

# *País piloto del Estudio Económico de la Adaptación al Cambio Climático*

ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**



**THE WORLD BANK**



Ministry of Foreign Affairs  
Government of the Netherlands



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC

© 2010 The World Bank Group  
1818 H Street, NW  
Washington, DC 20433  
Telephone: 202-473-1000  
Internet: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)  
E-mail: [feedback@worldbank.org](mailto:feedback@worldbank.org)

All rights reserved.

This volume is a product of the World Bank Group. The World Bank Group does not guarantee the accuracy of the data included in this work. The boundaries, colors, denominations, and other information shown on any map in this work do not imply any judgment on the part of the World Bank Group concerning the legal status of any territory or the endorsement or acceptance of such boundaries.

#### **RIGHTS AND PERMISSIONS**

The material in this publication is copyrighted. Copying and/or transmitting portions or all of this work without permission may be a violation of applicable law. The World Bank Group encourages dissemination of its work and will normally grant permission to reproduce portions of the work promptly.

For permission to photocopy or reprint any part of this work, please send a request with complete information to the Copyright Clearance Center Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA; telephone 978-750-8400; fax 978-750-4470; Internet: [www.copyright.com](http://www.copyright.com).

All images © The World Bank Photo Library, except  
Cover image © Ana E. Bucher  
Pages viii, 32, 50, 52 and 78 © Morten Blomqvist  
Pages x, xii, xxiv, 4, 10, 20, 60, 64, 80, and inside back cover © Shutterstock

# Contents

Siglas	ix
Agradecimientos	xi
<i>Resumen Ejecutivo</i>	<i>xiii</i>
Ámbito y Antecedentes	xiii
<i>1. Motivación y Contexto de Economías del Estudio de Adaptación al Cambio Climático</i>	<i>1</i>
Antecedentes	1
Ámbito y Enfoque del Estudio	2
<i>2. Antecedentes de la Economía Boliviana</i>	<i>5</i>
El Contexto Socioeconómico	5
El Contexto Institucional	6
<i>3. Vulnerabilidad a Variabilidad Climática y Cambio Climático</i>	<i>11</i>
Exposición a Eventos Extremos	12
Estrategias de Supervivencia y la Variabilidad Climática Actual	14
Evaluación de los Impactos del Cambio Climático Bajo Incertidumbres Futuras	18
<i>4. Análisis Sectorial: Agricultura</i>	<i>21</i>
Descripción del Sector	21
Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Sector Agrícola	22
Opciones de Adaptación Para Producción de Cultivos	27
<i>5. Análisis Sectorial: Recursos Hídricos</i>	<i>33</i>
Descripción del Sector	33
Sensibilidad de la Infraestructura de Aguas	35
Opciones de Adaptación: Recursos Hídricos Rurales	36
Opciones de Adaptación: Infraestructura de Riego	40
Costos Estimados de Medidas Estructurales de Adaptación para Riego	42
Provisión de Aguas y Saneamiento en Áreas Urbanas	47

<i>6. Perspectivas a Nivel Local Sobre Adaptación al Cambio Climático</i>	<b>53</b>
Prácticas pasadas de adaptación y sobrevivencia	54
<i>7. Análisis Costo-beneficio las Opciones de Inversión en Adaptación</i>	<b>61</b>
<i>8. Herramienta de Planificación de Inversiones (MIP)</i>	
<i>para la Selección de Opciones de Adaptación bajo Futuras Incertidumbres Climáticas</i>	<b>65</b>
Selección de Estrategias Robustas	65
Análisis de Modelo	69
Como se pierde el Bienestar	72
Cómo se Restaura el Bienestar	74
El Efecto de D escontar	74
<i>9. Conclusiones Generales y Lecciones Aprendidas</i>	<b>81</b>
Dimensiones Sociales del Cambio Climático	81
Agricultura	82
Recursos hídricos	84
Herramienta de Planificación de la Inversión	87
¿Cómo avanzar?	87
<i>10. Trabajos Citados</i>	<b>90</b>

*Todos los Anexos se encuentran en [www.worldbank.org/eacc](http://www.worldbank.org/eacc)*

### **Annexes**

- Anexo 1: Evaluación de impacto del Cambio Climático y Acciones de Adaptación para los Recursos Hídricos en Bolivia
- Anexo 2: Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación con Respecto a la Producción de Cuatro Cultivos de Alta Importancia para la Economía Boliviana
- Anexo 3: Programa Nacional de Irrigación, Cuenca Mizque, 2004–14- Viceministerio de Manejo de Aguas e Irrigación
- Anexo 4: Adaptación al Cambio Climático para la Infraestructura de Recursos Hídricos y el Manejo de la Irrigación
- Anexo 5: Perspectivas Sociales del Cambio climático y la Adaptación en Bolivia

*Lista de Figuras*

1. Precipitación anual promedio en Bolivia 1951–2002	12
2. Las municipalidades más vulnerables seleccionadas por macroregión	13
3. Países pequeños y pobres financieramente vulnerables a eventos climáticos extremos	14
4. Porcentaje anual de cambio del PIB agrícola con los efectos de los años de El Niño y La Niña	17
5. Cambios de precipitación proyectados hasta el 2050 bajo diferentes escenarios climáticos	19
6. Áreas geográficas de cultivos papa, maíz, soya y quinua	21
7. Cambios Estimados en la Evapotranspiración Anual bajo tres Condiciones Climáticas Diferentes en Diez Estaciones Meteorológicas hasta el 2050	24
8. Rendimiento Relativo de Quinua en Tres Escenarios Climáticos y un Escenario sin Precipitación en el Período Fenológico Crítico (relación entre 2050 simulado con el rendimiento histórico) para tres localidades del Altiplano Boliviano	25
9. Rendimientos Relativos de Tres Variedades de Papa Waycha, Alpha y Luki Tres Escenarios Climáticos y un Escenario sin Precipitación durante un Período Fenológico Crítico (relación entre 2050 simulado con el histórico) en las localidades de Belén, Patacamaya, Puna y Mojo	26
10. Rendimiento Relativo de Soya para Tres Escenarios Climáticos y un Escenario sin Precipitación en el Período Fenológico Crítico (Relación entre 2050 simulado con rendimiento histórico)	27
11. Rendimiento Relativo De Maíz Para Tres Escenarios Climáticos (Relación entre 2050 simulado y rendimiento histórico)	27
12. Disponibilidad de Agua Proyectada al 2050: Escenarios actual, húmedo y seco	34
13. Demanda de Aguas por Sector 2000 y 2050	36
14. Estrategias y Medidas de Adaptación	43
15. Provisión de Aguas vs. Costo—Presas	44
16. Estratos Socioeconómicos de Comunidades Locales	54
17. Respuestas pasadas a eventos climáticos	54
18. Distribución de las Tasas Internas de Retorno (IRR) calculadas para 74 proyectos de riego PRONAR	67
19. Compensación entre Beneficios Sociales Familias Afectadas (presupuesto estimado=\$6 millones)	70
20. Compensación entre Beneficios Sociales y Familias afectadas (presupuesto=\$4 millones)	70
21. Compensación entre Beneficios Sociales Familias Afectadas (presupuesto=\$2 millones)	71
22. Escenario Línea Base(clima actual en 2090)	72
23. Clima Futuro en 2090 bajo Escenario Seco	72
24. Cómo se Restaura el Bienestar Social (administración centralizada, 0% descuento)	73
25. Capacidad de Utilización de Proyectos 56 y 62 bajo Escenario Seco	74
26. Cash flow of Investment Programs having Equal Social Benefits (dry scenario, 0% discounts)	75
27. Restaurando Bienestar (Administración Centralizada, 6% descuento)	76
28. Flujo de Caja de Programas de Inversión con Beneficios Sociales Iguales	77
29. Componentes estratégicos para administración de agua	85

*Lista de Tablas*

RE-1	Análisis costo-beneficio de medidas de adaptación en los sectores agrícola y recursos hídricos	xviii
1.	Efectos directos e indirectos de sequías e inundaciones locales	16
2.	Impacto económico del evento “El Niño” desde 1983	17
3.	Resumen de las características climáticas principales en los escenarios seco y húmedo para Bolivia	19
4.	Vulnerabilidad de los cultivos a los principales factores climáticos, bajo condiciones presentes y futuras	23
5.	Estrategia de Adaptación de la Comunidad Contorno Calacoto	28
6.	Costo Económico, Social, y Medioambiental para la Implementación de Opciones de Adaptación en Cuatro Cultivos	29
7.	Beneficios Económicos, Sociales y Medioambientales para la Implementación de Opciones de Adaptación en Cuatro Cultivos	29
8.	Viabilidad Social y Medioambiental de Adaptación de Opciones en Cuatro Cultivos	30
9.	Ejemplos de medidas para el mejor uso de recursos de agua existentes	39
10.	Ejemplos de Recolección de Agua Pluvial	39
11.	Ejemplos de mejoramiento de expansión de sistemas existentes	40
12.	Sistemas de Riego por Estación (hectáreas)	40
13.	Resumen de Costos de Infraestructura	44
14.	Cambios en Suministro de agua para Escenarios de Clima Húmedo y Seco al 2050	45
15.	Proyecto Anual de Demanda de Agua de Riego en 2050	45
16.	Total Acumulado de Déficit de Aguas de Riego	46
17.	Costo Total Estimado para Necesidades de Infraestructura al 2050	46
18.	Costos de Adaptación para Escenarios de Cambio Climático	47
19.	Variables climáticas claves en relación al sector urbano	48
20.	Número de Municipalidades estudiadas por componente social, por macro-región	53
21.	Estrategias de adaptación priorizadas (planificadas y autónomas) por Comunidad en la región de los Llanos	56
22.	Medidas de adaptación priorizadas, por comunidad en la región del Altiplano	57
23.	Análisis Costo-beneficio de Medidas de adaptación en Sectores de Agricultura y Recursos Hídricos	62
24.	El Efecto de Cambio Climático en Beneficios Sociales del Programa de Inversión Pronar en la Cuenca de Mizque (6% Tasa de descuento, NPV en \$ millones)	69

*Lista de Cuadros*

RE-1	El Modelo de Planificación de Inversiones para la Cuenca del Río Mizque	xx
1.	Acceso a Fondos Internacionales para Adaptación: Programa Piloto para la Resiliencia Climática (PPCR)	8
2.	Seguro Agrícola	31
3.	Río Los Negros, Bolivia — Colmenas y Alambre de Púas	38
4.	Limitaciones del Estudio	88







# Siglas

<b>AAPS</b>	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua y Saneamiento Básico
<b>ANESAPA</b>	Asociación Nacional de Empresas de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado
<b>CAF</b>	Corporación Andina de Fomento
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe
<b>CRU</b>	Unidad de Investigación Climática (Climate Research Unit) University of East Anglia, U.K.)
<b>CSIRO</b>	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
<b>EACC</b>	Economía de la Adaptación al Cambio Climático
<b>ENSO</b>	El Niño Southern Oscillation
<b>GCM</b>	Modelo Globales de Circulación General (GCM en ingles)
<b>IHH</b>	Instituto de Hidráulica e Hidrología
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>IPCC</b>	Panel Intergovernmental para el Cambio Climático
<b>IWRM</b>	Manejo Integrado de Recursos Hídricos
<b>MNACC</b>	Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático
<b>PNC</b>	Plan Nacional de Cuencas
<b>PNCC</b>	Programa Nacional de Cambio Climático
<b>PNRR</b>	Plan Nacional de Rehabilitación y Reconstrucción
<b>PNSB</b>	Plan Nacional de Saneamiento Básico
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>SRES</b>	Reporte Especial para los Escenarios de Emisiones
<b>SWAT</b>	Soil y Water Assessment Tool
<b>UDAPE</b>	Unidad de Análisis Político y Económico
<b>VIDECICODE</b>	Viceministerio de Defensa Civil y Cooperación para el Desarrollo
<b>WFP</b>	Programa Mundial para la Alimentación

Nota: Todos los montos están en dólares de los Estados Unidos.



# Agradecimientos

El estudio fue llevado a cabo por un equipo central del Banco Mundial que incluyó a Ana Bucher (coordinadora), Carina Bachofen, Robert Schneider, Laurent Cretegny, David Corderi, Morten Blomqvist y Ruth Llanos. Este informe-síntesis fue escrito y editado por Ana Bucher y Carina Bachofen. El estudio Económico de la Adaptación al Cambio Climático (EACC) fue coordinado por Sergio Margulis. El informe, además, se apoya en el trabajo de muchos colaboradores locales y personas quienes prepararon diversos capítulos sectoriales. El capítulo de agricultura fue desarrollado por un equipo liderado por la Dra. Magali García Cárdenas (Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), e integrado por el Ing. Jorge Cusicanqui (Facultad de Agronomía, UMSA), Dr. Bruno Condori Alí (Fundación PROINPA), Victoria Parra Goitia (UMSA), Ing. Gladys Tesoro Michel (UMSA), Ing. Claudia Saavedra (UMSA), Dra. Carmen Rosa Del Castillo Gutiérrez (UMSA), Ing. Consuelo Luna (UMSA), Ing. Claudia Canedo (UMSA), y el Ing. Carlos Cabrera (UMSA). El capítulo de recursos hídricos fue realizado por el Dr. Víctor Vázquez y el Ing. Alvaro Lambert.

El componente social y desarrollo rural fue preparado por el Lic. Miguel Morales. El análisis costo-beneficio fue escrito por el Dr. Fernando Cossío y la Lic. Valeria Sánchez (Institución Internacional de Economía y Empresa, IIDEE). El modelo económico para la herramienta de Planificación de Inversiones fue desarrollado por Erwin Kalvelagen, Robert Schneider y Laurent Cretegny.

El equipo de trabajo agradece al Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia y especialmente, al Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático, al Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC), al Viceministerio de Planificación y Financiamiento Externo (VIPFE), al Viceministerio de Desarrollo y Planificación (VDP), y a la Unidad de Análisis de Políticas Socioeconómicas (UDAPE) por la

provisión de datos, información local y asesoramiento en el desarrollo del informe.

El equipo agradece además a las siguientes personas por los insumos vitales, revisiones y críticas a lo largo del proyecto: Lic. Juan Pablo Ramos, Ing. Jaime Villanueva, Lic. Ivy Beltrán, Ing. José Gutiérrez (PNCC), Lic. Daniel Vargas (VDP); Harley Rodríguez, y Lic. Fernando Carrasco. De la misma manera, el equipo agradece enormemente a la comunidad local de donantes financiadora del estudio, representada por el Sr. Fernando Méndez (Embajada Británica-DFID), Sr. Sebastian Eugster (Cooperación Suiza-COSUDE) y Sr. Rob van den Boom (Embajada de los Países Bajos) quienes proporcionaron un gran apoyo durante todo el proyecto.

El equipo EACC siéntese muy agradecido con todos los miembros y colegas de la Región para Latinoamérica y el Caribe del Banco Mundial (BM) y en particular con la oficina de la entidad en La Paz por el incondicional apoyo durante todo el desarrollo de este estudio. En particular, quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al Sr. Oscar Avalle (representante residente del BM para Bolivia), Sra. María Elena Soria, Sra. Ruth Llanos, y Sr. Morten Blomqvist, por sus amplias contribuciones al desarrollo y revisión del informe. No podría haberse completado este trabajo sin el gran apoyo logístico proporcionado por Mónica Torrelío, Rosario Monroy, y Mónica Claros (Oficina del BM-La Paz), Hawanty Page (ENV), y Grace Aguilar (ENV).

Finalmente, este estudio se ha visto beneficiado enormemente por los comentarios de revisión de pares y otra retroalimentación en este informe-síntesis de parte de diversos colegas del Banco Mundial, incluyendo a Maximilian Ashwill (LCSSO), Dilma Flores (ETWAN), Jorge Treviño (LCSAR) y Erwin de Nys (LCSEN), así como de revisores pares externos, incluyendo a Joel Smith (Stratus Consulting) y Gordon Hughes (consultor externo).



# Resumen Ejecutivo

EL Estudio Economía de Adaptación al Cambio Climático (EACC) estima que costará entre \$75 – \$100 mil millones al año para que los países en desarrollo puedan adaptarse al cambio climático desde el 2010 al 2050 (Banco Mundial, 2009). El estudio —financiado por los gobiernos de los Países Bajos, Reino Unido y Suiza— tiene dos objetivos específicos. El primer objetivo es desarrollar un estimado “global” de los costos de adaptación para que puedan informar a la comunidad internacional cómo diseñar un apoyo adecuado y sostenido en relación al acceso y la disponibilidad de recursos adicionales financieros, que ayuden a los países vulnerables a confrontar los costos de adaptación al cambio climático. El segundo objetivo es apoyar a los tomadores de decisiones de los países en desarrollo para evaluar como analizar y sopesar mejor los riesgos presentados por el cambio climático y diseñar mejores estrategias de adaptación. Este objetivo comprende la identificación de opciones de adaptación que incorporen estrategias de acciones bajo un contexto de alta incertidumbre climática, daños futuros potencialmente altos, y necesidades que compiten entre sí en la inversión para el desarrollo económico y social hasta el 2050.

El estudio EACC incluyó un análisis global para cumplir con el primer objetivo y estudios de caso piloto en diversos países para cumplir con el segundo objetivo. El análisis a nivel de país piloto comprendió siete países: Etiopía, Mozambique, Ghana, Bangladesh, Vietnam, *Estado Plurinacional de Bolivia* y Samoa.

## ÁMBITO Y ANTECEDENTES

*El Estado Plurinacional de Bolivia —aquí referido como Bolivia—* enfrenta un desafío complejo en sus esfuerzos de adaptarse a las variaciones y cambios del clima, debido a una serie de factores, por ejemplo:

- La población boliviana ha estado siempre expuesta a extremos hidrometeorológicos y variabilidades climáticas, particularmente por la influencia de El Niño (ENSO), la cual —sin tomar en cuenta el cambio climático— ocurre periódicamente en diferentes áreas del país.
- Eventos de inundaciones, deslizamientos, y sequías, todas con serias implicaciones de seguridad alimentaria y provisión de agua, son eventos comunes relacionados al clima.
- Sus pilares económicos —minería y extracción de hidrocarburos— podrían sugerir que es relativamente insensible al cambio climático, pero sin embargo la mayoría de sus habitantes se dedica a la agricultura a pequeña escala, y ellos son altamente vulnerables a los cambios de clima.
- Las proyecciones climáticas sugieren cambios en la mayoría de los patrones de precipitación, con una estación seca posiblemente extendida, inicio debilitado de lluvias tempranas, y estaciones lluviosas más intensas. Sin embargo, los estimados de variabilidad de precipitación a través de modelos climáticos son todavía muy grandes y con limitada validación a nivel local.

Estas características fueron factores importantes en el diseño y desarrollo del estudio, cuyo objetivo fue apoyar a los esfuerzos existentes de implementación de una estrategia nacional de adaptación en el país. Para este efecto, el estudio evaluó un rango de opciones de adaptación para dos de los sectores más vulnerables en Bolivia: agricultura (producción de cosechas de papas, quinua, soya y maíz) y agua (infraestructura de irrigación y saneamiento urbano). Adicionalmente, un componente social complementó el análisis e iluminó las implicaciones de distribución de las diferentes opciones de adaptación sobre los grupos humanos más pobres y vulnerables. Finalmente, una nueva herramienta de planificación de desarrollo —basada en una serie de insumos medioambientales, sociales y económicos— proporciona un nuevo recurso para los tomadores de decisiones al permitir secuenciar y priorizar opciones identificadas de adaptación. El estudio demuestra el uso de dicha herramienta al evaluar, a un nivel de macro-cuenca, la factibilidad y robustez de diversos planes de inversiones bajo escenarios proyectados de cambio climático.

A lo largo de todo el estudio, los autores del mismo han mantenido un diálogo constante con distintos miembros del gobierno nacional para asegurar el alineamiento del estudio con las necesidades e intereses locales. Este proceso ha significado una expansión del estudio de vulnerabilidad social, una reducción de la evaluación de los costos de adaptación y una modificación de la escala de análisis en el desarrollo de la herramienta de planificación de inversión socioeconómica. Aunque la estimación de los costos nacionales de diversas medidas de adaptación fueron definidos inicialmente como uno de los principales objetivos del estudio, el gobierno boliviano consideró que estos estimados no son muy útiles al momento, en parte por las limitaciones de datos existentes y las dificultades de captar efectos que incluyan la gran diversidad ecológica y cultural del país; lo que resultaría en demasiadas incertidumbres en la calidad y agregación de los datos a nivel sectorial. El interés del Gobierno se ha enfocado predominantemente en el nuevo conocimiento que el estudio genera sobre las medidas de adaptación en los sectores de agricultura, agua y vulnerabilidad social, así como en la formulación de herramientas de planificación de desarrollo que integran diversas opciones de adaptación.

Basado en dichas recomendaciones gubernamentales y los ajustes al contexto boliviano, este estudio proporciona nuevos puntos de vista sobre modelos y herramientas que pueden ayudar a estimar los impactos climáticos potenciales y rangos de costos de opciones de adaptación. El estudio pone a prueba nuevas metodologías y presenta recomendaciones sobre diversas áreas donde existe necesidad de investigación adicional, recopilación de nuevos datos y aumento de capacidad para fortalecimiento de los planes de acción con respecto a la integración de la adaptación. Finalmente, el estudio resalta acciones climáticas robustas que podrían ser implementadas bajo cualquier escenario futuro pese a las incertidumbres existentes.

