

Modelación estratégica de la cuenca del río rocha

Contrato de servicio de consultoría - CAF

SEI working paper
December 2019





Título: Modelación Estratégica de la cuenca del Rio Rocha

Editor: CAF

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Carlos Ortuño, Ministro de Medio Ambiente y Agua

Autor: Stockholm Environment Institute (SEI)

Colaboradores:

Consultores externos y su afiliación, consultar a Marisa

Equipo CAF:

Oswaldo Valverde, Ejecutivo Principal/Dirección de Proyectos de Desarrollo Social Región Sur

Equipo MMAYa:

Oscar Meave Silva, Jefe Unidad de Estudios Especiales/Dirección General de Planificación

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

Diseño gráfico e impresión: Stockholm Environment Institute (SEI)

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

2019 Corporación Andina de Fomento Todos los derechos reservados



Stockholm Environment Institute

Linnégatan 87D 115 23 Stockholm, Sweden

Tel: +46 8 30 80 44

www.sei.org

Author contact: Marisa Escobar

marisa.escobar@sei.org

Editor: Natalia Ortiz Diaz

Layout: Richard Clay

Cover photo: © I Marañón / flickr

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes, without special permission from the copyright holder(s) provided acknowledgement of the source is made. No use of this publication may be made for resale or other commercial purpose, without the written permission of the copyright holder(s).
Copyright © December 2019 by Stockholm Environment Institute

Stockholm Environment Institute is an international non-profit research and policy organization that tackles environment and development challenges.
We connect science and decision-making to develop solutions for a sustainable future for all. Our approach is highly collaborative: stakeholder involvement is at the heart of our efforts to build capacity, strengthen institutions, and equip partners for the long term.
Our work spans climate, water, air, and land-use issues, and integrates evidence and perspectives on governance, the economy, gender and human health.
Across our eight centres in Europe, Asia, Africa and the Americas, we engage with policy processes, development action and business practice throughout the world.

Contents

Modelación Estratégica de la Cuenca del Río Rocha	5
El Apoyo a las Decisiones Robustas en la Cuenca del Río Rocha.....	5
Los actores de la Cuenca del Río Rocha.....	6
Rol de los actores en la modelación estratégica.....	7
El Modelo WEAP de la Cuenca del Río Rocha	8
Vulnerabilidad y Estrategias de Manejo del Agua.....	10
Conclusiones	14
Recomendaciones de Política	15
Sobre las Estrategias de Manejo de Agua para los Actores	15
Referencias	17

Acrónimos

AAPS	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico	GIZ	Cooperación Técnica Alemana
ADR	Apoyo a las Decisiones Robustas	GMET	Gridded Meteorological Ensemble Tool
BHSB 2017	Balance Hídrico Superficial de Bolivia	GRST	Granero Semi Temporal
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	HLINCL	Horticultor Lechero Intensivo-Hortalizas de Ciclo Largo
BM	Banco Mundial	ICA	Índice de Calidad de Agua
C3B	Consultora Boliviana Beccar Bottega Ltda.	INE	Instituto Nacional de Estadística
CABAS	Convenio Alemán Boliviano de Aguas Subterráneas	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change/PSL
CAF	Corporación Andina de Fomento	JICA	Institut Pierre Simon Laplace
CASA	Centro de Agua de Saneamiento Ambiental	LH-UMSS	Agencia de Cooperación Internacional de Japón
CESM	Community Earth System Model		Laboratorio de Hidráulica - Universidad Mayor de San Simón
CLAS	Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG	MBE	Métrica de error medio de sesgo
CMCC	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici	MIC	Manejo Integral de Cuencas
CMIP5	Coupled Model Intercomparison ProjectCORDECO	MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
	Corporación de Desarrollo de Cochabamba COSUDE	MunMetro	Municipios del área Metropolitana
	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación	MunVA	Municipios del Valle Alto
CPAS	Control y la Protección de las Aguas Subterráneas en el Valle Alto	OLPE	Operadores Locales de Pequeña Escala
CRH	Capacidad de Retención de Humedad del Suelo	ONG	Organización no Gubernamental
CTB	Agencia Belga de Desarrollo	PDC Rocha	Plan Director de la Cuenca del Río Rocha
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno	PEIRAV	Programa de Enseñanza e Investigación en Riego Andino y de los Valles
DEM	Modelo Digital de Elevación	PIRHC	Proyecto Integrado de Recursos Hídricos de Cochabamba
DFIN	Diversificado Floricultor Intensivo	PMM	Proyecto Múltiple Misicuni
DGA-SB	Dirección de Gestión de Agua y Servicios Básicos	PMMAPyS	Plan Maestro Metropolitano de Agua Potable y Saneamiento
DHIN	Diversificado Horticultor Intensivo	PNC	Plan Nacional de Cuencas
DISI	Diversificado Semi Intensivo	PPCR	Programa Piloto de Resiliencia Climática
DLIN	Diversificado Lechero Intensivo	PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Driego	Dirección de riego	RANC	Plan Reducción de Agua no Contabilizada
EFIN	Empresa Florícola Intensivo	RCP	Representative Concentration Pathway
EMAGUA	Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua	RRF	Runoff Resistance Factor
EMAPAS	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sacaba	SDC	Servicio Departamental de Cuencas
ENDE	Empresa Nacional de Electricidad	SEDERI	Servicio Departamental de Riego
EPSA	Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento	SEI-US	Stockholm Environment Institute US Center
ESA	Agencia Espacial Europea	SEMAPA	Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
ETP	Evapotranspiración Potencial	SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ETR	Evapotranspiración Real	SNV	Servicio Holandés para el Desarrollo
FAO	Food and Agriculture Organization	UGRiesgos	Unidad de Gestión de Riesgos
FEDECOR	Federación Departamental de Regantes	UNICEF	Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia
FEPC	Federación de Entidades Empresariales Privadas de Cochabamba	VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego
FPS	Fondo Productivo Social	WEAP	Water Evaluation And Planning System
GADC	Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba	ZITC	Zona Intertropical de Convergencia
GCM	Global Circulation Model		
GEOBOL	Servicio Geológico de Bolivia		
GIAC	Gestión Integral del Agua en Cochabamba		

Modelación Estratégica de la Cuenca del Río Rocha

PRINCIPALES RECOMENDACIONES

- **Combinar las estrategias identificadas –Proyecto Múltiple Misicuni, nuevos trasvases, construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, y la reducción de pérdidas de agua en el sector agrícola– y aunar esfuerzos para lograr estrategias integrales que promuevan la adaptación integrada de la cuenca.**
- **Seguir explorando y estudiando otras opciones que puedan reducir la vulnerabilidad, lo que en el largo plazo no pasa por explorar fuentes adicionales a las ya existentes en la cuenca, sino optimizar el uso del agua en diferentes sectores.**
- **Construir una estructura de gobernanza participativa, horizontal y colaborativa, articulada por actores clave que comparten información para lograr un entendimiento uniforme del estado global de la cuenca, y abordan problemas emergentes entre las jurisdicciones a partir de múltiples escalas de análisis.**
- **Entrenar una nueva generación de administradores del agua con habilidades para el diseño e implementación de sistemas participativos de manejo de los recursos hídricos.**

En prosecución de los objetivos del Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuenca 2017-2020 del Ministerio del Medio Ambiente y Agua (MMAyA), los actores de la cuenca del Río Rocha, el gobierno nacional y el Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba (GADC) están buscando impulsar la gestión integrada de recursos hídricos y manejo integral de cuencas en Bolivia. Este esfuerzo promueve modalidades de participación y autogestión desde las perspectivas de las culturas y sistemas de vida locales, como sustento del desarrollo humano y ambiental sostenible en un contexto de vulnerabilidad frente a desastres naturales y el cambio climático.

