

# PROYECTO IACC

## INFORME DE INTEGRACIÓN EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI, CHILE



El proyecto Adaptación Institucional al Cambio Climático AICC agradece el apoyo del Concejo de Investigación de las Ciencias Sociales y Humanidades de Canadá. Hacemos extensivo este agradecimiento a las comunidades del valle del Elqui y a los investigadores de las universidades de Regina, British Columbia, La Serena y del Instituto de Ecología Política.

[www.parc.ca/msri](http://www.parc.ca/msri)



OCTUBRE, 2009



# PROYECTO IACC

## INFORME DE INTEGRACIÓN EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI, CHILE

OCTUBRE, 2009

### RESUMEN

La acentuada tendencia a la disminución de las precipitaciones desde principios de 1900, ha expuesto a las comunidades rurales de la zona semiárida de la cuenca de río Elqui (CRE), a frecuentes sequías y ocasionalmente, a lluvias torrenciales que provocan aluviones e inundaciones. Para afrontarlas, las comunidades rurales, han desarrollado diversas respuestas sociales y tecnológicas, más o menos exitosas dependiendo de las condiciones sociales y el acceso a los recursos. Pero las cambiantes condiciones climáticas, los riesgos asociados al avance de la aridez, el desigual acceso a la tierra y al agua, que condicionan sus medios de vida, hacen más difícil el proceso de adaptación a los nuevos escenarios climáticos. El proyecto IACC intenta desarrollar una comprensión sobre las capacidades institucionales necesarias para enfrentar los riesgos del cambio climático en la CRE y en el sur de la cuenca del río Saskatchewan (SSRB). Este informe contiene los hallazgos de esta investigación.

Además de los riesgos asociados a las frecuentes sequías, aludes e inundaciones, erosión, heladas y temperaturas extremas, las comunidades enfrentan nuevos factores de estrés asociados al cambio del uso de la tierra. La modernización de la agricultura se ha caracterizado por drásticos cambios en los cultivos, tenencia de la tierra, tecnología y cambiantes condiciones de mercado que impactan en los ingresos de las comunidades rurales del Valle del Elqui. Las fluctuaciones en los mercados mundiales y los

cambios en las políticas agrarias, han intensificado los impactos de los factores climáticos aumentando la vulnerabilidad de las comunidades rurales.

Las estrategias adaptativas desarrolladas por las comunidades para disminuir su exposición y sensibilidades asociadas a factores climáticos incluyen, la diversificación de los ingresos mediante la migración estacional y permanente, la diversificación de los cultivos, construcción de infraestructura para la acumulación de agua y nueva tecnología para el riego eficiente, además de una ganadería transhumante y nuevas redes sociales. Los programas de inversión pública han mejorado efectivamente la capacidad de almacenamiento y la eficiencia en el uso del agua, a través de los programas de riego en la CRE, han mejorado la producción agrícola disminuyendo los riesgos y la exposición asociada a las sequías. Sin embargo, ni las comunidades rurales de agricultura de subsistencia y secano, ni las pequeñas localidades de temporeros de la agricultura, se benefician de esos programas y sus vulnerabilidades podrían aumentar con los escenarios climáticos futuros.

Los modelos climáticos para la CRE predicen un aumento sostenido en la temperatura y una disminución en las precipitaciones, acentuando las tendencias de hace un siglo. Frecuentes sequías y escasas pero intensas lluvias durante el invierno serán una característica importante del clima futuro en la CRE.





La agricultura se verá enfrentada a una disminución de las horas frío lo que afectará la calidad y productividad de muchos cultivos frutales en expansión que requieren de inviernos fríos, como los viñedos. Los inviernos más tibios y veranos más calientes serán una oportunidad para algunos cultivos, mientras que para otros se necesitará una reprogramación de las siembras y cosechas. El mayor desafío será el aumento en la demanda del agua, especialmente en los periodos prolongados de sequías.

Las actuales capacidades adaptativas de las comunidades rurales, de los gobiernos locales y del gobierno regional, muestran limitaciones importantes

para enfrentar los desafíos futuros del cambio climático y los eventos climáticos extremos. Un déficit de coordinación entre instituciones públicas y acceso a información completa y pertinente que permita un manejo integrado de los recursos hídricos, son algunas de las principales limitaciones para mejorar la capacidad adaptativa. Hay carencia de conocimientos acerca del comportamiento climático de las zonas de alta montaña, que sustenta a las reservas de agua que abastecen el caudal de río Elqui. También hay un déficit de políticas orientadas a reducir la concentración de recursos, mejorar la equidad, la planificación y prevención de riesgos y mejorar la coordinación multi-agencias para reducir la exposición y vulnerabilidad al clima.



## INTRODUCCIÓN

Las regiones semidesérticas del norte de Chile se están calentando a un ritmo más rápido que el promedio mundial y nacional. Los modelos climáticos futuros predicen aumentos en la temperatura y disminución de las precipitaciones, fortaleciendo tendencias iniciadas hace un siglo atrás. Las frecuentes sequías y las escasas pero intensas lluvias durante el invierno serán una característica importante del clima futuro en la Cuenca del Río del Elqui (CRE). Su agricultura se verá enfrentada a una disminución de las horas frío lo que afectará la calidad y productividad de muchos cultivos frutales dominantes y en expansión, que requieren de inviernos fríos, como los viñedos. Los inviernos más tibios y menos horas frío podrían convertirse también en una oportunidad para los cultivos sensibles a las heladas, aunque estos tendrán que enfrentar una potencial expansión de plagas y enfermedades.

En las zonas más altas del valle, el incremento en las temperaturas probablemente desplazará la isoterma cero hacia mayores elevaciones en los Andes, disminuyendo el área de reserva de agua en altura, acelerando la velocidad del derretimiento de nieve y hielos en el área del glaciar El Tapado (Carrasco et al. 2005). A su vez, esto podría afectar el caudal de primavera y verano de los ríos que sustentan la dinámica agricultura de exportación en la CRE (Zavala y Trigos 2009). La alta y conocida variabilidad climática inter-anual asociada a los eventos del ENSO. El Niño y la Niña, (años más húmedos o secos, respectivamente), probablemente presentará mayores fluctuaciones exponiendo al área a sequías más frecuentes y a intensas lluvias repentinas que impactarán en la estabilidad de los suelos, aumentando el riesgo de aludes e inundaciones.

El mayor desafío para las capacidades adaptativas de las instituciones en la CRE, se asocia a un escenario futuro con menor disponibilidad de agua y un aumento continuo en su demanda. Precisamente por estas razones el proyecto identifica las vulnerabilidades actuales de una muestra de 4 de las 18 comunidades rurales del valle de Elqui (Diaguitas,

Marquesa, Pisco Elqui, El Molle) y analiza las capacidades institucionales para responder a ellas y generar respuestas adaptativas.

La investigación integra información que emerge de la exposición climática pasada y presente de las comunidades seleccionadas, con las capacidades organizacionales asociadas al cambio de uso de suelos en la CRE y las nuevas formas de tenencia de la tierra con nuevos sistemas productivos orientados a los mercados de exportación. El estudio evalúa la vulnerabilidad de las comunidades y el rol de las instituciones en la resolución de conflictos asociados con el manejo de la nueva infraestructura del agua. El modelamiento del clima de la cuenca y la evaluación de probables escenarios futuros locales y sus impactos potenciales fueron complementados con una evaluación de las instituciones de la gobernanza del agua. El modelo de evaluación de vulnerabilidad elaborado por el proyecto integra en un sistema, las exposiciones actuales y pasadas y las capacidades adaptativas/vulnerabilidades presentes. Estas se contraponen con las vulnerabilidades y respuestas futuras bajo los nuevos escenarios climáticos futuros (Smit and Wandel 2006; Díaz et al. 2005).



Este informe se divide en cuatro partes. La primera describe las características de la CRE que influyen sobre las vulnerabilidades pasadas y actuales de las comunidades y sus capacidades adaptativas. La segunda sección, las condiciones futuras del clima que se esperan en la cuenca. La tercera sección señala las potenciales vulnerabilidades futuras y la cuarta proporciona algunas recomendaciones para mejorar las adaptaciones institucionales.

## 1.0 VULNERABILIDADES PASADAS Y FUTURAS

ESTA SECCIÓN DESCRIBE LA CRE Y LAS VULNERABILIDADES/SENSIBILIDADES PASADAS Y PRESENTES IDENTIFICADAS EN LAS COMUNIDADES FOCALIZADAS POR EL PROYECTO. LA SECCIÓN TRATA INICIALMENTE SOBRE LA EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDADES DE LAS COMUNIDADES RURALES, SEGUIDA DE UNA DISCUSIÓN DE LAS PRINCIPALES ADAPTACIONES INSTITUCIONALES.

### 1.1 EL CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI

La cuenca del Río del Elqui, se ubica en la Región de Coquimbo en el Norte de Chile (29°40 Lat. S a 32°10 Lat. S) con 9.675 km<sup>2</sup> y un largo desde la costa y a la cordillera de 150 km. Limita al norte con la región árida de Atacama; al este con Argentina; al oeste con el Océano Pacífico; y al sur con la cuenca de río Limarí. Su clima está influenciado por la zona desértica del norte y por el clima semiárido del Mediterráneo de la región central (Cepeda, et al. 2009).

La CRE presenta cuatro aspectos morfológicos principales: (1) las tierras bajas de la costa presentan suaves pendientes que ascienden del mar hacia las montañas, transportando la humedad del mar 25 km al interior del valle central; (2) de este a oeste el estrecho del valle fluvial transcurre hasta una altura de 850 msnm (en Rivadavia), ensanchándose poco a poco hasta alcanzar los cordones costeros; (3) las alturas promedio fluctúan entre los 800 a 3.000 metros de altura; y (4) la montaña alto andina presenta la mayor tasa de precipitación con una acumulación de nieve durante el período invernal y un derretimiento de glaciares en período estival que alimentan a los tributarios del Río Elqui .

El clima de esta región semiárida está fuertemente influenciado por las altas presiones del sistema Subtropical Anticiclón del Pacífico que se desplaza hacia el sur durante el invierno, permitiendo un sistema de bajas presiones que trae lluvias durante uno ó dos meses al año. El promedio actual de precipitaciones es de 100 mm/año, aunque pueden ser 2 ó 3 veces más durante los años de El Niño y la mitad

de ese promedio o menos durante los años influidos por La Niña. Hay también una gradiente de precipitación desde la zona media montaña hasta las altas cumbres, con precipitaciones de nieve de 200 a 400 mm (Fiebig et al. 2009; Zavala y Trigos 2009). Sin embargo, ocho meses sin precipitaciones es una característica común de la CRE con la excepción de la zona alto-andina.