Dada la importancia mundial social, económica y política del cambio climático, los hallazgos de este estudio deberían ser de gran interés y relevancia para definir y ajustar políticas de desarrollo. El informe, por lo tanto, está dirigido a una audiencia muy amplia, aunque fue escrito primariamente para los desarrolladores de éstas políticas.

Los hallazgos y conclusiones del presente estudio no necesariamente refleja la opinión y punto de vista del gobierno de Bolivia y están basados meramente en resultados científicos. Las conclusiones clave contribuirán al despliegue de nuevas metodologías y acciones relativas al crecimiento de la resiliencia<sup>1</sup> al clima en Bolivia.

## LA VULNERABILIDAD DE BOLIVIA AL CAMBIO CLIMÁTICO

La insuficiencia de datos meteorológicos a nivel nacional y las profundas diferencias entre los diferentes modelos climáticos globales de circulación general (GCM por su sigla en inglés) contribuyen a la incertidumbre asociada a la adaptación a cambios climáticos específicos. La ciencia climática aún no puede proporcionar resultados suficientemente confiables para

1 En el estudio EACC, el término resiliencia se define a partir del concepto de resiliencia ecológica y la resiliencia social, en la cual se ha definido como la capacidad de los grupos o comunidades de amortiguar tensiones externas y disturbios como resultado de cambios sociales, políticos o ambientales (Adger, 2000). Se puede necesitar que estén presentes tres características generales de los sistemas sociales para dotar a las sociedades de resiliencia, éstas son: la capacidad de amortiguar la alteración, la capacidad de auto-organizarse y la capacidad de aprendizaje y adaptación (Trosper, 2002)

determinar si los escenarios secos o húmedos serán los más probables. Es por eso, por lo cual el objetivo fundamental de la planificación de la adaptación debe ser la construcción de una mayor resiliencia que permita manejar *riesgos bajo un rango de posibles escenarios*. La resiliencia nacional a choques climáticos es una gran prioridad a corto y a largo plazo.

En las últimas décadas, los análisis climáticos de los eventos El Niño y La Niña sugieren un incremento de la ocurrencia y la intensidad de estos eventos. En Bolivia, la acumulación de estos eventos dentro de un marco de tiempo más corto puede fácilmente amenazar a los patrones de desarrollo proyectados, dadas las serias limitaciones financieras del sector público. Esta vulnerabilidad subraya la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación que incrementen la resiliencia contra futuros desastres climáticos y promuevan el desarrollo sostenible (Informe Mundial de Desarrollo, Banco Mundial 2010). La mejor comprensión de la vulnerabilidad local a diversos cambios futuros genera también un mayor entendimiento de posibles costos adicionales requeridos para implementar acciones de adaptación y determinar así, futuras necesidades de apoyo adecuado y sostenible (de fuentes internacionales como nacionales) que faciliten la implementación de intervenciones robustas de adaptación y aumenten la resiliencia climática.

En términos generales, la economía boliviana pareciera ser relativamente resistente al cambio climático debido a la gran importancia de los hidrocarburos y la extracción de minerales. Sin embargo, sólo un porcentaje relativamente pequeño de la población está dedicado a dichos sectores. Gran parte de la población en Bolivia es extremadamente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que esta se basa en la producción agrícola para la subsistencia básica. Aproximadamente un 30 por ciento de la población rural de Bolivia reside en los valles y altiplano, donde la disponibilidad de agua ya es muy escasa. Estas comunidades tienen medios muy limitados para cubrir cualquier costo relacionado a la adaptación relacionada a la variabilidad climática. Para la mayoría de la población, el impacto del cambio climático sobre el desarrollo y bienestar de Bolivia es, por lo tanto, altamente incierto. Bajo la mayoría de los escenarios, los agricultores de subsistencia y otros hogares pobres tienen mayores probabilidades de ser afectados por los

cambios en la variabilidad de clima y disponibilidad de agua asociados al cambio climático. La incertidumbre es mayor para las poblaciones rurales altamente vulnerables del Altiplano.

El estudio piloto de Bolivia considera dos escenarios climáticos extremos, en términos de disponibilidad de agua, para poder simular el rango de los escenarios extremos, asumiendo que cualquier cambio posible en el clima de Bolivia ocurrirá probablemente en algún punto entre los dos extremos. El escenario húmedo para Bolivia pronostica un incremento de temperatura promedio de 1.55°C y una media de precipitación anual de +22 por ciento para el 2050, en tanto el escenario seco muestra un incremento de temperatura de 2.41°C y una disminución de precipitación de —19 por ciento promediada a través del territorio boliviano. Las temperaturas más altas y con menores heladas probablemente podrían estimular la producción en el Altiplano y los valles. Sin embargo, las incertidumbres claves se refieren a la cantidad total, oportunidad e intensidad de la precipitación pluvial. Si los escenarios de disminución de precipitación son correctos, entonces los beneficios de temperaturas más altas serán más que anulados por períodos de lluvias insuficientes más frecuentes y severos, especialmente en el sureste, junto con efectos inciertos en el norte. Por otra parte, si los escenarios húmedos fueran los correctos, entonces los rendimientos agrícolas deberían aumentar en una gran parte del país, pero esto requeriría mejoramientos en infraestructura (ej. control de inundaciones, almacenamiento de agua e irrigación) junto con aplicación de mejores prácticas agrícolas.

Finalmente, el cambio climático no solo afectará las áreas rurales. Varias ciudades principales localizadas en las cuencas superiores, en las regiones del Altiplano y los valles —tales como La Paz-El Alto, Sucre, Potosí y Cochabamba—son significativamente vulnerables a la variabilidad climática y escasez de agua. Estas ciudades se encuentran altamente expuestas a tendencias de lluvias decrecientes, cambios estacionales inesperados y sequías prolongadas. El caso de La Paz-El Alto es particularmente alarmante debido a la desaparición de los glaciares Chacaltaya y Tuni-Condoriri, que reducirá la provisión de agua natural, añadiendo más tensiones a un sistema donde la demanda ya ha igualado a la oferta. El sistema de provisión de agua de La Paz-El Alto ya ha

sufrido un alerta de escasez en la estación húmeda del 2008, que se repitió en el otoño del 2009. Para poder cumplir con las demandas en dichos períodos, se implementaron algunas medidas de emergencia, tales como la excavación de pozos subterráneos. Sin embargo, no hay información sobre las reservas de aguas subterráneas o la capacidad de recarga de los acuíferos. De la misma manera la escasez de agua ya ha provocado conflictos sociales en Cochabamba, Sucre, y Tarija.

## POTENCIAL DE ADAPTACIÓN – ESTRATEGIAS PARA LOS SECTORES DE RECURSOS HÍDRICOS Y AGRICULTURA

El estudio piloto del EACC en Bolivia evaluó primariamente a los sectores de agua y agricultura. Aunque el enfoque fue principalmente económico, los temas políticos e institucionales jugaron un rol central para comprender e identificar soluciones a algunos de los principales desafíos de adaptación. Sin mejoras fundamentales en las políticas e instituciones que financian, mantienen e invierten en los sectores de agua y agricultura, los recursos adicionales dirigidos a construir resiliencia no tienen probabilidad de ser efectivos a largo plazo. La adaptación en Bolivia debe ir de la mano del desarrollo sustentable.

### *Manejo de aguas e irrigación*

La inversión en un mejor manejo de los recursos hídricos incrementará la resiliencia de los campesinos bolivianos a los cambios sistémicos asociados a los niveles de lluvias anuales, así como a una mayor volatilidad anual en los patrones de pluviosidad estacionales. Las prácticas mejoradas de manejo de los recursos hídricos son conducentes a un desarrollo inteligente aún en la ausencia de cambio climático; por lo tanto, este tipo de inversiones *sin remordimientos* tienen mucho sentido dado la incertidumbre prevaleciente con respecto a cambios del clima específicos futuros. Sin embargo, el nivel e implementación de las inversiones deberá tomar en cuenta los cambios actuales en productividad agrícola dentro del país, de modo que las inversiones se planifiquen para responder a futuros patrones de producción, y no se basen en patrones históricos.

El almacenamiento de recursos hídricos y la recolección de los mismos son cruciales para incrementar la cobertura del sector agrícola. La irrigación es la mayor fuente de

consumo de agua (84 por ciento de todos los recursos hídricos) y se supone que se incrementará en el futuro debido a los planes actuales de expansión agrícola. Sin embargo, la eficiencia de los sistemas tradicionales de irrigación es relativamente baja. Mientras que los recursos hídricos son abundantes para el país en general, el mejoramiento de capacidad de almacenamiento en los períodos húmedos para cumplir con las demandas de irrigación en las áreas deficitarias —tales como el Altiplano sur y el Chaco— es esencial. Las mejoras en irrigación necesitan estar acompañadas por un mejor manejo general de los recursos hídricos, incluyendo mejor manejo integrado de cuencas en las cuencas deficitarias, donde la competencia por recursos entre las poblaciones rurales y urbanas tenderá a aumentar rápidamente.

Bajo los escenarios húmedos, se estima un incremento de inundaciones, especialmente en los valles y tierras bajas del oriente. Acciones como reforestación, desarrollo de sistemas para alerta de inundaciones y prevención de desastres pueden todos reducir los costos económicos y sociales de las inundaciones en tierras bajas.

Las causas de la escasez actual de recursos hídricos urbanos en Bolivia (lo que representa un gran problema socioeconómico) son complejas, e involucran serios problemas de inestabilidad institucional, bajo financiamiento y un manejo deficitario de la demanda. El cambio climático tenderá a exacerbar este escenario. Como se discute en la sección de recursos hídricos urbanos, la principal necesidad de adaptación para poblaciones rurales y periurbanas tiene que ver con la necesidad de acceso incrementado al agua y servicios de saneamiento.<sup>2</sup> Una medida prioritaria será extender las redes urbanas existentes a las áreas periurbanas sin acceso a agua y servicios básicos. El rápido crecimiento de dichas áreas necesitará ser planificado con anticipación para asegurar servicios adecuados (una clasificación cualitativa de las medidas potenciales de adaptación mencionadas con anterioridad se describen con más detalles en el Anexo 1: Impactos del Cambio Climático y Adaptación en Recursos Hídricos). El principio básico de adaptación en áreas urbanas debería ser, al igual que en las zonas rurales, el poder incrementar el desarrollo a una velocidad mayor y fortalecer medidas proactivas tales como el mantenimiento incrementado de la infraestructura y menores necesidades de

<sup>2</sup> Ver sección de aguas urbanas en el Anexo 1.



reconstrucción. Finalmente, sería también aconsejable considerar la integración de los “aspectos económicos del cambio climático” dentro de los nuevos términos de referencia para planes existentes de desarrollo (p. ejemplo: modificación de los cinco planes maestros para el saneamiento urbano en Bolivia). Esto requiere, no solamente el acceso a inversiones mayores, sino también el incremento de la capacidad institucional y la gobernabilidad que permitan acelerar inversiones basadas en datos sólidos, una mejor investigación y el uso de mejores herramientas para la planificación.

### **Agricultura**

Los cultivos analizados fueron quinua, papa, maíz y soya. Estos cultivos se cultivan desde el Altiplano hasta las regiones de menor elevación. Los cuatro cultivos, especialmente el maíz y la papa, son fuentes importantes de calorías en la dieta diaria de las familias bolivianas. La soya es, por supuesto, un cultivo principal de exportación y consecuentemente fundamental para la economía de Santa Cruz, ya que las exportaciones de soya llegan a ser 30 por ciento del PIB de Bolivia. El análisis del efecto potencial del cambio climático en rendimientos de cosechas presentó resultados mixtos. El estudio estima que el sector agrícola de Bolivia, bajo un escenario de clima húmedo, se beneficiaría en forma significativa de un clima más cálido y más húmedo. Bajo tal escenario, la producción de maíz y soya aumentaría de 40 a 45 por ciento y las papas y la quinua aumentarían su rendimiento entre 60 a 90 por ciento. Sin embargo, la disponibilidad de agua en las etapas tempranas de siembra y cultivo continúa siendo un factor limitante clave, así como mejoras en el manejo del suelo. Las pérdidas totales esperadas de un clima más seco son menores que las ganancias de un clima más húmedo y más cálido.

Por otra parte, los escenarios secos llevarían a una reducción mayor de rendimientos agrícolas en las regiones del Altiplano, los Valles y El Chaco. Los efectos de menor pluviosidad y mayor evaporación solamente podrían ser compensados por (a) una sustancial inversión en almacenamiento de aguas e infraestructura de irrigación, y b) la adopción de variedades y cultivos resistentes a la sequía en los llanos. Las pérdidas potenciales bajo un escenario de clima seco se proyectan en un 25 por ciento para el maíz y 10–15 por ciento para soya, papas y quinua. Estos resultados podrían ser más desalentadores si no

fuera por un beneficio potencial agrícola de un clima futuro más cálido y libre de heladas. Ello sugiere que una implementación rápida y oportuna de irrigación, (por lo menos en las fases iniciales del desarrollo de cultivos) sería aún más atractiva bajo un escenario de clima más cálido. En ambos escenarios seco y húmedo, el acceso a irrigación es una intervención clave de adaptación para reducir la vulnerabilidad a la variabilidad climática incrementada, lo que puede incluir un periodo de lluvias más corto, sequías y prolongados periodos secos durante la misma época de lluvias.

Otra área importante de adaptación concierne la combinación de investigación y desarrollo agrícola con la *implementación y transferencia de nuevas tecnologías*— particularmente el desarrollo de nuevos cultivos y variedades, así como la validación de métodos mejorados de cultivar las variedades existentes—siempre y cuando se disponga de servicios de extensión agrícola y educación para difundir y facilitar la adopción de nuevas tecnologías. Esto requiere de un compromiso sustancial con la investigación y desarrollo agrícola y la extensión, el cual forma parte de un componente importante de cualquier estrategia de desarrollo que se enfoque en las necesidades de comunidades rurales sin consideración alguna de cambio climático. El requisito clave podría ser asegurar que el enfoque de investigación y desarrollo y la extensión esté en reforzar la capacidad de los campesinos de responder a la variabilidad climática en el corto y largo plazo, así como estar preparados para los requisitos de las condiciones climáticas del 2050, y no solo las del 2000.

### **ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Basándose en las necesidades identificadas en el sector agrícola y recursos hídricos para mejorar el acceso al riego y evitar escasez de agua como intervenciones claves de adaptación, se hicieron tres ejercicios diferentes para la evaluación económica con respecto a los costos, beneficios y secuenciamiento de medidas alternativas de adaptación en diferentes niveles.

El primer ejercicio evaluó el costo-beneficio de proyectos seleccionados por el Gobierno que reflejan medidas de adaptación para la agricultura y los recursos hídricos bajo el Mecanismo Nacional de Adaptación al

**TABLA RE-1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN LOS SECTORES AGRÍCOLA Y RECURSOS HÍDRICOS**

Proyecto	Costo de Inversión (miles de dólares)	Beneficiarios	VAN <sup>1</sup> (miles de dólares)	TIR <sup>2</sup> (%)	VAN <sup>1</sup> (miles de dólares)		IRR (%)
					Línea Base	Escenario Seco	
<b>AGUA</b>							
Distribución en Sapecho	3,440	2,199 personas	3,428	24	3,331	24	
Agua potable S.P. Cogotay	408	140 personas	8	13	3	13	
Perforación pozos Chapicollo	317	50 familias	187	17	151	17	
Control inundaciones Caranavi	4,052	528 casas	2,658	22	2,658	22	
<b>AGRICULTURA</b>							
Represa irrigación S.P. Aiquile	11,476	147 ha	2,583	16	4,195	18	
Restauración presa Tacagua	313,623	907 ha	(184,275)	3	(171,580)	3	
Elevación muro presa Tacagua	120,457	907 ha	9,705	14	21,563	16	
Irrigación B. Retiro S Paraisito	3,686	178 ha	17,260	71	14,874	63	
Atajados cuenca/Aiquile	1,951	32 ha	115	14	347	16	

1 VAN = Valor actual neto

2 TIR: Tasa Interna de Retorno

Nota: Los valores en paréntesis indican un VPN negativo, sugiriendo que el proyecto de restauración de represa no es económicamente factible en esta región.

Cambio Climático. Los proyectos fueron seleccionados principalmente basándose en la disponibilidad de datos y su distribución regional. El análisis se hizo en términos de valores financieros (de mercado) y en términos socioeconómicos (precios sombra), y variables de cambio climático integradas (temperatura y precipitación) bajo un caso seco (como peor caso) y un escenario sin cambios de clima en el 2050<sup>3</sup>. El objetivo no era evaluar a los proyectos en sí, pero más bien su factibilidad económica como medidas de adaptación apropiadas a la variabilidad del clima en Bolivia (Tabla 1).

Bajo un escenario seco, los resultados sugieren que el altiplano será favorecido por el aumento de temperaturas mientras que las regiones del oriente y el Chaco serán negativamente afectadas por aumento de temperaturas y precipitación reducida. Estos resultados están de acuerdo con la distribución espacial de los proyectos donde, dependiendo del área, la Tasa Interna de Retorno (TIR) se reduce debido a estos impactos regionales. Los proyectos de agricultura muestran un ligero

incremento del TIR bajo el escenario de cambio climático en las zonas altas (excepto el proyecto B.R. Paraisito). Esto sugiere que la planificación actual de inversiones en agricultura y recursos hídricos puede considerarse resiliente al cambio climático por lo menos bajo condiciones extremas. Por lo tanto, la mayoría de las medidas actuales de adaptación en Bolivia representan principalmente buenas estrategias de desarrollo que son robustas a la variabilidad climática.

El ejercicio de análisis de costo-beneficio ilustra el uso de una herramienta económica para la evaluación y priorización de proyectos de inversión bajo un clima cambiante. Sin embargo la selección de proyectos está limitada a áreas rurales debido a la disponibilidad de datos al momento de este análisis. Esto excluye los proyectos de infraestructura mayor en áreas urbanas ya que dichos proyectos generalmente están excluidos de los presupuestos nacionales y se financian mayormente a través de la cooperación internacional.

El segundo ejercicio consideró el posible efecto del cambio climático sobre un programa nacional de riego a nivel de cuencas planificado a largo plazo (Programa Nacional de Cuencas -PNC-). El ejercicio evaluó el costo de proporcionar

3 EL escenario húmedo no estaba disponible al momento del análisis por lo que se usó un escenario extremo en términos de sequías.

el nivel requerido de infraestructura adicional de almacenamiento de aguas para cumplir con el plan del PNC de expansión de riego para el 2011 y el estimado hasta el 2050. Esto se basó en un análisis de los meses estimados con déficit y excedentes de agua a nivel de cuencas, y por lo tanto en la necesidad y potencial de reasignar agua adicional a través de almacenamiento bajo escenarios climáticos extremos húmedos y secos. **El costo estimado para el 2050 del almacenamiento adicional de agua requerido para cumplir con futuros déficits mensuales debidos al cambio climático, estaría en el orden de \$12 millones adicionales con respecto a la línea base proyectada bajo el escenario de clima húmedo (estimada en unos \$480 mil lones para el 2050 sin cambio climático), y \$60 millones bajo el escenario de clima seco.**

El tercer ejercicio exploró el efecto de cambio climático sobre el programa de inversión planificada para la cuenca del Mizque mediante la aplicación de un modelo de aplicación matemática de números enteros mixtos (MIP) como herramienta para la planificación del desarrollo. El estudio Plan Nacional de Cuencas (PNC) para la cuenca del Mizque cuenta con un plan de riego que se utilizó para evaluar la incertidumbre climática y una política presupuestaria descentralizada sobre los beneficios potenciales del Plan para el Manejo Integrado de la Cuenca del río Mizque (PMIC, 2005). Esta es una cuenca identificada como particularmente susceptible a los efectos del clima a través de análisis de impacto sobre el recurso hídrico.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el cambio climático tendería a modificar el plan original de desarrollo e implicaría una reducción significativa del retorno económico bajo el plan nacional por lo menos bajo uno de los escenarios climáticos considerados. Mediante el uso de la herramienta del modelo de inversión se identificaron poblaciones vulnerables y opciones de cómo restaurar los beneficios, a nivel de cuenca, a sus niveles de línea de base a través de inversiones aceleradas. Sin embargo, es difícil asegurar que los beneficios adicionales del manejo integrado de cuenca lleguen a aquellos que sufren directamente de la escasez de agua. Mediante el modelo de planificación desarrollado, se permite una comparación detallada de diferentes alternativas de inversión y el potencial efecto del cambio climático sobre ellas —dentro de un marco de planificación que

es consistente a través del tiempo. El enfoque también facilita la evaluación de las diversas estrategias y alternativas de inversión y la robustez de éstas bajo posibles proyecciones de cambio climático, algo que es particularmente importante en vista de la incertidumbre asociada a estas proyecciones (Cuadro 1).

Finalmente, es importante aclarar que la intención original de este análisis fue utilizar el estudio de Bolivia para hacer un ejercicio mucho más ambicioso —utilizando como base el mismo modelo matemático para identificar la oportunidad económicamente óptima de los diferentes proyectos de adaptación, en diferentes sectores, y a la vez, todos compitiendo por los recursos bajo un presupuesto limitado. Sin embargo, dicho ejercicio requiere una inmensa disponibilidad de datos, incluyendo los costos de un rango de proyectos— lo cual demostró ser no factible. El desafío aun existente sigue siendo poder utilizar enfoques similares para determinar el tiempo óptimo de implementación de los proyectos de adaptación.