Enfrentando circunstancias complejas por las condiciones geográficas de la cuenca, con fuentes limitadas de agua y potencialidades de desarrollo económico que requieren cada vez más recursos hídricos, en 2018 los actores locales avanzaron en el desarrollo de una estrategia para el manejo del agua en la Cuenca del Río Rocha, con el apoyo del MMAyA y GADC, y el financiamiento de la Corporación Andina de Fomento (CAF).

Las instituciones regionales lideradas por la Dirección de Gestión Integral de Agua (DGA-SB) implementaron el proceso denominado de Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR), que buscó aplicar un enfoque iterativo para involucrar a los actores relevantes en el proceso técnico de modelación, análisis y evaluación de oportunidades futuras para el manejo de los recursos hídricos de la cuenca.

En este documento se presentan los avances alcanzados en el proceso en cuanto a la identificación de incertidumbres y estrategias de manejo de la cuenca, la caracterización de los actores y sus interacciones, la modelación estratégica utilizando el Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (WEAP por sus siglas en inglés) y una evaluación de la capacidad de las estrategias propuestas para reducir la vulnerabilidad hídrica de los diferentes sectores de la cuenca. Al final del documento se presentan recomendaciones de política para continuar el proceso de planeación del agua y activar la participación continua de los actores en su rol de usuarios y administradores del recurso hídrico.

El Apoyo a las Decisiones Robustas en la Cuenca del Río Rocha

El proceso de Apoyo a las Decisiones Robustas (Purkey et al. 2018) implementado en la cuenca del Río Rocha se propuso involucrar a los actores relevantes en el trabajo técnico de modelación, análisis y evaluación de oportunidades futuras para el manejo de los recursos hídricos, empleando en principio los instrumentos de planificación existentes para la identificación y evaluación de medidas de adaptación del recurso hídrico. Las etapas del proceso permitieron realizar una simulación cuantitativa de los escenarios posibles de la cuenca y obtener resultados a partir de un abanico de opciones disponibles. La información

generada en el proceso ADR con la participación de los actores encargados de la implementación de las estrategias permite alcanzar los objetivos de equidad en el acceso al agua, y al mismo tiempo planear estrategias para un futuro incierto.

Se propiciaron instancias de participación y capacitación para generar los insumos que permitieron identificar las medidas de adaptación al cambio climático y otras incertidumbres existentes en la cuenca. El proceso duró un año, de octubre de 2017 a octubre de 2018, y contempló seis sesiones participativas y sucesivas actualizaciones sobre el avance.



Foto 1. Sesión de aplicación de la herramienta durante el taller de estrategias © SEI

En las sesiones participativas se identificaron cuatro incertidumbres y cinco estrategias prioritarias para el desarrollo del estudio, adoptándose como criterios de priorización su capacidad de representación cuantitativa, la existencia de información, su presencia en planes regionales y la importancia de cada componente para los recursos hídricos. Las incertidumbres priorizadas fueron el cambio climático, el crecimiento poblacional, la reducción del área agrícola y el cambio en la dotación per cápita. Asimismo, las estrategias priorizadas fueron la línea base (en las condiciones actuales y sin ningún cambio), la implementación del Proyecto Múltiple Misicuni¹, las iniciativas de nuevos trasvases para la cuenca, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales a lo largo del Río Rocha y la reducción de pérdidas de agua en el sector agrícola.

Los actores de la Cuenca del Río Rocha

El paso inicial del proceso de apoyo a la toma de decisiones fue el mapeo e identificación de actores relevantes según su participación en la gobernanza del agua en los aspectos políticos, sociales, ambientales, económicos y técnicos. Se identificó a más de 100 instituciones y grupos de interés en la gestión del agua en la cuenca del Río Rocha, y se recogieron insumos de 44 actores involucrados

¹ En el contexto de las etapas definidas para el proyecto.

en la gestión de los recursos hídricos mediante una encuesta diseñada para responder al ADR, con la retroalimentación del MMAyA.

En el plano nacional, el principal referente en la gestión del agua es el MMAyA y los Viceministerios de Agua Potable y Saneamiento Básico, Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambio Climático y Gestión Forestal y de Recursos Hídricos y Riego. A nivel del GAD se tienen a la SDMT, DGA y SDC, entre otros actores departamentales importantes como el Servicio Departamental de Riego (SEDER), la empresa Misicuni y organizaciones sociales tales como las juntas vecinales, las federaciones de campesinos (FSUTCC), de mujeres indígenas (FMIOCBS), de regantes (FEDECOR) y de cooperativas de agua y alcantarillado (FECOAPAC). También operan en el sector agencias de cooperación internacional (GIZ, SNV, JICA, COSUDE, CTB, BID y BM), centros de investigación (UMSS, EMI, UCB) y ONGs.

Con los resultados de la encuesta fue posible construir una red institucional, determinar las interacciones entre los actores encuestados y otros que hacen parte del manejo del agua en la región, describir y medir las relaciones y flujos de información entre las instituciones, para luego definir sus interacciones en distintas dimensiones y la centralidad de aquellos actores clave con mayor número de interacciones. Parte importante del análisis fue la clasificación de las interacciones entre los actores, según su colaboración en las dimensiones política, económica, ambiental, social y técnica.

La **dimensión social** se centra en la igualdad de acceso y uso de los recursos hídricos, es decir en la distribución equitativa de recursos y servicios hídricos entre varios grupos sociales y económicos y sus efectos en la sociedad. La **dimensión económica** destaca la eficiencia en la asignación y uso del agua y su impacto económico en cada sector. La **dimensión política** otorga a los actores los mismos derechos y oportunidades de participar en procesos de toma de decisiones. La **dimensión ambiental** hace hincapié en la sostenibilidad respecto al uso del agua y los servicios ecosistémicos relacionados. Se contempló la dimensión técnica para identificar los vínculos y/o relaciones entre los diferentes actores involucrados en la gestión del agua que han sido conectados por procesos de investigación, fortalecimiento de capacidades y asistencia técnica.

Durante la recolección de información se buscó establecer un mayor nivel de detalle que permita identificar las relaciones entre los actores, para lo cual se definieron ámbitos de análisis específicos al interior de cada dimensión contemplada en la encuesta. Como resultado, se establecieron 15 ámbitos de análisis para clasificar las conexiones entre los actores, haciendo énfasis en las capacidades de cada actor para contribuir a la modelación estratégica.