En verano las temperaturas promedian entre 13 °C a 23 °C en la zona costera, en tanto que hacia el valle en los alrededores de San Carlos las temperaturas bordean los 14 °C a 29 °C. En el invierno el rango térmico varía de 7,8 °C y 16 °C en la costa (estación La Pelicana) a 9,5 °C y 18,5 °C en el valle (estación San Carlos). Aproximadamente a los 1.600 metros de altura, la temperatura empieza a descender drásticamente con un gradiente de 6.5 °C por cada 1.000 metros de altura. La humedad relativa también disminuye desde la costa (85%) a un interior más árido y seco (40%) en San Carlos.

Un significativo cambio en las precipitaciones ha sido registrado en la estación más antigua de la costa en el aeropuerto de La Serena, el cual indica una disminución importante del promedio de precipitaciones durante el último siglo pasando de 150-180 mm a principios del 1900 a un promedio actual de 100 mm/año. En los últimos 25 años la disminución de la tasa de precipitaciones en la CRE ha tendido a nivelarse mostrando una leve recuperación. Aún así, esta es la tendencia más marcada en el país y es una exposición que afecta tanto a los sistemas naturales como humanos (Fiebig et al. 2009; Cepeda 2009).



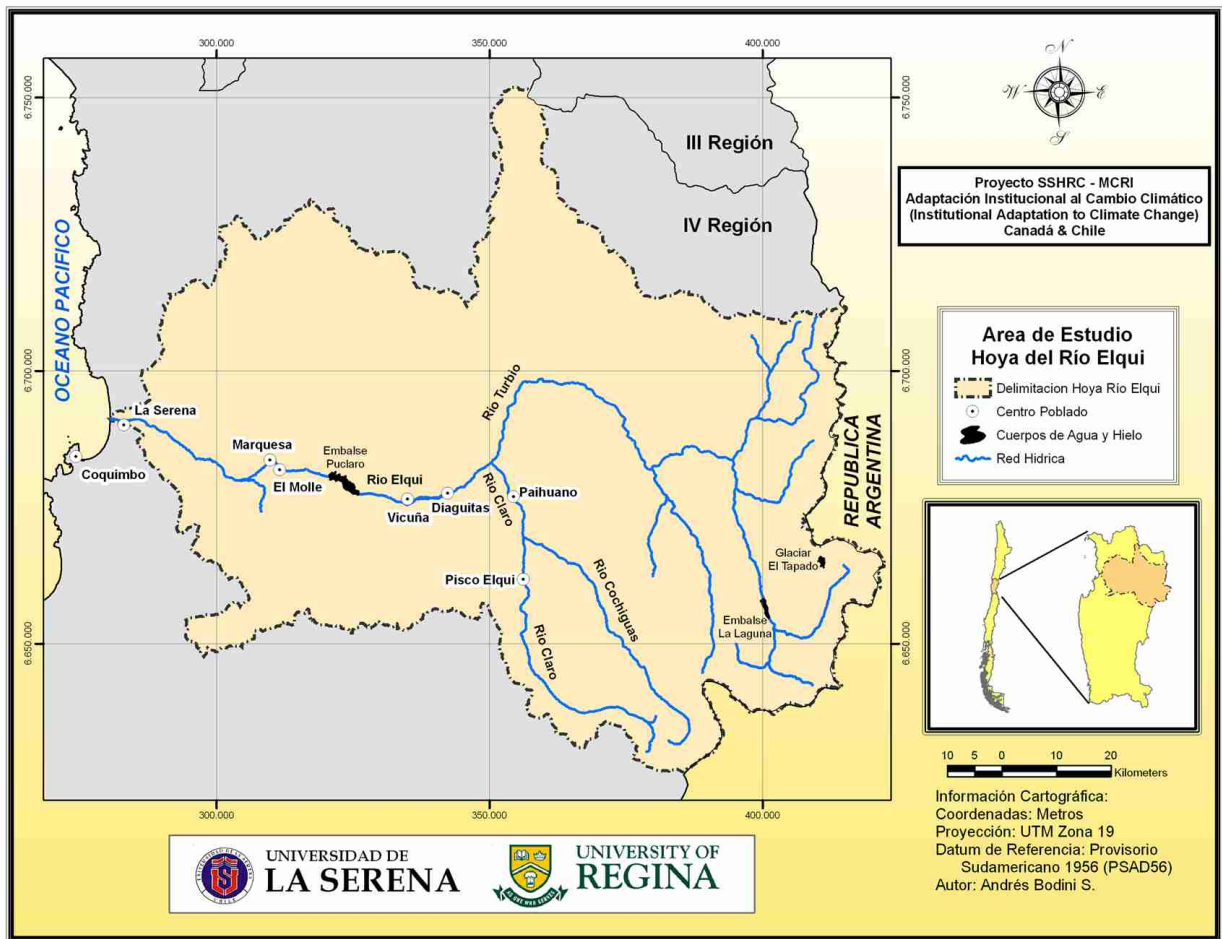


Fig. 1: La cuenca del río Elqui

## 1.2 SEQUÍAS Y EXPOSICIONES/SENSIBILIDADES CLIMÁTICAS PASADAS Y PRESENTES

La CRE es una zona árida con 8 a 10 meses sin precipitaciones, pero con una diversificada producción agrícola altamente dependiente de las escorrentías de los Andes (Fiebig et al. 2009; Zavala y Trigos 2009). Las escasas precipitaciones son en sí misma una exposición importante ya que varían drásticamente año a año, con mínimos de 40 mm durante sequías severas a rangos de hasta 360 mm/año. En años del El Niño (e.g., 1982, 1986, 1997, 2002) las precipitaciones se concentran en pocas horas (mayor a 40mm) con alto riesgo de aludes e inundaciones, dada la inestable naturaleza del suelo meteorizado y las escarpadas pendientes a ambos lados del valle. Sin embargo, sobre los 1.500 metros de altura las precipitaciones se distribuyen mejor, aumentando hasta 400-500 mm a mayor altitud.

Los registros históricos muestran una disminución continua en las precipitaciones, especialmente en la primera mitad del siglo XX, con una tendencia a estabilizarse en los últimos 50 años. Sin embargo, en las zonas de alta montaña las precipitaciones no siguen esta tendencia y pueden mostrar una tendencia opuesta (Fiebig 2009)

Entre 1915 y 2003, hubieron 11 años de sequías extremas (< 30 mm precipitaciones/año) y 16 años de sequías moderadas (entre 30-60 mm/año). En el valle, estos eventos impactan diferencialmente las localidades. Una revisión entre 1980 a 2003 mostró que Montegrande fue la más afectada por sequías extremas en 8 de 23 años (35%), Rivadavia tuvo sequías moderadas en 9 de 23 años (39%), y Pisco Elqui tuvo 8 en 23 años con

sequías moderadas (Pérez et al. 2009).

Las sequías impactan fuertemente a los criadores de cabras que dependen de praderas naturales y arbustos para el forraje. Muchos de ellos son campesinos sin tierra o de subsistencia, que practican una ganadería transhumante en tierras comunales, movilizándose hacia las tierras altas para acceder a praderas naturales durante el verano (Cepeda 2009).

Las sequías también tienen impactos en los ecosistemas naturales. Las especies nativas han estado sujetas a la alta variabilidad climática a nivel local y global desde sus orígenes y han desarrollado la capacidad de adaptarse a los cambios ambientales dentro de ciertos rangos. Se espera que la biota semiárida se adapte bien a los procesos de aridez inducidos por los futuros cambios de clima. No obstante, los cambios climáticos esperados serán entre 10-40 veces más rápidos que aquellos que ocurrieron en el pasado. Estos cambios producirían un fuerte aumento de la tasa de extinción local/global para muchas especies, favoreciendo a unas o promoviendo la diversificación de otras. Este proceso en asociación con el impacto de las actividades humanas, como la expansión agrícola, limitará las oportunidades para muchas especies ya estresadas por el sobrepastoreo, deforestación, incendios y herbicidas. El resultado neto será una pérdida de biodiversidad y la disminución de la productividad primaria en los hábitats naturales que aún subsisten en la CRE (Cepeda 2009b).

Los cultivos también tendrán que enfrentar una mayor variabilidad climática con periodos fríos ocasionales y heladas que impactan en los cultivos. La helada del año 2007, por ejemplo, duró varios días y tuvo impactos severos sobre las hortalizas y frutales en esta y otras regiones. Se perdió más del 50% de las cosechas y el Ministerio de Agricultura tuvo que declarar emergencia agrícola para proteger a los agricultores de la quiebra financiera (Salas et al. 2009; GORE Coquimbo 2007).

El patrón de lluvias breves pero concentradas junto con la precaria ubicación de viviendas y poblados

en áreas propensas a aluviones e inundaciones, aumentan la vulnerabilidad física y social de las comunidades que carecen de sistemas de alerta temprana. (Pérez et al. 2009; Salas et al. 2009)

Las precipitaciones en la CRE tienen lugar 2 a 4 meses en el invierno con aguaceros ocasionales muy intensos que en pocas horas pueden arrastrar aluviones de alta energía. Hay cuatro condiciones naturales que aumentan la exposición a este fenómeno: (1) la presencia de material suelto; (2) lluvias intensas ocasionales sobre suelos expuestos y con pendientes iguales o mayores al 25%; (3) deforestación, sobrepastoreo y prácticas agrícolas en suelos inestables, así como construcción de canales y caminos; (4) residuos mineros inestables en laderas. (Cepeda 2009c).

Un ejemplo del gran impacto de estos aludes ocurrió durante la noche del 22 de abril de 2004 en la localidad de Diaguitas, con 90 mm de lluvia en doce horas. Los suelos de los viñedos ubicados en las laderas de la Quebrada de Pullayes se impregnaron de agua y un alud arrasó con las grandes rocas, árboles y escombros de la quebrada. Más de 150 familias fueron afectadas, 60 familias perdieron sus casas, alrededor de 800 hectáreas de suelos agrícolas y la infraestructura de riego fue gravemente dañada y la escuela quedó destruida. Cuatro años después del suceso aún no han recuperado totalmente las pérdidas (Pérez et al. 2009).