## PERSPECTIVAS A NIVEL LOCAL SOBRE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Las poblaciones más vulnerables al cambio climático son las más pobres, las cuales generalmente residen en zonas secas (Altiplano sur-central, valles y llanos) y a lo largo de las riberas fluviales en las zonas bajas. Sus formas de vida se basan en agricultura a secano, actividades pecuarias extensivas, aprovechamiento de bosques, cacería y pesca. La forma de vida de dichas comunidades locales depende extensamente del clima. Tienen pocas alternativas para diversificar sus ingresos, y no tienen recursos económicos para invertir en acciones preventivas de adaptación e infraestructura. Los resultados del componente social del presente estudio revelan que las comunidades perciben que el clima se está haciendo más cálido, es menos predecible, y casi todos enfatizan que las estaciones de lluvia son más cortas que en décadas previas. En otras palabras, las comunidades no ven el cambio climático como un escenario futuro a largo plazo, sino como algo que ya está ocurriendo.

Las comunidades rurales e indígenas tienen una larga y rica historia de observación sistemática del clima; de hecho, su sobrevivencia depende de esta capacidad. El cambio climático y la incrementada variabilidad del

### CUADRO RE-1 EL MODELO DE PLANIFICACIÓN DE INVERSIONES PARA LA CUENCA DEL RIO MIZQUE

A través de la aplicación de un modelo matemático de programación de números enteros mixtos (MIP), el estudio de la cuenca Mizque evalúa el efecto del cambio climático sobre el programa de inversión del gobierno como se identifica en el estudio PMIC-Mizque. Setenta y cuatro proyectos de inversión en 22 subcuencas fueron considerados, cada uno con un costo inicial de inversión —Operación & Mantenimiento asumiendo el 1 por ciento por año de inversión inicial— e ingresos netos de campesinos basados en los patrones de cultivo en estas subcuencas. Los nuevos proyectos y rehabilitación de proyectos existentes fueron evaluados en la manera que compiten por recursos presupuestarios, cada uno requiriendo una cantidad de agua de riego determinada por el patrón de cultivo. Los proyectos existentes incluyeron necesidades competitivas entre proyectos de riego, agua potable y pecuaria. El agua disponible fue ajustada bajo 3 escenarios de cambio climático en el 2050: un escenario de línea base que mapea el clima y la disponibilidad de agua de acuerdo al consumo actual, un escenario “seco” de baja disponibilidad del recurso hídrico y otro escenario “húmedo” con exceso de disponibilidad de agua. Al optimizar el secuenciamiento de inversión a través del tiempo, los proyectos considerados podrían ser construidos o rehabilitados en cualquier momento hasta el 2050. El modelo también permite la construcción de proyectos y la utilización parcial de su plena capacidad si, por ejemplo, el agua se convierte en un recurso limitado hacia finales del horizonte de inversión el cual fue determinado en 40 años.

Este estudio está ahora disponible para el uso del gobierno y adaptación del mismo a otras circunstancias y restricciones. Es importante recalcar que la metodología del estudio es completamente transparente y es una extensión directa de planes de inversiones existentes ya emprendidos por el gobierno y los donantes en temas del manejo del recurso hídrico. El modelo permite principalmente analizar el efecto de tres imposiciones: (a) variación en tasas de descuento (o tasas de corte de costo-beneficio); (b) gerenciamiento de presupuestos descentralizado vs. centralizado, y (c) potenciales efectos del cambio climático. En su forma actual el ejercicio de modelado puede investigar la maximización de beneficios sociales netos o el número de familias beneficiadas. Los principales hallazgos del modelo para este estudio son:

- **El efecto del cambio climático sobre un plan de inversiones.** En forma relativa al clima actual, el efecto de un posible escenario futuro de clima seco sería la reducción potencial de beneficios sociales del programa de riego PMIC-Mizque en alrededor de un 3–5 por ciento. El efecto de un escenario futuro “húmedo” sería de aumentar los beneficios entre 1–3 por ciento ya que habría más agua disponible para irrigación. Estos resultados varían de alguna manera con diferentes niveles de disponibilidad presupuestaria y bajo una política gerencial descentralizada vs. una centralizada.
- **Efecto de un gerenciamiento presupuestario descentralizado sobre el plan de inversiones.** En la cuenca del río Mizque, los presupuestos descentralizados a nivel de subcuencas podrían reducir los beneficios potenciales significativamente si no se establece una coordinación y planificación general a nivel de cuenca. Este es el caso, ya fuese que el objetivo del modelo sea maximizar beneficios sociales nacionales o maximizar el número de familias beneficiadas. El modelo MIP estima que los presupuestos descentralizados en la subcuencas del Mizque reducen los beneficios sociales y/o el número de familias que se benefician directamente de los proyectos en alrededor del 2 y 30 por ciento. Bajo un presupuesto ajustado y una política para maximizar el empleo (en vez de maximizar los beneficios sociales) el gerenciamiento descentralizado dentro de las subcuencas reduce el número de familias que reciben irrigación en un casi 20 por ciento. En los escenarios de presupuesto descentralizados modelados, la inversión per cápita se mantuvo constante a nivel de subcuencas y se específico al modelo la selección de los mejores proyectos en cada subcuenca. En los escenarios centralizados los mejores proyectos fueron escogidos sin importar donde se encontraban en la cuenca. La imposición de un límite de costo-beneficio en los proyectos redujo significativamente la diferencia entre las simulaciones centralizadas y descentralizadas. Por lo tanto, la coordinación entre políticas presupuestarias centralizadas y descentralizadas son necesarias para asegurar el mejor uso de recursos y disminuir la competencia potencial en el uso de los recursos hídricos.
- **Efecto de la incertidumbre del cambio climático sobre el plan de inversión.** Este estudio encontró que en general, el plan de inversión potencial en riego en la cuenca de río Mizque es robusto ante la mayoría de los escenarios climáticos, y que la pluviosidad anual será suficiente para casi todos los proyectos de riego identificados en el estudio PMIC-Mizque, asumiendo que exista suficiente capacidad de almacenamiento de agua como parte del programa.

clima significan que muchos de los indicadores de clima (por ejemplo cambios en calendarios de cultivos) utilizados por estas comunidades se están haciendo menos efectivos, de modo que se necesitan nuevos indicadores (e.j. acceso a datos de tendencias climáticas históricas y proyecciones) para diagnosticar y predecir mejor las variabilidades futuras.

El componente social del estudio está dirigido a: (a) identificar cómo los impactos del cambio climático afectarán a las poblaciones más pobres y más vulnerables de Bolivia; (b) comprender mejor cómo las comunidades más vulnerables perciben el cambio climático y cuáles, en su opinión, serían las medidas más apropiadas de adaptación para fortalecer la resiliencia de estas poblaciones; y (c) comprender cuáles tipos de políticas públicas y procesos políticos serían los más adecuados para apoyar a las estrategias de adaptación preferidas.

Las comunidades del Altiplano y valles dan prioridad a las medidas de adaptación relacionadas al manejo de aguas, seguidas por prácticas agrícolas y pecuarias mejoradas. Ellos ven la sequía como la principal amenaza a su forma de vida. En contraste, las comunidades del Chaco y regiones de los llanos aseguraron que las prácticas agrícolas mejoradas serían una prioridad y consideraron las medidas de manejo de aguas como de importancia secundaria.

Inversiones complementarias, en opciones de adaptación tanto estructurales (infraestructura nueva) o “duras”, como sociales o “blandas” (e.j. redes de seguridad social, incremento de capacidad, acceso y disseminación de los conocimientos), serán vitales para cumplir con las necesidades de los más vulnerables. Mejorar los servicios de extensión agrícola y aumentar el acceso a los mercados, por ejemplo, será necesario para complementar el desarrollo de medidas de adaptación “duras” tales como la construcción de infraestructura. Aunque las medidas de adaptación “blandas” requieren inversiones significativas al comienzo, ofrecen grandes beneficios ambientales y sociales sostenibles a largo plazo. También dada la rica diversidad cultural boliviana será importante combinar el conocimiento tradicional de adaptación a la variabilidad climática con nuevos métodos de identificación de prioridades. Actualmente, las autoridades locales tienden a favorecer inversión en medidas discretas y “duras”, mientras que las comunidades tienden

a favorecer estrategias más comprehensivas que apoyen cambios más profundos a sus sistemas de vida amenazados por el cambio climático. La planificación a través de escalas de gobernabilidad, respetando las estructuras existentes de toma de decisiones en las comunidades, y alineando intereses para asegurar cohesión de políticas, será necesaria para una adaptación efectiva, particularmente dado el sistema único de las políticas de descentralización de Bolivia.

## RECOMENDACIONES PARA UNA AGENDA DE ACCIONES

Las siguientes recomendaciones son el resultado del proceso de aprendizaje durante todo el desarrollo del estudio, así como parte de las conclusiones finales de los modelos específicos usados en la investigación sectorial.

**Este estudio ha enfatizado la necesidad de acelerar la agenda de desarrollo en el país, ya que en la mayoría de los casos, las buenas políticas de desarrollo son a su vez las más robustas para la adaptación al cambio climático. Por lo tanto es importante:**

- *Promulgar las estrategias y acciones robustas de adaptación bajo condiciones de clima tanto seco como húmedo.* En particular, el aumento del almacenamiento de aguas; el manejo de cuencas en áreas cada vez más secas; y el mejor acceso al riego han sido resaltadas como opciones claves de adaptación que aumentan la resiliencia a la variabilidad climática actual y futura, y sus tendencias a futuro.
- *Fortalecer el manejo rural integrado del recurso hídrico y mejorar la capacidad de almacenamiento de aguas.* Un manejo activo e integrado a nivel de cuencas es altamente necesario para permitir el incremento adicional de la capacidad de almacenamiento de aguas (incluyendo la construcción de nueva infraestructura) y evitar conflictos por el incremento de la necesidad y la competencia por el uso del recurso hídrico. La actual infraestructura para el almacenamiento de agua necesita ser revisada, actualizada e incrementada. El almacenamiento y recolección de agua son actividades necesarias para poder aumentar la cobertura de riego en el sector agrícola hacia el 2050.

- *Mejorar el saneamiento de aguas y provisión de aguas urbana*, incluyendo mejoras fundamentales en las instituciones que financian, mantienen, e invierten en la provisión de agua para adaptarse efectivamente a los cambios fluctuantes de la provisión y demanda del recurso hídrico debido a variabilidad climática.
- *Mejorar el acceso al riego*. Bajo escenarios climáticos húmedos y secos, el acceso mejorado al riego es esencial para manejar estaciones de lluvias más cortas pero más intensas, sequías y/o épocas de secas inesperadas. Aún en el escenario más optimista de condiciones más húmedas a futuro, la productividad agrícola solamente podrá aumentar si la capacidad de almacenar y utilizar el agua adicional que se encuentra disponible y accesible a los agricultores durante los períodos críticos del cultivo. El aumento de la investigación y el uso de nueva tecnología es crucial para asegurar la resiliencia climática en la producción agrícola de subsistencia, así como para la producción de cultivos comerciales. Las temperaturas más altas podrían mejorar la producción agrícola si se solucionan los problemas mayores en relación al consumo de agua.
- *Fortalecer el desarrollo centrado en la población*. El estudio identificó que los grupos más vulnerables son los más pobres, quienes no tienen reservas o capital de producción para la inversión en procesos de adaptación. Estos individuos generalmente residen en zonas relativamente secas —tales como el Altiplano central y sur, los valles, y el Chaco— donde los más pobres con frecuencia dependen de la agricultura a secano. Las familias que residen en las riberas de ríos en zonas bajas también son altamente vulnerables ante las inundaciones.
- *Mejorar la capacidad de implementación de instituciones claves*. Para lograr escalar la implementación de actividades de desarrollo robustas ante las variaciones del clima —tales como el almacenamiento de agua, el riego, la investigación y el modelado del clima— será importante mejorar la capacidad y el nivel de implementación de acciones por parte de las diversas instituciones gubernamentales relacionadas a la adaptación.
- *Identificar y dividir responsabilidades entre instituciones*. Las nuevas legislaciones deberían identificar claramente las responsabilidades y roles entre las diferentes instituciones. Por lo tanto, la capacidad institucional debe de ser mejorada para facilitar la implementación y la clara identificación de responsabilidades en relación a la adaptación al cambio climático.

**El estudio promueve el fortalecimiento del desarrollo centrado en la población y la consideración cuidadosa de las implicaciones distributivas de las políticas en relación al cambio climático:**

- *Dedicar mayores recursos financieros para promover la resiliencia y la rápida implementación de acciones de adaptación (blandas 'soft' y duras 'hard')* que estén cuidadosamente ordenadas, priorizadas a través del tiempo e integradas a la planificación del desarrollo.
  - *Incorporar perspectivas locales existentes y experiencia en lidiar con temas climáticos y prácticas de desarrollo creadas en forma local*. Los procesos que son pilares para el desarrollo de políticas de adaptación deben respetar las prácticas comunitarias existentes que guían la priorización de inversiones a nivel local. Es esencial combinar saberes tradicionales con nuevos métodos y tecnologías. Las estrategias tradicionales de sobrevivencia y prácticas de adaptación a la variabilidad climática y a eventos extremos contienen lecciones muy valiosas para la planificación de la adaptación a los posibles cambios climáticos.
- A largo plazo, proteger a las poblaciones más vulnerables y fortalecer las prácticas para el manejo del riesgo de desastres.**
- *En el período hasta el 2050 y más allá, asegurar que las poblaciones más vulnerables estén protegidas* de los riesgos climáticos actuales (más extremos) y los riesgos climáticos futuros —como la escasez de agua— y que las condiciones institucionales y de infraestructura necesarias estén preparadas para apoyar a estos pueblos y hacer que el sector agrícola sea más resiliente al clima. En el 2050, se espera que el país tenga un nivel mucho más alto de infraestructura y bienes físicos, aumentando su vulnerabilidad potencial, pero al mismo tiempo tendrá, probablemente, una mayor capacidad de enfrentar los impactos climáticos. El acceso a, y la transferencia de diferentes tecnologías son muy importantes para la resiliencia de las poblaciones más vulnerables ante los futuros cambios climáticos.

- *Las prácticas de manejo del riesgo de desastres deberán ser parte de la planificación del desarrollo a largo plazo. El enfoque deberá estar centralizado en acciones preventivas.* La reducción de riesgos de desastres necesita ser parte de la planificación a largo plazo de todos los niveles del gobierno, a través de todas las industrias y particularmente, a nivel departamental y municipal. Esto también incluye una mejor capacidad de respuesta ante desastres naturales.

**La disponibilidad de nuevas metodologías y mejores análisis de datos son importantes para mejorar la base para la toma de decisiones robustas ante el cambio climático.**

- *Existen brechas considerables en la disponibilidad de datos hidrometeorológicos que aumentan las incertidumbres de los modelos climáticos y falencias en la implementación de acciones específicas de adaptación.* El estudio ha identificado muchas brechas de datos que deberían ser mejoradas,

pero también ha sido exitoso en recolectar y sistematizar una serie de datos hidrometeorológicos útiles para acciones futuras y estrategias de adaptación.

- *Se necesitan nuevas metodologías flexibles para una mejor integración del cambio climático en la planificación nacional y regional.* El estudio ha proporcionado y probado varios modelos y metodologías a diferentes escalas de análisis (es decir, nivel micro y macro de cuencas, nivel departamental, etc.) que pueden servir como inspiración para la integración del cambio climático a las estrategias generales de desarrollo. El desarrollo de indicadores de vulnerabilidad al cambio climático a nivel de cuenca fluvial y para áreas urbanas son ejemplos de los nuevos componentes disponibles en el estudio que pueden servir para nuevos análisis en caso se acceda a nuevas y mejores proyecciones climáticas para Bolivia.

#### LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este estudio debería ser valorado por las contribuciones que hace desde el punto de vista metodológico, más que por los resultados numéricos que ofrece bajo cada sector específico. Las fuentes de datos utilizadas todavía son limitadas y el nivel de precisión es bajo dentro de todos los sectores. En cualquier caso los resultados para cada sector analizado no deben ser tomados como verdad absoluta, sino más bien como indicios que contribuyan a profundizar el nivel de análisis en las áreas claves reveladas por este análisis.

La integración y el flujo de datos en el análisis sectorial dentro de diferentes componentes estuvo limitada debido a los diferentes marcos de tiempo asignados para la recolección de datos de línea de base y el análisis llevado a cabo por consultores locales. Por ejemplo, el componente Social originalmente pensó en utilizar insumos del sector de Recursos Hídricos y Agricultura para informar las discusiones de taller y ayudar a encontrar nexos entre los diferentes sectores, sin embargo esto no fue del todo posible debido a desfases temporales en los avances de los diferentes sectores.

El análisis de recursos hídricos no se extiende a todos sus subsectores. Esto es, no analiza el agua para generación de energía hidroeléctrica, agua para propósitos de navegación, y ni la calidad del agua o temas de cuencas internacionales. El análisis sobre los cambios futuros en la disponibilidad de agua, solamente asume que los cambios futuros en la demanda responderán solamente al desarrollo y al crecimiento de población. Las proyecciones de población y crecimiento se estimaron en base a datos estadísticos nacionales (tendencia constante hasta el 2050).

Todas estas brechas se podrán cerrar cuando datos más confiables y precisos se hagan disponibles, tanto de una perspectiva temporal como geográfica. El informe no es de ninguna manera comprensivo y existen varias limitaciones en relación a los resultados proyectados. El estudio deberá, por lo tanto, ser considerado como un primer paso hacia un análisis integrado que identifica áreas y poblaciones vulnerables a los efectos del cambio climático, y que evalúa diversas prácticas robustas de adaptación al cambio climático a ser implementadas hasta el 2050.





# Motivación y Contexto del Estudio de Economías de Adaptación al Cambio Climático

EL Estudio Economía de Adaptación al Cambio Climático (EACC) estima que costará entre \$75 – \$100 mil millones al año para que los países en desarrollo puedan adaptarse al cambio climático desde el 2010 al 2050 (Banco Mundial 2009). El estudio —financiado por los gobiernos de los Países Bajos, Reino Unido y Suiza— tiene dos objetivos específicos. El primer objetivo es desarrollar un estimado “global” de los costos de adaptación para que puedan informar a la comunidad internacional cómo diseñar un apoyo adecuado y sostenido en relación al acceso y la disponibilidad de recursos adicionales financieros, que ayuden a los países vulnerables a confrontar los costos de adaptación al cambio climático. El segundo objetivo es apoyar a los tomadores de decisiones de los países en desarrollo para evaluar como analizar y sopesar mejor los riesgos presentados por el cambio climático y diseñar mejores estrategias de adaptación. Este objetivo comprendía la identificación de opciones de adaptación que incorporen estrategias de acciones bajo un contexto de alta incertidumbre climática, daños futuros potencialmente altos, y necesidades que compiten entre sí en la inversión para el desarrollo económico y social hasta el 2050.

El estudio EACC incluye un análisis global para cumplir con el primer objetivo y estudios de caso piloto en diversos países para cumplir con el segundo objetivo. El análisis a nivel de país piloto comprende siete países: Etiopía, Mozambique, Ghana, Bangladesh, Vietnam, Bolivia y Samoa. En el análisis global, los costos para todos los países en desarrollo se estimaron por sectores económicos utilizando bases de datos

que tienen cobertura global a nivel país. Los sectores evaluados fueron agricultura, recursos forestales, pesca, infraestructura, recursos hídricos, zonas costeras, salud y servicios de ecosistemas. Las implicaciones de costos en relación a la frecuencia de eventos de clima extremo también fueron consideradas, incluyendo las implicaciones sobre programas de protección social. Bajo los estudios de país, los impactos de cambio climático y costos de adaptación se establecieron por sector, pero solamente para los sectores económicos principales de cada país. En contraste al análisis global, las evaluaciones de vulnerabilidad social se realizaron con talleres participativos con uso de escenarios a futuro para resaltar el impacto del cambio climático sobre grupos vulnerables y así poder identificar estrategias de adaptación que puedan beneficiar a dichos grupos mediante un enfoque de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo.

## Antecedentes

El propósito de este estudio fue asistir al gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia (de aquí en más referido como Bolivia), en sus esfuerzos de evaluar los impactos económicos potenciales del cambio climático y apoyar los esfuerzos para el desarrollo de políticas climáticas robustas e inversiones en respuesta a dichos impactos. El enfoque del estudio de caso Bolivia se definió a través de un diálogo continuo con las instituciones gubernamentales relevantes en Bolivia para asegurar así la alineación del estudio con las prioridades locales, necesidades y líneas de



pensamiento general del país. El interés del gobierno residió predominantemente en la recolección de *nuevos conocimientos* que fueron generados para determinar medidas de adaptación en los sectores de agricultura, recursos hídricos y vulnerabilidad social, así como en la formulación de *herramientas de planificación de adaptación* para ayudar a evaluar, secuenciar y priorizar las opciones de adaptación. En consecuencia, el gobierno de Bolivia no consideró de utilidad en este momento, la estimación de costos de adaptación a un nivel nacional o sectorial, debido a las muchas incertidumbres en la calidad y agregación de los datos locales así como las limitaciones inherentes al enfoque específico a sectores. El proceso de diálogo se vio reflejado en una expansión del estudio en el análisis de la vulnerabilidad social, una reducción en la evaluación de costos de adaptación y una modificación en la escala de análisis en el desarrollo de una herramienta de planificación socioeconómica para diversas inversiones. Consecuentemente, el enfoque de estudio para Bolivia difiere sustancialmente de otros países pilotos del EACC.