Rol de los actores en la modelación estratégica

El mapeo de actores de la cuenca del Río Rocha evidenció que hay una marcada interacción de instituciones en la **dimensión política**, configurando un escenario propicio para la participación de otros actores clave en procesos de planificación conjunta, los cuales deben articularse a la política nacional mediante el MMAyA, y a la política regional a través de la gobernación.

Las interacciones en las **dimensiones social y ambiental** mostraron la necesidad de fortalecer las relaciones institucionales para una planificación conjunta, una tarea no ejecutada en la actualidad. Para ello, se motivó la participación de los actores en las actividades y en el proceso de elaboración de herramientas de planificación aplicando técnicas de facilitación y socialización de resultados. Además, fue necesario construir argumentos técnicos sobre las condiciones ambientales de la cuenca y demostrar el impacto que cada sector ejerce sobre la disponibilidad y distribución del recurso en cantidad y calidad. Se evidenció la necesidad de compartir información y conocimiento para que la modelación resulte en una herramienta útil y validada por los actores, en un contexto de entendimiento de los impactos en una región donde los recursos hídricos limitados son compartidos por todos los actores.

Por otro lado, la **dimensión económica**, relevante para la implementación de estrategias de manejo del agua, requirió una mirada amplia para evaluar el desorden de la red de actores interactuantes y la falta de niveles de control para la gestión de financiamiento e implementación de proyectos en sí mismos, con la consecuente ejecución de iniciativas aisladas y poco coordinadas a nivel multisectorial. Este diagnóstico

ayudó a determinar estrategias con efecto a nivel cuenca (acciones estratégicas en el valle), las cuales fueron analizadas integralmente (con el enfoque sobre la cuenca) para mostrar la factibilidad y las ventajas de la planificación coordinada, necesaria para implementar acciones que beneficien la distribución y manejo del agua en toda la cuenca. Las estrategias integrales identificadas tienen la cualidad de optimizar el uso de los recursos económicos disponibles y, al mismo tiempo, velar por la condición hídrica de todos los sectores que aprovechan el agua de la cuenca.

A las dimensiones de la gobernanza antes mencionadas, se adicionó la **dimensión técnica**, esencial en el proceso de ADR **ya que requiere una articulación de actores y acciones que den continuidad y sostenibilidad al uso de las herramientas de la modelación estratégica**. Se evidenció la relevancia que tiene la densa red de conexiones para los actores, pues en la dimensión técnica se observa mayor conexión e interacción en los ámbitos de fortalecimiento de capacidades, investigación y asistencia técnica.

La red de actores dispone de información, pero no cuenta con un repositorio que la sistematice y unifique, teniendo como consecuencia la realización de análisis paralelos que eventualmente no contribuyen al uso efectivo de la información. Este hecho ha sido un punto crítico para recomendar el aprovechamiento de la densa red de información susceptible de ser agregada para activar un marco de evaluación sistematizado y unificado. Dicho marco daría pie a que los actores clave participen no solo con criterios de manejo del recurso, sino que también converjan en líneas de investigación efectivas, ordenadas y sobre todo coordinadas.

En resumen, el análisis de la red de actores y sus conexiones en diferentes temáticas de la gobernanza del agua demostró que existen interacciones a nivel político, y que es necesario reforzar los componentes social y ambiental con el involucramiento de actores en las instancias participativas. Acciones específicas, como el aprovechamiento de la coordinación existente entre organizaciones de gobierno para la convocatoria y la motivación de los actores en las temáticas ambientales y sociales, optimizarían las condiciones de participación, y prepararían el ambiente para implementar y operar las herramientas desarrolladas en el presente estudio en todas las dimensiones de gobernanza.

Quedó claro que la dimensión técnica es un punto de entrada para la modelación estratégica, mientras que la dimensión económica requiere una mirada amplia de las alternativas socialmente consensuadas para la implementación de estrategias y la financiación de proyectos. En la modelación estratégica es importante mantener la visión del objetivo global de lograr herramientas técnicas y equipos capaces de usarlas y de comprender la información generada por los diferentes actores. De esta manera se crearían las condiciones necesarias para una efectiva aplicación de la gobernanza del agua.

En este estudio en particular se promovió el liderazgo e interacción coordinada entre las instituciones con el propósito de que desarrollen capacidades de manejo de herramientas de planificación y modelos para dar continuidad al proceso ADR en el futuro. La clave fue lograr que todas las acciones se implementaran en un proceso iterativo de aprendizaje para ajustar las estrategias a las condiciones política, social, económica y ambiental de la cuenca desde una perspectiva concatenada de los actores clave de la misma.

El Modelo WEAP de la Cuenca del Río Rocha

El punto de partida para la construcción del modelo WEAP para la cuenca del Río Rocha fue la plataforma del Balance Hídrico Superficial de Bolivia (BHSB) del año 2017 (MMAyA 2018) y el Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones – PMM (MMAyA 2016) en su versión actualizada de 2017 (MMAyA 2017). De estos, el primero fue muy útil en la consolidación de los datos de clima de entrada para la modelación, y el segundo, para obtener información de la demanda de agua para riego en la zona prevista del proyecto Múltiple Misicuni y datos medidos en estaciones hidrométricas.

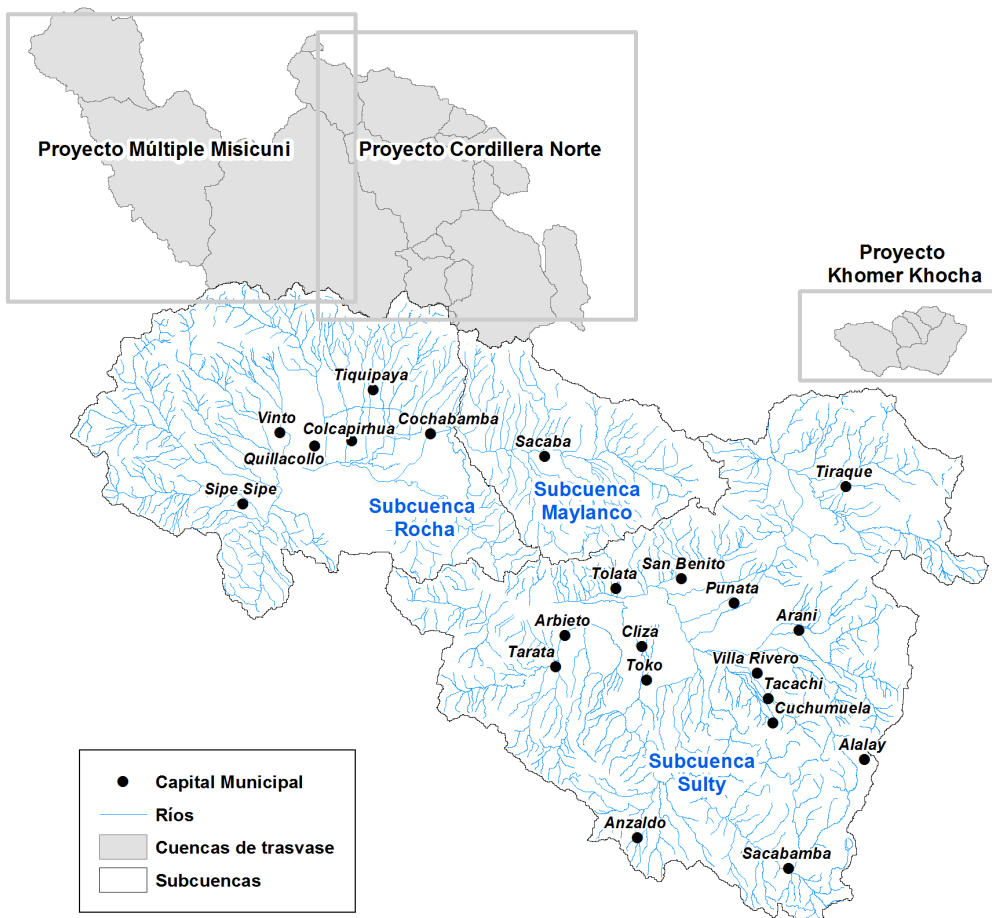
La plataforma WEAP desarrollada en el estudio BHSB 2017 ofreció una línea base para representar el balance hídrico superficial del país en el periodo hidrológico 1980-2016. El presente estudio usó información del BHSB relacionada con datos de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y horas sol. El modelo WEAP del área de riego prevista por el Proyecto Misicuni simuló el estado

