Manantial Tingo	I3205-030	340
7	3399	Manantial Totorani	I3205-042	110
8	2628	Fuente Termal Agua de Jesús	I3205-048	4
9	2328	Pozo-IRHS-014-Socabaya	IRHS-014	11
10	2366	Pozo - IRHS-385-Cerro Colorado	IRHS-385	12
11	2285	Pozo -IRSH-5-ETF -Parque Industrial	IRSH-5-ETF	8

Fuente: Peña y Sulca, 2010

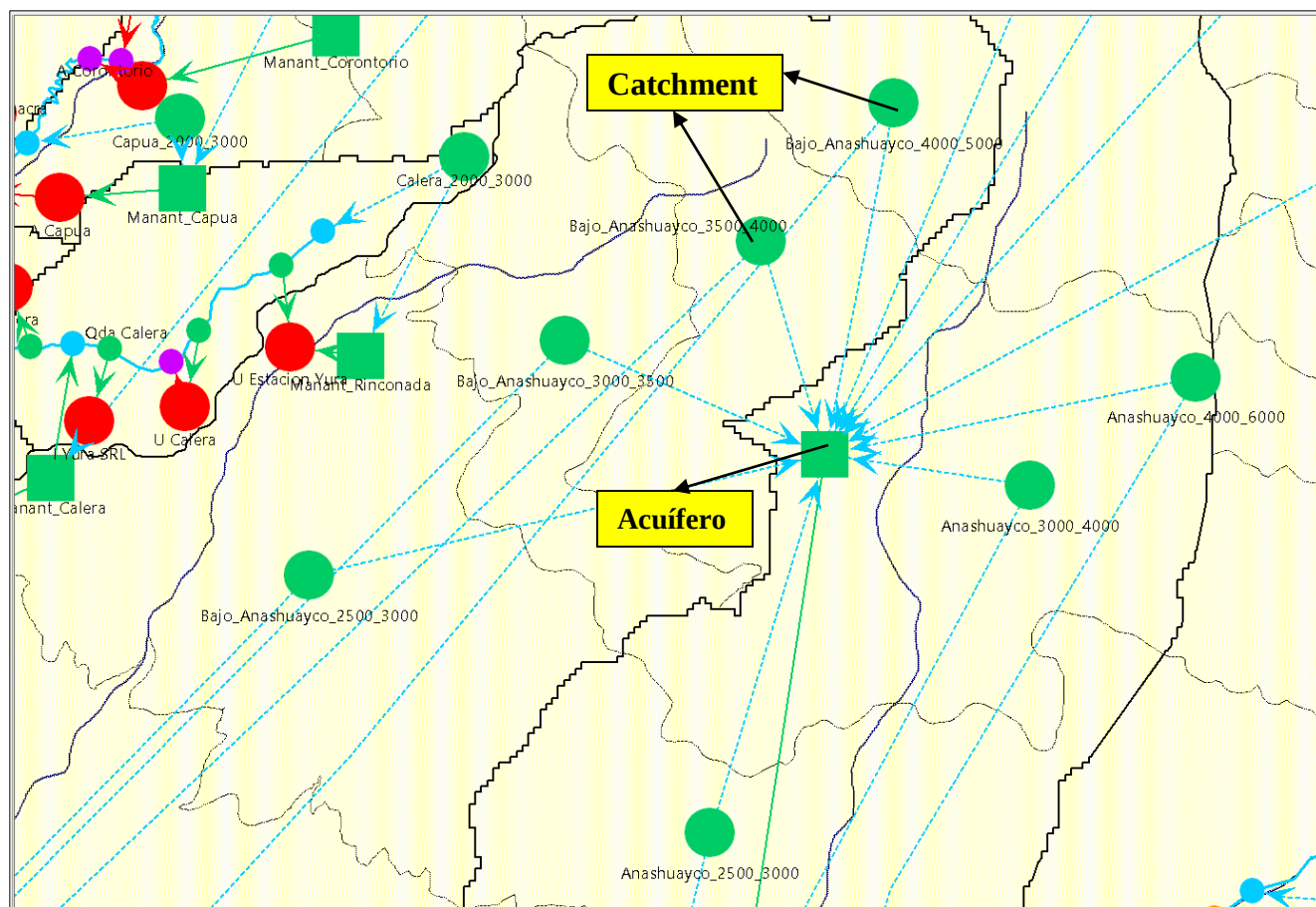


Figura 5. Esquema representación de aguas subterráneas WEAP

Fuente: Modelo Hidrológico WEAP - SEI

Sistema de embalses

La cuenca Quilca-Chili cuenta con una zona regulada y no regulada, la zona regulada se representa en WEAP con los 8 embalses (incluyendo la represa de Condoroma) y la zona no regulada cuenta con la represa de San Jose de Uzuña, que requiere información de la operación, clima, plan de descarga, etc. Dichos datos fueron verificados y actualizados con AUTODEMA y SMCV, especialmente la curva Volumen – Altura, como se muestra en los siguientes gráficos.