## Ámbito y Enfoque del Estudio

El estudio evaluó un rango de opciones de adaptación para dos sectores: agricultura (producción de cultivos) y recursos hídricos (riego, infraestructura y saneamiento urbano). El componente de la agricultura evaluó la producción de cultivos bajo diferentes escenarios climáticos e identificó diversas opciones robustas de adaptación para cuatro sistemas de cultivo principales. El sector hídrico se enfocó en la evaluación del riego en áreas rurales y aspectos generales de las necesidades urbanas bajo diferentes escenarios climáticos. Las opciones de adaptación identificadas en el estudio fueron contrastadas con opciones previamente señaladas por el Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC).

El estudio fue diseñado para mejorar el conocimiento de los aspectos económicos de la adaptación al cambio climático, presentando análisis económicos de robustez de diferentes opciones de adaptación como recursos potenciales para el desarrollo bajo un clima cambiante. El enfoque del trabajo se centró en el análisis de

medidas de adaptación planificada, dirigidas por el gobierno, que incluyen la inversión pública en temas de infraestructura, investigación agrícola y servicios de extensión, preparación de acciones comunales contra desastres climáticos, e implementación de reglamentos que permitan que la adaptación privada o autónoma ayude a las poblaciones más vulnerables a enfrentar los impactos del clima cuando las medidas de adaptación públicas son insuficientes. El estudio realizó un análisis costo-beneficio para evaluar la robustez (o resiliencia) de medidas de adaptación típicas previamente identificadas por el Mecanismo Nacional de Adaptación (PNCC, 2007) para los sectores de Agricultura y Recursos Hídricos. Las opciones de adaptación identificadas en el Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MNACC) fueron validadas y/o mejoradas por cada sector al ser contrastadas con nuevos análisis de proyecciones de impacto climático y de vulnerabilidad en el sector agricultura (producción de cultivos) y el sector de infraestructura relevante al sector hídrico (almacenamiento de aguas y necesidades de riego). Como una gran mayoría de las opciones de adaptación identificadas por los componentes de los diversos sectores social, aguas y agricultura convergieron en la necesidad de un *manejo eficiente del recurso hídrico*, la mayor parte de los análisis económicos se basaron en evaluar las nuevas necesidades de infraestructura para este sector bajo las nuevas demandas de un clima cambiante.

De igual modo, se desarrolló una nueva herramienta para apoyar la planificación del desarrollo, basada en un análisis socioeconómico, que permite mejorar los planes de desarrollo en relación al consumo de agua a nivel de cuencas vulnerable a los cambios climáticos proyectados. La herramienta fue desarrollada para ayudar a los desarrolladores de políticas a secuenciar y

priorizar las opciones de adaptación identificadas. Finalmente, el estudio es enriquecido por un componente de vulnerabilidad social que ilumina y provee claridad sobre las implicaciones de la implementación de las diferentes opciones de adaptación sobre los grupos más pobres y vulnerables.

El informe está organizado en ocho secciones. La Sección 1 proporciona una pequeña reseña del contexto y motivación del estudio. La Sección 2 proporciona información general y antecedentes sobre la economía de Bolivia y su vulnerabilidad al clima. La Sección 3 describe la vulnerabilidad histórica y actual del país a la variabilidad climática. Las Secciones 4 y 5 describen el trabajo de modelación en los sectores de agricultura y recursos hídricos, respectivamente, y evalúan e identifican opciones robustas de adaptación en relación a las vulnerabilidades actuales y futuras al cambio climático. La Sección 6 cubre la visión y necesidad de las comunidades más vulnerables bajo el cambio climático y contrasta las estrategias sectoriales de adaptación a la variabilidad climática actual y los cambios futuros potenciales. La Sección 7 describe el desarrollo de una metodología de costo-beneficio para la evaluación de opciones de adaptación que integran el cambio climático a sus estimados. Para ello, se utilizaron medidas de adaptación típicas identificadas por el gobierno para poder ejemplificar la metodología. La Sección 8 detalla la aplicación de un modelo matemático como herramienta para la planificación del desarrollo a nivel de cuenca hidrográfica que facilita la caracterización del secuenciamiento y priorización de las opciones de adaptación al 2050. Finalmente, la Sección 9 extrae algunas de las conclusiones tentativas y acciones recomendables basadas en los hallazgos del estudio. Las principales limitaciones del estudio se resumen en el Cuadro 3.



# Antecedentes de la Economía Boliviana

## El Contexto Socioeconómico

Bolivia es un país muy amplio que comprende distintas zonas climáticas. Tiene una población modesta de aproximadamente 10.4 millones de personas y una tasa de crecimiento anual del 3.4 por ciento (INE, 2007)<sup>4</sup>. Dentro de este vasto territorio, la densidad promedio de población es de 10 habitantes por kilómetro cuadrado —la más baja del continente americano— con aproximadamente un 40% de la población viviendo en áreas rurales. En el 2050, se espera que la población sea de unos 15 millones de habitantes (estimados por el informe global EACC).

De acuerdo con el censo del 2002, casi dos tercios de la población viven en condiciones de pobreza y un estimado de un tercio viven en pobreza extrema. Aproximadamente 30 por ciento de la población rural de Bolivia vive en los valles y zonas altiplánicas, donde la disponibilidad de agua es significativamente menor al promedio nacional<sup>5</sup> y los niveles de pobreza son los más altos. Se espera que el segmento de la población que vive en áreas urbanas crezca a 82 por ciento para el 2050<sup>6</sup>. Adicionalmente, Bolivia tiene una de las más grandes poblaciones indígenas de Sudamérica, con 36 grupos étnicos y es uno de los pocos países en el mundo donde la mayoría de la

población se identifica como indígena. EL PIB anual es de \$1,363 per cápita (INE, 2007) haciendo de Bolivia uno de los países más pobres de Sudamérica. La participación de la agricultura en el PIB fue del 14 por ciento en el 2005 (INE, 2005) basada en tendencias de desarrollo histórico, ésta cifra tiene la probabilidad de caer en el rango de un 6–8 por ciento para el 2050. De acuerdo con el censo del 2002, alrededor del 65 por ciento de la población se encontraba bajo la línea de pobreza nacional, incluyendo un 84 por ciento de la población rural. Estos altos niveles de pobreza están asociados con una gran desigualdad en la distribución de ingresos.

La economía de Bolivia se basa en la extracción de minerales e hidrocarburos y en una fuerte producción de la soya en las tierras bajas orientales. De acuerdo a la mayoría de las proyecciones climáticas, se espera que esta economía sufra relativamente poco bajo los impactos del cambio climático ya que el sector industrial es pequeño y la mayoría de la demanda interna se satisface a través de importaciones. *Sin embargo, gran parte de la población de Bolivia es la que es extremadamente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que esta gente depende de la producción agrícola para su subsistencia.* Para dicho segmento de la población, la adaptación al cambio climático deber ser un componente esencial de cualquier estrategia de alivio a la pobreza y en relación al incremento de las oportunidades económicas.

4 Instituto Nacional de Estadística (INE) y Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, Marco de Análisis Fiscal (RAF).

5 Ver Tabla 3, Anexo de Recursos Hídricos para los datos sobre disponibilidad de agua per cápita por subcuenca

6 EACC Global Report , 2009

## El Contexto Institucional

### LA ESTRUCTURA DESCENTRALIZADA DE GOBERNABILIDAD DE BOLIVIA

Cambios recientes a la Constitución establecen autonomías indígenas y regionales dentro de los límites departamentales. Por lo tanto, las autonomías indígenas disfrutarán de derechos exclusivos sobre el manejo territorial y el desarrollo de sus sectores ganadero y agrícola. Las autonomías territoriales tendrán derechos explícitos sobre sus territorios. Estos cambios estructurales buscan proporcionar un espacio de mayor inclusión social y política para los grupos indígenas y campesinos estableciendo así un marco para una estructura gubernamental más descentralizada que responda mejor a la diversidad cultural boliviana. Es posible que una vez fomentadas las autonomías regionales e indígenas, se continúe con la estructura de planificación participativa ya establecida a nivel municipal, por la cual se identifican y priorizan inversiones en talleres comunitarios y municipales en los cuales la sociedad civil toma decisiones en forma directa. El Programa Nacional de Cambio Climático enfatiza, sin embargo, que las estrategias de adaptación al clima serán probablemente implementadas cuando las instituciones locales y la sociedad civil las perciba como relevantes. Es por lo tanto importante asegurar la coordinación entre los diferentes planes de adaptación para mejorar la implementación de las acciones en todos los niveles (PNCC, 2002).

En 1994, el Gobierno de Bolivia aprobó una nueva ley de descentralización (Ley 1551). La ley se conoce como *Ley de Participación Popular* y se dirige a: trasladar el proceso de toma de decisiones más hacia la población local, incrementar la participación local y asegurar una entrega de mayor eficiencia de costos en servicios al descentralizar recursos financieros hacia las municipalidades. La política de descentralización también debería poder aumentar la transparencia y proporcionar acceso de las comunidades a las finanzas públicas. Sin embargo, la falta de eficiencia y una capacidad técnica y administración financiera deficiente presenta un gran desafío para muchas municipalidades, lo cual ha resultado en una tasa muy baja de implementación.

El incremento de la coordinación será un tema clave para implementar diversas estrategias y acciones de adaptación de una manera coherente y eficiente. Esto también se señala en los resultados de la herramienta de inversión de planificación (Sección 8). Los recursos fiscales administrados en forma autónoma por gobiernos departamentales y municipales pueden hacer más compleja la implementación de proyectos regionales a través de fronteras políticas así como el control de contribuciones financieras a dichos proyectos.

Los cambios recientes a la Constitución establecen una autonomía regional e indígena dentro de límites departamentales.<sup>7</sup> Estos cambios estructurales buscan proporcionar espacios para una mayor inclusión social y política de los grupos indígenas y campesinos y establecer el marco para una estructura muy descentralizada, ajustada a la diversidad cultural de Bolivia.

Estos cambios permitirán gobernabilidad local con respecto a diferentes formas culturales de organización y toma de decisiones. También permite que grupos frecuentemente marginalizados culturalmente manejen recursos fiscales. Sin embargo, esto también hará que la coordinación general de estrategias de adaptación climáticas en desarrollo sea más compleja. Será, por lo tanto, importante en el desarrollo de estrategias nacionales y regionales de adaptación climática, que también se informe y se construya capacidades en gobiernos locales, para asegurar su participación en la elaboración de nuevas estrategias y acciones.

### INICIATIVAS ACTUALES DE ADAPTACIÓN Y DESARROLLO

La formulación de una política nacional de cambio climático en la actualidad cae bajo la tutela del Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Dentro de este ministerio, las instituciones relacionadas más de cerca con cambio climático son el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego y el Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y Desarrollo Forestal. El Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC), ubicado bajo el Viceministerio de Medio

<sup>7</sup> Como tales, las autonomías indígenas disfrutarán de derechos exclusivos sobre el manejo territorial y desarrollo de su sector agropecuario; las autonomías territoriales tendrán derechos sobre sus territorios.



Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y Desarrollo Forestal es la entidad directamente responsable de diseñar e implementar las acciones de mitigación y adaptación a través de los sectores.

El 2007, el PNCC desarrolló el *Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Este mecanismo es tanto una estrategia a largo plazo dirigida a promover el desarrollo nacional, como una herramienta para desarrollar una respuesta cultural transversal a la adaptación al cambio climático. El mecanismo consiste en programas de adaptación para cinco sectores: seguridad alimentaria, salud, recursos hídricos, ecosistemas, asentamientos humanos y gestión de riesgos. Adicionalmente, el mecanismo se enfoca en tres áreas

transversales relevantes a la adaptación al cambio climático: la investigación científica, la educación (investigación y construcción de capacidades) y los conocimientos ancestrales y antropológicos relacionados al cambio climático. El mecanismo está vinculado directamente al nuevo Programa Nacional de Desarrollo 2006-2010, dirigido a garantizar una respuesta adecuada y temprana a los impactos del cambio climático para un abanico de sectores. Específicamente, el Mecanismo propone estrategias de implementación que generalmente promueven actividades interinstitucionales consistentes con el marco institucional del Programa Nacional de Desarrollo. Sin embargo, la implementación de un mecanismo nacional ha sido bastante lenta hasta este momento.

### CUADRO 1 ACCESO A FONDOS INTERNACIONALES PARA ADAPTACIÓN: PROGRAMA PILOTO PARA LA RESILIENCIA CLIMÁTICA (PPCR)

Bolivia ha confirmado recientemente su participación en el Programa Piloto para Resiliencia Climática, un programa desarrollado bajo el Fondo Estratégico para el Clima (CIF por sus siglas en inglés). El PPCR es una iniciativa dirigida por los países —que busca (a) fortalecer capacidades para integrar la resiliencia climática a los planes nacionales y sectoriales de desarrollo; (b) promover estrategias de desarrollo que tomen en cuenta la resiliencia a las variaciones climáticas; (c) concientizar a los actores públicos, privados y de la sociedad civil sobre los potenciales impactos y vulnerabilidades presentadas por el cambio climático; (d) ayudar a incrementar las inversiones resilientes al cambio climático; y e) mejorar la coordinación entre los actores claves en implementar programas de resiliencia ante el clima. El estudio EACC, en colaboración con iniciativas actuales complementarias del Banco Mundial, podría ser utilizado para llenar algunas brechas de conocimiento requeridas para la Fase 1 del PPCR. La Fase 2 del PPCR podría proporcionar recursos financieros adicionales para ayudar a financiar inversiones básicas de los sectores públicos y privados —previamente identificados por el país en el desarrollo de planes de inversiones resilientes al clima durante la Fase 1.

Un nuevo Plan Nacional de Desarrollo 2010–2015 está siendo desarrollado actualmente que incluye medidas adicionales para proteger al sector agrícola de daños relacionados al clima. Como parte de las políticas de incentivos para la producción, seguridad y soberanía alimentaria, el Gobierno de Bolivia propone implementar un abanico de herramientas y mecanismos para mejorar el acceso, lograr estabilización financiera y apoyar a una productividad agrícola sostenida. Más aún, el plan tiene la intención de reducir los riesgos asociados a la producción y mercadeo de productos agrícolas. La primera estrategia de adaptación al cambio climático a nivel municipal (en seis municipalidades en el lago Titicaca) fue propuesta en el 2007. La estrategia identificó las siguientes áreas de acción prioritaria: planificación territorial, acceso al recurso hídrico, protección de los sistemas productivos a los efectos del cambio climático, y educación y construcción de capacidades relacionadas a la adaptación.

#### DESAFÍOS INSTITUCIONALES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ADAPTACIÓN A LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO

Las prácticas actuales de adaptación se enfocan en forma desproporcionada en acciones de emergencia post-eventos y no en la prevención de las mismas. Con limitados recursos humanos y financieros,

puede ser inevitable que la presión de responder a una crisis inmediata sobrepase las buenas intenciones de preparar e implementar programas a más largo plazo para limitar el daño causado por los eventos futuros. Sin embargo, es esencial cambiar el enfoque para poder incrementar las conexiones entre los programas de diferentes sectores del ya estipulado Mecanismo Nacional. Esto incluye la mayor integración de una estrategia de manejo de los recursos hídricos y la prevención de riesgos de desastres por eventos meteorológicos bajo los programas sectoriales para seguridad alimentaria y asentamientos humanos. Como mínimo, debería ser posible asegurar que cualquier reconstrucción después de actuales o futuros eventos sea basada en presunciones explícitas sobre la frecuencia de recurrencia de eventos similares o peores en los próximos 10, 20 o 50 años.

Es necesario una mayor comprensión del cambio climático para mejorar la coordinación y la cooperación. El acceso a la información climática, incluyendo información sobre tendencias y proyecciones futuras debería ser más accesible a todos los sectores más vulnerables. Esto debería estar acompañado por una mejor integración e interpretación de la información hidrometeorológica —por ejemplo, el desarrollo de un sistema robusto de alerta temprana— en los procesos de toma de decisiones y la formulación



de estrategias dentro de todos los niveles de la sociedad. Actualmente, los mecanismos de inversión rara vez llegan hasta los niveles administrativos inferiores, debilitando más aún la capacidad de planificación e implementación a nivel de municipio. Los resultados del componente social refuerzan este hallazgo. En todas los municipios evaluados, ni las comunidades ni los gobiernos municipales priorizaron estrategias de adaptación multi-comunales. Notablemente, los representantes comunitarios y autoridades locales solamente consideraron medidas de adaptación dentro de un horizonte de diez a quince años. Una visión a largo plazo para enfrentar

los impactos del cambio climático parece ser demasiado abstracta para muchas comunidades rurales.

Muchas acciones para enfrentar varios de estos temas y poder acelerar la implementación del Mecanismo Nacional de Adaptación ya se incluyen en la formulación de la propuesta de país para la primera fase del Programa *Piloto para Resiliencia Climática (PPCR)* (Cuadro 1). El estudio en Bolivia espera contribuir más aún a la iniciativa PPCR al intentar llenar huecos de información a distintos niveles y necesidades de adaptación, así como en el proceso de toma de decisiones bajo una alta incertidumbre del clima a futuro.

TRES



# Vulnerabilidad a Variabilidad Climática y Cambio Climático

Bolivia es un territorio extremadamente diverso que se extiende desde los Andes a la Amazonía. El país ha sido clasificado como una de las 16 ecoregiones más importantes del mundo. El territorio nacional varía considerablemente en elevación (de 6500 a 300 metros sobre el nivel del mar), vegetación (incluyendo bosques, sabanas, llanos y bosques semiáridos), y clima. Aunque Bolivia se encuentra dentro de las latitudes tropicales, las temperaturas dependen de la elevación y muestran poca oscilación estacional. En la mayoría de los casos, las lluvias son más abundantes durante el verano austral y tienden a disminuir de norte a sur (Figura 1). Bolivia se encuentra en un área de intensa variabilidad climática, periódicamente exacerbada por El Niño (ENSO)<sup>8</sup>. La cordillera de los Andes, que cubre gran parte del territorio boliviano, determina la ocurrencia de importantes procesos de convección importantes que son inadecuadamente captados por los modelos climáticos (GCM). Como resultado, la información regional o de gran escala proporcionada por los modelos climáticos requiere

validación local para poder así mejorar los escenarios posibles a nivel regional.

Basándose en las características socio-geográficas de Bolivia, se utilizaron cuatro macroregiones para este estudio:

**Las tierras altas o “Altiplano”** tienen una altura mayor a los 3500 sobre el nivel del mar (msnm). El clima es seco y frío, con pronunciadas diferencias en la temperatura diaria y las cantidades de precipitación. La parte sur de la región es más húmeda que el norte. La amplitud diurna es muy alta y en las noches las temperaturas están alrededor de 0° grados centígrados. En el Altiplano, la precipitación es generalmente baja, pero las montañas introducen variaciones climáticas muy importantes.

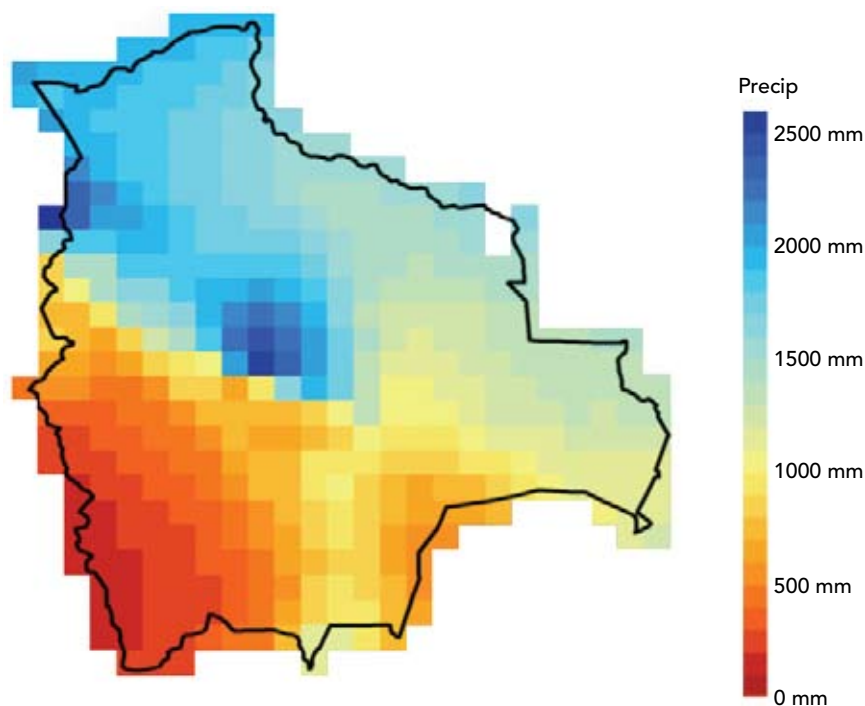
**Los Valles** se encuentran en las estribaciones de la Cordillera Oriental, con alturas promedio que van desde los 1000 a los 3,500 msnm. El clima es templado e incluye dos subregiones: valles secos y las zonas cálidas de la región de los *Yungas*.

**El Chaco** se encuentra en el sur de Bolivia con una altura promedio menor a los 1000 msnm. El clima es cálido y seco. Los Departamentos de Tarija, Chuquisaca y Santa Cruz se encuentran en esta macro-región.