Los aludes fueron mencionados como la amenaza más recurrente en las cuatro comunidades seleccionadas, pero particularmente en Diaguitas y Marquesa (Salas et al. 2009). Esto debido al hecho que todas las comunidades están ubicadas en laderas, a los pies de los cerros, cerca de ríos y quebradas en áreas vulnerables a los aludes e inundaciones. Los estrechos valles y empinadas laderas dejan pocas opciones para una ubicación ideal.

Las inundaciones son también una característica común en la CRE. Entre 1900 y 1981 hay 373 acontecimientos registrados, 4 veces más que los observados en las cuencas de los ríos Limarí y Choapa, al sur de la región. En 1997 hubo un ENSO muy marcado







con grandes aludes e inundaciones, con dos muertes en el Almendral y graves daños a la economía. (Pérez et al. 2009).

Históricamente la introducción de ganado caprino en zona áridas ha contribuido a la deforestación, pérdida de biodiversidad y alteración del ciclo hidrológico en la región, pero la ganadería caprina es también un componente importante de la economía de subsistencia (Salas et al. 2009). Durante trescientos años se han usado las praderas naturales en tierras comunitarias invierno y verano, pero el cambio de uso de suelos y el sobrepastoreo han reducido drásticamente la disponibilidad de forraje (Jorquera 2001; Cepeda 2009b). El ganado es trasladado a los pastos de veranadas en las zonas altas donde hay mayor frecuencia de precipitaciones (Cepeda et al. 2009). Aún así, el número y tamaño de los rebaños ha disminuido paulatinamente debido a la menor disponibilidad de forraje en invierno. El incremento de la aridez de la cuenca se refleja en la disminución sostenida del tamaño del rebaño de cabras. Además hay una reducción de un 43% en el número de crianceros de cabras en los últimos 17 años, pero aún

así, hay cerca de 160.000 cabras en la Provincia del Elqui (Chirpaz 2009; Salas et al. 2009).

La pequeña minería es una actividad tradicional de la cual dependen los ingresos de algunas comunidades (e.g., Marquesa y Nueva Talcuna). Esta minería ofrece, sin embargo, condiciones laborales precarias y estacionales y genera riesgos asociados con sus relaves abandonados sin tratamiento. Durante lluvias intensas y aluviones estos son removidos contaminando los suelos y las aguas (Salas et al. 2009). Las capacidades institucionales para regular y fiscalizar el cumplimiento de la legislación son débiles.

En relación a la contaminación del agua, las comunidades entrevistadas señalan la contaminación minera y la aplicación de pesticidas como los principales riesgos a la calidad del agua. A esto se suma la falta de alcantarillado y plantas de tratamiento en casi todos los sistemas de agua potable rural manejados por las comunidades (Reyes et al. 2009).

### 1.3 ADAPTACIONES INSTITUCIONALES PASADAS Y PRESENTES

La adaptación a las condiciones climáticas y otras exposiciones ha sido un proceso histórico en la CRE. Entre ellas se observan las migraciones hacia los distritos mineros del norte del país, la diversificación de cultivos y de fuentes de ingresos, así como la construcción de infraestructura para almacenar el agua de riego, control de inundaciones, la adopción de nuevas tecnologías de riego y la orientación productiva hacia nuevos mercados como las principales estrategias identificadas por el equipo de la IACC.

La construcción de infraestructura para el agua y planificación de riego comenzó en la primera mitad del siglo XIX en la CRE (Jorquera 2001), pero no fue sino hasta la mitad del siglo XX que la construcción de grandes reservorios de agua fueron el objetivo central de políticas que apuntaban a regular los ríos y almacenar agua. Las adaptaciones institucionales para asegurar el abastecimiento durante periodos de escasez han priorizado la construcción de embalses y sistemas de riego, y más recientemente la introducción del riego por goteo. La construcción en el año 1941 del embalse La Laguna (con capacidad para 40 millones m<sup>3</sup>) en la cuenca superior del río Elqui, fue el primer intento por regular su flujo y almacenar agua para riego. Este pequeño embalse y el manejo del sistema de riego acompañó el desarrollo de adaptaciones sociales como la creación de un distrito de riego en el Estero Derecho, aumentando la seguridad hídrica y la producción agrícola del valle.

Transcurrieron 57 años antes de que otro embalse fuera construido en la parte media baja del río Elqui, El Puclaro, a fines de la década de 1990. Este embalse tiene 200 millones m<sup>3</sup> de capacidad y permite asegurar dos años de suministro de agua. Ambos embalses aseguran el riego a cerca de 25.000 ha. de

cultivos, con tres organizaciones de regantes manejando un sistema hidráulico compuesto por 126 canales reflejando el aprendizaje social en el valle. La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas proporcionó el entrenamiento inicial para los distritos de riego que hoy son autónomos y que además cumplen otros roles sociales en sus comunidades (Salas et al. 2009; Reyes et al. 2009). Así, los embalses y la infraestructura de riego, como las organizaciones sociales que las manejan son consideradas adaptaciones tempranas para aumentar la seguridad del riego y reducir los impactos de las sequías en la agricultura.

Sin embargo, las medidas de adaptación no están libres de conflictos. La construcción del embalse de Puclaro y su área de 7 km de inundación obligó a reubicar el pueblo de Gualliguaica y a poblados cercanos, generando años de conflictos y controversias en el área (Rojas et al. 2009). Sin un estudio de evaluación ambiental y social apropiado para este proyecto, la respuesta de las instituciones a las demandas de las comunidades locales fue controversial. El proyecto erosionó el capital social y creó una serie de conflictos sociales entre las comunidades reubicadas. La queja más importante fue la pérdida de acceso al agua para riego y las tierras agrícolas (inundadas por el embalse). El paquete de compensaciones no reemplazó la pérdida de capital social ni mucho menos sus huertas tradicionales y los espacios de vida entorno al río.

Las comunidades fueron reubicadas cerca del embalse, pero sin poder extraer agua para riego y tampoco usarla en actividades asociadas con el turismo. La Villa Nueva Puclaro, ubicada en el margen sur del reservorio, que fusionó a tres poblados, tiene hoy un capital social erosionado y presenta una amplia incidencia



de depresión entre sus miembros. Los pobladores de Gualliguaica, en la margen norte, consideran que recibieron una compensación adecuada, pero perdieron su potencial agrícola y sus relaciones sociales cambiaron para siempre. De diferentes formas, los dos poblados reubicados representan la otra cara de la moneda de un exitoso programa de riego en la CRE. Aunque las nuevas ubicaciones están libres de los riesgos de inundaciones, están más expuestos a los aludes, sequías y carecen de tierras y agua para la agricultura de subsistencia (Rojas et al. 2009).

Otra medida adaptativa es la eficiencia en el riego. La introducción de tecnologías para el ahorro del agua, se asocia principalmente con la sustitución de la agricultura tradicional y la expansión de viñedos y cultivo de paltos para los mercados de exportación. El riego por goteo en el valle del Elqui es una adaptación reciente para enfrentar la creciente demanda por un recurso escaso. Esta tecnología en asociación con un poderoso sistema de bombeo permite ocupar las empinadas laderas con más plantaciones pero con el mismo volumen de agua. Los viñedos tiene la ventaja de ser un cultivo que crece en condiciones extremas, con inviernos fríos y veranos calientes que incentivan una buena calidad de las uvas. Los nuevos logros en tecnología están permitiendo la expansión de plantaciones de paltos y viñedos colonizando con terrazas las laderas de los cerros. En el valle del Elqui las plantaciones de fruta se han duplicado en menos de diez años (INE 2007).

Las adaptaciones asumidas por la agricultura comercial que integra tecnologías de ahorro de agua no son comunes a todos los productores de la CRE. El acceso al agua y a tecnologías mejoradas, como demuestra la evaluación de vulnerabilidades de IACC se distribuyen de manera desigual. La mayoría de las instituciones agro-industriales tienen recursos financieros y acceso a tecnologías para reducir los riesgos en sus cultivos. Incluso, ellos pueden ampliar sus derechos de agua a través de los mercados del agua. Los pequeños productores y agricultores tradicionales, en cambio, tienen poco acceso a los recursos hídricos, y cuando los tienen, usan el sistema de riego tendido tradicional. Claramente la construcción de grandes infraestructuras

para el agua fortalece, prioriza y potencia la productividad asociada con el modelo de exportación, pero margina la agricultura de subsistencia, generando conflictos y exclusión (Rojas et al. 2009).

El riego por goteo, así como las tecnologías de punta asociadas con la agricultura moderna genera desconfianza entre las comunidades locales que expresaron sus preocupaciones por potenciales impactos futuros. El efecto sobre la disponibilidad de agua de riego aguas abajo, es uno de ellos. En los sistemas de riego tradicional el agua utilizada en riego permite asegurar los derechos del usuario y de las secciones más bajas del río. Después del riego, el agua infiltrada reemerge en el curso del río. En cambio en el sistema de riego por goteo, hay un consumo eficaz del agua, pero limita la recarga del acuífero en las zonas bajas. Se puede regar más área y se "pierde menos agua" en comparación al sistema de riego con gravedad. Pero los agricultores temen de que no haya suficiente retorno de aguas y se limiten los derechos aguas abajo, y que el riego por goteo en el largo plazo pueda causar conflictos con los agricultores en las secciones bajas del río por la baja tasa de recarga del acuífero (Lira 2003).

Ese escenario puede ser complicado aún más por las sequías y por el agotamiento del acuífero, como ya ocurrió en la cuenca del río Copiapó. Las comunidades perciben que instituciones gubernamentales no han tratado el tema de la sobreexplotación y agotamiento de los acuíferos con la urgencia que ellos reclaman. Los pequeños agricultores y campesinos sin o poco acceso a los derechos del agua, temen que en un futuro cercano sus derechos se vean limitados por sus vecinos con más tecnologías.

La salinización de los suelos es otra amenaza importante asociada con esta tecnología y que tampoco ha sido tratada apropiadamente en la CRE. El uso intensivo de pesticidas en las plantaciones es otra preocupación recurrente de las comunidades expuestas a estas sustancias en el valle (Salas et al. 2009).

Las comunidades también expresaron sus temores

sobre los potenciales riesgos de aludes en las laderas que han sido transformadas en terrazas para nuevos cultivos. Las escasas pero intensas lluvias ya han enseñado dolorosas lecciones a la población local y estos temen que el cambio de uso de suelos aumente la fragilidad de los suelos y la exposición a los riesgos de aludes (Salas et al. 2009).