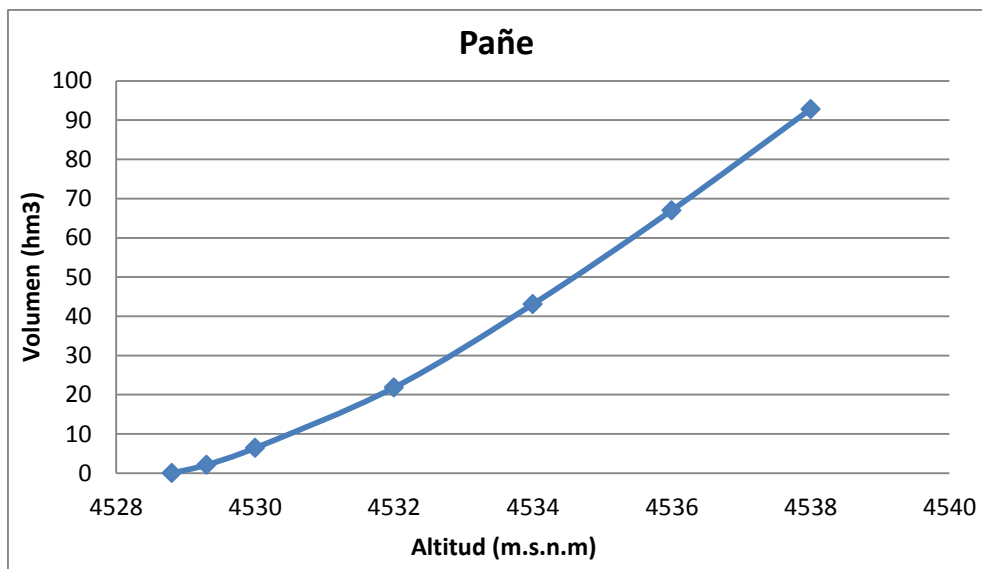


Gráfico 1. Curva Volumen Altura represa Pañe

Fuente: AUTODEMA, 2006

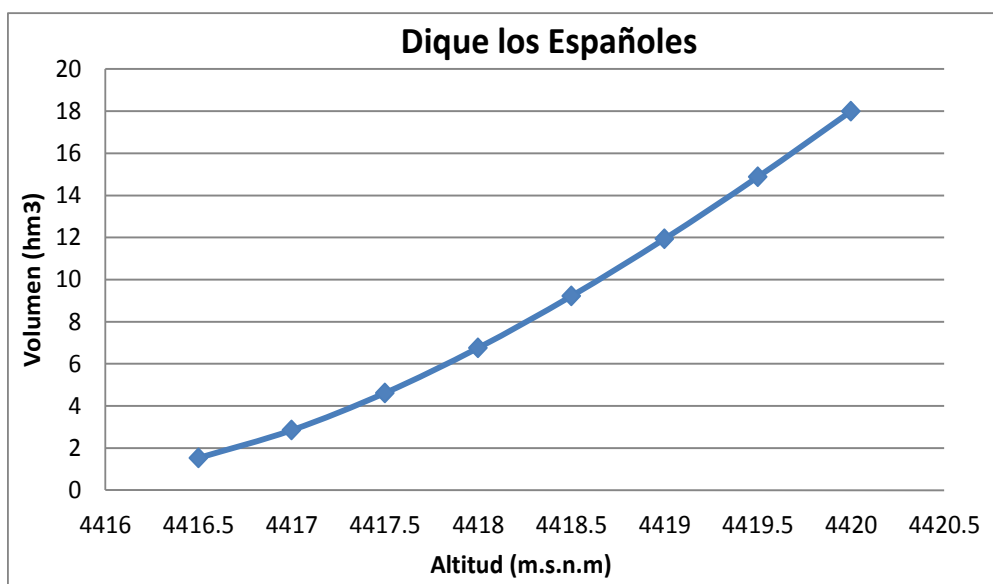


Gráfico 2. Curva Volumen Altura represa Dique Los Españoles

Fuente: AUTODEMA, 1996

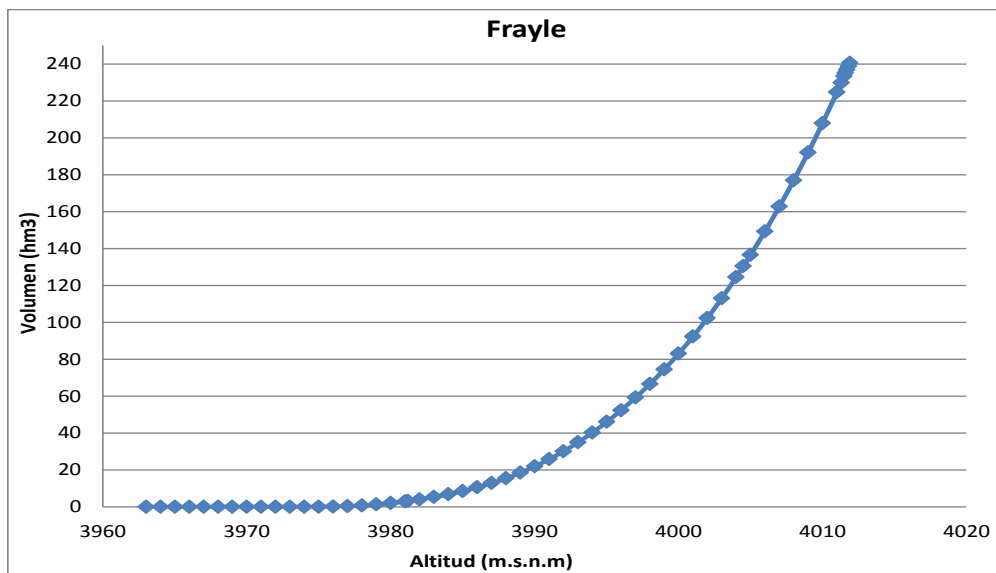


Gráfico 3. Curva Volumen Altura represa Frayle

Fuente: AUTODEMA, 1998

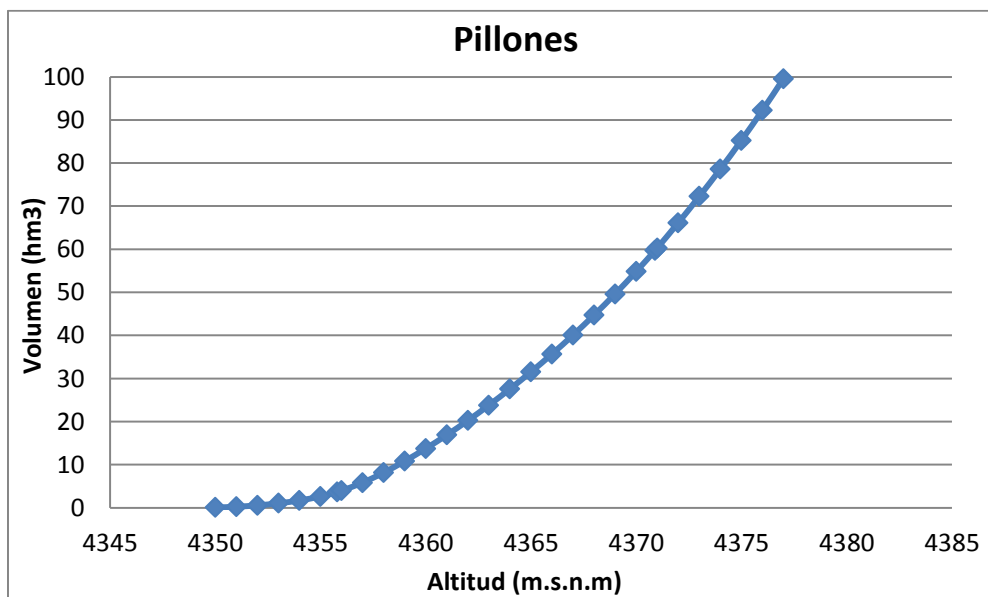


Gráfico 4. Curva Volumen Altura represa Pillones

Fuente: EGASA y SMCV

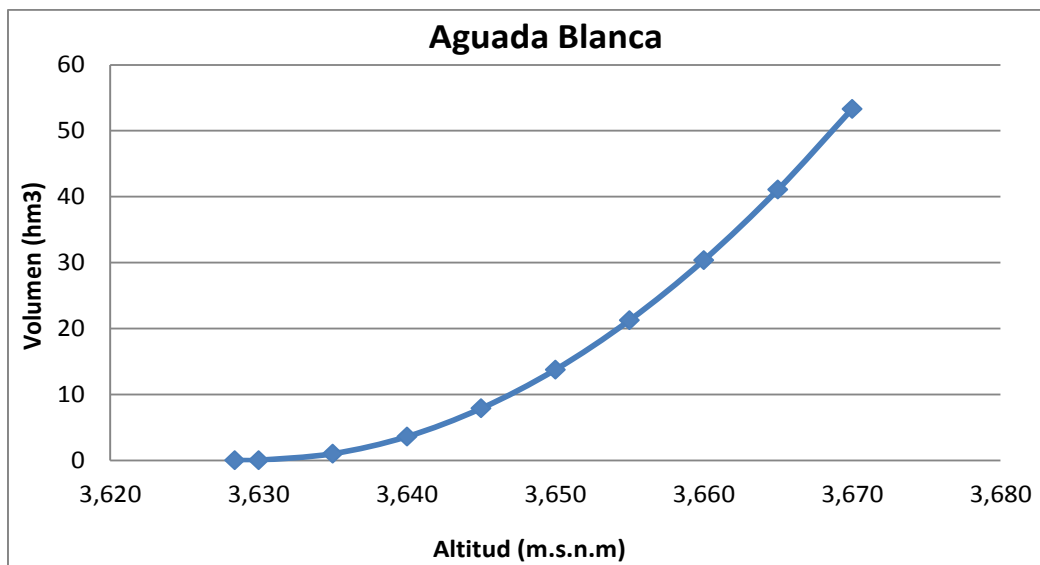


Gráfico 5. Curva Volumen Altura represa Aguada Blanca

Fuente: MVCS, INADE y AUTODEMA, 2003

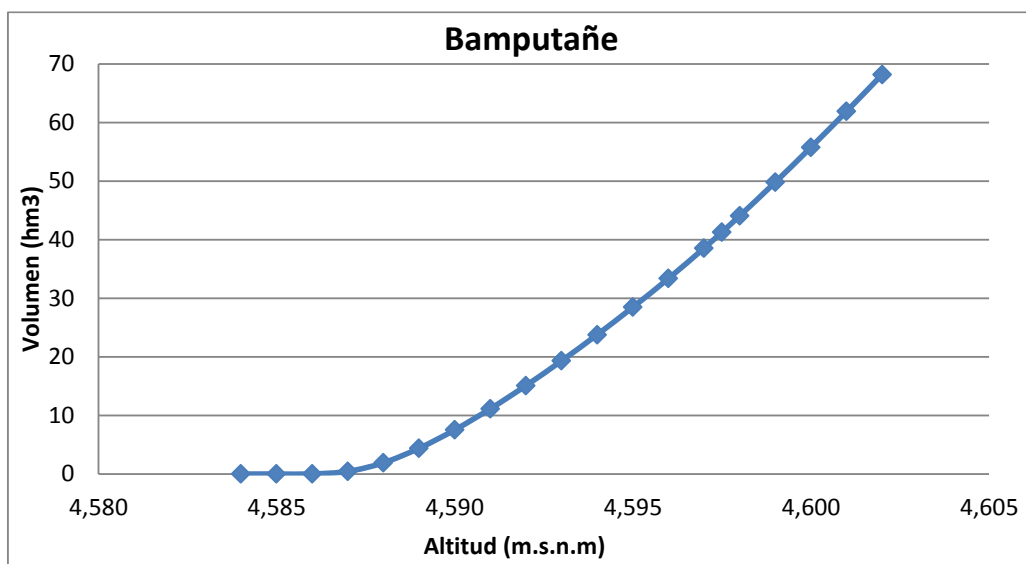


Gráfico 6. Curva Volumen Altura represa Bamputañe

Fuente: SMCV

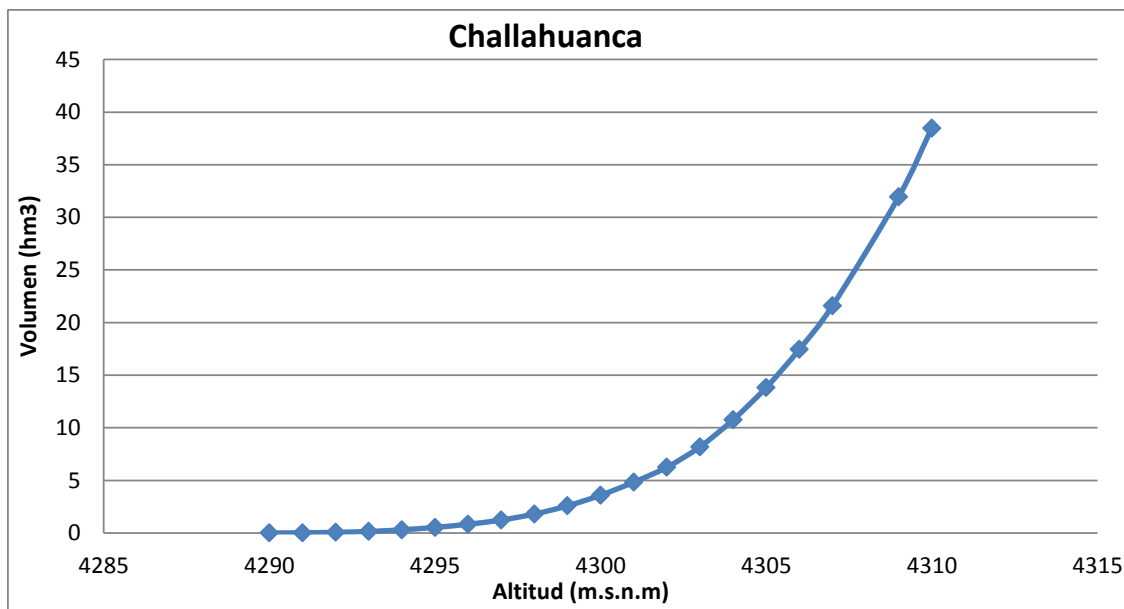


Gráfico 7. Curva Volumen Altura represa Challahuanca

Fuente: EGASA

Demandas cuenca Quilca Chili

Los principales usos son poblacionales, agrícolas, energéticos y mineros. Para los usos agrarios de la cuenca, en caso de la junta de usuarios Chili Regulado cuentan con licencia solo dos comisiones de usuarios Sachaca y Pampas Nueva de Chilina, los demás están en revisión por la Autoridad Administrativa del Agua Caplina Ocoña (AAA - COI). Se actualizaron las demandas con las últimas licencias entregadas en el 2015.

Tabla 2. Usos agrarios

JUNTA DE USUARIOS	COMISION DE USUARIOS	ÁREA (Ha)	DEMANDA MENSUAL (hm ³) (según módulo de 19 000 m ³ /ha/año)												TOTAL (hm ³)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
JUNTA DE USUARIOS CHILI REGULADO	Ac.Alta Cayma-Cerro Colorado - La Chulla	484.41	0.767	0.767	0.767	0.767	0.690	0.690	0.690	0.805	0.844	0.805	0.805	0.805	9.204
	Zamácola	1333.83	2.112	2.112	2.112	2.112	1.901	1.901	1.901	2.217	2.323	2.217	2.217	2.216	25.343
	Alto Cural	500.92	0.793	0.793	0.793	0.793	0.714	0.714	0.714	0.833	0.872	0.833	0.833	0.832	9.517
	Chullo	96.91	0.153	0.153	0.153	0.153	0.138	0.138	0.138	0.161	0.169	0.161	0.161	0.161	1.841
	Antiquilla-Huaranguillo	428.88	0.679	0.679	0.679	0.679	0.611	0.611	0.611	0.713	0.747	0.713	0.713	0.713	8.149
	Bajo Cural	1793.86	2.841	2.841	2.841	2.841	2.556	2.556	2.556	2.982	3.124	2.982	2.982	2.981	34.083
	Tio	437.39	0.693	0.693	0.693	0.693	0.623	0.623	0.623	0.727	0.762	0.727	0.727	0.727	8.310
	Sachaca	224.352	0.421	0.339	0.434	0.494	0.511	0.494	0.466	0.285	0.349	0.406	0.451	0.511	5.160
	Charcani	35.27	0.056	0.056	0.056	0.056	0.050	0.050	0.050	0.059	0.061	0.059	0.059	0.059	0.670
	Pampas Nuevas de Chilina	75.0787	0.141	0.114	0.145	0.165	0.171	0.165	0.156	0.095	0.117	0.136	0.151	0.171	1.727
	Miraflores	322	0.510	0.510	0.510	0.510	0.459	0.459	0.459	0.535	0.561	0.535	0.535	0.535	6.118
	El Medio	81.94	0.130	0.130	0.130	0.130	0.117	0.117	0.117	0.136	0.143	0.136	0.136	0.136	1.557
	Chichas-La Pólvora	137.88	0.218	0.218	0.218	0.218	0.196	0.196	0.196	0.229	0.240	0.229	0.229	0.229	2.620
	Tiabaya-Pampas Nuevas	638.39	1.011	1.011	1.011	1.011	0.910	0.910	0.910	1.061	1.112	1.061	1.061	1.061	12.129
	Uchumayo	287.6	0.455	0.455	0.455	0.455	0.410	0.410	0.410	0.478	0.501	0.478	0.478	0.478	5.464
	Total	6878.710	10.98	10.87	10.99	11.07	10.057	10.035	9.997	11.31	11.92	11.479	11.54	11.61	131.893
	Mollebaya	60	0.095	0.095	0.095	0.095	0.086	0.086	0.086	0.100	0.104	0.100	0.100	0.100	0
JUNTA DE USUARIOS	COMISIÓN DE USUARIOS	ÁREA (Ha)	DEMANDA MENSUAL (hm ³) (según módulo de 20 000 m ³ /ha/año)												TOTAL (hm ³)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
			1667	1667	1667	1667	1500	1500	1500	1750	1833	1750	1750	1749	20000
	Base Aerea	24.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.48

LA JOYA ANTIGUA		878.6	1.46	1.46	1.46	1.46	1.32	1.32	1.32	1.54	1.61	1.54	1.54	1.54	17.57