**Los Llanos** se encuentran en la región noreste de Bolivia con una altura promedio menor a los 1,000 msnm. El clima es cálido y húmedo. Los Departamentos

8 Los efectos asociados a los años del Niño y la Niña son bastante impredecibles y los impactos son similares significando precipitación anormal y anomalías positivas o negativas en el Altiplano y otras regiones y mayor incidencia de otros fenómenos como granizadas y heladas en las áreas occidentales y áridas. Se ha observado un incremento en frecuencia e intensidad de eventos extremos en Bolivia en las últimas décadas (impactos de fenómenos ENSO. Beltrán y Gutiérrez, PNCC (en preparación). Los eventos ENSO fuertes o muy fuertes de 1977 y 1982, respectivamente causaron grandes impactos debido al aumento en vulnerabilidad de la población a eventos climáticos. Pese a la recurrencia periódica de los años ENSO, no es fácil encontrar patrones claros para ayudar a predecir mejor sus efectos. Sin embargo, el análisis de clima de los eventos del Niño sugieren una tendencia incrementada de dichos eventos a lo largo de las últimas décadas.

FIGURA 1 PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO EN BOLIVIA 1951–2002



Map produced by ClimateWizard © University of Washington and The Nature Conservancy, 2009.  
Base climate data from the Climate Research Unit (TS2.1), University of East Anglia, UK, <http://www.cru.uea.ac.uk>

de Santa Cruz, Beni, Pando, La Paz, y Cochabamba se encuentran en esta macroregión.

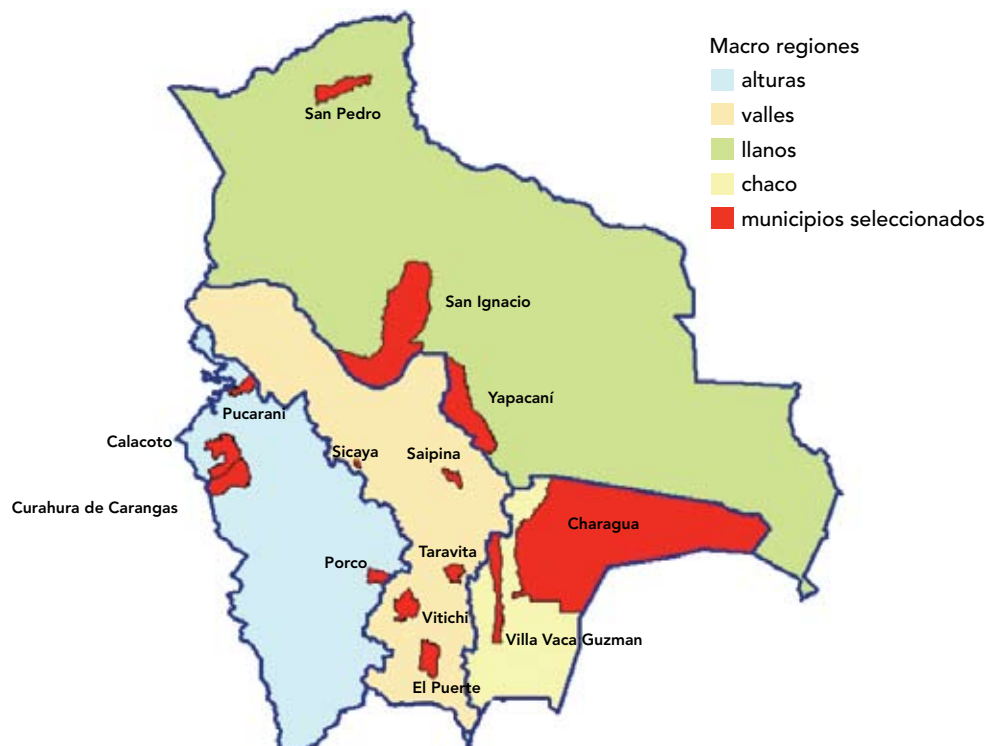
Además de usar una categorización por macroregión, el estudio promovió un análisis social que buscó identificar y evaluar la vulnerabilidad de diversas comunidades rurales amenazadas por la variabilidad climática. Para este análisis, se escogieron 14 municipios rurales<sup>9</sup> basándose en las sobreposición de diferentes macroregiones a datos relacionados con niveles de población, vulnerabilidad actual (por ejemplo, niveles de pobreza y distribución de formas de vida) y zonas agro-ecológicas. La Figura 2 muestra las macrozonas de Bolivia y la ubicación de los sitios seleccionados para el estudio.

## Exposición a Eventos Extremos

Como se mencionó anteriormente, la población boliviana está particularmente expuesta a extremos hidrometeorológicos, los cuales —sin importar el cambio climático— ocurren periódicamente en diferentes áreas del país. En particular, Bolivia es muy vulnerable a inundaciones y sequías, ambas con serias implicancias en la seguridad alimentaria y en la provisión de los recursos hídricos. De acuerdo a estudios realizados por Roche y Fernandez, (1986), las inundaciones más frecuentes e intensas en el noreste de Bolivia (Beni) se han extendido hasta alrededor de 10m/ha y ocurren principalmente sobre la cuenca del río Mamoré. En los llanos altos y valles occidentales, los últimos eventos de *El Niño* ha causado grandes sequías con las consiguientes pérdidas de cosechas y ganado, al mismo tiempo que produjo inundaciones en el Este. Estos eventos han

<sup>9</sup> Las limitaciones del estudio restringieron el análisis a 14 municipalidades.

**FIGURA 2 LAS MUNICIPALIDADES MÁS VULNERABLES SELECCIONADAS POR MACROREGION**



dañado los principales sistemas de vida basados en agricultura e inducido a muchos residentes a migrar. Durante el último evento ENSO, los Departamentos de Beni y Santa Cruz sufrieron importantes pérdidas en los cultivos de soya, maíz, yuca, caña de azúcar y arroz. En estos eventos, el ganado no sólo se pierde durante el evento de inundación, sino que se desplaza a áreas donde no se adapta correctamente y acaba siendo menos productivo o muere. Los agricultores también han tenido que alquilar nuevas tierras de pastizales en lugares más lejanos, lo cual también ha afectado en gran medida a sus ingresos (CEPAL, 2008).

El cambio climático está aumentando la frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos y reduciendo el tiempo de recuperación de un evento específico. Con menores tiempos para aumentar la resiliencia y la capacidad de adaptación previa a un siguiente evento, Bolivia se hace más sensible a la variabilidad climática. El estudio de la CEPAL ha informado que

la mayor parte de los daños causados por los eventos relacionados con el ENSO del 2008 fueron influenciados por una mala recuperación nacional de los impactos de eventos extremos del 2007. Por lo tanto, este incremento en frecuencia e intensidad de eventos climáticos tiene el peligroso potencial de desencadenar una espiral de vulnerabilidad creciente, lo cual es importante tener en mente al diseñar estrategias de adaptación a futuro.

Si la frecuencia de los eventos de clima extremo aumenta en países tales como Bolivia<sup>10</sup> (incluyendo la presencia de eventos de El Niño y La Niña), la acumulación de eventos dentro de marcos de tiempo más cortos puede amenazar al desarrollo normal del país, dadas las serias limitaciones financieras del sector público. La vulnerabilidad de las economías pequeñas subraya la necesidad de

<sup>10</sup> Informe Mundial de Desarrollo 2010: Desarrollo y Cambio climático. Banco Mundial

planificación financiera de contingencias que ayuden a incrementar la resiliencia del gobierno contra desastres futuros (Mechler et al. 2009) (Figura 3).

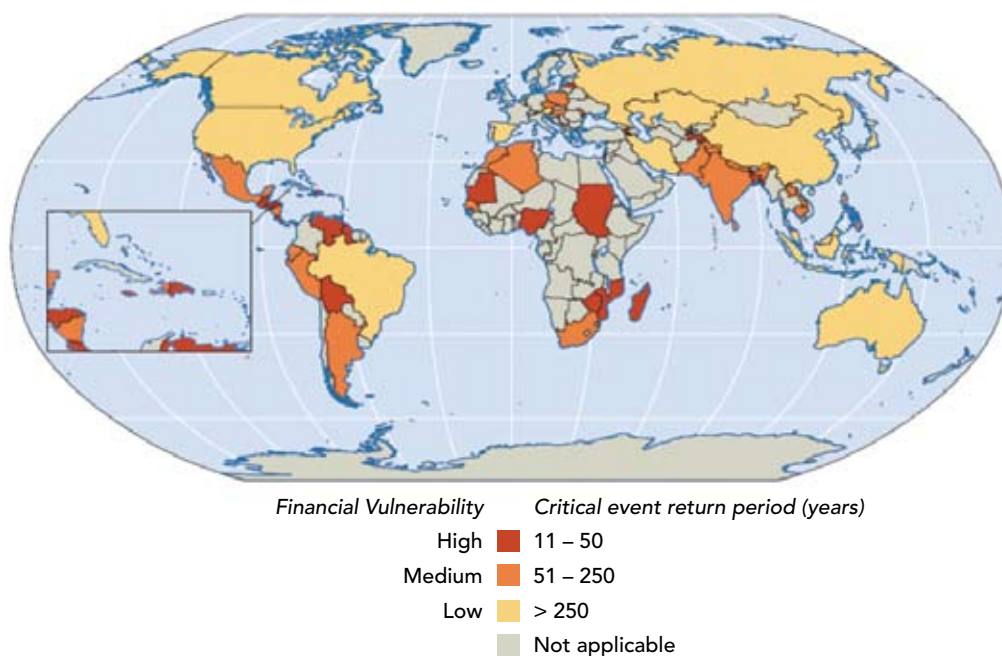
## Estrategias de Supervivencia y la Variabilidad Climática Actual

Debido a la variabilidad climática histórica en Bolivia, muchos grupos indígenas han desarrollado estrategias específicas de adaptación al contexto climático para sobrevivir en lo que pueden ser consideradas tierras de agricultura marginal, ya sea en las altiplanicies secas o en los llanos bajos. Históricamente, la población indígena ha utilizado diferentes estrategias de adaptación y transformación del paisaje para confrontar la

variabilidad climática. Estas estrategias pueden servir como inspiración en la adaptación al clima de hoy, ya que una simple recuperación del pasado solo sería una sobre-simplificación del problema futuro.

Una forma en la que las poblaciones indígenas han adaptado su forma de vida a la variabilidad climática en Bolivia es la diversificación de su seguridad alimentaria produciendo diferentes cultivos a la vez, criando llamas y otro ganado así como dependiendo de la caza y pesca, según el contexto local. En el Altiplano, la población indígena ha utilizado diferentes elevaciones del terreno para producir diferentes cosechas temporales así como la siembra de diferentes variedades del mismo cultivo. Por ejemplo, 21 variedades diferentes de papa fueron registradas en una pequeña comunidad en el área de Cochabamba. Las diferentes variedades

**FIGURA 3 PAÍSES PEQUEÑOS Y POBRES FINANCIERAMENTE VULNERABLES A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS**



Source: Mechler and others, 2009.

Note: The map shows degree to which countries are financially vulnerable to floods and storms. For example, in countries shaded dark red, a severe weather event that would exceed the public sector's financial ability to restore damaged infrastructure and continue with development as planned is expected about once every 11 to 50 years (an annual probability of 2–10 percent). The high financial vulnerability of small economies underscores the need for financial contingency planning to increase governments' resilience against future disasters. Only the 74 most disaster-prone countries that experienced direct losses of at least 1 percent of GDP due to floods, storms, and droughts during the past 30 years were included in the analysis.

presentan características resistentes a las sequías, heladas y pestes. Las familias son capaces de disminuir el riesgo a la variabilidad y al cambio climático al cultivar diferentes variedades resistentes a diferentes escenarios de climas plausibles.

Como se menciona, la población indígena también ha transformado el paisaje para reducir el riesgo climático y mejorar los rendimientos de tierras marginales. En el área de Tiwanaku y Titikaka, las culturas prehispánicas transformaron el paisaje mediante la construcción de terrazas y sistemas de riego, canales y lagunas artificiales que los protegían contra eventos climáticos (tal como sequías, heladas y granizadas), a la vez que mejoraban la humedad del suelo y reducían la pérdida de materia orgánica. En los llanos bajos del Beni, la población mojeña transformó los pantanales en canales, campos elevados, diques y atajados que les permitían reducir los riesgos de inundación y control del flujo de aguas mientras hacían que el área sea altamente productiva. Irónicamente, estos sistemas de ingeniería agrícola están abandonados en la actualidad o subutilizados, y gran parte del conocimiento indígena se ha perdido.

Estas estrategias tradicionales son, de muchas maneras, una representación de medidas robustas que aumentan resiliencia hacia la variabilidad climática y que deberían ser revaluadas al desarrollar futuras estrategias de adaptación al clima en áreas rurales. Sin embargo, este proceso debe realizarse mediante un diálogo estrecho con la población local para evaluar las condiciones que permitan y promuevan la nueva adopción de dichas prácticas “tradicionales”, ya que el trabajo de mano de obra intensiva en la construcción de terrazas y campos elevados, por ejemplo, podría ser poco atractivo sin el uso de maquinaria. El conocimiento tradicional debería, por lo tanto, estar complementado con la más alta tecnología y los conocimientos modernos.

Durante el estudio, la mayoría de las comunidades enfatizó las crecientes dificultades de predecir el clima actual, ya que los indicadores tradicionales de las variaciones típicas del clima (ej. calendarios de cultivo) ya no son confiables. Por lo tanto, el conocimiento tradicional debe de ser complementado con información hidrometeorológica con patrones climáticos históricos y tendencias a futuro, así como la creación de sistemas

de alerta temprana y disponibilidad de información climática en las áreas rurales.

La mayoría de las comunidades que participaron en el estudio creen que en los últimos 20 o 30 años el clima se ha estado calentando con implicaciones para la composición del suelo y los ciclos de cultivos. Además, diversos animales, insectos, plantas y cultivos nativos de zonas más cálidas están apareciendo en zonas tradicionalmente más frías. Las comunidades en los valles y llanos observaron que los inviernos son más cálidos y que la incidencia general de sequía ha aumentado. Estas observaciones coinciden con los resultados del componente agrícola (Sección 4) que prevé que en años proyectados con sequía, habrá disminución significativa en los rendimientos de las cosechas de papa, maíz y quinua.

*“El sol es más fuerte, la tierra más seca y hay nuevas enfermedades en las plantas”*

*Taller comunitario en La Sillada, macroregión Valles*

Diez de las catorce comunidades estudiadas confirmaron que habían sido afectados por severas sequías en los últimos treinta años. Las entrevistas revelaron que la subsistencia basada en agricultura y ganadería a secano está más amenazada por el aumento de incidencia de sequía.

La Tabla 1 presenta los puntos de vista de los miembros de las comunidades sobre los efectos directos e indirectos de la sequía sobre sus vidas.

Durante los períodos de sequía, las familias de pequeños agricultores se ven obligadas con frecuencia a consumir sus reservas de alimentos, con severas implicaciones para su bienestar a largo plazo. Dada la mayor probabilidad de un incremento de sequías en Bolivia, las experiencias acumuladas por las comunidades en relación a efectos producidos por eventos como la sequía (ej. incremento en los precios de productos básicos, migración forzada, disminución de la disponibilidad de alimentos, aparición de nuevas enfermedades y la casi extinción de cultivos nativos, entre otros) informan la visión de las comunidades sobre la clase de medidas de adaptación que serían necesarias en el futuro para enfrentar nuevos y periódicos eventos de sequías.

TABLA 1 EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE SEQUÍAS EN POBLACIONES LOCALES

<i>Efecto</i>		<i>Porcentaje de comunidades evaluadas que observaron tendencias de cambio climático (%)</i>
Direct effects	Decline or loss of productivity	100
	Loss of genetic material	86
	Decline in food	100
	Decreased availability of potable water	54
	Less hygiene	46
Indirect effects	Less monthly income/productive capital	100
	Adverse impact on children's education	62
	Increased incidence of illness	100

*Fuente:* Talleres comunitarios-Componente Social

En 1983, la comunidad de Qhawasiri (de la macroregión valles) fue duramente afectada por una sequía que prácticamente destruyó todas las semillas de papa. Como resultado, muchos hombres emigraron en busca de mejores oportunidades para poder nuevamente comprar semillas. La alta demanda y la baja provisión de semillas en el mercado incrementó los precios y Bolivia se vio forzada a importar semillas de papa. La llegada de dichas variedades foráneas facilitó la llegada de nuevas enfermedades y parásitos nunca antes vistos en la región, presentando nuevos desafíos de desarrollo en la producción agrícola a largo plazo. La crianza de animales en algunas áreas está dejando de ser un medio viable de subsistencia, y por lo tanto muchos campesinos han tenido que encontrar nuevas oportunidades de formas de vida.

Doce de las catorce comunidades en las tierras altas, valles y llanos reportaron que aunque hay menos lluvia en general, las lluvias se han hecho más intensas. Ellos observan que los ríos traen menos agua o se han secado completamente; hay menos vegetación natural y los rendimientos agrícolas han bajado. En contraste, los miembros de comunidades de la región amazónica indicaron que las lluvias están comenzando antes y acaban más tarde. En todas las poblaciones, los patrones de lluvias de mayor intensidad han causado más inundaciones y erosión con consecuencias devastadoras para los sistemas de vida dependientes del cultivo y la crianza de animales. Los

efectos indirectos de las inundaciones y la sequía incluyen mayor desnutrición, propagación de enfermedades y el potencial de revertir los avances de desarrollo logrados.

La mayoría de las inversiones post eventos se asignan mayoritariamente a rehabilitar la infraestructura dañada, la cual es vulnerable porque carece de mantenimiento, o ha sido construida sin tomar en cuenta el riesgo de inundaciones. Los caminos, la infraestructura para riego y las precarias instalaciones de agua y saneamiento de áreas rurales y periurbanas son las infraestructuras más comúnmente afectadas. La calidad de construcción de las viviendas no son adecuadas en la mayor parte de las áreas rurales, y periurbanas de todo el territorio nacional y especialmente en los Departamentos de Beni, Potosí, y Cochabamba (Oxfam-Fundepco, 2008).

Durante el primer trimestre del 2007, el impacto de El Niño 2006–2007 en Bolivia costó aproximadamente US\$ 443.3 millones en daños, la mitad de los cuales fueron daños directos a propiedades y los otros 45 por ciento fueron pérdidas en flujo de caja, disminuciones en producción, ingresos disminuidos e interrupción de servicios. En el 2003, la sequía en el sur de Santa Cruz destruyó casi toda la producción agrícola y al mismo tiempo, la mayor parte del país estuvo afectada por fuertes lluvias e inundaciones en diversos lugares, produciendo deslizamientos de tierras y provocando



grandes daños en la infraestructura. En el 2006, 64.000 hectáreas de cultivos fueron dañadas por inundaciones. En promedio, el gobierno nacional ha gastado alrededor de US \$136 millones por año en apoyo al sector agrícola para confrontar pérdidas económicas relacionadas a la variabilidad climática. Notablemente, una comparación de los eventos actuales de El Niño a aquellos en 1982/83 y 1997/98, —de mayor intensidad y magnitud— muestran que la población afectada hoy es cuatro veces mayor que en 1997/98. Sin embargo, solamente un tercio de la población (en comparación a 1982/83) fue dañada. La Tabla 2 muestra

los impactos económicos por sectores de todos los eventos el Niño desde 1983.

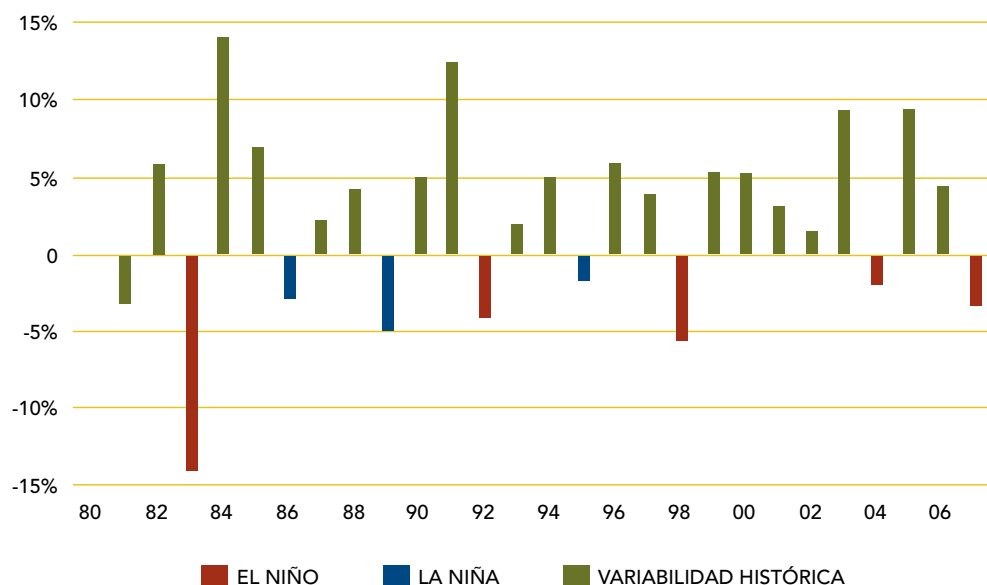
De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística (INE), los mayores impactos ocurrieron en el sector de infraestructura (particularmente sobre rutas y caminos) así como en los sectores de agricultura y ganadería (INE, 2008). Aunque los daños y pérdidas con respecto a viviendas fueron menores, este aspecto tiene implicaciones severas para la mayor parte de los grupos sociales más vulnerables —mujeres, pequeños comerciantes y pueblos indígenas— ya que pierden la mayor parte de sus bienes vitales

TABLA 2 IMPACTO ECONÓMICO DEL EVENTO “EL NIÑO” DESDE 1983

Fecha	Personas Heridas	Pérdidas Totales (millones de dólares en el 2004)			
		Impacto Económico Total	Daños Directos	Perdida (flujo de caja)	Efectos Externos *
1982–1983	1.600.000	2.821	1.759	1.062	101
1997–1998	135.000	649	262	387	32
2006–2007	562.594	443	242	200	18
2007 comparado al evento de 1982–1983 (%)	35.2	52.9	46.5	63.6	7
2007 comparado al evento de 1997–1998 (%)	416.7	84	113.8	63.8	12.8

\*En términos de Importaciones reducidas, exportaciones incrementadas y flujos de cajas alterados por el evento (INE, 2008)

FIGURA 4 PORCENTAJE ANUAL DE CAMBIO DEL PIB AGRÍCOLA CON LOS EFECTOS DE LOS AÑOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA



que sustentan sus estrategias de vida. Además, los daños en el sector vial reducen en gran manera el acceso a los mercados —un resultado que puede tener consecuencias socioeconómicas graves a largo plazo.