El Plan Nacional de Riego (2006) reconoce que la construcción de embalses y reservorios no siempre ha respondido a una planificación agrícola de largo plazo, que incluya un manejo integrado de cuencas y políticas de adaptación. Generalmente, responden a compromisos políticos o sociales hechos durante periodos de elecciones más que a una lógica asociada a un manejo integrado del agua y a un enfoque de cuencas. A menudo no ha habido una evaluación integral de la disponibilidad de agua superficial y subterránea de las cuencas y sistemas de recarga. Las asignaciones de los derechos del agua así como la infraestructura de riego siguen la lógica establecida por el Código de Agua en 1981; los derechos pertenecen a quien primero los solicita y registra, no hay prioridad de uso, ni obligaciones asociadas a un buen desempeño para asignar derechos del agua y el Estado los entrega gratuitamente y de por vida. El resultado final es un mercado de aguas, menos activo que lo esperado pero con una gran movilización de recursos públicos, tecnológicos y financieros, para manejar el agua como un bien privado (Hearne 1997)

Además, el Estado está cambiando sus políticas de inversión pública creando nuevos protocolos que permitan atraer e integrar la inversión privada en la construcción de infraestructuras de riego. Hoy es usual demandar compromisos financieros de los usuarios para compartir los costos y aprobar planes para nuevas infraestructuras de riego. De esta manera, la voluntad de reembolsar al estado por los costos totales o parciales de la construcción de los embalses impone una eficiencia en el uso del agua y una lógica de mercado en los usuarios del agua. Precisamente es el caso de la Junta de Vigilancia del Río Elqui que recientemente acordó desembolsar los costos de la construcción del embalse Puclaro al Estado, asumiendo los costos de mantención

y operaciones (Reyes et al. 2009).

El control privado de los embalses también ha impulsado nuevos acuerdos institucionales para integrar la generación de energía como una forma de recuperar costos y alternativa para generar nuevos ingresos. El Puclaro es el primer caso regional de integración de riego con planes de generación de energía (Reyes et al. 2009). Es un trato que permite una diversificación de ingresos y un paso importante hacia una producción de energía renovable, de bajo impacto que puede ayudar a limpiar la matriz energética de la región. Claramente, aquí hay una creciente capacidad institucional para manejar, diversificar y administrar los recursos del agua en el Distrito de Riego del Río Elqui.

Una de las principales desventajas de esta estrategia, es que los beneficios no son compartidos equitativamente entre los accionistas de los derechos del agua. Los más fuertes se vuelven más fuertes y no hay un mecanismo para integrar a aquellos que se quedaron fuera sin acceso al riego a menos que puedan pagar el precio de mercado por las acciones de agua.

El agua tiene un importante rol en la salud y para mejorar el acceso al agua potable en áreas rurales. Para ellos se crearon los "Comités de Agua Potable Rural-CAPR" que son administrados por la comunidad. Han sido un objetivo importante para los gobierno desde los años 60's. Esta estrategia ha sido reforzada en los años 90's con una fuerte expansión para atender toda la población rural concentrada. Los sistemas son construidos por el gobierno y son operados por las comunidades. Hoy más de 1.500 CAPRs que abastecen a más de un millón de personas en las áreas rurales de Chile. Se ha creado así un extenso capital social asociado a su construcción, manejo y administración autónoma de los CAPRs. Esta es una adaptación importante pues asegura colectivamente el suministro de un servicio vital.

Aunque existen vacíos institucionales y legales importantes para atender las necesidades de los servicios sanitarios rurales ofrecidos por los CAPRs, éstos prefieren permanecer autónomos y autogestionados,





oponiéndose a los intentos de traspasar su administración a las empresas de servicios sanitarios urbanos, privatizadas en los 90's en todo el país (Reyes et al. 2009). Los desafíos mayores están asociados con la ausencia de sistemas de recolección y tratamiento de aguas servidas y la expansión del sistema a los pobladores rurales más aislados y dispersos (casi medio millón de personas) que dependen de camiones aljibes sostenidos por las municipalidades, de sus propios pozos o captaciones improvisadas.

Un importante déficit identificado por las comunidades, es la insuficiente coordinación entre las agencias gubernamentales de la gobernanza del agua y la falta de recursos para una adecuada protección y control de calidad del agua potable rural (Reyes et al. 2009). Las redes de alcantarillado casi no existen en las zonas rurales con los consiguientes riesgos de contaminación de las aguas subterráneas. La recolección y tratamiento de las aguas servidas requiere de inversiones gubernamentales sustantivas para proteger efectivamente el agua y evitar los riesgos a la salud de las personas. Ante los riesgos de la contaminación minera, las aguas residuales y los pesticidas no hay un programa que integre y maneje estos temas sanitarios y enfrente la contaminación del agua.

Desde el retorno a la democracia en los 90's ha habido un aumento en las inversiones públicas en

nuevos proyectos de riego y rehabilitación de los antiguos. Entre 1990-2000 casi 275.000 hectáreas en el país fueron incorporadas al riego (Lira 2003). Además la Comisión Nacional de Riego (CNR) también ha aumentado sus esfuerzos y recursos para alcanzar un ambicioso conjunto de objetivos que incluyen integrar 460 mil nuevas hectáreas bajo riego para el 2014 (CNR 2008). El riego es considerado un componente clave para expandir la productividad y producción agrícola y poner a Chile entre los primeros 10 países exportadores agrícola, fortaleciendo su actual posición como la primera nación exportadora de fruta en el Hemisferio Sur.

Actualmente, cerca de 330 mil hectáreas están bajo la producción de fruta en el país, tres veces el área cultivada en 1990. Las exportaciones de fruta subieron de US \$800 millones de dólares en 1990 a US \$3.500 millones en 2007. Hay cerca de 60 grandes reservorios de agua y alrededor de 1.180 embalses de mediano y pequeño tamaño manejados por 212.000 usuarios, que riegan más de 1,2 millones de hectáreas a nivel nacional. El 80% de las exportaciones agrícolas son producidas bajo riego y por lo tanto, el objetivo de la CNR es integrar a un creciente número de familias agricultoras a la exportación de alimentos.

El mandato y las políticas de la CNR fueron fortalecidos el año 2005 con una mayor asignación de

recursos financieros para lograr la meta de transformar a Chile en una "Potencia Alimentaria" como se lo ha propuesto el Ministerio de Agricultura. Sin embargo, el cambio climático aún no está dentro de las preocupaciones de la CNR ya que perciben que el riego es la protección más efectiva para los productores agrícolas contra la sequía (Reyes et al. 2009).

Sin duda las inversiones en grandes infraestructuras de riego han aumentado la seguridad hídrica y mejorado la capacidad adaptativa de grandes y medianos agricultores. Pero la principal limitación de esta estrategia es la falta de un enfoque integral para el manejo de los recursos hídricos del agua y la equidad social. El "Plan Nacional de Riego" (2006) de la CNR reconoce este desafío:

*"Salvo excepciones, las obras de riego no han seguido en conjunto criterios de prioridad nacional. Ha existido, una coordinación institucional y metodologías insuficientes para el desarrollo de los proyectos; también se carece de una evaluación adecuada del impacto de las obras de riego en el desarrollo agrícola, y generalmente falta una participación activa de los potenciales beneficiarios"*

Uno de los principales déficits de la agricultura y los programas de riego es que la agricultura familiar y de subsistencia que produce alimentos principalmente para los mercados locales o nacionales están atrasadas en desarrollo tecnológico y con bajo acceso al riego. La mayor limitación para incorporar sistemas de riego es que la totalidad de los derechos de agua superficiales y la mayoría de los subterráneos ya han sido otorgados en las cuencas agrícolas relevantes. El acceso al financiamiento para el riego es sólo para los agricultores que ya poseen derechos del agua. Los agricultores más pobres, permanecen sin acceso a derechos de agua y nuevas tecnologías y excluidos de los programas de riego, una situación recurrente entre los pequeños agricultores en la CRE.

Lo anterior se explica en parte porque el Estado no conservó caudales de agua para demandas y usos futuros y asignó en su totalidad los derechos, pero también porque los agricultores debieron vender sus

derechos de agua por problemas económicos. Además la ausencia de una estrategia de gestión integrada de cuencas asociada a un conocimiento cabal sobre la disponibilidad actual o futura del agua e instrumentos para mejorar la equidad en los derechos de agua, han sido una limitación importante para los programas que buscan integrar la agricultura familiar a los programas de riego. Sin cambios sustantivos al Código de Aguas, las políticas de riego continuarán priorizando a los grandes y medianos agricultores y empresas que ya tienen o pueden comprar derechos del agua.

En las comunidades rurales de la CRE, los sistemas de conocimiento tradicional y el capital social se están perdiendo rápidamente por las migraciones y las transformaciones de la tierra. La excepción son las Asociaciones de Canalistas, Comités de Agua Potable y algunas asociaciones vecinales (Salas et al. 2009). Los productores pequeños y medianos del valle tienen organizaciones débiles y una pobre representación en las estructuras de toma de decisiones. Esto limita su capacidad de negociación con las instituciones del gobierno para asegurar algunos incentivos económicos para innovar y adaptarse a las cambiantes demandas del mercado, acceder a seguros para los cultivos y apoyo financiero para enfrentar las pérdidas en sus cultivos durante los eventos climáticos extremos. Sin embargo, a nivel regional existe un renovado interés por entender y responder a los desafíos sociales y económicos que plantea una aridez y procesos de desertificación en expansión.

Hay nuevas capacidades de investigación institucional que surgen en la región y que responden a una política de promover y descentralizar los organismos de investigación en el país. Entre ellos destacan centros especializados de investigación en zonas áridas y la gobernanza del agua. El Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas-CEAZA creado el 2003, integra dos universidades (Universidad de la Serena y Universidad del Norte) y el Instituto Nacional para la Investigación de la Agricultura-INIA del Ministerio de Agricultura. También el 2006, la UNESCO y el capítulo del Programa Hidrológico Internacional Chileno- IHP, creó el Centro de Agua para las Zonas



Áridas para Latinoamérica y el Caribe-CAZALAC. Su objetivo es fortalecer el desarrollo técnico, social y ampliar las capacidades técnicas de la región para manejar el agua en zonas áridas y semiáridas y aumentar el rol de las comunidades en el desarrollo de la nueva cultura del agua (Reyes et al. 2009).