	La Curva	13.63	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.27
		796.34	1.33	1.33	1.33	1.33	1.19	1.19	1.19	1.39	1.46	1.39	1.39	1.39	15.93
	Cerrito	123.41	0.21	0.21	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	2.47
		155.86	0.26	0.26	0.26	0.26	0.23	0.23	0.23	0.27	0.29	0.27	0.27	0.27	3.12
		427.25	0.71	0.71	0.71	0.71	0.64	0.64	0.64	0.75	0.78	0.75	0.75	0.75	8.55
		127.34	0.21	0.21	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	2.55
		247.15	0.41	0.41	0.41	0.41	0.37	0.37	0.37	0.43	0.45	0.43	0.43	0.43	4.94
	El Ramal	179	0.30	0.30	0.30	0.30	0.27	0.27	0.27	0.31	0.33	0.31	0.31	0.31	3.58
		270.53	0.45	0.45	0.45	0.45	0.41	0.41	0.41	0.47	0.50	0.47	0.47	0.47	5.41
		105.85	0.18	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.16	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2.12
		123.74	0.21	0.21	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	2.47
		103.09	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	2.06
		112.69	0.19	0.19	0.19	0.19	0.17	0.17	0.17	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	2.25
	TOTAL	3688.55	6.15	6.15	6.15	6.15	5.53	5.53	5.53	6.45	6.76	6.45	6.45	6.45	73.77
JUNTA DE USUARIOS	COMISION DE USUARIOS	ÁREA (Ha)	DEMANDA MENSUAL (hm3) , (según módulo de 18 000 y 20 000 m3/ha/año)												TOTAL (hm3)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
LA JOYA NUEVA	La Cano	828	1.38	1.38	1.38	1.38	1.24	1.24	1.24	1.45	1.52	1.45	1.45	1.45	16.56
		507	0.85	0.85	0.85	0.85	0.76	0.76	0.76	0.89	0.93	0.89	0.89	0.89	10.14
	San Isidro	1744.32	2.91	2.91	2.91	2.91	2.62	2.62	2.62	3.05	3.20	3.05	3.05	3.05	34.89
	Asentamiento 5 - San Camilo	500	0.75	0.75	0.75	0.75	0.68	0.68	0.68	0.79	0.82	0.79	0.79	0.79	9.00
	Asentamiento 6 - San Camilo	700	1.05	1.05	1.05	1.05	0.95	0.95	0.95	1.10	1.15	1.10	1.10	1.10	12.60
	Asentamiento 7 - San Camilo	780	1.17	1.17	1.17	1.17	1.05	1.05	1.05	1.23	1.29	1.23	1.23	1.23	14.04
	TOTAL	5059.32	8.10	8.10	8.10	8.10	7.29	7.29	7.29	8.51	8.91	8.51	8.51	8.50	97.23
JUNTA DE USUARIOS	BLOQUE DE RIEGO	AREA (Ha)	DEMANDA MENSUAL (hm3)												TOTAL (hm3)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
YURA	Uyupampa	231.2	0.575	0.677	0.708	0.849	0.552	0.362	0.533	0.500	0.464	0.402	0.425	0.467	6.514
	Quiscos	313.5	0.780	0.919	0.960	1.151	0.749	0.491	0.722	0.679	0.628	0.545	0.576	0.633	8.833

La Chacra Matarayo	79.02	0.197	0.231	0.242	0.289	0.189	0.125	0.182	0.171	0.158	0.137	0.145	0.160	2.226
Aguas Calientes	114.6	0.103	0.127	0.134	0.068	0.029	0.050	0.053	0.068	0.086	0.076	0.081	0.090	0.965
Corontorio	50.1	0.061	0.071	0.073	0.039	0.015	0.019	0.025	0.042	0.051	0.045	0.048	0.052	0.539
Capua	13.8	0.017	0.018	0.018	0.008	0.001	0.003	0.006	0.011	0.014	0.012	0.013	0.015	0.138
Chilcane	14.3	0.019	0.020	0.020	0.010	0.003	0.005	0.007	0.013	0.015	0.014	0.014	0.016	0.157
La calera	60.37	0.077	0.091	0.097	0.061	0.034	0.034	0.038	0.054	0.063	0.055	0.059	0.065	0.728
Ojuli	16.54	0.020	0.022	0.023	0.011	0.004	0.006	0.008	0.013	0.016	0.014	0.015	0.017	0.169
Sincha Gramadal	16.48	0.018	0.021	0.021	0.010	0.003	0.005	0.007	0.012	0.015	0.013	0.014	0.016	0.156
Yuramayo 1,2,3	736.6	1.813	1.873	1.813	1.873	1.873	1.692	1.873	1.813	1.873	1.813	1.873	1.873	22.055
Yuramayo 4	510	0.874	0.903	0.874	0.903	0.903	0.816	0.903	0.874	0.903	0.874	0.903	0.903	10.633
TOTAL	2156.51	4.553	4.974	4.981	5.273	4.355	3.609	4.358	4.250	4.287	4.000	4.167	4.306	53.113

Fuente: ANA-PMGRH Quilca Chili

Los usos no agrarios cuentan con licencia de uso de agua de aguas superficiales, en el caso de la compañía Cerro Verde y SEDAPAR también tienen licencia de uso de aguas subterráneas.