La Figura 4 muestra la influencia de eventos extremos acumulativos sobre el PIB agrícola. El impacto negativo de fuertes eventos El Niño (rojo) es claro en los años 1982–83, 1991–92, y 2005–06. También es visible la ligera mejoría en la gestión agrícola durante el año 2003–04. Los efectos de los eventos La Niña se muestran en azul y también son evidentes (aunque menos severos) en los años, 1985–86, 1988–89, y 1994–95.

## Evaluación de los Impactos del Cambio Climático Bajo Incertidumbres Futuras

### RESULTADOS DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS

Para tomar en cuenta la incertidumbre en las predicciones climáticas, el estudio utilizó tres escenarios de cambios climáticos extremos para proyectar los futuros rangos de cambio climático para el período del 2010 al 2050 bajo los escenarios SRES A2<sup>11</sup>. El estudio consideró escenarios extremos en términos de disponibilidad de agua para simular los peores escenarios, asumiendo que cualquier cambio posible en el clima boliviano tendrá la probabilidad de ocurrir dentro del rango determinado de ambos extremos.<sup>12</sup> Los escenarios extremos utilizados fueron a) *Seco Global*,<sup>13</sup> utilizado como modelo

con tendencia a escenarios de sequía en el estudio global del EACC (determinado por el modelo de circulación global CSIRO 3.0); b) *Bolivia Húmedo*, determinado por el modelo de circulación global BCCR 2.0 y c) *Bolivia Seco*, determinado por el modelo de circulación global GFDL 2.0. Las proyecciones de clima para estos modelos fueron creadas en una escala espacial de 0.5 por 0.5 grados y una escala temporal mensual aplicando las predicciones del modelo hasta el 2050 sobre una línea de base climática histórica obtenida en base a datos climáticos de la Unidad de Investigación del Clima de la Universidad de East Anglia. Estos conjuntos de datos fueron usados principalmente para determinar los impactos y las opciones de adaptación para el sector de recursos hídricos.

El escenario húmedo para Bolivia pronostica un incremento promedio de temperatura de 1.55°C y un incremento en precipitación promedio anual de +22 por ciento; en cambio el escenario seco muestra un incremento de temperatura anual de 2.41°C y una disminución de precipitación anual de –19 por ciento promediada para todo el territorio boliviano. El escenario global seco muestra un incremento de temperatura de 2.02°C y una disminución de la precipitación de –10 por ciento. La Tabla 3 y la Figura 5 muestran las principales diferencias proyectadas por los dos escenarios en términos de distribución geográfica obtenida de los datos de los modelos globales (GCM) agregados a nivel sub-nacional. La tendencia del período 2006 al 2050 indica un incremento de las temperaturas en todas las regiones, con un incremento de la temperatura promedio estimado en 2.3°C. El incremento de temperatura es similar para los tres modelos. No se observó ninguna variabilidad significativa en el análisis de variabilidad intra-anual. En particular, se observó que los extremos de los diferentes escenarios afectarían al Altiplano en el suroeste — con grandes disminuciones de la precipitación en los escenarios secos y grandes incrementos pluviales en el escenario húmedo. Como consecuencia, la incertidumbre sobre los potenciales impactos del cambio climático es mucho mayor para las poblaciones rurales en el Altiplano.<sup>14</sup>

11 Los escenarios SRES son escenarios de emisión desarrollados por Nakicenovic y Swart (2000) y utilizados, entre otros, como una base para algunas de las proyecciones climáticas utilizadas en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

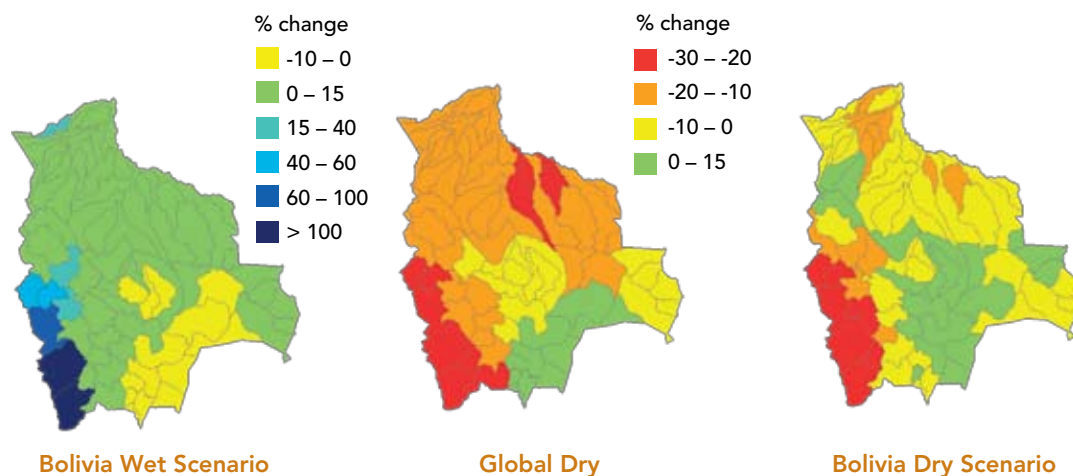
12 La resolución de datos climáticos de los GCMs actuales del IPCC es baja (alrededor 100–200 km). Esto implica una pérdida importante de precisión cuando se agregan los datos en unidades menores (p.ej. nivel subcuena). Sin embargo, pese a estas incertidumbres, las tendencias son suficientes para considerar un clima cambiante hacia el aumento de temperatura e incremento de lluvias erráticas en todas las regiones.

13 Este modelo en particular mostró una proyección menos seca que la del modelo Bolivia Seco, de modo que el estudio se enfocó principalmente en el modelo Bolivia Húmedo y Seco para reflejar posibles extremos. El modelo Global Húmedo también resultó ser menos húmedo que el Bolivia Húmedo y por lo tanto no se incluyó en el estudio.

14 Es importante resaltar la necesidad de mejorar la recolección y acceso a datos hidro-meteorológicos que permitan la mayor calibración entre los resultados de modelos globales de baja resolución y el contexto local.

**TABLA 3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS PRINCIPALES EN LOS ESCENARIOS SECO Y HÚMEDO PARA BOLIVIA**

Escenario Húmedo	Escenario Seco
Pequeño aumento de la precipitación en la mayoría del territorio; aumento de precipitación en el Altiplano occidental; pequeña disminución en el Chaco	Disminución general de la precipitación, mayormente en el Altiplano y al este de la región amazónica; El Chaco muestra un ligero aumento en precipitación anual
Pequeño aumento en el potencial de evapotranspiración debido al incremento en temperatura; mayor aumento en el Altiplano	La evapotranspiración potencial mayor aumenta en el Altiplano
Gran disminución en disponibilidad de agua en el Chaco; mayor aumento de agua en el Altiplano y la zona amazónica noreste.	La disponibilidad general de agua disminuye en todo el país, mayormente en el Altiplano y la Amazonía oriental
Disminución en la concentración de lluvias para los llanos amazónicos y aumento en el Altiplano, donde el período de lluvias comenzara más temprano.	Aumento de concentración de lluvias en la estación húmeda en todas las tierras bajas

**FIGURA 5 CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN PROYECTADOS HASTA EL 2050 BAJO DIFERENTES ESCENARIOS CLIMÁTICOS**

La mayor parte de los modelos no concuerdan con relación a las proyecciones de precipitación hasta el 2050 en términos del signo de la señal de cambio (positivo o negativo), intensidad, y/o distribución geográfica en Bolivia. Sin embargo, hay consenso de que la tendencia actual de incrementos en extremos climáticos continuará, causando períodos de sequía más largos y más frecuentes, y eventos de lluvias mucho más intensas (IPCC, 2007). El modelo

regional PRECIS, implementado por Marengo et al. (2009), también muestra un incremento en días secos consecutivos para el Norte y una disminución significativa para el sureste bajo el escenario de emisión SRES A2. Este mismo modelo predice un incremento en lluvias extremas (precipitación máxima durante cinco días consecutivos) en el Chaco y las regiones de los valles (Ver Anexo 1: Análisis de impacto de recursos hídricos, Figura 2).



# Análisis Sectorial: Agricultura

## Descripción del Sector

El componente agrícola intenta comprender algunos de los impactos del cambio climático y adaptación en el sector agrícola, el cual es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático en Bolivia. La seguridad alimentaria es todavía una gran preocupación en el país. La mayoría de la población más pobre depende de la producción agrícola para subsistencia. Como punto de partida para comprender las estrategias de adaptación en el sector agrícola, se evaluaron los principales cultivos en las áreas geográficas donde se cultivan en la actualidad (Figura 6).

Cuatro cultivos—quinua, papa, maíz, y soya—fueron seleccionados en base a su importancia para la seguridad alimentaria y la economía en Bolivia. Esta selección de cultivos busca captar la diversidad de los sistemas de producción agrícola boliviana. Estos productos son cultivados desde el Altiplano hasta las zonas bajas. Ellos también reflejan la diversidad entre la agricultura a pequeña escala y el consumo local (papa, maíz y quinua) y los productos comerciales para exportación (soya y exportación incrementada de quinua). Ver el Anexo 2 para el informe completo de antecedentes agrícolas, incluyendo mayores detalles de los cultivos seleccionados.

## QUINUA

Aunque la producción de quinua representa sólo el 1.5 por ciento del PIB agrícola, es muy importante para la seguridad alimentaria de las comunidades rurales del Altiplano. La producción anual está alrededor de 25.200 toneladas métricas, producidas en aproximadamente 45.000 hectáreas de tierra por 70.000 productores agrícolas. Casi el 80 por ciento de estos productores son campesinos de subsistencia en el Altiplano norte. Estos campesinos tienen tendencia a basarse exclusivamente en la quinua para su alimentación y seguridad alimentaria. Las regiones centrales y del sur del Altiplano cuentan con menos del 20 por ciento de los productores; sin embargo, la producción en dichas áreas constituye más del 55 por ciento del total y está orientada hacia los mercados internacionales. Empero, mientras que Bolivia es un exportador principal de este producto, el volumen comercial de la quinua es todavía relativamente pequeño comparado a otros bienes

**FIGURA 6** ÁREA GEOGRÁFICAS DE CULTIVOS PAPA, MAÍZ, SOYA Y QUINUA



agrícolas de exportación en Bolivia. Tres diferentes sitios de estudio fueron seleccionados para este cultivo, reflejando diferencias en la producción y suelos: Viacha (Altiplano norte), Patacamaya (Altiplano central), y Uyuni (Altiplano sur).

## PAPA

La papa es cultivada en siete de los nueve departamentos en Bolivia por aproximadamente 200.000 productores familiares—casi un millón de personas. Más del 80 por ciento de los productores son campesinos que cultivan en pequeña escala en el Altiplano y los valles; el resto están ubicados en las zonas sub-andinas. El área cultivada con papa representa el 6.5 por ciento del total de la masa de tierras cultivadas en Bolivia. La producción de papa es un importante componente de la dieta de la población local y contribuye de gran manera a la seguridad alimentaria de las poblaciones locales. Cuatro sitios de estudio para este producto fueron seleccionados: dos en el Departamento de La Paz (Belén y Patacamaya), y dos en el departamento de Potosí (Puna y Mojo). Tres diferentes variedades de papa con diferentes características fenomenológicas fueron estudiadas: la variedad Waycha, una papa nativa comercial; la variedad Luki, una papa amarga; y la variedad Alpha, una variedad comercial importada.

## SOYA

El cultivo de soya constituye más del 50 por ciento del total de las tierras cultivadas bolivianas. La producción total ha estado alrededor de 1.3 millones de toneladas métricas en años recientes. La soya representa más del 10% del PIB agrícola, y se produce principalmente para exportación y procesos industriales. Hay dos áreas principales produciendo soya en Bolivia, el “área de expansión” en los llanos con un estimado de 180.000 hectáreas bajo cultivo y el “área integrada” (valles y llanos)” con alrededor de 300.000 hectáreas bajo cultivo. El área integrada se compone de más o menos 8.000 pequeñas propiedades. Se escogieron dos sitios en el Departamento de Santa Cruz (Trompillo y San Ignacio).

## MAÍZ

El maíz se cultiva en todos los departamentos de Bolivia, y sin embargo, la mayor producción se lleva a

cabo en la macroregión de los valles/llanos (Santa Cruz, Cochabamba, Chuquisaca y Tarija). El área total de hectáreas bajo cultivo es de 364.000. Santa Cruz es el mayor productor de maíz con 168.400 hectáreas bajo cultivo. El maíz constituye un importante componente de la dieta para poblaciones rurales y también es un insumo vital para el sector pecuario en Bolivia. Tres sitios de estudio fueron escogidos: Trompillo y Camiri en el departamento de Santa Cruz, y Yacuiba en el departamento de Tarija.

## Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Sector Agrícola

El sector agrícola es muy sensible a la variabilidad climática y al cambio climático dado que la mayor parte de los sistemas productivos son a secano, las condiciones de los suelos son pobres, el desarrollo tecnológico es bajo, y hay baja utilización de insumos. Los cambios climáticos globales (tanto en cambios a largo plazo y cambios en extremos) tendrán importante implicancias para la productividad económica de este sector. El sector agrícola será principalmente afectado por dos riesgos climáticos relacionados con el agua:

- *Cambios graduales en la magnitud y distribución de precipitación y temperatura:* Como ejemplo, los llanos enfrentarán los mayores incrementos en déficit de agua, mientras que los cultivos altos y de altura media podrían beneficiarse de las temperaturas más elevadas si se acompañan con acciones de adaptación.
- *Cambios en la frecuencia y magnitud de eventos extremos:* Eventos climáticos tales como el incremento de inundaciones mayores al promedio, sequías prolongadas y escasez de agua resultarán en shocks de provisión para el sector agrícola.

La Tabla 4 muestra un resumen de las vulnerabilidades de los cultivos a la variabilidad climática actual y a la proyectada. De acuerdo con los impactos climáticos proyectados, se espera que la vulnerabilidad de rendimientos a eventos de heladas disminuya según se elevan las temperaturas, particularmente en las zonas altas. La vulnerabilidad a inundaciones también disminuirá en zonas donde se espera un incremento en el

**TABLA 4 VULNERABILIDAD DE LOS CULTIVOS A LOS PRINCIPALES FACTORES CLIMÁTICOS, BAJO CONDICIONES PRESENTES Y FUTURAS**

Vulnerabilidad del Cultivo									
Cultivo	Historical/Present				Climate Change Scenario (2050)				
	Sequía	Helada	Inundaciones	Plagas	Escenario	Sequía	Helada	Inundaciones	Plagas
Quinua	Mediana	Mediana	Baja	Mediana	Seca	Alta	Mediana	Baja	Mediana
					Normal	Mediana	Baja	Baja	Alta
					Húmeda	Baja	Baja	Mediana	Alta
Papa	Alta	Alta	Mediana	Mediana	Seca	Alta	Mediana	Baja	Mediana
					Normal	Mediana	Baja	Baja	Alta
					Húmeda	Baja	Baja	Mediana	Alta
Soya	Baja	Baja	Alta	Alta	Seca	Mediana	Baja	Mediana	Alta
					Normal	Baja	Baja	Mediana	Alta
					Húmeda	Baja	Baja	Alta	Muy Alta
Maíz	Alta	Baja	Mediana	Mediana	Seca	Alta	Baja	Mediana	Mediana
					Normal	Baja	Baja	Mediana	Alta
					Húmeda	Baja	Baja	Alta	Alta

déficit de agua. Empero, se espera que aumente la vulnerabilidad a sequías y plagas en estas áreas dado que las temperaturas más altas favorecen el desarrollo de enfermedades y pestes. Las regiones más bajas, sin embargo, continuarán a ser vulnerables a las sequías.

En general, tanto los efectos potenciales del cambio climático y la incertidumbre sobre su impacto en la agricultura tienen la probabilidad de reforzar el cambio de la ventaja comparativa agrícola de Bolivia hacia la parte oriental del país a costa del Altiplano y los valles. Esto podría no involucrar un directo movimiento poblacional, pero más bien un proceso en el cual la migración rural-urbana sea particularmente fuerte en los departamentos occidentales junto con la extensión e intensificación de agricultura en las zonas bajas a menos de 1000 msnm.

## ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

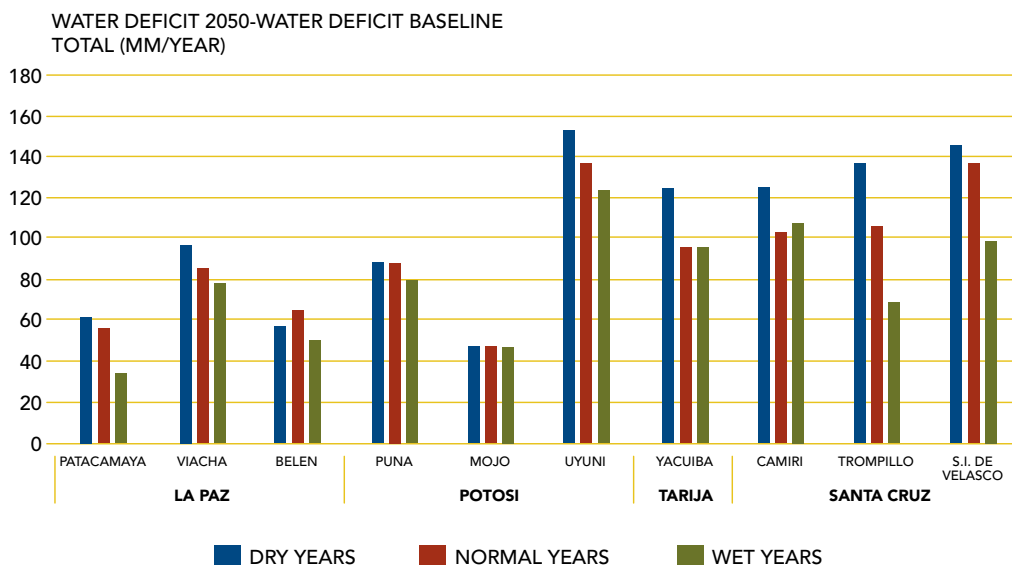
Las proyecciones climáticas de los modelos de circulación general (GCMs) fueron utilizadas para evaluar los cambios relativos en temperatura y precipitación al 2050 para el escenario de emisiones A2 producidas por el IPCC. Diecisiete Modelos de Circulación General (GCM) predicen aumentos en temperatura entre los 1.5 y 2.8° C sobre los promedios actuales a través del

país. Estos modelos no concuerdan en las proyecciones de lluvia hasta el 2050 en términos del signo de señal de cambio, intensidad y distribución geográfica. Sin embargo, se concuerda en que la tendencia actual de intensidad y frecuencia de los extremos climáticos continuará (IPCC 2007). Los cambios proyectados de precipitación reflejan la posibilidad de una estación seca extendida, una disminución de lluvias estacionales tempranas y una intensificación de los eventos de pluviosidad durante la época de lluvias.

Como las simulaciones de baja resolución GCM no reflejan adecuadamente el cambio climático histórico estacional (cambios de temperatura máximos y mínimos en el Altiplano, y variabilidad de lluvias intra-estacionales en Bolivia) los datos climáticos de las estaciones meteorológicas nacionales fueron incluidos en el análisis para captar variabilidad estacional y complementar las proyecciones GCM en la construcción de escenarios climáticos a futuro. Por lo tanto se seleccionaron 20 estaciones meteorológicas cercanas al área de producción de cada cultivo<sup>15</sup>

15 Se hizo un análisis de las tendencias en los cambios mensuales de temperaturas mínimas y máximas. La probabilidad de extremos en precipitación histórica (menor a un 25 y mayor a un 75 por ciento de ocurrencia) ayudó a generar los escenarios.

**FIGURA 7 CAMBIOS ESTIMADOS EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN ANUAL BAJO TRES CONDICIONES CLIMÁTICAS DIFERENTES EN DIEZ ESTACIONES METEOROLÓGICAS HASTA EL 2050**



basándose en la disponibilidad de por lo menos 30 años (hasta el 2008) de registros meteorológicos válidos por cada estación. Los registros a largo plazo fueron evaluados estadísticamente para determinar tendencias mensuales (para temperaturas tanto mínimas como máximas) las cuales se proyectaron hasta el 2050. Las presunciones hechas son que las tendencias se mantendrían consistentes para estas aéreas y dentro del máximo (1 a 3°C) y el mínimo (1 a 3°C) rango de temperaturas de los resultados proyectados por los GCM. Los rangos de temperatura mínima fueron impuestos debido a las tendencias observadas en algunos puntos con respecto a las reducciones locales en las temperaturas mínimas, las cuales no deben ser ignoradas. Dentro de esas variaciones, se construyeron determinados perfiles de temperatura para el 2050, las que se utilizaron después para aplicar en la ecuación FAO-Penman-Monteith para los parámetros faltantes. La evapotranspiración (ET<sub>0</sub>) para el 2050 fue determinada bajo estas condiciones.