actual de las demandas de agua para riego, así como la oferta de agua actual y potencial en sus cuencas de aporte, y también sirvió como fuente de información de las demandas asociadas a riego.

Los resultados de la parametrización y calibración en la estación hidrométrica situada aguas arriba de la presa Misicuni mostraron un buen ajuste entre los datos observados y los datos simulados con parámetros de calibración aceptables (Nash-Sutcliffe de 0.67, y sesgo medido por el PBIAS es -4.99%). Estos parámetros indican que existe una subestimación del 5%, lo cual indica un desempeño aceptable del modelo.

En la modelación se consideraron dos sectores de demanda de agua: urbano y riego. La demanda de agua urbana en los municipios de la cuenca fue estimada en función del número de habitantes, dotación per cápita, y pérdidas de los sistemas de distribución. Para fines de modelación, se distinguió entre la cobertura de la EPSA y OLPE, excepto en el municipio de Cochabamba. Según el plan maestro metropolitano de agua y saneamiento (MMAYa 2014), en las subcuencas Rocha y Maylanco se distinguen dos tipos de entidades prestadoras: EPSA y OLPE. La EPSA (Entidad Prestadora de Servicio de Agua y Saneamiento) es una entidad dependiente del Gobierno Municipal, con un área de servicio normalmente circunscrita al área urbana correspondiente. Por otro lado, los Operadores Locales de Pequeña Escala (OLPE) son organizaciones comunitarias o cooperativas autónomas de las entidades municipales que prestan el servicio de agua a sus áreas de ocupación territorial inmediata. Sólo algunos OLPEs prestan el servicio de alcantarillado sanitario y ninguno brinda servicios de tratamiento de aguas residuales. Ambas prestadoras del servicio son reguladas por la AAPS (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico).

Mapa 1. Subcuencas, municipios y cuencas potenciales de suministro



La fuente de información principal para la caracterización fue el mismo Plan Maestro. La dotación en la subcuencas Maylanco y Rocha se asumió en 120 litros por persona día (lppd). Para la demanda urbana en la subcuenca Sulty, se recopiló información de fuentes de suministro en visitas a los municipios. Para la estimación de los requerimientos de riego de los cultivos se realizó un balance hídrico simple usando la metodología de la FAO basada en la evapotranspiración potencial de referencia y los coeficientes de cultivos (kc).

Se delimitó el área regable de la cuenca mediante la digitalización de imágenes de Google Earth. El punto de partida de la modelación de las zonas de riego fue el modelo WEAP para el Proyecto Misicuni mencionado en secciones precedentes (MMAyA 2017). Para las subcuencas de Rocha y Maylanco el criterio usado fue la zonificación de áreas productivas dominantes propuestas por el PEIRAV (PEIRAV and CLAS 1999) y actualizadas en 2016 (MMAyA 2017).

En la cuenca del Río Rocha se pueden diferenciar tres grandes unidades geomorfológicas: la zona montañosa, la zona de pie monte y la zona de llanuras. En particular, la zona de llanuras está formada por depósitos fluviolacustres significativos desde el punto de vista de recursos hídricos, ya que representan importantes acuíferos. En la cuenca se pueden diferenciar tres grandes llanuras: Valle Sacaba (Subcuenca Maylanco), Valle Cochabamba (Subcuenca Rocha) y Valle Alto (Subcuenca Sulty). En base a lo anterior, se definieron tres acuíferos para la modelación, cada uno representado por un sistema de aguas subterráneas.

Un aspecto importante a considerar en la cuenca fue la calidad del agua del Río Rocha, receptor de aguas residuales de la zona urbana de los municipios de Sacaba, Cochabamba, Colcapirhua, Tiquipaya, Quillacollo, Vinto, y Sipe Sipe, gran parte sin el tratamiento respectivo. Asimismo, a lo largo de su curso, el río recibe descargas provenientes de industrias. El crecimiento de la población y el aumento desordenado de la mancha urbana carente de servicios básicos han influido en la problemática de calidad del río Rocha. La auditoría ambiental de la (Contraloría General del Estado 2011) determinó que las aguas del río, en la mayor parte del área de estudio, son de mala a muy mala calidad.

En la evaluación se usó el Índice de Calidad de Agua (ICA); gran parte de los tramos evaluados presentan un ICA de mala a muy mala, excepto en la cabecera del río donde el agua tiene calidad media. En tramos considerables del río en los municipios de Sacaba, Quillacollo y Sipe Sipe la calidad del agua es muy mala.

Vulnerabilidad y Estrategias de Manejo del Agua

El presente estudio estimó la vulnerabilidad mediante el criterio de confiabilidad o frecuencia de falla propuesto por (Fowler et al. 2003), definida como el porcentaje del tiempo que un sistema ha tenido éxito en sus objetivos. Se estimó la frecuencia de falla para las medidas de cobertura de la demanda de agua potable, la cobertura de demanda de agua agrícola y las concentraciones de DBO. Para fines de reporte, se definieron como umbrales de sistemas en falla: menos del 100% en cobertura urbana, menos de 80% en cobertura de riego y menos de 30 mg/ en DBO.

Con este análisis y evaluación del comportamiento de la simulación de la cuenca fue posible desarrollar una matriz de vulnerabilidad para las condiciones de incertidumbre caracterizadas y para los umbrales descritos previamente. Además, el estudio evaluó los cambios de vulnerabilidad con base en la implementación de las estrategias identificadas, las cuales se listan a continuación:

Proyecto Múltiple Misicuni: Consiste en el aprovechamiento de las cuencas de los ríos Misicuni, Viscachas y Putucuni que nacen en la Cordillera Tunari, aproximadamente a 40 Km. de la ciudad de Cochabamba. El Proyecto tiene tres componentes: el suministro de agua potable al área metropolitana de Cochabamba (zona urbana de los municipios de Sacaba - también llamado Cordillera Norte -, Cochabamba, Tiquipaya, Quillacollo, Colcapirhua, Vinto, y Sipe Sipe); el suministro de agua para riego, y la generación de energía eléctrica. En la actualidad el embalse ya almacena agua, suministra un caudal de 700 l/s a la ciudad de Cochabamba, entrega caudal a algunas zonas de riego y también permite generar energía hidroeléctrica.