Tabla 3. Usos No agrarios

USUARIO	LICENCIA (l/s)	Volumen mensual (hm ³)												TOTAL (hm ³)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
SEDAPAR	1,960	5.25	4.74	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	61.81
EGASA	25.00	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.79
CERRO VERDE	1,160	3.11	2.81	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11	36.58
D. INDUSTRIAL	57.50	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	1.81
POBLACIONAL LA JOYA	47.00	0.13	0.11	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	1.48
BASE AEREA	50.00	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	1.58
GRANJAS	8.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.25
TOTAL		8.86	8.00	8.86	8.57	8.86	8.57	8.86	8.86	8.57	8.86	8.57	8.86	104.31

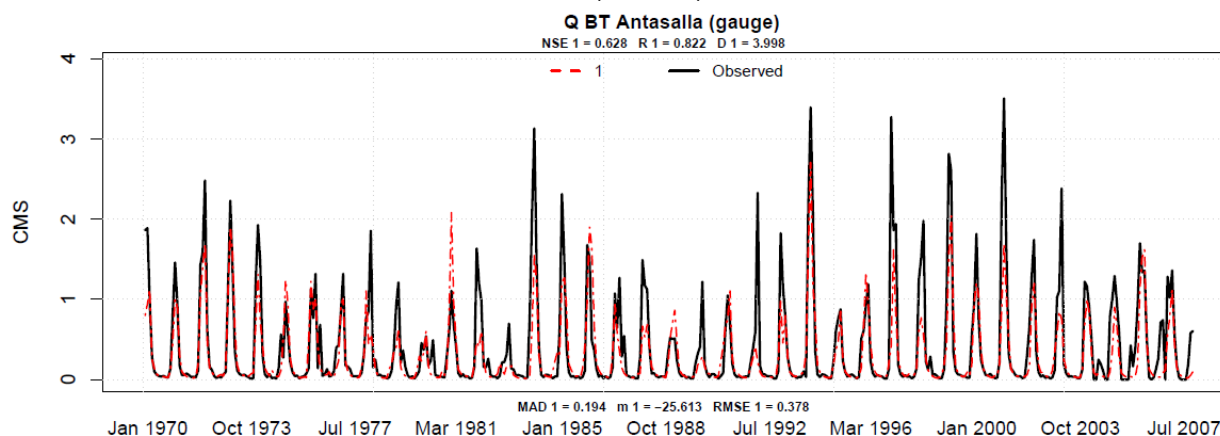
Fuente: ANA-PMGRH Quilca Chili

Calibración

El periodo de modelamiento es 1970 – 2015. Dicho periodo se definió por la disponibilidad y confiabilidad de datos principalmente de precipitación, temperatura y de caudales. Además, se buscó información como cobertura vegetal, área glaciar, fuentes de aguas subterráneas y parámetros físicos de suelo que también intervienen en el proceso hidrológico y pueden informar el proceso de calibración. La primera parte del proceso consistió en calibrar el modelo, es decir, buscar que los valores de caudales modelados (valores generados por WEAP) y observados (valores históricos tomados de estaciones de terreno) sean semejantes. Este paso es muy importante, ya que, define la capacidad del modelo de representar la cuenca de estudio.

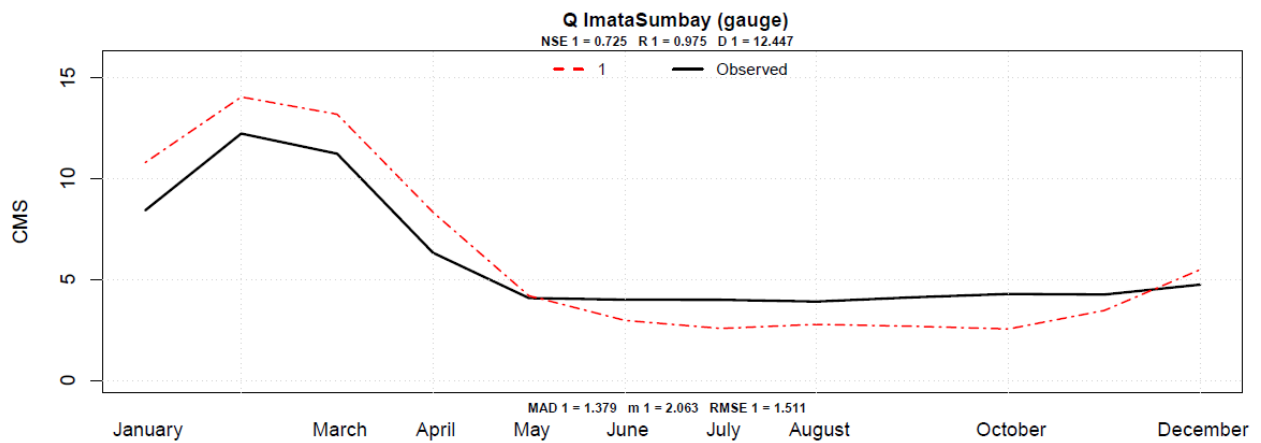
La calibración se logró mediante un proceso de pruebas donde se aproximan los parámetros de suelo, iniciando con las cuencas de la parte alta, pues se cuenta con información de caudales naturalizados en algunos puntos y esto ayudó a obtener los parámetros de suelo inicial por tipo de cobertura en el modelo, con lo que se partió para calibrar las cuencas media y baja de la cuenca. Otra variable importante, como ya fue detallado, fue el vínculo con el agua subterránea para lo cual se tuvo que identificar los catchments a ser vinculados a los acuíferos para lo cual el mapa hidrogeológico desarrollado por el INGEMMET sirvió de referencia (Figura 2 y 3). Finalmente, la operación de embalses tiene bastante influencia en la disponibilidad hídrica, y por eso se incluyó esa parte en el proceso de calibración. Se observó el volumen de almacenamiento como una variable de calibración; es decir, estos resultados tanto de caudales como de volúmenes fueron evaluados mediante un análisis visual y estadístico en forma mensual y promedio mensual (Gráficos 8 y 9 por ejemplo). El análisis indicó la eficiencia de simulación del modelo a través de medidas estadísticas de desempeño como: la eficiencia de Nash Sutcliffe y el Bias (sesgo). (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, 2009).

Gráfico 8. Calibración de la estación de Antasalla (mensual)



Fuente: Elaboración propia - SEI

Grafico 9. Calibración de la estación de Imata Sumbay (promedio mensual)