Las instituciones gubernamentales del agua también están buscando respuestas para enfrentar los desafíos del manejo integrado de los recursos hídricos a través de iniciativas públicas y participativas como "La Mesa Regional del Agua" que se estableció el 2008 en la región de Coquimbo. Allí se integran las preocupaciones de organizaciones privadas, públicas y sociales y se gestan orientaciones para una agenda regional sobre políticas hídricas. No es claro cuánto peso e influencia mantendrá esta instancia en el futuro y su nexos con las cuencas de la región. De hecho no existe un espacio similar a escala de la CRE. Dado que la coordinación multi-agencias es aún débil, y la política para el manejo integrado de cuencas no se ha consolidado, no hay estrategia definida, ni recursos adicionales para superar las actuales limitaciones y anticiparse a los eventos climáticos cada vez más extensos. La "Mesa del Agua" puede aportar ideas y orientaciones pero no logrará en el corto plazo superar estas limitaciones. Mayormente, las agencias públicas siguen concentradas en expandir la producción agrícola, mejorar el riego y ampliar la infraestructura.

Existe buena información sobre la disponibilidad de agua superficial y caudales en la CRE (Zavala et al. 2009), pero no hay un conocimiento acabado sobre el uso, extracciones de aguas subterráneas y la capacidad de recarga de los acuíferos. También hay vacíos importantes en la recolección e integración de la información (especialmente acerca de la calidad, cantidad de agua e información climática para las secciones altas del Valle del Elqui). La información para modelar, integrar y proyectar el comportamiento de las reservas subterráneas y glaciares ante los escenarios futuros de cambio climático es aún incompleta y con altos niveles de incertidumbre (Fiebig et al. 2009). Esa incertidumbre en los datos para la modelación, ciertamente afectará la capacidad de planificación de medio y largo plazo

de las instituciones de la gobernanza del agua, a nivel regional como nacional. En cambio a nivel local, los grupos de interés se quejan porque no tienen acceso a información relevante y actualizada para entender adecuadamente los desafíos del cambio climático (Reyes et al. 2009).

Una respuesta institucional adaptativa ante los daños económicos causados por eventos climáticos extremos son los seguros para los cultivos. Actualmente casi todos los programas de seguros para cultivos comerciales están orientados a las operaciones de los grandes y medianos agricultores y agro-industrias. Sin embargo, recientemente, el Ministerio de Agricultura creó a través de INDAP un programa para integrar a los pequeños agricultores a los programas de seguros para cultivos. Por ahora, un grupo muy pequeño puede costearlos, a pesar de que el 50% de los costos son cubiertos por INDAP. Los seguros podrían complementar los programas de ayuda gubernamental (bonos por sequía), que no cubren todos los impactos económicos de los fenómenos climáticos y que generalmente no llegan a tiempo (Salas et al. 2009). Planes para desarrollar un sistema que permita estabilizar los ingresos de agricultores durante eventos extremos, no se ven muy próximos y la capacidad de las organizaciones de los pequeños agricultores no es fuerte como para transformar esto en una demanda política.

Los frecuentes aludes e inundaciones ponen a prueba las capacidades de las instituciones públicas y privadas de la CRE para coordinar sus respuestas y anticiparse a los desastres naturales. La experiencia de las comunidades entrevistadas ha revelado que durante las emergencias asociadas con aludes e inundaciones las respuestas fueron débiles y constataron que no había una comunicación y coordinación efectiva entre las instituciones públicas regionales y del municipio y tampoco con las comunidades afectadas. Por su parte, las comunidades tienen dificultades para identificar los roles y competencias de las instituciones públicas y acceder a ellas. Así, una deficiente capacidad de planificación, fiscalización y comunicación de parte de las instituciones del Estado limitan a una acción preventiva y capacidad adaptativa.

Un ejemplo de esto es la ubicación actual de algunas escuelas y viviendas en áreas propensas al riesgo sin que existan planes para su reubicación en áreas más seguras (Salas et al. 2009).

La protección de las fuentes de agua ante la contaminación es un tema deficitario. Aunque los gobiernos locales tienen vínculos directos con las organizaciones comunitarias, estos no tienen un mandato legal claro con respecto al agua. Sin embargo, durante las sequías y aluviones se producen fallas en los sistemas que abastecen el agua potable y el gobierno local está en la primera línea de respuesta respondiendo a la demanda de agua para el consumo humano. El Municipio usualmente organiza y coordina las operaciones de ayuda durante los desastres. Pero en el caso de la contaminación del agua u otros temas relacionados al manejo del agua, no tienen la capacidad técnica para responder y orientar a los usuarios. No está claro si la nueva política de gestión de cuencas, aún en fase piloto, será efectiva en dotar de un rol y capacidades a las instituciones de la gobernanza local del agua, mejorando la coordinación, planificación, comunicación y aprendizaje institucional.

Las agencias regionales tienen un poder discrecional muy limitado frente a la política de cambio climático y la asignación recursos. El centralismo es una queja frecuente entre las instituciones de la gobernanza del agua (Reyes et al. 2009). El Código de Aguas de 1981 se percibe como uno de los principales obstáculos para avanzar hacia una estrategia regional para el manejo integrado del agua. La coordinación y planificación multi-agencias de rango nacional y regional es débil y con capacidades limitadas para anticipar medidas preventivas que respondan eficientemente ante las sequías y otros fenómenos climáticos. Las políticas de agua se definen a nivel central y la planificación regional para avanzar hacia un manejo integrado del

agua aún están en su etapa inicial. La recientemente creada "Mesa del Agua" podría sentar las bases para un aprendizaje social que fortalezca el enfoque para un manejo integrado de cuencas. Sin embargo, más allá de las primeras "etapas de consulta", no es claro si la iniciativa permitirá cambiar y mejorar las instituciones de gobernanza regional del agua.

El acceso limitado a la información se percibe como una importante limitación para la acción. Una queja de los actores locales es que no tienen acceso relevante e información actualizada para entender adecuadamente los desafíos del cambio climático. Los dirigentes de la Junta de Vigilancia del río Elqui, por ejemplo, reconocen que el cambio climático es una amenaza y desafío mundial, pero no pueden comprender ni sus dimensiones ni las implicancias para sus propias acciones y futuro. La información relevante sobre el cambio climático es escasa y no está comunicada de forma apropiada (Salas et al. 2009).

Hay nuevas políticas para establecer un enfoque integrador en el manejo de la cuenca bajo el liderazgo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. La Estrategia Nacional y los Planes Pilotos para el Manejo Integrado de la Cuenca fueron aprobados en el año 2007 y ya hay procesos en tres cuencas pilotos cuyos resultados podrían ser relevantes para asegurar el apoyo político para su expansión futura a todas las regiones del país. Uno de los desafíos más importantes es la integración de información en los escenarios de cambio climático y la participación de los diferentes grupos de interés y beneficiarios en los procesos de planificación para el manejo integrado de la cuenca. Pero sin roles institucionales claramente definidos en una gestión integrada de cuencas, no hay plazo para el establecimiento de una gestión integrada de cuencas en el Río Elqui.





## 2.0 EL CAMBIO CLIMÁTICO QUE ENFRENTA LA CRE

Para la construcción de escenarios climáticos futuros se ha requerido aplicar técnicas que mejoren la resolución del modelo climático en la CRE de modo que la escala sea relevante para la toma de decisiones. El área de Vicuña fue elegida como área representativa de la productividad de la agricultura en la CRE. Se realizó un estudio estadístico para bajar la escala utilizando el Generador de Clima de la Estación de Investigaciones de Long Ashton (LARS-WG). El estudio muestra los resultados con las resoluciones canadienses T47 y T63 usando el GCM3 (CCCma 2005) y los escenarios de emisión SRES A2 y B2 (Fiebig et al. 2009).

El periodo de datos meteorológicos observados para la ciudad de Vicuña fue entre los años 1960-1990 y se calcularon datos de salida para los periodos 2011-2030, 2046-2065 y 2070-2100 para la mayoría de los índices climáticos definidos por el ETCCDI (Equipo Experto en la Detección de Cambio Climático e Índices). Se escogieron los dos primeros periodos debido a que están más cercanos en el tiempo y pueden ser más relevantes para los tomadores de decisiones y para quienes influyen sobre la planificación y políticas de adaptación institucional al cambio climático.

El análisis se concentró en los índices de climas que son relevantes para las actividades agrícolas y/o generan eventos extremos que puedan hacer vulnerables a las comunidades rurales en la CRE. Estos incluyen:

(a) Promedio mensual de temperaturas mínimas; (b) promedio mensual de temperaturas máximas; (c) promedio mensual de grados-día (la suma de horas con temperaturas sobre una temperatura base, generalmente de 10°C, durante un cierto periodo) (DG10); (d) promedio mensual de días calurosos (con temperatura máxima sobre los 30 °C) (SU30); (e) promedio mensual de *días-frío* (con temperaturas bajo 0 °C) (DO0); (f) las precipitaciones anuales; (g) número de eventos con precipitaciones extremas, (e.g., eventos con precipitaciones diarias mayores a 40mm).

Los escenarios futuros para los dos periodos (2011-2030, 2046-2065) muestran un incremento en las temperaturas mínimas y máximas, especialmente durante el invierno, e.g., junio a julio (Fig. 2 y 3). El calentamiento se refleja en el aumento del índice temperaturas día (DG10) que afecta significativamente a los cultivos desde la germinación al periodo de cosecha (septiembre a marzo, ver Fig. 4): 36% en septiembre, 30% en octubre, 15% en noviembre, 9% en diciembre, 11% en enero, 24% en febrero y 25% en marzo. La cantidad de días calurosos también muestra una fuerte tendencia al alza, principalmente durante los periodos de octubre a abril. Pero estos resultados deben tomarse con precaución dada la sobreestimación que ocurre en las simulaciones. La cantidad de *días-frío* disminuirán durante junio a septiembre, aunque el modelo muestra un pequeño aumento en mayo (Fiebig et al. 2009).

Las líneas negras corresponden a la información observada en Vicuña en el periodo 1960-1990 y las otras líneas corresponden a los resultados calculados con LARS en diferentes escenarios de emisiones en los periodos de 2011-2030 (arriba) y 2046-2065 (abajo).