Nuevos Transvases hacia la Cuenca: En esta estrategia se consideraron dos proyectos relevantes: Trasvase de agua Sacaba y Trasvase Khomer Khocha. En el primer caso ya existe un estudio detallado acerca de los aspectos técnicos y financieros, mientras que en el segundo solo está disponible un relevamiento preliminar con bastantes limitaciones y datos susceptibles de una revisión previa a su utilización en una valoración como estrategia.

Tratamiento de aguas residuales: Para caracterizar esta estrategia se consideró la información disponible en el plan maestro de agua y saneamiento de 2012. La estrategia se enfoca en reducir el problema de la calidad del agua en el Río Rocha, sobre el que se descargan aguas residuales de las zonas urbanas de los municipios de Sacaba, Cochabamba, Quillacollo, Colcapirhua, Tiquipaya, Vinto y Sipe Sipe.

Reducción de pérdidas: Esta estrategia se enfoca en la reducción de pérdidas en el sector riego. En la actualidad, en los sistemas de riego tradicional se registran pérdidas que ascienden a 70%. Con algunas mejoras en la infraestructura de conducción o canales podrían reducirse las pérdidas y lograr una eficiencia en el orden del 35 y 45%.

En la siguiente tabla se describe el potencial de las estrategias combinadas.

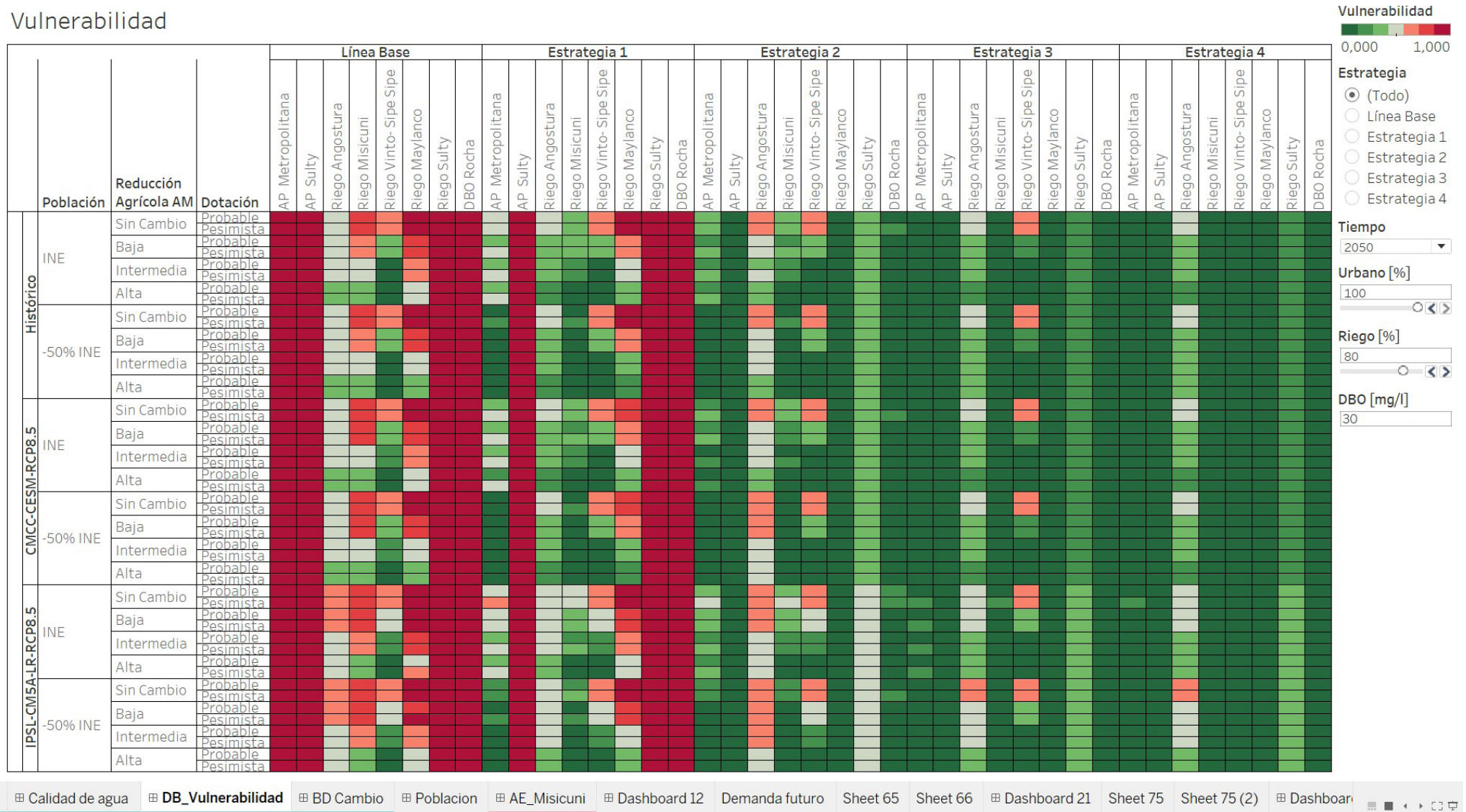
Tabla 1: Estrategias combinadas y eficiencia esperada

	Proyecto Múltiple Misicuni	Nuevos Transvases	Tratamiento de Aguas residuales	Reducción de pérdidas riego	Descripción
Línea base	Línea Base 2016				
Estrategia 1	Misicuni				Eficiencia 35% La estrategia 1 consistente en la Fase II del proyecto Múltiple Misicuni, donde se suministra agua tanto a agua potable como riego. Además la estrategia incluye la reducción de pérdidas en sistemas de riego, hasta llega runa eficiencia de 35%.
Estrategia 2	Misicuni	Khomer Khocha	Sacaba	PTARs	Eficiencia 35% La estrategia 2 incluye la Fase II de Misicuni, el trasvase de Khomer Khocha, trasvase de agua Sacaba en su Fase I (también llamado Cordillera Norte Fase 1), Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana, y una eficiencia de 35% en los sistemas de riego.
Estrategia 3	Misicuni+ Viscachas	Khomer Khocha	Sacaba + Fase II Misicuni	PTARs	Eficiencia 45% La estrategia 3 incluye Misicuni en su Fase III de forma parcial (solamente el trasvase desde la cuenca Viscachas), el trasvase de Khomer Khocha, trasvase de agua Sacaba en su Fase II (también llamado Cordillera Norte Fase II), Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana, y una eficiencia de 45% en los sistemas de riego.
Estrategia 4	Misicuni+ Viscachas+ Putucuni	Khomer Khocha	Sacaba + Fase II & Fase III Misicuni	PTARs	Eficiencia 45% La estrategia 4 incluye Misicuni en su Fase III de forma completa (Viscachas y Putucuni), el trasvase de Khomer Khocha, trasvase de agua Sacaba en su Fase III (también llamado Cordillera Norte Fase III), Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana, y una eficiencia de 45% en los sistemas de riego.