Fuente: Elaboración propia - SEI

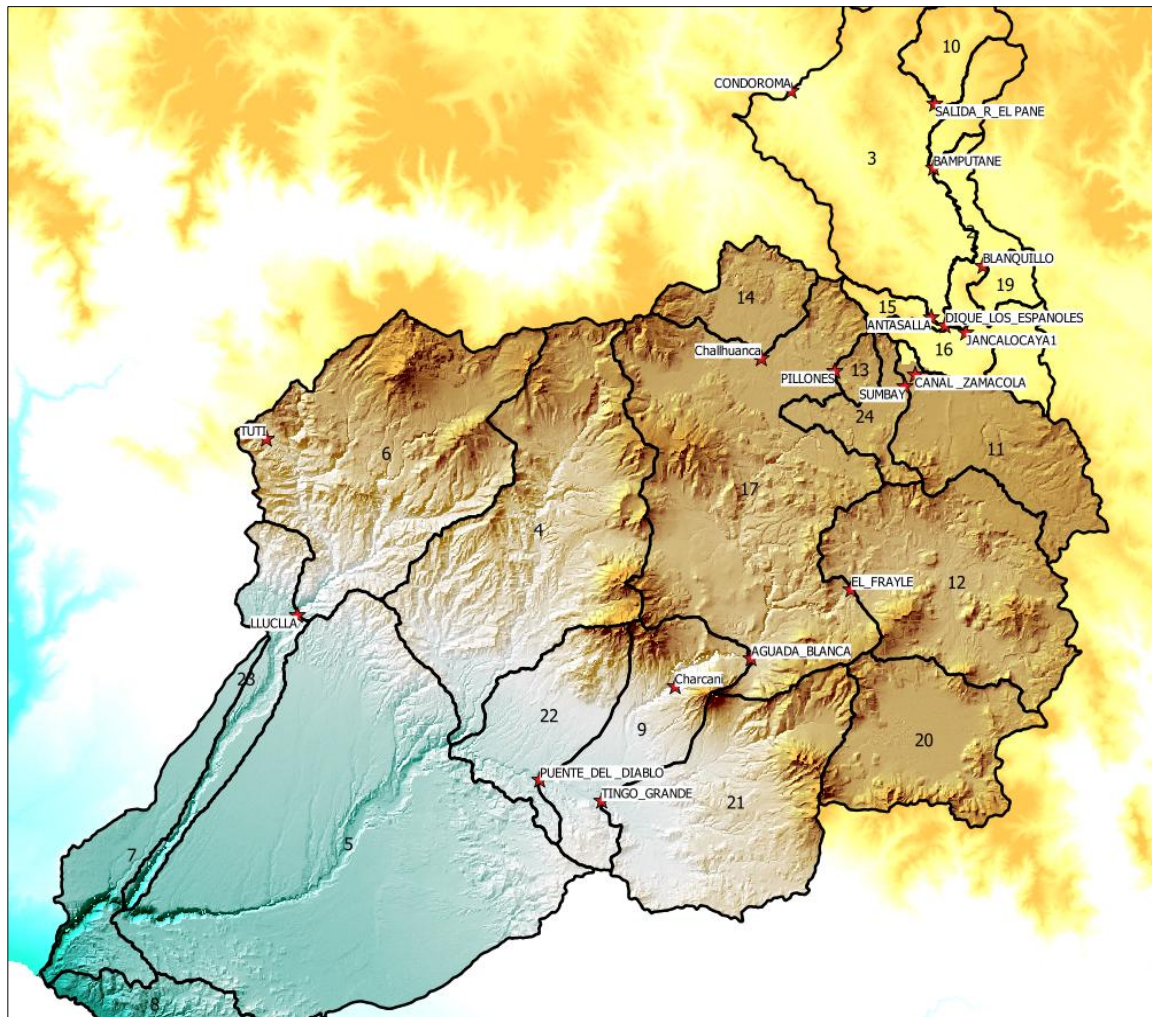


Figura 6. Estaciones de calibración cuenca Quilca Chili

Fuente: Elaboración propia - SEI

Tabla 4. Estaciones de calibración cuenca Quilca Chili

Naturalizado	Observado
Antasalla	Antasalla*
Bamputane	Q Bamputañe Entrada, Q Bamputañe
Blanco/El Frayle	Entrada el Frayle
Blanquillo	Rio Blanquillo
Dique los Españoles	Q Dique los Españoles
Jancalocaya	Q Entrada Dique
Pañe	Pañe Entrada, El Pañe
Sumbay	Q Imata Sumbay
Aguada Blanca	Aguada Blanca Entrada

Fuente: Elaboración propia - SEI

SEGUNDA ETAPA: Desarrollo de estrategias refinadas

Así mismo se obtuvo retroalimentación del grupo de modelamiento de la cuenca Quilca-Chili en temas como la inclusión de nuevas estrategias enfocadas en construcción y operación de embalses y simulación de cambio de cobertura, tal vez como propuestas de integración de estrategias principalmente eficiencias, cosecha de agua y optimización de operación de embalses. Para abarcar estos temas se desarrolló un taller de trabajo con el grupo de modelamiento cuyos resultados fueron los siguientes:

El taller se desarrolló con la participación de 8 actores de la cuenca y personal de SEI, los objetivos del taller fueron: definir los valores ideales de las estrategias e identificar las estrategias integradas (combinaciones y periodo de implementación, etc.)

La lista de estrategias que se simuló en el primer taller de desempeño de escenarios futuros y los cuales se presentaron en el taller del 30 de marzo del 2016, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Estrategias iniciales

Estrategias	Variables afectadas	Objetivo
1. Determinación e implementación de caudales ecológicos	Volumen disponible en el río, cobertura de demanda.	Observar el impacto en el flujo del río al implementarse los caudales ecológicos
2. Mejora de eficiencias de uso agrario	Volumen disponible, cobertura de demanda agrícola.	Observar el impacto de la mejora de la eficiencia en la disponibilidad hídrica
3. Mejora de eficiencia de uso no agrario	Volumen disponible, cobertura de demanda poblacional.	Observar el impacto de la mejora de la eficiencia en la disponibilidad hídrica
4. Propuesta de operación de embalses en sequías	Volumen almacenado, caudal y prioridades.	Evaluar una propuesta de respuesta en un evento de sequía, haciendo uso de la herramienta Coeficiente de amortiguamiento del WEAP
5. Prioridad y capacidad de embalses	Volumen almacenado, caudal y prioridades.	Evaluar la propuesta de prioridades y volúmenes muertos que maneja AUTODEMA*

6. Funcionamiento de la planta de tratamiento	Volumen disponible en el río y cobertura de demanda.	Evaluar el impacto del funcionamiento de la planta de tratamiento de la disponibilidad hídrica (cantidad)
7. Recuperación y conservación de ecosistemas - Bosques - Pastizales - Turberas y bofedales	Flujo base Factor de resistencia del caudal Conductividad profunda	Evaluar el impacto de la mejora de las coberturas en la retención y caudal del agua en el río.
8. Nuevos embalses	Volumen, cobertura de demanda, caudal	Evaluar el impacto de la construcción del embalse Casa Blanca en la cuenca del río Yura.

Fuente: Elaboración propia - SEI

Los resultados de estas 8 estrategias en cómo impactan escenarios futuros en la cuenca de Quilca Chili fueron presentados con visualizaciones del software Tableau en el primer taller de desempeño. Después de una discusión con el grupo de modelamiento, se desarrollaron cuatro estrategias integradas a profundizar e implementar en escenarios refinados en el modelo WEAP, para mejor analizar y comprender el impacto de posibles acciones de adaptación frente al cambio climático y otras incertidumbres futuras en la cuenca. Esas estrategias son resumidas en la Tabla 6. De acuerdo a la Tabla 6, las estrategias integradas en el modelo se simularon en tres fases que significa que no todas las estrategias van iniciar el mismo año (año 2017), sino en diferentes años o etapas hasta el 2050 y ver los efectos por fases.

Tabla 6. Estrategias refinadas

Estrategia	Valor base	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Periodo de tiempo	1970-2015	2014-2021	2021-2036	2036-2050
1). Incremento de la eficiencia de uso agrario (pérdidas) – conducción y distribución	Eficiencia actual de distribución y de uso agrario (ANA 2010)	Incremento equivalente	Incremento equivalente	Eficiencia de 87%
2). Conservación de cobertura de suelo	Parámetros de suelo calibrados	Incremento equivalente	Incremento equivalente	Parámetros de suelo los cuales producen un incremento en flujo estival de 90% (Gammie y Bievre 2014)
3). Incremento de capacidad de regulación (infraestructura)	Operación de embalses actuales	Inicio de operación de Casa Blanca	Inicio de operación de Mosopuquio	Inicio de operación de Asta de Venado
4). Mejoramiento de la operación de embalses (cantidad y calidad)	Todos embalses tienen la misma prioridad de descarga	Prioridades de descarga optimales	Prioridades de descarga optimales	Prioridades de descarga optimales

Fuente: Elaboración propia – SEI

Se discutieron además las estrategias de implementación de caudales ecológicos y de la operación de la planta de tratamiento La Enlozada. En el caso de la estrategia de caudales ecológicos, ésta no fue considerada como estrategia, sino como una restricción que interviene en todos los escenarios desde el escenario base pues es considerada como una demanda más en la cuenca. Por lo que se menciona en la Ley Recursos Hídricos - Ley 29338 que considera a la demanda ecológica de la misma prioridad que el uso poblacional, se incluyeron los caudales ecológicos en la versión base del modelo. Inicialmente, se deben actualizar los datos de caudales ecológicos con la última versión de las varias metodologías propuestas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Se tomó la metodología del caudal ecológico mínimo que es equivalente al 95% del promedio histórico del caudal de los últimos 20 años, lo que también menciona que esta serie puede ser generada con modelamiento hidrológico o estocástico; en este caso, el modelo WEAP generó caudales a diferentes puntos de la cuenca. Se analizó el uso de otras metodologías, sin embargo se requiere mayor estudio de biodiversidad, topografía del río, etc. lo que es limitado para la cuenca Quilca Chili.

En cuanto a la estrategia de la operación de la Planta de Tratamiento La Enlozada, se concluyó que no es considerada como una estrategia porque hace parte de la infraestructura actual; debe ser simulada como tal en el WEAP e incluir los cambios de capacidad en las diferentes fases de operación de acuerdo a la Tabla 7. Todos los escenarios futuros incluirán a Planta La Enlozada, de la misma manera que los caudales ecológicos.