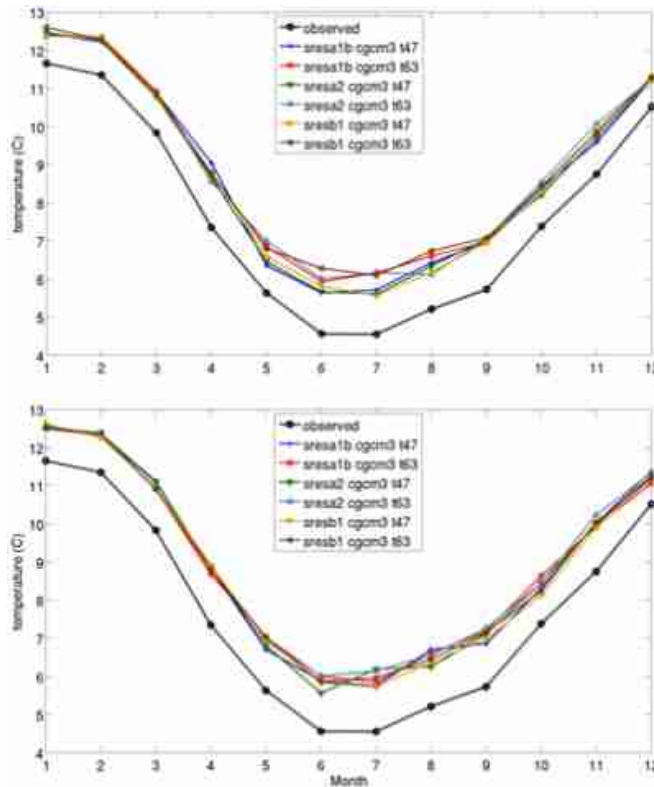
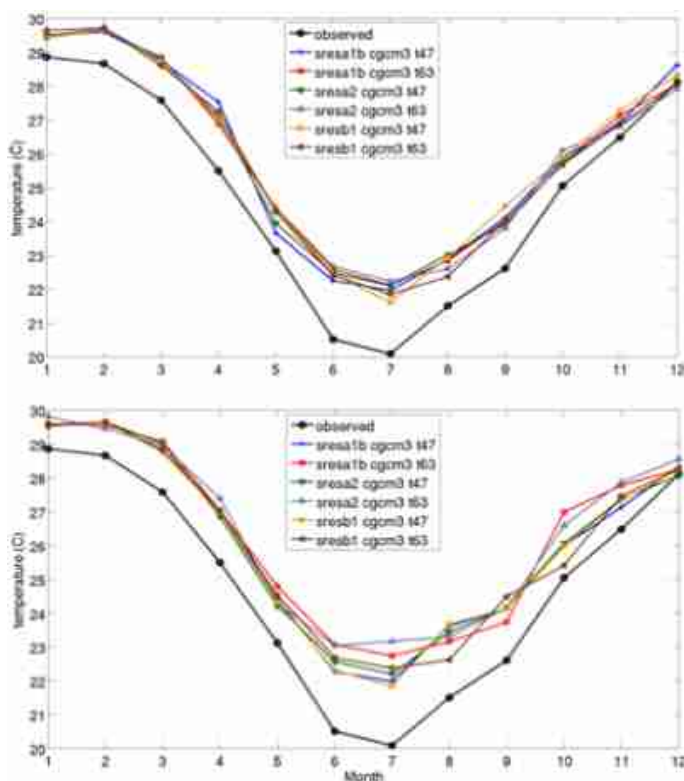


Fig. 2: Promedio mensual de la temperatura mínima.

Los resultados del modelo a la escala de la cuenca señalan que las precipitaciones anuales se mantendrán cerca o levemente más bajas que las observadas, pero las interpretaciones sobre las precipitaciones hay que tratarlas con cautela dada las incertidumbres asociadas con la simulación. Aún sin una clara tendencia negativa en las precipitaciones futuras, la pluviosidad anual durante las últimas décadas fueron tan bajas que ésta sola tendencia es ya una preocupación.

Las precipitaciones extremas entre abril a agosto pueden disminuir ligeramente tanto en los periodos 2011-2030 y 2046-2065; y se observa un ligero aumento de esos eventos en los dos escenarios hacia la parte final del año.

Desde el punto de vista de las actividades de la agricultura, los resultados modelados tienen importantes consecuencias en los viñedos, huertos de frutales y en la producción de hortalizas en la CRE. El aumento en el promedio de las temperaturas mínimas reducirá los días-fríos (e.g., la cantidad de horas cuando los rangos de temperaturas son entre 0°C y 7 °C) durante los periodos de dormancia de las plantas (de mayo a agosto), lo que inducirá mayor irregularidad en los brotes en uvas y árboles frutales de hoja caduca, y por tanto una caída en la productividad de los cultivos. Por otro lado, la disminución de los días-frío podría tener un impacto positivo, ya que reduciría la vulnerabilidad de algunos cultivos sensibles a las heladas, especialmente las cosechas tempranas de hortalizas (e.g., papas, tomates, pimientos) y árboles frutales (e.g., chirimoyas, paltos, cítricos, etc.).



Las líneas negras corresponden a la información observada en Vicuña en el periodo de 1960-1990 y las otras líneas corresponden a los resultados calculados en los diferentes escenarios de emisiones LARS, en los periodos 2011-2030 (arriba) y 2046-2065 (abajo).

Fig. 3: Promedio mensual de temperaturas máximas.

El aumento en los días calurosos con temperaturas superiores a 30 °C durante la primavera y el verano tendrán un efecto negativo en el proceso de fotosíntesis de los árboles frutales cultivados en la CRE (Jackson y Lombard 1993). La cantidad y calidad de las frutas se podría ver afectada. Sin embargo, el aumento de este índice probablemente reducirá los efectos de las enfermedades comunes de las plantas en la CRE.

Temperaturas más altas durante el invierno podrían tener un efecto positivo en la productividad de hortalizas tempranas de primavera-verano y un periodo más corto para el cultivo de las uvas, obteniendo mejores precios en los mercados (Fiebig 2009). La productividad de los viñedos y la calidad de la uva probablemente disminuirá producto de un periodo de crecimiento más corto. Además, un clima más cálido podría estimular la expansión de las plagas de insectos, elevando los costos en control de plagas, y por consiguiente más

riesgos de contaminación (Cepeda et al. 2009). Sin embargo, como consecuencia de temperaturas cada vez más altas, la evapotranspiración aumentará y esto aumentará la demanda de agua para las actividades agrícolas. Esto a su vez, esto puede resultar en un aumento en la competencia y conflictos entre los usuarios del agua y entre las comunidades y otros sectores tales como el turismo y la minería.

Pero los cambios futuros en los índices climáticos no sólo significan una amenaza, sino también oportunidades. Se podrán introducir nuevos cultivos en la CRE, y algunos cultivos tradicionales tendrían que ser reubicados a mayor altura en el valle. Lograr estas ventajas requerirá profundizar las adaptaciones y una conciencia oportuna sobre las amenazas y tendencias en los índices agro-climáticos, y de sus implicancias en los productos posibles de cultivar en la actualidad y a futuro.



La línea negra corresponde a la información observada en la ciudad de Vicuña en los periodos de 1960-1990 y las otras líneas corresponden a los resultados calculados con la LARS, en diferentes escenarios de emisiones en los periodos de 2011-2030 (arriba) y 2046-2065 (abajo).

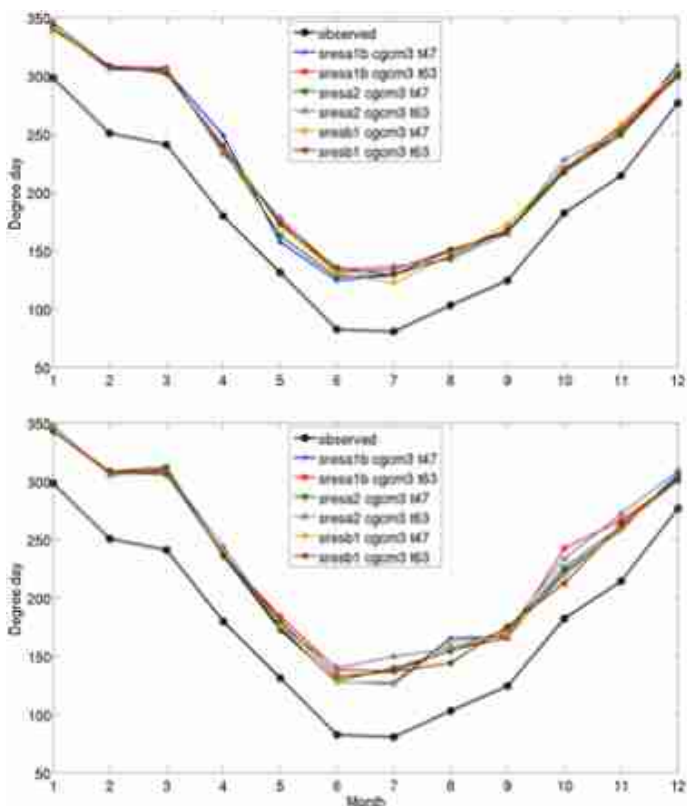


Fig. 4: Promedio mensual índice grados-día (temperaturas superiores a los 10°C).

Para algunas comunidades y agricultores que viven de la agricultura de secano o tienen un acceso limitado al riego, los impactos esperados de los escenarios antes mencionados serán dramáticos debido a que el agua ya es el factor más limitante. Por otro lado, una ligera disminución en los *días-frío* puede tener un impacto positivo reduciendo la vulnerabilidad de algunos cultivos sensibles a las heladas, principalmente los cultivos tempranos y algunos frutales que caracterizan sus actuales prácticas de policultivos. Un adelanto en la fecha de siembra de hortalizas permitiría aprovechar las escasas lluvias de invierno. Sin embargo, el aumento en días con temperaturas mayores a 30°C podría tener un impacto negativo en la producción de fruta reduciendo la cantidad y la calidad de los árboles frutales. Sin acceso al riego, muchos de estos cultivos que complementan la economía de los pequeños agricultores podrían tener una menor

producción o ninguna.

Los criadores de cabras afrontarán el mayor impacto por la menor disponibilidad de agua que se traducirá en una productividad más baja de las praderas naturales y arbustos de los cuales dependen. La tendencia a la disminución de lluvias y humedad disminuirá los forrajes disponibles en las tierras bajas y altas, impactando tanto en el tamaño y calidad de los rebaños de cabras. Además, una mayor demanda de forrajes aumentaría la erosión de laderas ya sobre pastoreadas y erosionadas.