Las Figuras 1 y 2, matrices que representan la implementación de estrategias combinadas ante las incertidumbres de la cuenca, muestran todas las combinaciones de incertidumbres, incluyendo el clima, el crecimiento de la población, la reducción de áreas agrícolas y los cambios en la dotación. En las filas de la Figura 1 se tienen todas las combinaciones de incertidumbres y en las columnas, las medidas de desempeño previamente descritas. En el extremo derecho se detalla la leyenda de colores de vulnerabilidad y los diferentes umbrales de las medidas de desempeño. La vulnerabilidad está representada con una escala de colores que va desde verde (mínima vulnerabilidad) hasta rojo (muy vulnerable).

Figura 1. Matriz de vulnerabilidad de las línea base y de las estrategias definidas.

Vulnerabilidad

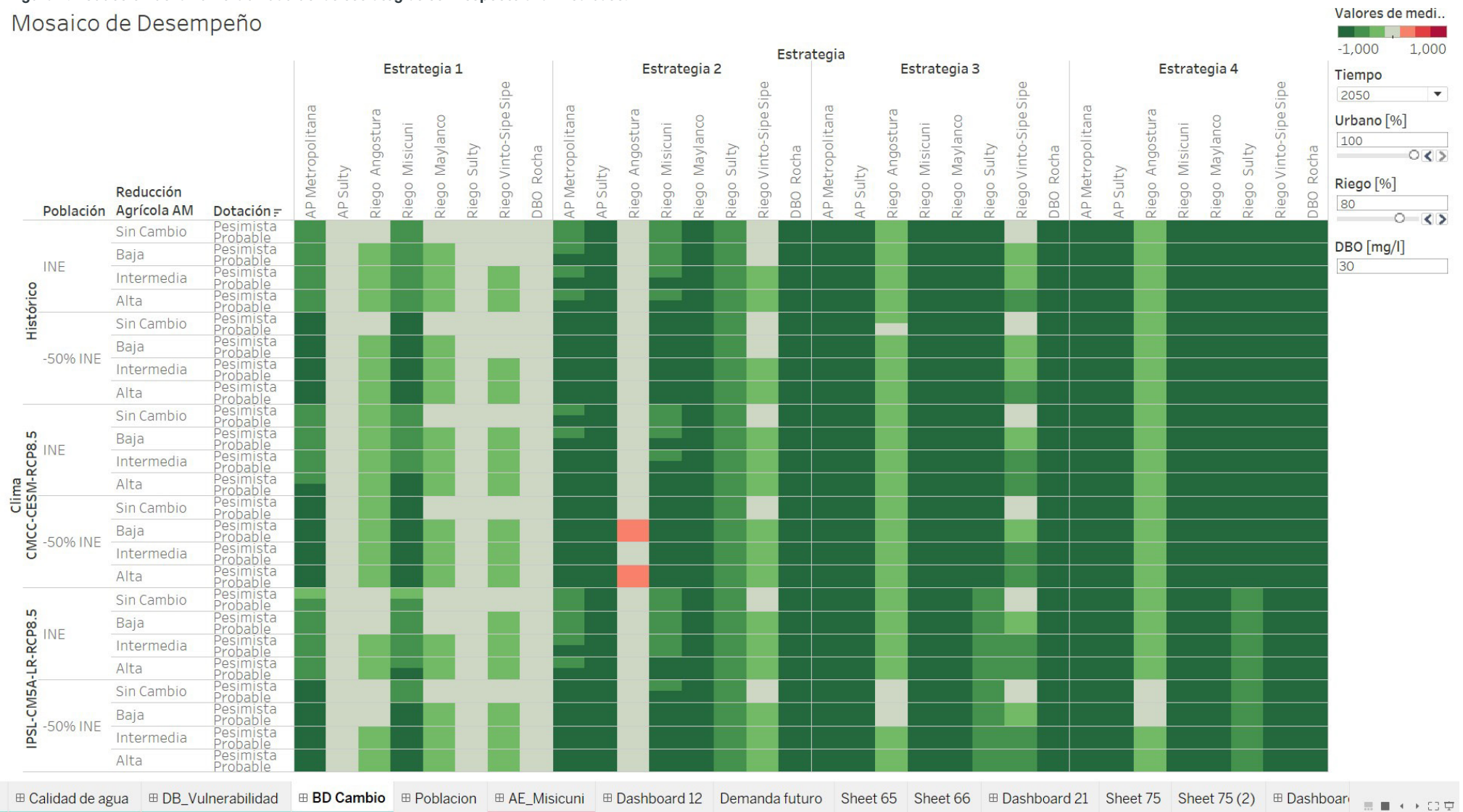


En la Figura 1 se observa la matriz de vulnerabilidad de la línea base y las diferentes estrategias, y en la Figura 2, la reducción de la vulnerabilidad para cada una de las medidas de desempeño según las estrategias analizadas. Las columnas contienen las medidas de desempeño que son cobertura de agua

potable para las demandas urbanas del Área Metropolitana y del Valle Alto; la cobertura de la demanda de agua para riego de Angostura, Misicuni, Sacaba, Valle Alto y Vinto-Sipe Sipe, y la calidad de agua medida por la DBO en el Río Rocha.

Figura 2. Reducción de la vulnerabilidad de las estrategias con respecto a la línea base.

Mosaico de Desempeño



En La figura se muestra la matriz o mosaico de cambio de la cuenca para el horizonte 2020-2050 con la consideración de las estrategias, en las filas se tiene las diferentes incertidumbres identificadas en el proceso ADR. En las columnas se tienen las medidas de desempeño para las estrategias. El color

verde significa el porcentaje de cambio con la implementación de cierta estrategia es 100% (cambio favorable), el color gris significa que no existe ningún cambio, y el rojo significa un cambio desfavorable de la estrategia también en porcentajes. Los umbrales o criterios son similares a las Figura 1.

Las matrices evidencian que la estrategia 1 solamente reduce la vulnerabilidad de Riego Angostura, y no alcanza a mitigar la vulnerabilidad de otras zonas como el Agua Potable del Valle Alto, y el Riego Sacaba y Valle Alto. También se observa que la DBO del Río Rocha se reduce adoptando las estrategias 2, 3 y 4.

Este análisis posibilita una mirada comprensiva de las condiciones actuales y futuras de la cuenca en función de las incertidumbres y de las posibles estrategias para mejorar la disponibilidad del recurso hídrico. Con esta matriz de vulnerabilidad es posible cuantificar los efectos de las estrategias y proporcionar a los actores y tomadores de decisión un abanico de opciones para el cumplimiento de los objetivos planteados en la cuenca.