La precipitación para los escenarios normal, húmedo y seco fue seleccionada de los registros históricos de cada

estación, basándose en el consenso general de que los regímenes de lluvia no cambiarán en los totales, pero que los años con eventos extremos serán más frecuentes en las áreas tropicales, lo cual es también un resultado de los GCMs. Para la evaluación de la variación de las condiciones climáticas locales y los déficits de agua esperados para el 2050, se compararon las diferencias entre la ET<sub>0</sub> y la precipitación en los años normales y húmedos<sup>16</sup> en el presente y para el 2050. Los incrementos esperados en el déficit de agua se presentan en la Figura 7.

Los resultados mostraron que los déficits de agua para el sector agrícola aumentarán dado el aumento en temperaturas, especialmente en las zonas bajas. Los efectos pueden ser muy severos en las áreas del Altiplano, ya que sus condiciones climáticas actuales se caracterizan por bajos niveles de precipitación y humedad.

<sup>16</sup> El estudio considera dos escenarios extremos en términos de disponibilidad de agua para simular los escenarios más desfavorables, asumiendo que cualquier cambio posible en el clima boliviano ocurrirá con probabilidad en algún lugar entre los dos.



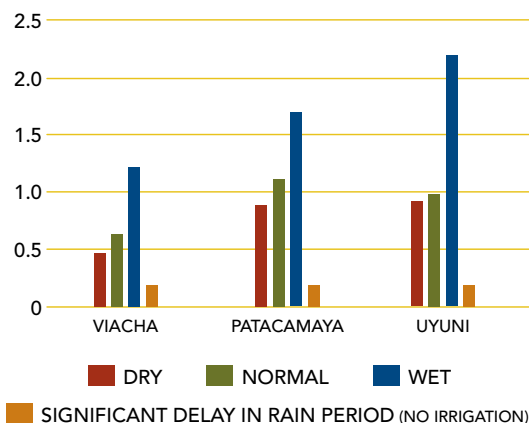
## RESULTADO DE LOS MODELOS SOBRE RENDIMIENTOS DE DIFERENTES CULTIVOS

Los modelos estadísticos de crecimiento de cosechas fueron utilizados para simular la respuesta de rendimientos de cosechas a los cambios en temperatura y precipitación como resultado del cambio climático y opciones de adaptación. El modelo AQUACROP fue utilizado para quinua, maíz, y soya, y el modelo agrícola SOLANUM-LINTUL fue utilizado para la papa. AQUACROP es un modelo desarrollado por la FAO para simular la respuesta en producción de cultivos a las diferentes condiciones de disponibilidad de agua. SOLANUM-LINTUL es un modelo específicamente desarrollado para la papa, calibrado a las variedades de cultivos existentes en Bolivia. También simula las respuestas en rendimientos a las condiciones de temperatura y disponibilidad de agua. Las limitaciones en el uso de este modelo se describen plenamente en el informe de antecedentes agrícolas (Anexo 2). El análisis es que el cambio climático llevará a alguna reducción de rendimientos en cosechas bajo los escenarios normales y secos, principalmente como resultado de altos niveles de evapotranspiración debidos a altas temperaturas. Esto podría ser compensado por mayor pluviosidad en un escenario húmedo, llevando a mayores rendimientos. Los rendimientos de los cultivos son particularmente sensibles a una reducción de la pluviosidad durante los periodos de crecimiento claves, como resultado de un inicio tardío de la estación de lluvias. Esto implica que existen oportunidades sustanciales para crear cambios en los patrones de cultivo bajo cualquiera de los escenarios climáticos en las diferentes zonas del país. Por supuesto, esto no involucraría una directa relocalización de las áreas de producción del Altiplano a los llanos, pero sí, con certeza ocurrirían cambios entre subzonas vecinas.

### Quinua

Los resultados de la simulación bajo el modelo de cambio climático muestran un incremento del 35 por ciento bajo un escenario húmedo, 10 por ciento bajo un escenario normal, y moderada disminución bajo un escenario seco. El incremento proyectado en rendimientos proviene del aumento en temperaturas mínimas y la consiguiente reducción en eventos de heladas –importantes factores limitantes para la productividad de quinua en el Altiplano. La Figura 8 presenta cómo el

**FIGURA 8 RENDIMIENTO RELATIVO DE QUINUA EN TRES ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y UN ESCENARIO SIN PRECIPITACIÓN EN EL PERÍODO FENOLÓGICO CRÍTICO (RELACIÓN ENTRE 2050 SIMULADO CON EL RENDIMIENTO HISTÓRICO) PARA TRES LOCALIDADES DEL ALTIPLANO BOLIVIANO**



efecto positivo de incrementos en las temperaturas mínimas es reforzado más aún en años húmedos.

Aunque estos resultados pueden parecer optimistas, una diferente conclusión se obtiene cuando se analiza la posibilidad de un cambio en la época de lluvias. Un retraso de más de 20 días al inicio de la época de lluvias puede tener efectos negativos significativos en la quinua dado que este cultivo tiene un ciclo largo y que los agricultores no tienen mucha flexibilidad con respecto a las fechas de plantación. La simulación de los efectos de disponibilidad limitada de agua en los rendimientos de los cultivos muestra que estos serán drásticamente reducidos bajo cualquier escenario de sequía moderada pero con acceso limitado de agua en periodos fenológicos críticos.

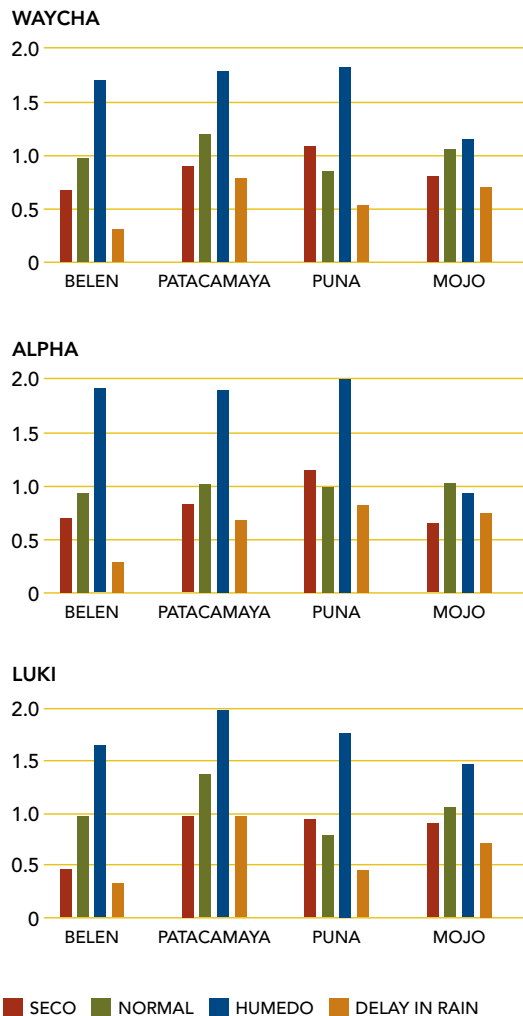
### Papa

Los resultados de la simulación del modelo sobre este cultivo sugieren que los rendimientos podrían aumentar entre 1 y 16 por ciento para todas las variedades, particularmente para la variedad Alpha, como consecuencia del incremento en las temperaturas más altas. La variedad Luki no se beneficia tanto del aumento en las temperaturas mínimas dada su condición natural de resistencia a las heladas. Para la variedad Waycha,

se proyectan incrementos en el rendimiento relativamente más bajos, dado que esta variedad tiene mayor resistencia a las variabilidades climáticas pero es de menor productividad en general.

Los cambios relativos en rendimiento muestran importantes incrementos bajo un escenario húmedo,

**FIGURA 9 RENDIMIENTOS RELATIVOS DE TRES VARIEDADES DE PAPA WAYCHA, ALPHA Y LUKI TRES ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y UN ESCENARIO SIN PRECIPITACIÓN DURANTE UN PERÍODO FENOLÓGICO CRÍTICO (RELACIÓN ENTRE 2050 SIMULADO CON EL HISTÓRICO) EN LAS LOCALIDADES DE BELEN, PATACAMAYA, PUNA Y MOJO**



disminuciones modestas bajo un escenario seco y casi ningún cambio bajo un escenario normal. La Figura 9 presenta los resultados de cuatro estudios de campo. Como con la quinua, una fuente adecuada de agua es un determinante crucial de los rendimientos. Las variedades de papa Waycha y Alpha en particular son altamente sensibles a los déficits de agua en el área de Mojo. Al mismo tiempo, las variedades de ciclo corto tales como Alpha, son altamente productivas donde sea que los requisitos de agua para cultivo estén cubiertos. Estas variedades tienen el potencial de aumentar la productividad global si se manejan adecuadamente. Por otra parte, debido a su vulnerabilidad, el cambio climático tiene el potencial de erradicar la variedad Luki. Esta variedad tiene un ciclo largo y productividad baja pero estable debido a su capacidad de resistir heladas. Por esta razón los incrementos en las temperaturas mínimas pueden hacer que cultivar la variedad Luki sea poco atractivo para los agricultores ya que se hace más rentable cambiar a variedades más resistentes y con mayor valor en el mercado. Estos resultados sugieren que un retraso en el periodo de lluvias tendrá impacto en las variedades de ciclo largo pero no en las de ciclo corto.

**Soya**

Se proyecta que los rendimientos de soya aumenten bajo un escenario húmedo y disminuyan bajo un escenario seco. La Figura 10 muestra los rendimientos relativos para la soya. Los rendimientos aumentan solamente bajo un escenario húmedo que satisfaga los requisitos de agua bajo condiciones de cambio climático. Los rendimientos disminuyen ligeramente bajo un escenario sin cambio climático. Finalmente los rendimientos disminuyen considerablemente bajo un escenario seco y un escenario sin agua durante el período crítico de florecimiento. Un escenario adicional simulado incluyó la posibilidad de una ola de calor (20 días secos con altas temperaturas) lo cual generó mayores reducciones en el rendimiento. La posibilidad de no tener suficiente agua durante el período fenológico crítico causa una disminución significativa en el rendimiento. Esto sugiere que habrá la necesidad de garantizar la disponibilidad de agua bajo situaciones extremas para mantener la productividad agrícola de la soya. Mientras que el estudio consideró solamente la estación de cosecha de verano, los resultados podrían aplicarse también a cosechas de invierno considerando

que los años secos pueden limitar la producción de soya significativamente. Mientras que los resultados sugieren que los rendimientos de soya podrían incrementarse en los años normales y húmedos, esto solamente se aplica a situaciones donde la precipitación se distribuye uniformemente a través del período de cultivo. Períodos largos con lluvias excesivas o períodos secos podrían implicar una reducción significativa en la productividad de soya.

### Maíz

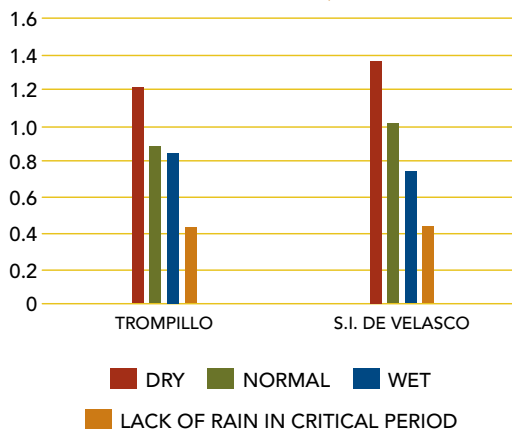
Los resultados de la simulación muestran que los rendimientos del maíz pueden aumentar hasta un 20 por ciento bajo un escenario húmedo. Este no es el caso bajo escenarios secos y normales, donde los rendimientos proyectados disminuyen (ver Figura 11). Esta disminución es causada por el aumento en temperatura que resulta de un requerimiento mayor de agua por cultivo bajo condiciones secas.

Pese a los resultados mostrados en la sección de evaluación de impacto, un incremento en temperatura podría constituir una oportunidad de aumentar la productividad de cosechas si los requerimientos de agua estuvieran garantizados por lo menos durante los períodos fenológicos críticos.

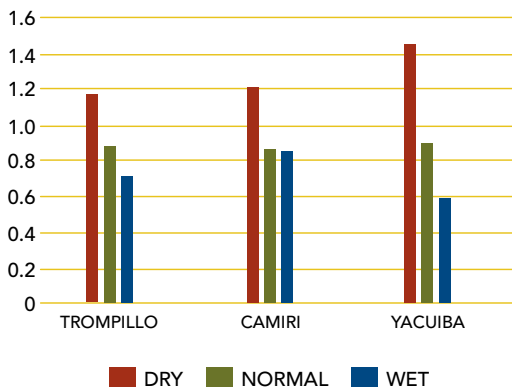
## Opciones de Adaptación Para la Producción de Cultivos

De acuerdo con el impacto de cambio climático estimado en los cuatro cultivos estudiados, se identificaron opciones similares de adaptación cruciales para su producción. El riego es claramente una estrategia importante de adaptación para los cuatro cultivos. Para la quinua, el riego es una opción adecuada de adaptación considerando que se proyecta a futuro un incremento de la frecuencia y probabilidad de sequías durante los períodos críticos de crecimiento de los cultivos. Otras opciones incluyen la aplicación de riego deficitario, así como cambios en las fechas de siembra y uso de distintas variedades de cultivo. Para la *papa*, una mejor irrigación representa una estrategia de adaptación vital para las áreas donde las lluvias son irregulares y las temperaturas son altas. Opciones adicionales incluyen un mejor manejo de las diferentes variedades, cambios

**FIGURA 10 RENDIMIENTO RELATIVO DE SOYA PARA TRES ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y UN ESCENARIO SIN PRECIPITACIÓN EN EL PERÍODO FENOLÓGICO CRÍTICO (RELACIÓN ENTRE 2050 SIMULADO CON RENDIMIENTO HISTÓRICO)**



**FIGURA 11 RENDIMIENTO RELATIVO DE MAÍZ PARA TRES ESCENARIOS CLIMÁTICOS (RELACIÓN ENTRE 2050 SIMULADO Y RENDIMIENTO HISTÓRICO)**



en fechas de siembra y aplicación de riego en períodos fenológicos críticos. Para la *soya*, el riego se muestra una vez más como la estrategia de adaptación más importante, particularmente en períodos fenológicos críticos. Opciones adicionales de adaptación incluyen inversiones en medidas de control de inundaciones así como la introducción de variedades que ahorran insumos. Para el *maíz*, es importante poder aumentar la retención de agua y control de inundaciones en épocas

húmedas, así como mejorar los sistemas de manejo de suelos, las medidas específicas de adaptación incluyen riego y control de inundación durante períodos húmedos, así como prácticas mejoradas de gestión de suelos. La mayor parte de las estrategias de adaptación requerirán apoyo institucional significativo para evitar impactos negativos sociales y ecológicos debido a la intensificación de la producción de cultivos; es decir, el maíz requiere manejo intensivo de agua y suelos para mantener su productividad.

Adicionalmente a las medidas de riego mejorado, las poblaciones locales involucradas en la agricultura a secano ponen alta prioridad en mejor información y iniciativas de construcción de capacidades dirigidas hacia el trabajo con nuevas y adaptadas variedades de semilla, así como mejor infraestructura para la conservación y almacenamiento de cosechas durante los períodos calurosos. Las inversiones complementarias en opciones duras y blandas de adaptación —servicios de extensión, seguros de cosecha y mejoramiento de acceso y disponibilidad de información hidrometeorológica— serán vitales para mejorar las políticas de adaptación agrícola y cumplir con las necesidades de vida basadas en la agricultura a secano. Deberían hacerse esfuerzos adicionales para facilitar acceso, transferencia y adopción de tecnologías de agricultura que proporcionen resiliencia adicional a las poblaciones vulnerables. La Tabla 5 a continuación proporciona un ejemplo de los tipos de

medidas duras y blandas de adaptación que los miembros de la comunidad Contorno Calacoto priorizan para la adaptación a una futura variabilidad climática y cambio climático. Esta comunidad, localizada en la altiplanicie central de Bolivia, se caracteriza por su extrema pobreza debido a una muy baja producción agrícola. La producción agrícola se ha deteriorado en forma significativa como resultado del cambio climático, con escasez de agua como uno de los problemas principales de la comunidad.

Algunos factores todavía deberán ser explorados. Esto incluye el rol potencial de inversiones en caminos rurales que permita proporcionar la infraestructura requerida para facilitar cambios en la ubicación de la producción agrícola por razón de ventajas comparativas

### ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE COSTOS, BENEFICIOS, Y VIABILIDAD DE OPCIONES DE ADAPTACIÓN BAJO CAMBIO CLIMÁTICO

#### *Costos de opciones priorizadas de adaptación para el sector agrícola*

Basados en la evaluación experta de varios consultores agrícolas locales, se construyó una matriz cualitativa para proporcionar alguna comprensión de los costos económicos, sociales y ambientales relacionados a la implementación de medidas de adaptación (Tabla 6).

**TABLA 5 ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN DE LA COMUNIDAD CONTORNO CALACOTO**

Prioridad	Medida
1	Construcción de pozos e instalaciones de captación de aguas
2	Construcción de reservorios (captación de aguas)
3	Mejoramiento de pastizales y forraje
4	Infraestructura pecuaria (corrales, establos)
5	Apoyo para actividades agrícolas (semilla, asistencia técnica y capacitación)
6	Manejo de financiamiento con bajos intereses
7	Capacitación técnica en diversas actividades
8	Organización de una Asociación de Productores
9	Mejorar infraestructura productiva (manejo de suelos)
10	Manejo de, y mejoramiento genético de ganado
11	Procesamiento y comercialización de productos locales

**TABLA 6 COSTO ECONÓMICO, SOCIAL, Y MEDIOAMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OPCIONES DE ADAPTACIÓN EN CUATRO CULTIVOS**

Cultivos	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN																							
	Irrigación y control de Inundaciones			Administración de cambios en cultivos y diversidades			Cambios en fechas de siembra y rotación de cultivos			Uso de Seguros y subsidios de agricultura			Pronósticos Climáticos sistemas de alerta			Acceso a Mercados			Investigación de Agricultura y servicios de extensión					
	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A			
<b>COSTO</b>	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A
Quinua	H	M	M	H	M	M	L	H	L	H	L	L	H	L	L	M	L	L	H	M	M			
Papa	H	M	M	H	M	M	L	H	L	H	L	L	H	L	L	M	L	L	H	M	M			
Maíz	H	M	H	H	M	H	L	H	L	H	L	L	H	L	L	M	L	L	H	M	M			
Soya	H	M	H	H	H	H	L	H	L	H	L	L	H	L	L	M	L	L	H	M	M			

**TABLA 7 BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OPCIONES DE ADAPTACIÓN EN CUATRO CULTIVOS**

Cultivos	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN																							
	Irrigación y control de Inundaciones			Administración de cambios en cultivos y diversidades			Cambios en fechas de siembra y rotación de cultivos			Uso de Seguros y subsidios de agricultura			Pronósticos Climáticos sistemas de alerta			Acceso a Mercados			Investigación de Agricultura y servicios de extensión					
	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A			
<b>BENEFICIOS</b>	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A
Quinua	H	H	M	M	M	H	M	M	H	M	M	M	H	H	H	H	H	H	M	M	H			
Papa	H	H	M	M	M	H	M	M	H	M	M	M	H	H	H	H	H	H	M	M	H			
Maíz	H	H	M	M	M	M	M	M	H	M	M	M	H	H	H	H	H	H	M	M	H			
Soya	H	H	M	M	M	M	M	M	H	M	M	M	H	H	H	H	M	M	M	M	H			

Este ranking cualitativo muy simplificado—con definición de alto (H), mediano (M), y bajo (L)—proporciona estimados de rango para los costos económicos (E), costos sociales (S), y costos ambientales (A) basados en el modelo de simulación de rendimientos de cultivos y análisis<sup>17</sup>.

#### **Beneficios de opciones priorizadas de adaptación para el sector agrícola**

La Tabla 7 presenta los beneficios económicos (E), beneficios sociales (S), y beneficios ambientales (A) de la

implementación de medidas de adaptación para responder a los impactos de cambio climático basado en la simulación y análisis socioeconómico de producción de cultivos. Estos beneficios se definen además como altos (H), medianos (M), y bajos (L). La evaluación del costo cualitativo y beneficios muestra que pese a que los productores hubieran identificado las medidas de adaptación más importantes (riego, por ejemplo), en algunos casos no representan la opción más atractiva en términos económicos y ambientales debido a su alto costo.

#### **Viabilidad de la implementación de opciones de adaptación seleccionadas**

La viabilidad económica (E), viabilidad social (S) y viabilidad ambiental (A) para la implementación de medidas de adaptación se presenta abajo en la tabla 8 en respuesta a los impactos del cambio climático. Esto se

<sup>17</sup> Los rankings son meramente un ejercicio ilustrativo para evaluar el costo potencial y la viabilidad de implementación de medidas de adaptación y factores socioeconómicos. Una cuantificación adecuada de dichos parámetros es necesaria antes de que pueda hacerse una mayor interpretación.