Tabla 7. Capacidad de tratamiento de PTAR

Planta La Enlozada		
Capacidad de tratamiento (m ³ /s)	1.8	Primera fase (a partir de 2014)
	2.1	Segunda fase (2036)
	2.4	Tercera fase (2043)

Fuente: Elaboración propia – SEI

Otras retroalimentaciones del grupo del modelamiento incluyeron:

- Dentro de la estrategia “Nuevos embalses” se agregó embalses en la cuenca Oriental y Chili Regulado, como estrategia de incremento de capacidad de regulación (infraestructura), donde también se incluyan diques retardadores.
- Dentro de la estrategia de conservación de cobertura de suelo, se sugiere desarrollar mayores pruebas y ver el impacto en el flujo base del río.

Para ello se revisó la información de los embalses actualizando los datos principalmente en la variable Volumen –Altura.

A partir de ello se ha desarrollado cada una de las estrategias:

I. Incremento de la eficiencia de uso agrario y no agraria (pérdidas) – conducción y distribución

El objetivo de esta estrategia es incrementar la eficiencia de conducción, distribución y aplicación de riego en las áreas agrícolas de la cuenca. El estudio de eficiencias desarrollado por la ANA estimó la eficiencia del uso del agua en la cuenca de Quilca Chili (ANA, 2009); de dicho reporte se tienen las eficiencias históricas en diferentes canales y bloques de riego (Tabla 4), los cuales son asumidos como valores base. En el caso de los bloques de riego que no tienen valores del estudio se asume un promedio de los valores históricos.

La estrategia entonces disminuye la demanda total y aumenta el consumo de los sitios agrícolas por un incremento de eficiencia en tres fases de tiempo equivalentes hasta el año 2050, para llegar a una eficiencia máxima de 87.04%. Esa eficiencia ideal es la eficiencia más alta de las eficiencias históricas estimadas por la ANA en la cuenca de acuerdo a las características que presenta.

Las demandas para la cuenca Quilca Chili fueron obtenidas de las licencias de uso de agua otorgadas por AAA Caplina Ocoña, los cuales ya tienen incluidas dentro de su volumen asignado el volumen de las pérdidas que vendría a ser: 100% – eficiencias, al mejorar la eficiencia se generaría mayor disponibilidad del recurso hídrico que incrementaría la producción, pero más no mayor disponibilidad para entregar licencias pues esos volúmenes han sido otorgados y eso implica aprovechar mejor a los usuarios más no disponibilidad en la cuenca.

Tabla 8. Eficiencias Históricas en la Cuenca Chili

Bloque de Riego	Canal	Total (base)	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Alto Cural	Alto Cural	87.04489	87.1966	87.3483	87.5
Bajo Cural - Huaranguillo	Bajo Cural - Huaranguillo	58.83979	68.3932	77.9466	87.5
Tio	Tio	69.9946	75.82973	81.66487	87.5
Tingo Grande	Tingo Grande	41.68626	56.95751	72.22875	87.5
Base Aerea	Base Aerea	80.94	83.12667	85.31333	87.5
La Curva	La Curva	84.05	85.2	86.35	87.5
La Cano	La Cano	65.82957	73.05305	80.27652	87.5
San Isidro	San Isidro	78.85503	81.73669	84.61834	87.5
San Camilo	J	69.2	75.3	81.4	87.5
Polobaya	Polobaya	30.5532	49.53547	68.51773	87.5
Acequia Alta Sogay	Acequia Alta Sogay	76.55619	80.20413	83.85206	87.5
Paucarpata	Paucarpata	98.07	98.07	98.07	98.07
Cinco Ramos	Acequiecita	75.6153	79.57687	83.53843	87.5
	Acequia Baja	77.08846	80.55898	84.02949	87.5
Huasacache	El Molino	94.39	94.39	94.39	94.39
	La Estacion de Tiabaya	47.25	60.66667	74.08333	87.5
Uyupampa	Uyupampa	65.36952	72.74635	80.12317	87.5
Yura Viejo	La Chacra	68.6595	74.93966	81.21983	87.5
Iera Pampa - Yuramayo	B	91.74	91.74	91.74	91.74
Socabon - Filtraciones	Socobon	69.77	75.68	81.59	87.5
La Cano - Sotillo	La Cano - (Sotillo)	58.5655	68.21034	77.85517	87.5
Otro	Otro	43.296	58.03067	72.76533	87.5
Average	Average	62.75762	71.00508	79.25254	87.5

Fuente: ANA, 2009

La tabla 8 tiene la información de eficiencias de la zona regulada. En zonas sin datos de eficiencia se usarán los promedios a nivel de canal principal: eficiencia de conducción 82.0%, distribución 87.0 % y operativa 72.0% y eficiencias a nivel de bloques de riego: Eficiencia de conducción 82.0%, distribución 80.0% y operativa 66.0% (ANA, 2010).

2. Conservación de cobertura de suelo

El objetivo de esta estrategia es simular el impacto de la implementación de proyectos de conservación los cuales van incrementar la disponibilidad de agua y el flujo estival en el río, interviniendo en los ecosistemas naturales de bosques, pastizales y bofedales. Dichos proyectos de conservación principalmente buscan aumentar el factor de resistencia en los suelos lo que contribuye a mejorar la infiltración. En WEAP se tienen identificados los catchments que contienen coberturas de bosques, pastizales y bofedales (los bosques Pichu Pichu y El Rayo en las cuencas del río Yarabamba y Yura, los pastizales de San Juan de Tarucani en la cuenca del río Blanco principalmente, y las áreas de bofedales y turberas en las partes altas de la cuenca), donde se harán los cambios en los parámetros de suelo considerados en el WEAP, como factor de resistencia, la escorrentía (RRF) y conductividad sub superficial (Root Zone Conductivity) que contribuye a la infiltración. Para ello, se usó un estudio que hizo la organización Forest Trends sobre el impacto potencial en flujo estival de proyectos de conservación en la cuenca del Río Rimac (Gammie, 2014), donde estimaron el beneficio potencial con cuatro intervenciones verdes que consisten en la conservación de cobertura vegetal y restauración de canales “amuna”, los que podrían aumentar el flujo estival del Río Rímac hasta 2.75 m³/s, o una reducción del déficit de agua en épocas secas de 90%. Para simular la estrategia se tomó como referencia dicho valor.

3. Incremento de capacidad de regulación (infraestructura).

Esa estrategia busca principalmente mejorar la oferta hídrica de la cuenca con la construcción y operación de nuevas infraestructuras de regulación: la represa de Casa Blanca, la represa de Asta de Venada, y la represa de Mosopuquio.

Represa Casa Blanca

Tabla 9. Características represa Casa Blanca

Variable	Unidad	Valor
Capacidad de almacenamiento	MM3	10
Máximo caudal de salida	CMS	36
Límite de volumen de conservación	MM3	9
Límite de volumen inactiva	MM3	2
Prioridad		3

Fuente: Elaboración propia – SEI

En este caso, también se cambiaron las prioridades de los sitios de demanda Yuramayo 1, 2 y 3 con el fin de indicar que la disponibilidad hídrica de la represa satisfecerá dichas demandas.

Represa Asta de Venado

Se ubicará en las siguientes coordenadas:

Tabla 10. Coordenadas Asta de Venado

Estación	y	x	Altitud
I	8235767.07	253579.67	4132

Fuente: CRHC Quilca Chili

Tabla 11. Características represa Asta de Venado

Variable	Unidad	Valor
Capacidad de almacenamiento (Valor aproximado)	MM3	30
Máximo caudal de salida	CMS	
Límite de volumen de conservación	MM3	
Límite de volumen inactiva	MM3	0
Prioridad		3

Fuente: Elaboración propia – SEI

Represa Mosopuquio

Se ubicará en las siguientes coordenadas:

Tabla 12. Coordenadas represa Mosopuquio

Estación	y	x	Altitud	Fuente
1	8178623	249480.5	3449	Mosopuquio
2	8180121.48	252588.26	3726	Quebrada Cañuma
3	8179560.56	252657.05	3734	Quebrada Machotoma

Fuente: SENAMHI, 2013

Tabla 13. Características represa Mosopuquio

Variable	Unidad	Valor
Capacidad de almacenamiento	MM3	2.36
Máximo caudal de salida	CMS	
Límite de volumen de conservación	MM3	
Límite de volumen inactiva	MM3	
Prioridad		3

Fuente: SENAMHI, 2013

4. Mejoramiento de la operación de embalses (para calidad y cantidad)

El objetivo de la estrategia de mejoramiento de la operación de embalses es de optimizar el caudal regulado especialmente en tiempos de sequía y mantener agua en los embalses para el propósito de mejorar calidad de agua a través de un cambio en prioridades de descarga para los reservorios de Chili Regulado. Para aumentar el caudal regulado, se asume que las operaciones deben maximizar el volumen almacenado en los reservorios y al mismo tiempo maximizar la cobertura de demandas. Para ello, se usó la herramienta de WEAP para probar diferentes prioridades de descarga en los embalses: Pañe, Frayle, Pillones, Bamputañe, Aguada Blanca, Dique los Españoles, y Chalhuanca, las cuales optimizan el volumen total de los reservorios en tiempos de sequía mientras maximizan la cobertura de demandas en la cuenca, en la tabla Tabla 14, se puede observar las prioridades que mostraron respuestas con mejor desempeño.