Lo más probable es que la economía de subsistencia tendrá que optar cada vez más por migraciones estacionales y/o permanentes (Salas et al. 2009). Los escenarios demuestran una pequeña disminución en la cantidad de precipitaciones extremas

durante abril a agosto pero señalan un ligero aumento hacia fines de año en ambos escenarios. Para las familias de bajos ingresos que viven en áreas de riesgo de aludes e inundaciones esto implicaría una reducción en los riesgos y su extensión hacia la primavera.

Con el aumento de las temperaturas, la isoterma continuará ascendiendo, disminuyendo las reservas de nieve y hielo en las alturas. Menor precipitación y una mayor tasa de evapo-transpiración, junto con mayores demandas de agua, probablemente significarán más riesgos para la recarga de acuíferos y pozos que abastecen los sistemas de agua potable debido a la baja de las mesas de agua. También, un menor caudal en los ríos y aumentos de las descargas de aguas residuales por parte de la agricultura e industrias, así como urbanas, impondrán mayores riesgos de contaminación asociado con un menor potencial de dilución de los ríos. Por sobre todo, habrá más competencia y estrés asociado con la menor disponibilidad de agua y aumento en la demanda de agua.

Una de las preguntas más importantes en relación al clima futuro de la CRE es si habrá suficiente agua en los ríos. La escasez de datos meteorológicos sobre las altas montañas y la falta de conocimientos acerca de la

criósfera de la CRE, impide pronosticar confiablemente el comportamiento futuro del caudal de los ríos (Fiebig et al. 2009).

En la pendiente oriental de los Andes, en estaciones de monitoreo de Argentina, las precipitaciones muestran una tendencia al aumento durante el siglo pasado (IPCC 2001, Minneti et al. 2003). En el lado occidental, no es claro si las precipitaciones en las elevaciones mayores de la CRE han disminuido o bien si el derretimiento del perma-hielo y glaciares (incluyendo rocas y hielos cubiertos de escombros) ha contribuido con una porción mayor del caudal de los ríos. Así el aumento de caudal de los ríos podría ser solo temporal, debido al derretimiento del perma-hielo y glaciares. Esta conclusión es alarmante porque además de los cambios en la temperatura relacionada a los índices en la CRE, la pérdida de los valiosos recursos de agua almacenados en forma de nieve, perma-hielo y glaciares, puede resultar en un estrés ambiental, socioeconómico y mayor vulnerabilidad en un futuro cercano. Esto refuerza la importancia crítica de mejorar el monitoreo de la criosfera en la CRE, evaluando las tendencias actuales y futuras y discutiendo medidas de adaptación temprana ante la escasez de agua. (Fiebig et al. 2009).



## 3.0 VULNERABILIDADES FUTURAS Y ALGUNAS RECOMENDACIONES

LOS ESCENARIOS FUTUROS PREDICHOS POR MODELOS CLIMÁTICOS MUESTRAN UNA PERSISTENCIA DE LAS BAJAS PRECIPITACIONES; UN AUMENTO EN LAS TEMPERATURAS Y EN EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS TALES COMO SEQUÍAS, HELADAS Y LLUVIAS TORRENCIALES EN PERIODOS CORTOS. SE PREDICE UNA DISMINUCIÓN ANUAL DEL CAUDAL DE LOS RÍOS Y CAMBIOS GENERALES EN LOS PATRONES DEL CLIMA ACTUAL.

### 3.1 EXPOSICIÓN FUTURA

La aridez en la cuenca será exacerbada por el aumento proyectado en los diversos parámetros: el promedio mensual mínimo y máximo en las temperaturas; el aumento en el promedio mensual en *grados día* (DG10) y el promedio mensual de días calurosos. Muchos de los cambios esperados estarán fuera de los rangos del clima actual, desafiando las capacidades para enfrentarlos de las comunidades locales.

El invierno será más tibio y habrá nuevas temperaturas máximas que aumentarán la vulnerabilidad de las actividades humanas y pondrán más estrés en los sistemas naturales. El aumento en las temperaturas llevará a un aumento en la evapotranspiración y además, una mayor demanda de agua en todos los procesos productivos. Las nuevas exposiciones probablemente introducirán nuevas y mayores competencias con más potencial de conflictos entre usuarios del agua en la CRE.

A medida que el clima de la región se vuelve más árido, se espera que la nieve y el hielo depositado en los Andes dure menos, afectando la estacionalidad y la amplitud de los periodos de derretimiento de la nieve y escorrentía superficial lo que podría alterar los caudales anuales de los ríos, las recargas de los acuíferos

y los ecosistemas de las quebradas ubicados en la parte baja de las montañas.

Los aumentos pronosticados en las temperaturas también tendrán un impacto en las especies silvestres en la CRE asociado con los hábitats húmedos; no es claro cómo estos responderán al clima más cálido. Es posible que las especies con ciclos biológicos más rápidos y con un potencial biótico más alto (e.g., insectos, roedores y conejos) puedan ser positivamente afectados a través del calentamiento, lo que aumentaría su abundancia convirtiéndolos en plagas (Cepeda et al. 2009).

El incremento en la frecuencia o magnitud de las lluvias asociadas con el fenómeno de ENSO aumentarán los aludes, avalanchas e inundaciones. Por el contrario, Las sequías podrían ser más intensas bajo el fenómeno de La Niña. Hay evidencia de que sequías graves, extensas y multi-anales amplificarán las tendencias a la aridez e intensificarán los conflictos y vulnerabilidades asociadas con la disponibilidad de agua (Cepeda et al. 2009).

Una nueva exposición será introducida con la reducción de *días-frío* afectando la productividad de

algunos cultivos demandantes de frío, tales como las uvas cuyo periodo aletargado es crucial para lograr brotes uniformes y una buena productividad. Los brotes irregulares disminuirán la productividad en los frutales y también reducirán la diversidad de especies frutales templadas que podrían potencialmente ser cultivadas en la CRE.

El aumento en el índice *grados-día* disminuirá la calidad y productividad de los árboles frutales, afectando la tasa de retorno de las extensas plantaciones en el valle, aunque cultivos temprano podrían capturar mejores precios balanceando las exposiciones con las oportunidades.

El aumento en la demanda del agua probablemente llevara a que los agricultores y empresas sean más proactivos en la adopción de tecnologías para el ahorro del agua tales como el riego por goteo. Invertirán más en el desarrollo de nuevas fuentes de agua, ya sea comprando nuevos derechos de agua (en mercados más activos) o invirtiendo en fuentes de aguas subterráneas y tecnología de almacenamiento. El riesgo de sobre-extracción y agotamiento de los acuíferos probablemente aumentará.

El escenario también muestra oportunidades para los sistemas productivos con mejor acceso a la información, tecnología y capacidades financieras, que serán capaces de cambiar las actuales prácticas agrícolas por cultivos mejor adaptados. El clima más cálido será una oportunidad para introducir nuevos cultivos que demanden menos noches y días fríos, mientras que la reducción de eventos fríos reducirá las vulnerabilidades de los cultivos sensibles al frío.

Los índices de aridez pronosticados expandirán e intensificarán los procesos de desertificación, reduciendo la producción y oportunidades para la agricultura de subsistencia. Esto reducirá la capacidad de producción de alimentos y el potencial generador de ingresos de la agricultura de subsistencia.

Por lo tanto, las comunidades dependientes de una agricultura de secano serán las más expuesta a las sequías, lo que reducirá sus áreas de cultivos y oportunidades de ingresos.

Los criadores de cabras y su rol en la diversificación de ingresos en las economías de subsistencia, se verán más expuestos debido a la menor disponibilidad de forraje natural. El tamaño de los rebaños continuara disminuyendo, forzándolos a asumir largos periodos de emigración a las tierras altas o migrar a otras actividades para generar ingresos.

El modelo señala una ligera disminución en la intensidad de las lluvias en el invierno, desplazándolas hacia principios de la primavera. Sin embargo, dado que las lluvias torrenciales están asociadas al fenómeno de ENSO, no es claro si los aludes serán más o menos frecuentes. Actualmente las comunidades no tienen acceso a un sistema de alerta temprana ni pueden identificar el apoyo institucional que requieren para anticiparse a emergencias climáticas repentinas. La disminución pronosticada en las precipitaciones en las tierras altas podría reducir los riesgos de inundaciones.

Los CAPRs que abastecen a las comunidades rurales estarán más expuestos debido a la baja en las napas freáticas, aumentando la competencia por el agua con otros sectores. También estarán cada vez más expuestos a los procesos de contaminación. En el presente, la mayoría de los CAPRs no poseen herramientas para anticiparse a la disminución de las napas subterráneas o a los procesos de contaminación. Los gobiernos locales no están preparados y no tienen recursos humanos ni financieros para apoyar y mejorar los sistemas de aguas potables en las áreas rurales ni tampoco tienen recursos para aumentar la seguridad y eficiencia tecnológica del agua entre las comunidades rurales. A menos que los gobiernos regionales y centrales estén preparados para invertir en la seguridad del agua en las comunidades rurales, la exposición continuará aumentando.





## 4.0 ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN INSTITUCIONAL

Hasta hace poco, el gobierno Chileno no había definido una estrategia de adaptación ni políticas específicas para enfrentar el cambio climático. La mayoría de los esfuerzos y compromisos con la UNCC han estado asociados con el registro de emisiones por sectores productivos y al proceso de reducción a través de Mecanismos de Desarrollo Limpio y proyectos de crédito de carbono. La Estrategia Nacional en Cambio Climático fue aprobada por el Consejo de Ministros en 2006, mientras que el Plan de Acción Nacional en Cambio Climático fue lanzada justo días antes de la conferencia de UNCC en Poznam en Diciembre 2008. Recientemente, el Ministerio de Agricultura creó el "Consejo de Cambio Climático para la Agricultura", formado por una representación multi agencias e investigadores de diferentes instituciones que aportan al diseño de políticas de adaptación.

La presentación de los modelos y escenarios de cambio climático para Chile y un reciente análisis de las vulnerabilidades de la silvicultura y agricultura, agua y recurso suelo asociados con el cambio climático (CONAMA 2008) han contribuido a integrar el cambio climático en el debate público. Aún queda mucho camino antes de que estas discusiones se vean reflejadas en políticas de adaptación y se vuelvan programas descentralizados y con recursos adecuados. Una de las principales limitaciones de las proyecciones del modelamiento futuro del clima para el 2070-2100 es que esas fechas son demasiado distantes para acciones políticas. También la escala de estas proyecciones es demasiado amplia para informar las perspectivas regionales y de cuenca.