Conclusiones

Respecto a las condiciones actuales de la oferta y demanda de agua en la cuenca, los resultados del balance hidrológico para el periodo histórico indican que la precipitación en la cuenca es 507.6 mm, y la evapotranspiración real, 369.9 mm, lo cual representa el 73% de la precipitación. La escorrentía de la cuenca fue estimada en 119.9 mm, lo que equivale a un volumen anual de 439.5 hm³ y un caudal de 13.9 m³/s.

A nivel de subcuencas, la precipitación y la evapotranspiración en Sulty fue estimada en 442.5 mm y 344.4 mm, respectivamente, y la escorrentía en 82.7 mm (para el tamaño de la subcuenca equivalente a un caudal de 5.3 m³/s). En la subcuenca Rocha la precipitación es 621.1 mm y la evapotranspiración 412.4 mm, en tanto que el caudal resultante para el área de la subcuenca es 6.9 m³/s (para una lámina de escorrentía de 184.9 mm). Por otro lado, la precipitación y evapotranspiración en la subcuenca Maylanco es 499.1 mm y 372.2 mm, respectivamente, y la escorrentía, 115.4 mm (para el área de la subcuenca equivale a un caudal de 1.6 m³/s).

Los escenarios de cambio climático indican que la precipitación anual en la cuenca podría reducirse hasta en 7%. En los meses lluviosos de febrero y marzo las reducciones serían del orden de 15 y 30%, respectivamente. Además, la temperatura podría incrementarse hasta en 1.8 °C para el periodo 2020-2050, lo que tendrían un efecto en la oferta de agua. Según estos escenarios, la oferta podría reducirse 13% a nivel anual, y hasta en 20 y 48% en los meses de febrero y marzo.

En cuanto a las condiciones actuales de uso de agua en la cuenca, la demanda de agua para riego (incluyendo pérdidas) para un área regable de 13424 Ha en la región metropolitana es aproximadamente 226 hm³ y la demanda insatisfecha, 115 hm³. Para un área regable de 26577 Ha en el Valle Alto, la demanda de agua se estima en 430 hm³ y la demanda insatisfecha, en 278 hm³. Con el cambio climático, esta demanda podría incrementarse hasta en 12%.

En las subcuencas Rocha y Maylanco, que abarcan la región metropolitana, la demanda de agua para consumo humano en 2015 fue aproximadamente 56.6 hm³, lo que equivale a 1796.6 l/s (sin contar pérdidas del orden de 35 y 40%). La demanda insatisfecha en ambas subcuencas fue estimada en 733.7 l/s (sin contar pérdidas del orden de 35%). En la subcuenca Sulty (Valle Alto) la demanda calculada es 5.6 hm³, que equivale a 178.5 l/s (sin incluir pérdidas), mientras que la demanda insatisfecha fue modelada en 111.4 l/s.

Anteriores estudios verifican la explotación insostenible de aguas subterráneas. El Proyecto Integrado de Recursos Hídricos de Cochabamba (PIRHC) estimó una extracción de 19 Hm³ en la subcuenca Rocha en 1976, mientras que en 1996, según el estudio de MERCADO CONSULTANTS, las extracciones fueron de 49 Hm³, es decir que en 20 años hubo un incremento de 30 hm³. En este estudio las extracciones (sin incluir pozos privados) se estimaron en 52 hm³. En el caso del Valle Alto (Subcuenca Sulty) las extracciones en 1976 fueron de 1.8 Hm³, y alrededor de 23 hm³ en 1998, según el estudio de Control y la Protección de las Aguas Subterráneas en el Valle Alto (CPAS). Dicha investigación calcula extracciones de 36 Hm³.

Por otro lado, el Río Rocha presenta problemas de calidad de agua debido a las descargas de aguas residuales de la región metropolitana, la mayoría sin tratamiento alguno. En este estudio se determinó que las concentraciones de DBO fluctúan entre 428 y 852 mg/l, por encima de los límites permisibles, y los valores más altos corresponden al tramo de los municipios de Cochabamba y Sipe Sipe.

En referencia a los resultados del proceso ADR, la Estrategia 1, que básicamente es el Proyecto Múltiple Misicuni hasta su fase Fase II, podría garantizar el suministro en su área de impacto previsto solo hasta el año 2034, siempre y cuando continúen reduciéndose las áreas agrícolas. Para el conjunto de la región metropolitana, en específico para el sector urbano y riego, solo las Estrategias 3 y 4 podrían garantizar el suministro de agua hasta el año 2050. Se puede concluir también que la estrategia identificada para la subcuenca Sulty no garantiza una cobertura al 100% en el caso de riego. Es necesario seguir explorando y estudiando otras opciones que puedan reducir la vulnerabilidad, lo que en el largo plazo no pasa por explorar fuentes adicionales a las ya existentes en la cuenca, sino optimizar el uso del agua en diferentes sectores; las pérdidas en riego alcanzan un promedio de 70%.

Recomendaciones de Política

Las estrategias identificadas y evaluadas permiten reducir la vulnerabilidad de diferentes sectores de la cuenca a sufrir déficits en la dotación de agua. No obstante, se evidencia que ninguna de las estrategias ejecutadas de manera individual permitirá alcanzar el objetivo de 100% de cobertura de las demandas de agua en la cuenca. Con base en esta conclusión, la principal recomendación de política es combinar las estrategias identificadas y aunar esfuerzos para lograr estrategias integrales que promuevan la adaptación integrada de la cuenca. La razón es que las estrategias evaluadas son fruto de esfuerzos individuales y localizados que no logran cubrir las necesidades completas a nivel de la cuenca. Desde esa perspectiva, el Plan Director de la Cuenca del Río Rocha se convierte en el espacio para realizar dicha evaluación y dar seguimiento a un proceso de planeación continua y participativa, que sea transversal en relación a los diferentes sectores que aprovechan el agua (riego, agua potable, energía e industria, entre otros).

A continuación se listan algunas recomendaciones para el desarrollo de capacidades de diseño de estrategias de adaptación del recurso hídrico de forma participativa, según los resultados del ADR, de modo que los tomadores de decisión puedan escoger alternativas en base en la deliberación consensuada y sensata (Pahl-Wostl et al. 2007)

Sobre las Estrategias de Manejo de Agua para los Actores

El presente estudio se apoyó en la modelación para capturar de forma práctica la interacción de estos factores usando el agua como el hilo conector entre los diferentes sectores de la cuenca. Se presentaron los resultados de diversas medidas de manejo del agua capaces de contrarrestar los efectos inciertos, pero que tienen la deficiencia de ser sectoriales (aspecto que se visibiliza en la vulnerabilidad estimada para la cuenca), sin converger en un resultado óptimo para todos los sectores mencionados.

El marco de evaluación de las estrategias de manejo robustas en relación al desempeño de las mismas permite observar un amplio rango de escenarios futuros posibles, pero inciertos, lo que implica la necesidad de diversificar las medidas de manejo. Los actores de la cuenca postulan un régimen de adaptación con una estructura de gobernanza horizontal y amplia participación de los interesados, que permita una integración sectorial, el análisis conjunto de problemas emergentes y la definición de políticas considerando el estado de toda la cuenca. Se plantea enfrentar los problemas entre las jurisdicciones mediante escalas múltiples de análisis y de administración.