Tabla 14: Prioridades de descarga

Embalse	Prioridades de descarga (óptimos)
---------	-----------------------------------

Aguada Blanca	1
Bamputane	3
Challhuanca	3
Dique los Españoles	3
Frayle	2
Pañe	3
Pillones	2

Fuente: Elaboración propia – SEI

Además, hay algunas actividades que el CRHC Quilca-Chili identificó como una oportunidad de mejorar la herramienta del modelo de WEAP y hacer uso de sus resultados, los cuales son:

- Formular el Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas en la cuenca con la aplicación del modelo.
- Evaluar el efecto de 5, 6 y 7 embalses de la cuenca.
- Considerar el efecto de reparaciones en canal Pañe-Sumbay, que disminuya las pérdidas por conducción.
- Considerar en la operación de embalses el efecto de la calidad del agua.

En cuanto a esos últimos puntos de discusión, hay algunos que serán parte de las corridas del WEAP, y la formulación del Plan de Aprovechamiento de Disponibilidades Hídricas (PADH) será con apoyo del modelo terminado. Calidad de agua no se simuló por limitada información en el río.

CONCLUSIONES

En conclusión, el modelo WEAP de la cuenca Quilca-Chili continúa mejorándose con la actualización de datos, retroalimentación y apoyo de actores locales. Para esta versión del modelo las mejoras se enfocaron en refinar la representación de recarga y uso de aguas subterráneas, calibrar los parámetros de suelos por tipo de cobertura, y actualizar datos de operaciones y características de embalses.

También se desarrollaron e integraron en el modelo las cuatro estrategias integradas, las cuales fueron refinadas con las estrategias que se presentaron en el primer taller de desempeño, y van ayudar a los actores locales a visualizar varios escenarios futuros en tres fases de tiempo en cuanto a la gestión de los recursos hídricos en la cuenca de Quilca Chili. Esas estrategias implementadas en el modelo WEAP permitirán obtener los resultados que serán presentados con visualizaciones en Tableau en el segundo taller de desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010, Evaluación de la eficiencia del uso del agua en la cuenca del río Chili, Arequipa – Perú.

Autoridad Nacional de Agua (ANA), 2013, Plan de Gestión de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca Chili (PGRHC Quilca Chili), Arequipa, Perú.

Administración Técnica del Distrito de Riego Chili (ATDR), 2004, Propuesta de asignaciones de agua en bloque (volúmenes anuales y mensuales) para la formalización de los derechos de uso de agua en los valles Chili Regulado y Chili no Regulado del programa de formalización de derechos de uso de agua – PROFODUA, Arequipa, Perú.

Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, S. E., 2009, Guía metodológica: Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP.

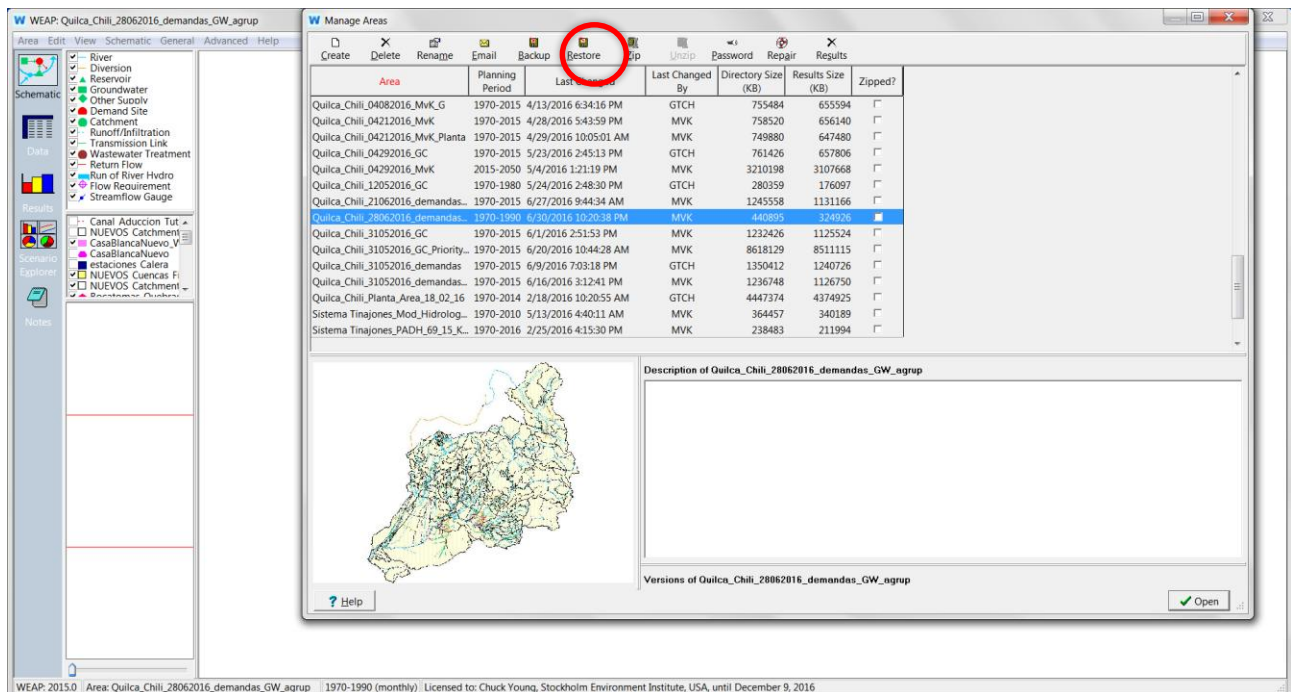
Gammie, G., de Bievre, B., 2014, “Evaluando intervenciones verdes para abastecer de agua a Lima, Perú”, Forest Trends.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), 2010, Determinación de flujos regionales y locales de los acuíferos orientales de la ciudad de Arequipa en base a datos hidroquímicos e isotópicos, Arequipa - Perú, Percy Sulca I, Fluquer Peña I y Fabrizio Delgado.

SENAMHI, 2013, Evaluación de Disponibilidad Hídrica en la Microcuenca de las Quebradas de Cañuma y Machotoma del Anexo Mosopuquio, Distrito de Characato Región Arequipa, Arequipa, Perú.

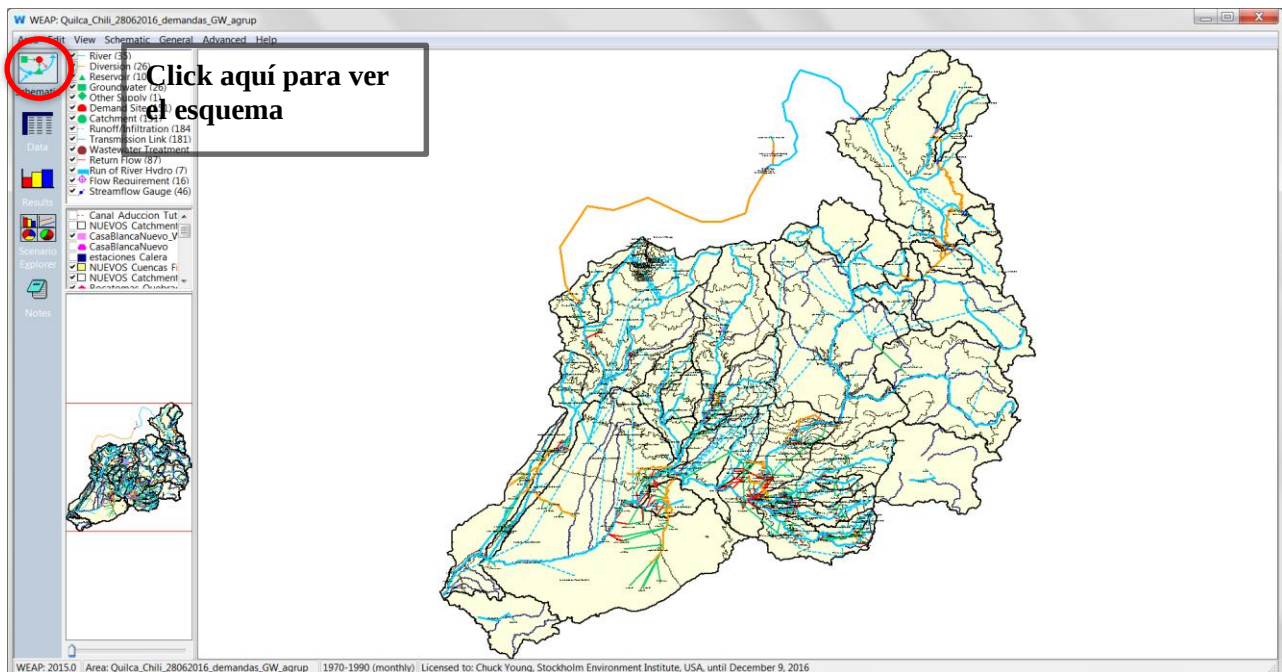
Anexo I. Modelo, datos y resultados

Para abrir el modelo se debe seguir el siguiente proceso: Áreas – Manejo de áreas – Restaurar – buscar el Quilca_Chili_6302016.zip