El ejercicio de modelar a una escala más baja y con mejor resolución espacial como se ha hecho en el proyecto para la CRE es una importante contribución que permitiría la adopción temprana de programas y políticas de adaptación a nivel regional y de cuenca. Además, la evaluación de las vulnerabilidades y capacidades institucionales en la comunidad, cuenca y a nivel regional muestran las limitadas capacidades locales y la efectividad para enfrentar los eventos climáticos actuales. Sin embargo, no es claro si esas capacidades serán suficientes ante los futuros cambios climáticos en la CRE.

A continuación se presenta un resumen de las vulnerabilidades y adaptaciones institucionales ante el cambio climático que pueden favorecer el debate en torno a las políticas y algunas recomendaciones y programas para reforzar y aumentar la adaptación potencial institucional:

- \* Crear una organización o la función coordinadora para monitorear y predecir efectivamente los escenarios de disponibilidad de agua (generar, recolectar y procesar información relevante sobre el clima y la hidrología integrando los escenarios de cambio climático en las altas montañas y tierras bajas en la CRE.)
- \* Mejorar el registro climático y la tele-detección con especial atención a los datos de comportamiento de las altas cumbres cuyas condiciones climáticas son críticas para entender la hidrológica de la CRE.
- \* Mejorar la coordinación inter institucional y desarrollar nuevas herramientas comunicacionales para diseminar la información sobre cambio climático y apoyar el desarrollo de capacidades de adaptación institucional a nivel local y regional.
- \* Establecer y desarrollar autoridades del agua que puedan gestionar y coordinar efectivamente las respuestas ante los cambios climáticos, los escenarios futuros y sus impactos en los ingresos de los hogares y la agricultura.
- \* Coordinar y desarrollar herramientas y programas descentralizados para mejorar la eficiencia en el uso del agua, infraestructura de acumulación y el potencial para cosechar agua en todos los sectores productivos, con énfasis en los medianos y pequeños agricultores y las comunidades.

- \* Crear un programa de entrenamiento y una red para sustentar los sistemas de alerta temprana para las sequías, inundaciones y aludes.
- \* Desarrollar programas de control integrado de plagas que permitan reducir los riesgos y costos asociados al uso masivo de plaguicidas en las plantaciones de monocultivos.
- \* El aumento en la demanda de agua creará más competencia y conflictos entre los sectores productivos. Para afrontar los conflictos futuros derivados del clima y relacionados al agua, las instituciones públicas y autoridades de la cuenca debieran desarrollar capacidades de manejo y mediación de conflictos.
- \* Las instituciones regionales de la gobernanza del agua se beneficiarían de una mejor coordinación, monitoreo y reportaje de la calidad del agua superficial y subterránea. Esto es particularmente relevante para asegurar la calidad y disponibilidad de agua para los CAPRs, pero también para prevenirla contaminación del suelo del agua y la sobre-explotación de los acuíferos.
- \* Los gobiernos municipales son los primeros en responder a las necesidades de las comunidades. Estos necesitan desarrollar y fortalecer sus capacidades de respuesta y comunicar las medidas de adaptación al clima y la gestión del agua.
- \* Las agencias públicas del agua necesitan desarrollar un marco institucional que permita identificar y potenciar el rol de los municipios y de las comunidades en la conservación, protección, restauración de las fuentes de agua.
- \* Los desafíos actuales y futuros del cambio climático requieren de programas que fortalezcan las organizaciones sociales (e.g., desarrollo de capacidades en las asociaciones locales, regionales y nacionales de CAPRs, distritos de riego, equipos de investigación y educación, etc.). Una sociedad civil fuerte y bien organizada estará mejor posicionada para manejar las exposiciones frecuentes y a gran escala asociadas con el cambio climático.



## REFERENCIAS

- Arroyo, M., Squeo F., Armesto J. & Villagran, C. 1988. "Effects of aridity in northern Chilean Andes: results of natural experiment". *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 55-78
- Barichivich, J., Sauchyn, D.J. Lara Aguilar, A. 2008. Climate signals in high elevation tree-rings from semiarid Andes of North Central Chile. Responses to regional and large scale variability. Manuscrito [www.conicyt.cl/bases/fondecyt/proyectos/01/2005/1050298.html](http://www.conicyt.cl/bases/fondecyt/proyectos/01/2005/1050298.html)
- Bennett, E.M., Carpenter, S., Peterson G., Cumming G., Zurek M. & Pingali P. 2003. "Why global scenarios need ecology". *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1: 322-329.
- Cabezas, R., Cepeda, J. y Bodini, A (2007). Descripción Cartografía de la Hoya Hidrográfica del Río Elqui. Región Coquimbo. Universidad de La Serena, Chile, Universidad de Regina, Canadá.
- Carrasco, J.G. Casassa, G. & J. Quintana. 2005. Changes of 0 C isotherm and equilibrium line altitude in Central Chile during the last quarter of the 20<sup>th</sup> century. *Hydrological Sciences* 50(6): 933-948
- Cepeda, J. 2006. "Distribución altitudinal de microartrópodos edáficos". En Cepeda-Pizarro J (ed.) *Geoecología de los Andes Desérticos: La Alta Montaña del Valle del Elqui*. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.
- Cepeda, J., Cabezas R., Robles M. & Zavala H. 2009. "Antecedentes generales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile)". En: Cepeda, J. (ed). "Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima". ULS-CEAZA-IEB. Ediciones Universidad de La Serena. 5-32. La Serena, Chile.
- Cepeda, J. 2009. "The Natural Systems of the Elqui River Watershed (Coquimbo Region, Chile): vulnerability and climate change". Informe Integrado Unidad D. Institutional Adaptation to Climate Change.
- Cepeda, J., Zuleta C. & López-Cortes F. 2009b. "Síntesis: Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui en el contexto del cambio climático". En Cepeda, J (ed). "Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima". ULS-CEAZA-IEB. Ediciones Universidad de La Serena. 327-369.
- Chirpaz, O., CEAZA. 2009. "Efectúan reunión de trabajo sobre diagnóstico territorial del ganado caprino en Provincia de Elqui". [http://www.ceaza.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=661&Itemid=29](http://www.ceaza.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=661&Itemid=29)

- CONAMA. 2008. "Plan Nacional de Cambio Climático 2008-2012". 76pp.
- Diaz, H. A. Rojas L. Richer and S. Jeannes. 2005. Institutions and Adaptive Capacity to Climate Change. [www.parc.ca/mcri/iacc009.php](http://www.parc.ca/mcri/iacc009.php)
- Fiebig-Wittmaack, M., Pérez C. & Lazo, E.2009. Aspectos climáticos del Valle del Elqui. En "Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima". ULS-CEAZA-IEB. Ediciones Universidad de La Serena. 33-55.
- Fiebig-Wittmaack, M. 2009. "The Effects of Climate Change Scenarios on some of the Identified Vulnerabilities in the ER". University of La Serena, Centre of Advanced Studies in Arid Zones, Chile. Report for the IACC Integration Committee.
- GORE Coquimbo. 2008. Declarada zona de catástrofe y de emergencia agrícola para las regiones de Coquimbo y Atacama . 31/07/2007 . On line en; <http://www.portalcoquimbo.cl/?1513>
- Hearne, R., Easter W. 1997. The economic and financial gains from water markets in Chile. Agricultural economics Vol.15. Issue3:187-199.
- Huenneke, L. 2001. "Deserts". Ecological Studies 152: En ; Chapin III FS, OE. Sala & E Huber-Sannwald (eds). Global diversity in a changing environment: scenarios for the 21st century: 201-222. Springer. Verlag. New York. US.
- Instituto Nacional de Estadísticas INE. 2007. "VII CENSO Nacional Agropecuario y Forestal". Enfoque estadístico. [www.ine.cl](http://www.ine.cl)
- Jackson D J, Lombard PB (1993) Environmental and management practices affecting grape composition and vine quality: A review. Am J Enol Vitic 44 (4): 409-430
- Jorquera, C. 2001. "Evolución Agropecuaria de la Región de Coquimbo: Análisis Contextual para la Conservación de la Vegetación Nativa". En Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo (F.A. Squeo, G. Arancio y J.R. Gutiérrez, Eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 14: 225 - 219, 225.
- Lira, P. 2003. "Dialogo Nacional Chile: Agua, Agricultura de Riego y Medio Ambiente". [http://www.eclac.org/DRNI/proyectos/samtac/actividades\\_nacionales/chile/1/p1.pdf](http://www.eclac.org/DRNI/proyectos/samtac/actividades_nacionales/chile/1/p1.pdf)

- Minetti JL, Vargas WM, Poblete AG, Acuña LR, Casagrande G (2003) Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16: 119-135
- Pérez, C. M. Fiebig-Wittmaack, J. Cepeda & Pizarro, J. 2009. Desastres naturales y plagas en el valle del río Elqui. En "Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima". ULS-CEAZA-IEB. Ediciones Universidad de La Serena. p.285-324.
- Reyes, B., Salas, S., Schwartz, E., Espinoza & L. Morales. 2009. "Chile Governance Assessment". Unit 1D. Report for the IACC Integration Committee.
- Rojas, A., Magzul, L., Reyes, B., Morales, H. L., Borquez, R. and Schwartz, E. 2009. "The role of institutions in the resolution of water conflicts: Findings relevant to the vulnerabilities of the communities and the capacity of water governance institutions to reduce (or increase) these vulnerabilities" Unit 1B. Report for the IACC Integration Committee.
- Salas, S. ME. Jimenez, R. Espinoza y L. Morales. 2009. Vulnerabilidad al cambio climático en comunidades de la cuenca del Río Elqui. Chile. Informe Integrado Unidad A. Institutional Adaptation to Climate Change.
- Santibáñez, F. & Uribe J.M. 1999. Chapter 2: Origin and variability of droughts in Chile. In: Drought in Chile: causes, consequences and mitigation. Universidad Católica de Chile.
- Smit, B. & Wandel, J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16 (2006) 282-292.
- Zavala, H. H. Trigos. 2009. Hidrología de la Cuenca del Río Elqui. En "Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima". ULS-CEAZA-IEB. Ediciones Universidad de La Serena. 58-156.