En el desarrollo de políticas, así como en la implementación de las mismas, es fundamental tener en cuenta la naturaleza social-ecológica del medioambiente en la cuenca y las incertidumbres asociadas con su manejo. El uso de la información disponible debe permitir un entendimiento uniforme del estado global de la cuenca, y esto se logra compartiendo información ordenada y homogenizada. De esta forma, la información es susceptible de ser usada en herramientas de planificación, dando valor práctico y técnico al proceso de toma de decisiones.

El aumento y mantenimiento de la flexibilidad de la capacidad adaptativa del manejo de los regímenes del agua debe ser la meta principal de la continuidad futura para implementar un ADR en el proceso de planificación de la cuenca. En condiciones de disponibilidad de agua variables y contextos nuevos de uso de recursos adicionales (trasvases), los actores deben hacer uso de los recursos de forma más eficiente y

consciente, y considerando además el contexto general del estado de la demanda de agua en la cuenca y su condición deficitaria actual.

Las percepciones arraigadas y creencias que bloquean la innovación y el cambio para mejorar las condiciones a nivel local y global deben ser reemplazadas por el pensamiento creativo y soluciones concertadas en el contexto actual y futuro, en un proceso constante de retroalimentación. El diseño de un proceso abierto y transparente de aprendizaje con los actores es un requerimiento clave para regímenes de manejo de agua sostenibles. Por ello, el estudio dedicó esfuerzo a la construcción de confianza y capital social para resolver los problemas y promover una gobernanza colaborativa, y alentó un intenso proceso de interacción entre los actores en pos de la planificación participativa y una visión conjunta de las acciones posibles.

El ADR aplicado en el proyecto dio inicio al proceso de convergencia, el cual solo podrá continuar con la instauración de espacios de planificación participativa permanentes y con representación de todos los sectores convocados por el gobierno nacional y/o local como responsables de la implementación de políticas de manejo de recursos hídricos, y con respaldos institucionales para la regulación/administración efectiva del recurso. Sin estas condiciones, cualquier proceso de planificación en la cuenca no será operativo en el tiempo.

Sobre la necesidad de Generación de Capacidades Técnicas en el Uso de Herramientas de ayuda a la Toma de Decisiones

El proceso ADR identificó la necesidad de entrenar una nueva generación de administradores del agua con habilidades para el diseño e implementación de sistemas participativos de manejo de los recursos hídricos de la cuenca. Este proyecto se propuso dar un paso inicial en ese sentido, generando recursos útiles, específicamente herramientas técnicas de ayuda a la planificación (Taller de capacitación en la ciudad de Cochabamba realizado en junio de 2018). Algunas fueron implementadas en el proceso ADR del proyecto; sin embargo, dicho proceso es evolutivo, está en continua renovación y actualización, y ahora es responsabilidad de las instituciones locales y regionales operativizar las recomendaciones y continuar evolucionando para mejorar la gobernanza en los aspectos político, social, ambiental, económico y técnico.

En síntesis, la recomendación de política es activar la capacidad de convocatoria de las instituciones gubernamentales para promover instancias participativas, además de apoyar con recursos a los actores en temáticas ambientales y sociales para el fortalecimiento técnico y modernización de los mecanismos de planificación en el sector de agua, considerando el déficit hídrico en relación a la demanda actual y futura. Esta recomendación tiene cabida en el Plan Director de la Cuenca del Río Rocha, actualmente en proceso de elaboración: Las instituciones locales tendrán que aprovechar las circunstancias disponibles y comprometerse a trabajar en la sostenibilidad de su cuenca con una visión integrada. De no hacerlo, dados los antecedentes históricos del sector productivo y urbano y la menor disponibilidad hídrica prevista en el futuro, los recurrentes conflictos sectoriales se incrementarán con el paso del tiempo.

Referencias

- Contraloría General del Estado (2011). Informe de auditoría sobre el desempeño ambiental respecto de los impactos negativos generados en el Río Rocha.
- Fowler, H. J., Kilsby, C. G. and O'Connell, P. E. (2003). Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research*, 39(8), 1–11. DOI:10.1029/2002WR001778.
- MMAyA (2018). Balance Hídrico Superficial de Bolivia.
- MMAyA (2017). Diseño conceptual para el funcionamiento del componente riego del Proyecto Múltiple Misicuni.
- MMAyA (2016). Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones –Proyecto Múltiple Misicuni.
- MMAyA (2014). Plan Maestro Metropolitano de Agua y Saneamiento de Cochabamba Bolivia.
- Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., Jeffrey, P., Aerts, J., Berkamp, G. and Cross, K. (2007). Managing Change toward Adaptive Water Management through Social Learning. *Ecology and Society*, 12(2). DOI:10.5751/ES-02147-120230.
- PEIRAV and CLAS (1999). Balance Hídrico de la Producción Agrícola en el Valle Central de Cochabamba.
- Purkey, D. R., Escobar Arias, M. I., Mehta, V. K., Forni, L., Depsky, N. J., Yates, D. N. and Stevenson, W. N. (2018). A Philosophical Justification for a Novel Analysis-Supported, Stakeholder-Driven Participatory Process for Water Resources Planning and Decision Making. *Water*, 10(8), 1009. DOI:10.3390/w10081009.

SEI Headquarters

Linnégatan 87D Box 24218
104 51 Stockholm Sweden
Tel: +46 8 30 80 44
info@sei.org

Måns Nilsson

Executive Director

SEI Africa

World Agroforestry Centre
United Nations Avenue
Gigiri P.O. Box 30677
Nairobi 00100 Kenya
Tel: +254 20 722 4886
info-Africa@sei.org

Philip Osano

Centre Director

SEI Asia

15th Floor Witthayakit Building
254 Chulalongkorn University
Chulalongkorn Soi 64 Phayathai Road
Pathumwan Bangkok 10330 Thailand
Tel: +66 2 251 4415
info-Asia@sei.org

Niall O'Connor

Centre Director

SEI Tallinn

Arsenal Centre
Erika 14, 10416
Tallinn, Estonia
info-Tallinn@sei.org

Lauri Tammiste

Centre Director

SEI Oxford

Florence House 29 Grove Street
Summertown Oxford
OX2 7JT UK
Tel: +44 1865 42 6316
info-Oxford@sei.org

Ruth Butterfield

Centre Director

SEI US

Main Office

11 Curtis Avenue
Somerville MA 02144-1224 USA
Tel: +1 617 627 3786
info-US@sei.org

Michael Lazarus

Centre Director

SEI US

Davis Office

400 F Street
Davis CA 95616 USA
Tel: +1 530 753 3035

SEI US

Seattle Office

1402 Third Avenue Suite 900
Seattle WA 98101 USA
Tel: +1 206 547 4000

SEI York

University of York
Heslington York
YO10 5DD UK
Tel: +44 1904 32 2897
info-York@sei.org

Lisa Emberson

Centre Director

SEI Latin America

Calle 71 # 11-10
Oficina 801
Bogota Colombia
Tel: +57 1 6355319
info-LatinAmerica@sei.org

David Purkey

Centre Director