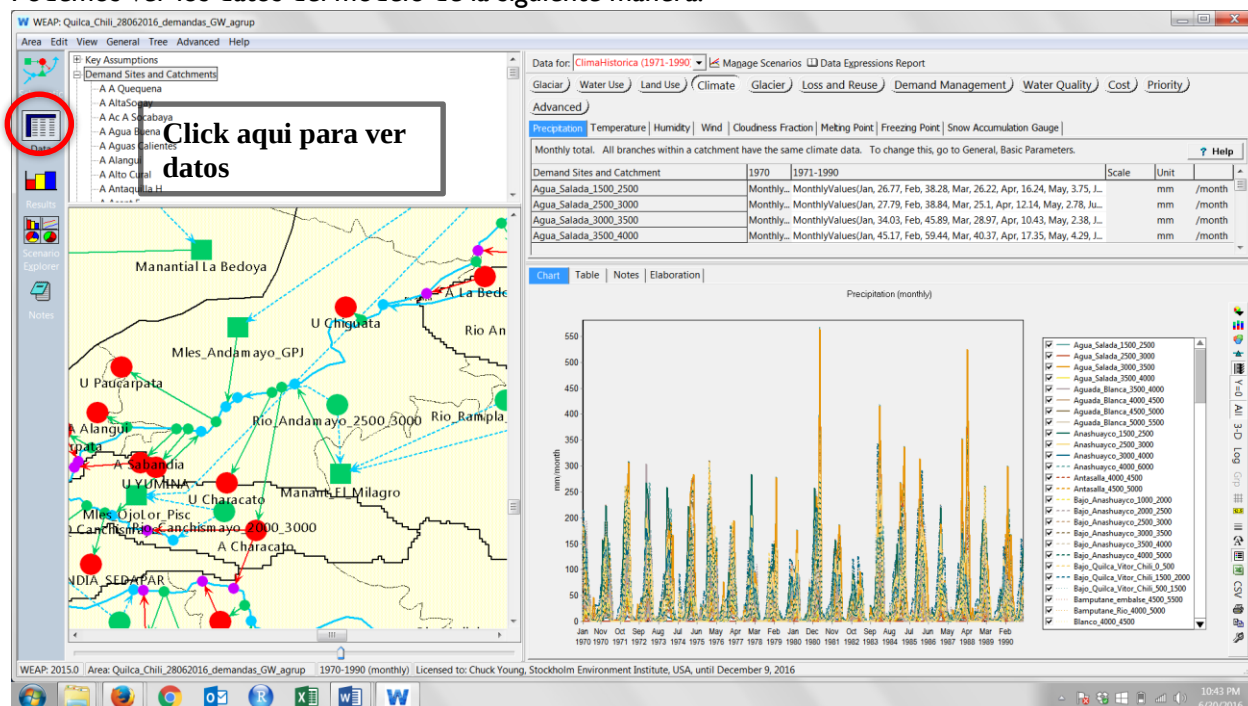
Una vez abierto el modelo, éste por defecto creará una carpeta en el Documentos—WEAP Áreas – carpeta Nombre modelo, donde también se puede ver los datos en formatos Excel y shapefile.

Podemos ver el esquema del modelo de la siguiente manera:



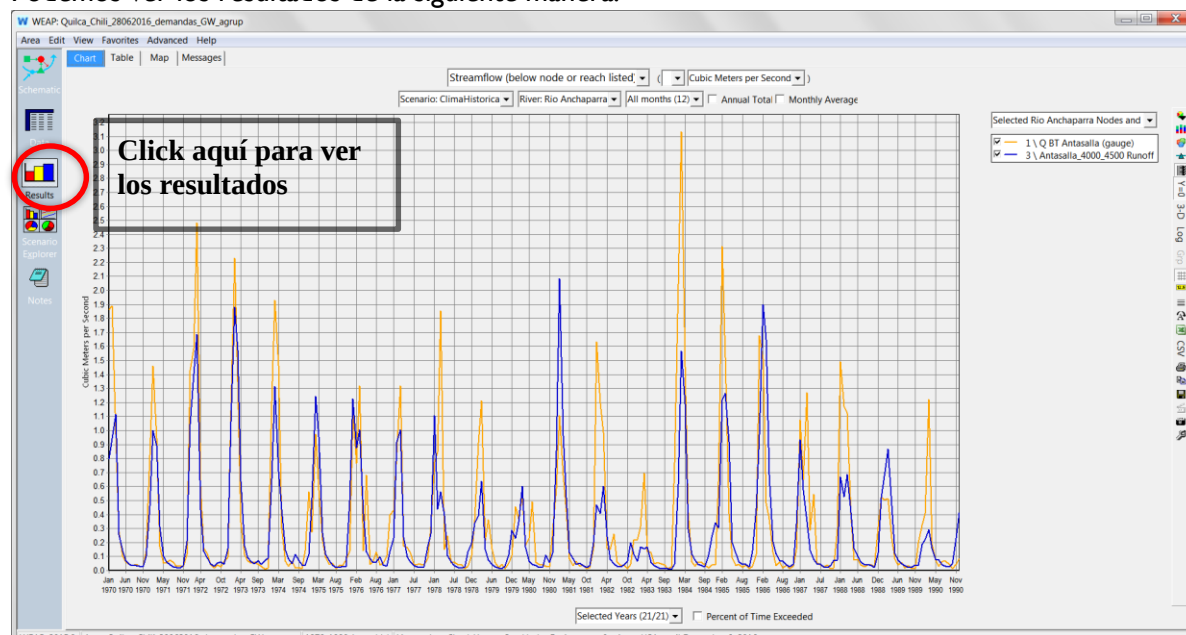
En el esquema del modelo se puede ver la configuración del modelo, ubicación de canales, embalses, ríos, puntos con aguas subterráneas, catchments, sitios de demanda, etc.

Podemos ver los datos del modelo de la siguiente manera:



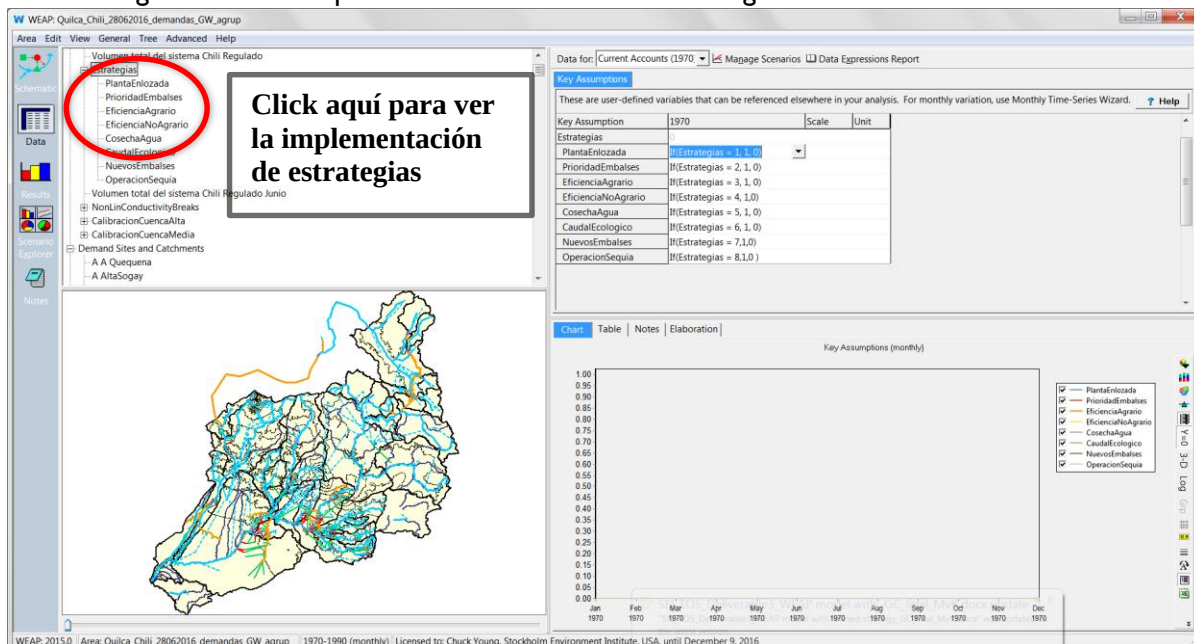
En la sección de datos podemos ver la información usada para el modelamiento, en cada punto catchments (puntos verdes) y sitios de demandas (puntos rojos) y cada componente del modelo.

Podemos ver los resultados de la siguiente manera:



En la sección resultados podemos ver los resultados de la simulación principalmente caudales y volúmenes que nos interesa tanto para la calibración y uso de datos generados para los diferentes requerimientos que se tenga y en diferentes puntos.

Las estrategias se vienen implementando en el modelo de la siguiente manera:



La implementación de estrategias se viene desarrollando con la herramienta Key Assumption, por fases y por cada estrategia refinada.

Como se muestra en la imagen, las estrategias están siendo implementadas y pueden ser activadas con el cambio de opciones (números) que se han definido, por ejemplo la primera estrategia que se observa es Planta La Enlozada, 0 significa que no está activa y 1 que se activa.

Las estrategias integradas mencionadas en el reporte están en proceso de ser implementadas en el modelo WEAP, y todavía se están trabajando la calibración y la representación de aguas subterráneas.