**TABLA 8 VIABILIDAD SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL DE ADAPTACIÓN DE OPCIONES EN CUATRO CULTIVOS**

Cultivos	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN																				
	Irrigación y control de Inundaciones			Administración de cambios en cultivos y diversidades			Cambios en fechas de siembra y rotación de cultivos			Uso de Seguros y subsidios de agricultura			Pronósticos Climáticos sistemas de alerta			Acceso a Mercados			Investigación de Agricultura y servicios de extensión		
	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A	E	S	A
Quinua	M	H	M	L	M	H	H	L	VH	L	H	H	M	VH	VH	H	VH	VH	L	M	H
Papa	M	H	M	L	M	H	H	L	VH	L	H	H	M	VH	VH	H	VH	VH	L	M	H
Maíz	M	H	L	L	M	L	H	L	VH	L	H	H	M	VH	VH	H	VH	VH	L	M	H
Soya	M	H	L	L	L	L	H	L	VH	L	H	H	M	VH	VH	H	H	H	L	M	H

basa en la simulación y el análisis socioeconómico de producción de cultivos. La viabilidad se define como muy alta (VH), alta (H), mediana (M), o baja (L). El análisis de viabilidad de medidas de adaptación se basa en la diferencia entre sus costos y beneficios. La Tabla 6 muestra que un costo alto está asociado con necesidades tanto duras como blandas de **adaptación planificada** incluyendo: a) construcción/renovación de infraestructura de control de irrigación e inundaciones; b) manejo de cambios de cultivo y variedades (incluyendo investigación y sistemas de extensión); c) creación de seguros y subsidios agrícolas (ver recuadro 1); y d) acceso a predicciones climáticas y sistemas de alerta temprana. Un costo bajo fue asignado a los cambios en calendarios de cultivo y rotaciones —principalmente considerados una adaptación autónoma hecha por los agricultores. Notablemente las mismas acciones también se consideran como las que producirían los más altos beneficios en retornos (Tabla 7) arguyendo a favor de la priorización de dichas acciones en el sector agrícola. La Tabla 7 también muestra que las medidas de adaptación blandas, tales como mejorar servicios de extensión y aumentar el acceso a mercados, también requieren de inversiones significativas al comienzo, pero ofrecen altos beneficios sociales y ambientalmente sostenibles en el largo plazo.

Las opciones de adaptación robustas también son vistas en términos de grandes co-beneficios y conexiones. Por ejemplo, las inversiones en caminos rurales pueden ser también una gran estrategia de adaptación porque aumentan el acceso a mercados para insumos y productos agrícolas. La implementación de políticas que aumenten el acceso a mercados—uniendo dos sectores vulnerables, infraestructura y agricultura—podrían ser implementados a una menor escala para pequeños agricultores y complementados por medidas adicionales macroeconómicas para los agricultores a gran escala. La Tabla 8 sugiere que las acciones planificadas de adaptación —recursos incrementados de riego y medidas de control de inundaciones, así como la implementación de apoyo en conocimientos para un mejor análisis de la ciencia del clima— son altamente costosos y difíciles de implementar en Bolivia.

Dada la vasta diversidad agroecológica y características socioeconómicas de los productores agrícolas en Bolivia, cualquier medida de adaptación deberá ser evaluada en relación a su ambiente productivo. Por lo tanto, los tomadores de decisiones deberían diseñar estrategias de adaptación que incluyan medidas a mediano y largo plazo, aún si éstas requieren inversiones iniciales mayores.



## CUADRO 2 SEGURO AGRÍCOLA

El Seguro Agrícola puede también ser considerado como una medida complementaria de adaptación, aunque su implementación podría ser divergente dependiendo de la estructura y tamaño del sistema de cultivo. Por ejemplo, el plan de diseño e implementación para esquemas agrícolas en el Altiplano para pequeños productores familiares, diferiría drásticamente del tipo de enfoque que se necesitaría para áreas como Santa Cruz, donde la mayoría de la producción es llevada a cabo por grandes agricultores. Como respuesta directa a la necesidad de seguros agrícolas, el recién desarrollado Plan Nacional de Desarrollo (2010–15) está considerando un esquema de seguro universal de cosechas bajo el principio de universalidad de acceso (todos los agricultores) y diversificación de riesgo. Este seguro cubrirá las pérdidas generadas por los efectos climáticos —inundación, sequía, granizadas y heladas— y cubrirá las 650,000 unidades de producción que representan un total de 2,046,335 hectáreas. De este total, el 54 por ciento (1,094,257 ha) están dedicadas al cultivo de semillas para aceites, el 38 por ciento a (772,389 ha) cereales, y casi el 9 por ciento a quinua, papa y otros cultivos.





# Análisis Sectorial: Recursos Hídricos

## Descripción del Sector

Los recursos hídricos son abundantes en Bolivia. La pluviosidad promedio es de 1,200 mm<sup>15</sup>. Pese a las altas tasas de evaporación, la asignación promedio de agua es aproximadamente de 45,000 m<sup>3</sup> per capita por año (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas 2008). Sin embargo, la provisión natural de agua presenta una marcada variabilidad geográfica y estacional: el 45 por ciento del total de lluvias cae en tres meses (Diciembre – Febrero), con valores de 600 a 100 mm en el frío Altiplano y en regiones menos frías de los valles centrales y del sur, y valores hasta de 2,000 mm en los llanos cálidos, con valores máximos de 5,000 mm en ciertas áreas de transición de los valles a los llanos.

## IMPACTO Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS RURALES

De acuerdo a la mayoría de las proyecciones futuras del clima, el acceso a recursos hídricos en áreas rurales será impactado por dos riesgos principales relacionados al agua: cambios graduales en la magnitud y distribución de precipitación y temperatura, y cambios en la frecuencia y magnitud de eventos extremos; es decir ocurrencias por encima del promedio de inundaciones y sequías prolongadas. Para evaluar dichos impactos, se desarrollaron dos indicadores que pueden estimar el impacto de la variabilidad climática sobre el acceso al

agua. Los indicadores pueden evaluar futuros estimados de disponibilidad de agua anualmente y cambios inter-anualmente.

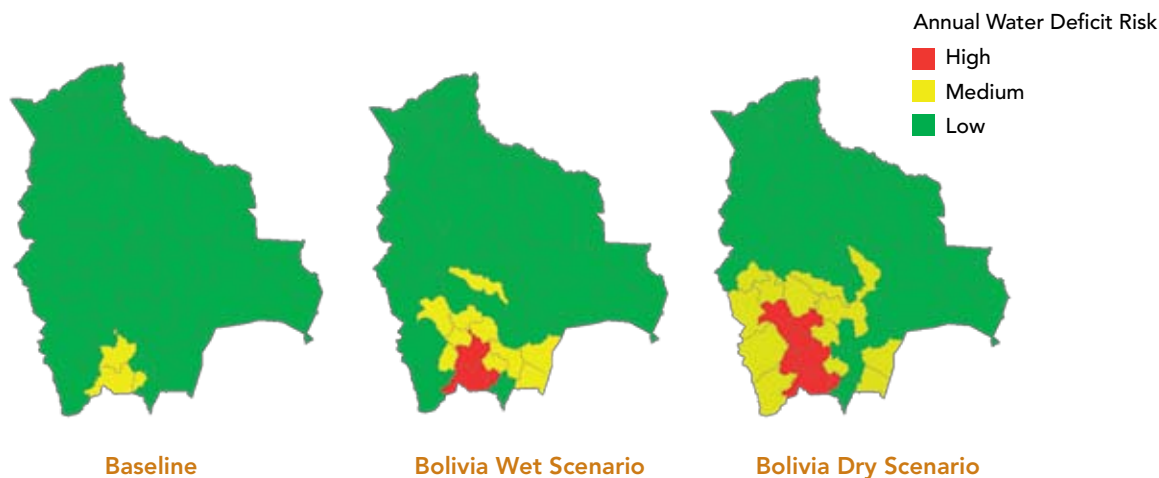
- **Variabilidad Anual:** Pese a la predicción en tres escenarios de diversos cambios en nivel de la provisión natural de aguas, el estudio muestra una distribución geográfica anual similar de aguas para dichos tres escenarios. En una base anual, la mayor parte de las cuencas en las tierras altas (Altiplano), valles centrales/sur, y región del Chaco presentarían una corta brecha entre los niveles de demanda y provisión.<sup>16</sup>
- **Variabilidad Inter-anual de agua:** Los cambios en el déficit mensual acumulativo de aguas sirven como un indicador sustituto para medir cuánta agua adicional se necesitaría almacenar en el futuro en comparación al presente, asumiendo que se cumpla hoy con toda la capacidad de almacenamiento necesaria para cumplir con las demandas durante la época seca.

La Figura 12 muestra la distribución del índice de disponibilidad esperada de aguas hasta el 2050 en los tres

15 1,146 mm reportado por Aquastat, 1,459 mm de PNCC (2007), 1,189 mm estimado de datos CRU

16 Los problemas de escasez de agua tiene probabilidad de hacerse peores en el sur de las regiones vallunas. Los escenarios secos muestran una mayor magnitud de problemas de escasez en todas las cuencas afectadas. El escenario húmedo, al contrario, no muestra problemas en las cuencas occidentales del Altiplano, ya que este escenario predice un importante incremento en lluvias en la región. Se supone que las cuencas con altas diferencias en lluvias aguas arriba y aguas abajo sufran alta competencia por el uso del agua (por ejemplo, cuenca La Paz).

**FIGURA 12 DISPONIBILIDAD DE AGUA PROYECTADA AL 2050: ESCENARIOS ACTUAL, HÚMEDO Y SECO**



escenarios modelados.<sup>17</sup> Este indicador mide la diferencia relativa (alta, mediana, baja) entre el suministro y la demanda de agua sobre una base anual. Bajo el escenario seco, todo el Altiplano, las regiones de valles centrales y la región del Chaco necesitarían aumentar significativamente su capacidad de almacenamiento. En este caso, los tres escenarios muestran pequeñas diferencias entre sí porque las diferencias en la provisión natural de agua durante la estación seca son pequeñas para los tres modelos en el sureste. Si la capacidad adicional de almacenamiento no se satisface, las tensiones por el agua durante la época seca aumentarían, lo cual también reduciría la posibilidad de expandir el riego en el área. Se espera que estas cuencas vulnerables sufran alta competencia por el uso de aguas, con un fuerte potencial de desencadenar conflictos sociales en zonas particularmente tensionadas por agua durante las épocas secas. Un inadecuado manejo de las prácticas de uso de agua y falta de regulación aguas abajo-aguas arriba reforzará dichos impactos.<sup>18</sup>

17 Información detallada sobre los parámetros de disponibilidad de agua se describe en el informe de antecedentes de recursos de agua. Ver Tablas 22 y 23 en el anexo para valores detallados y criterios de evaluación.

18 Bolivia debería actualizar sus flujos de información hidrometeorológica, mejorando las fuentes de datos y la capacidad técnica

Este estudio también llevó adelante una evaluación de la disponibilidad de agua para cultivos.<sup>19</sup> Los resultados muestran futuros impactos en la agricultura a secano causados por una reducción de las lluvias en época seca y un incremento en el déficit de agua. Muchas zonas que en el presente tienen lluvias abundantes y donde más de una cosecha al año es factible, podrían hacerse más vulnerables si la estacionalidad de lluvias se hace más corta y la evapotranspiración aumenta. Las cuencas del Chaco, Altiplano, y llanos (Cuenca baja del río Grande en Santa Cruz) son las áreas donde los tres escenarios revelan la necesidad de mejor disponibilidad de agua para la producción agrícola. Los escenarios secos muestran mayor impacto para estas cuencas debido a la necesidad de mejorar la disponibilidad de agua para la producción agrícola.

actual de comprender las respuestas hidrológicas de las cuencas a los cambios en los ciclos hídricos. Esta sería una contribución clave a una estrategia IWRM sólida. Pasos futuros podrían incluir una red nacional de sistemas de alerta temprana, comenzando con las cuencas críticas mencionadas en este estudio. Estas son medidas muy efectivas en costos si se implementan debidamente, lo que significa que los beneficios a mediano y largo plazo pueden realmente hacer una diferencia.

19 Esta medida toma en cuenta un futuro stress hídrico (diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial); cambios en la estacionalidad de lluvias y la extensión de tierra cultivada que no se riega. Para mayor información sobre impactos agrícolas ver el estudio sobre agricultura.

Los escenarios secos muestran mayor impacto para estas cuencas debido a los valores elevados de stress hídrico en dichas cuencas. El indicador de disponibilidad de agua de cultivo debería ser una buena aproximación para determinar las cuencas más vulnerables, donde el riego expandido sería una medida clave de adaptación para enfrentar patrones de lluvias cambiantes, así como una reducción en la disponibilidad de agua para cultivos (ver Anexo 1).<sup>20</sup>

Dos otros indicadores de vulnerabilidad fueron evaluados para las áreas rurales: exposición a inundaciones y sequías. Las inundaciones son los eventos extremos más recurrentes (50 por ciento de éstos eventos de acuerdo a VIDECCODE en el período 2002–08, como reporta el PNCC 2008). Casi en cada estación lluviosa las cuencas del Iténez, Ichilo-Mamoré, o Beni se inundan, llenando tierras bajas naturalmente inundables, pero también afectando pequeñas poblaciones y ciudades, cultivos, pastizales y ganado. Diez millones de hectáreas en los llanos del Beni son naturalmente inundables (CAF, 2000). De acuerdo al análisis de ciclos de agua y cambios de precipitación proyectados, los eventos de inundación tienen probabilidad de continuar en varias cuencas bolivianas.<sup>21</sup>

Las sequías están generalmente asociadas con los eventos de El Niño, pero su frecuencia y distribución no son fáciles de predecir. Básicamente todo el Altiplano, valles centrales y del sur y las regiones del Chaco están expuestos a largos períodos secos (ver Anexo 1 Recursos hídricos e Impactos, mapas 16 y 17). Aparte de estar naturalmente expuestos a largos períodos secos y desertificación, estos eventos tienen impacto debido a la falta de preparación, como se percibe por la pobre capacidad de almacenamiento de agua y pobre manejo de recursos hídricos a nivel de la cuenca; sub-explotación de acuíferos, insuficiente predicción de eventos; aplicación ineficiente de agua para riego y consumo excesivo en algunas áreas. Todos estos factores

contribuyen a la degradación general de la cuenca. Las sequías ya han causado grandes daños, principalmente en los sectores productivos de la agricultura y la producción pecuaria.

Se espera que el cambio climático y el rápido deshielo de los glaciares exacerben la escasez de agua en los valles áridos y semiáridos y el Altiplano. Las tierras altas son particularmente sensibles a falta de agua porque estas áreas no tienen los reservorios necesarios para asegurar disponibilidad de agua durante las épocas secas. Un incremento observado en el agua proveniente de deshielo es sólo temporal. Adicionalmente el retiro de los glaciares representa un problema adicional en muchos lugares, ya que los glaciares actúan como protección de disponibilidad de agua durante épocas secas. Los glaciares bolivianos se están retrayendo a una velocidad alarmante, la cual reducirá la provisión de agua para millones de personas, particularmente aquellas que habitan en centros urbanos. Los agricultores y la biodiversidad local serán afectadas negativamente. El presente estudio no incluye un análisis detallado de la retracción de los glaciares, ya que todavía hay grandes incertidumbres asociadas a la disponibilidad futura de agua superficial, y a las dinámicas de glaciares en el Altiplano. Afortunadamente hay varios estudios actuales —tales como el “Proyecto de Adaptación al Impacto del Retiro Rápido de Glaciares en los Andes Tropicales” del Banco Mundial que debería ayudar a comprender mejor nuestro entendimiento de la retracción de los glaciares y su impacto sobre el cambio climático y su relación con opciones de adaptación.

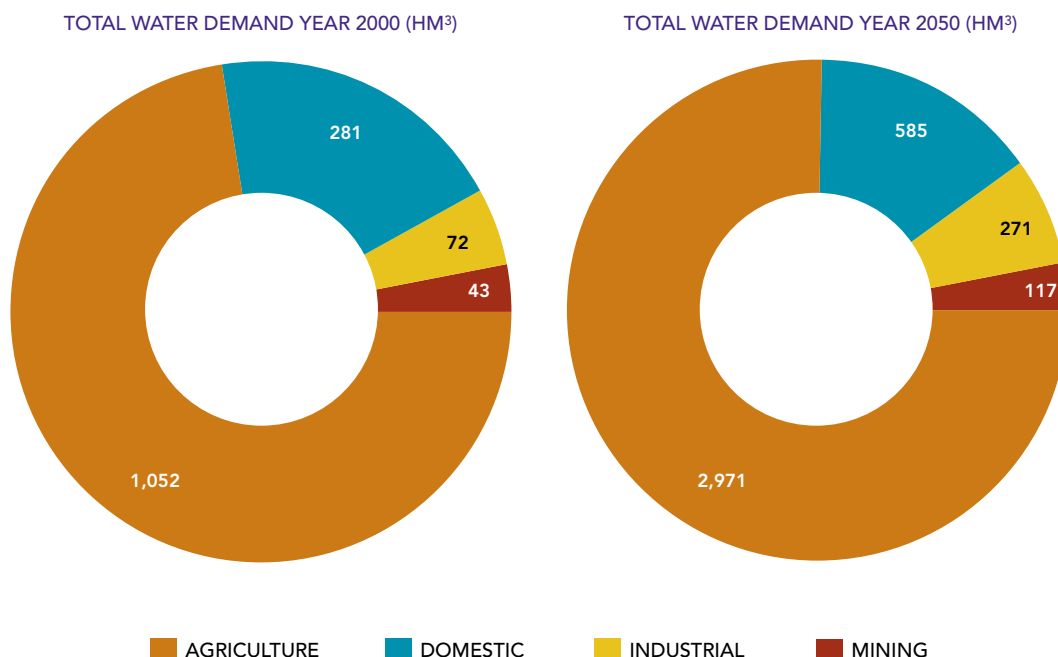
## Sensibilidad de la Infraestructura de Aguas

La infraestructura de aguas está subdesarrollada en Bolivia. Pese a que la disponibilidad de agua presenta una gran estacionalidad en las zonas más pobladas y secas del país, la capacidad de almacenamiento es muy baja, con sólo 460 hm<sup>3</sup> dedicados a almacenamiento (aproximadamente equivalentes solo a 46 m<sup>3</sup> per

20 Para mayor información sobre los indicadores de vulnerabilidad e impacto, evaluación de datos y datos utilizados en este análisis, ver el informe completo sobre recursos hídricos. (Anexo 1).

21 Se presentan Mapas de las cuencas expuestas en el trabajo de antecedentes de recursos hídricos. Estos mapas fueron desarrollados al combinar información sobre la extensión de áreas inundables y la frecuencia con que ocurren las inundaciones.

FIGURA 13 DEMANDA DE AGUAS POR SECTOR 2000 Y 2050



capita<sup>22</sup>). Las represas existentes se han diseñado principalmente para generación hidroeléctrica y propósitos de riego. La provisión de agua y cobertura de saneamiento, pese a mejoras recientes<sup>23</sup> sigue siendo baja, particularmente en áreas rurales y periurbanas. El 2007, el 74.5 por ciento de la población tenía acceso al agua (87.5 por ciento en zonas urbanas, y 50.3 por ciento en áreas rurales). Con respecto al saneamiento, el 53.7 por ciento de la población urbana tenía acceso a saneamiento mientras que sólo el 36.5 por ciento en áreas rurales.<sup>24</sup> El Altiplano y regiones de llanos tienen una muy desigual distribución de recursos hídricos e infraestructura de riego. La eficiencia de los sistemas de riego varía de 18 a 30 por ciento en los sistemas tradicionales y de 35 a 50 por ciento

en sistemas mejorados. El riego para propósitos agrícolas utiliza 84 por ciento del consumo **de aguas** en el país. Sin embargo, en el 2007<sup>25</sup>, el agua extraída solamente irrigó menos de 300,000 hectáreas (menos del 11 por ciento) de un total de área cultivada de 4 millones has. Se espera que la demanda de riego para propósitos de agricultura continúe creciendo en el futuro, como se muestra en la Figura 13 a continuación.

### Opciones de Adaptación: Recursos Hídricos Rurales<sup>26</sup>

De acuerdo a la evaluación de impacto y vulnerabilidad de los recursos hídricos mencionados anteriormente, se identificaron algunas opciones de adaptación

22 Esto es bajo comparado con otros países vecinos tales como Perú (100m<sup>3</sup> pc) y Ecuador (540m<sup>3</sup> pc)

23 De los niveles 2001, el incremento anual en acceso a agua ha sido de 0.3 por ciento, mientras que el acceso a saneamiento ha aumentado 0.85 por ciento de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento.

24 Datos del Plan Nacional de Saneamiento (versión actualizada, Agosto 2009)

25 Estimados propios PRONAR (2005) y datos del Inventario Nacional de Irrigación (2000)

26 Ver tabla 7 en Anexo 1 Recursos Hídricos- para un mayor evaluación de medidas de adaptación desarrolladas en esta sección

seleccionadas como cruciales en tres áreas principales: (1) inundaciones y sequías recurrentes; (2) acceso al agua para agricultura; y (3) escasez de agua anual e intra-anual. Se detallan opciones específicas para cada área.

### *1. Adaptación a las sequías e inundaciones recurrentes.*

Se requieren medidas tanto duras como blandas. Las acciones incluirían:

- **Una estrategia hidrometeorológica de prevención de desastres mejorada.** Se necesita una estrategia de prevención de desastres mejorada para aumentar resiliencia vital y capacidad adaptiva hacia eventos extremos, especialmente si se piensa que estos eventos ocurrirán con mayor frecuencia como se proyecta en los modelos climáticos. Esta estrategia debería involucrar el desarrollo de un sistema de información hidrometeorológica sólido y un marco institucional adecuado, sistemas de información de gestión de riesgos y un marco institucional adecuado de gestión de riesgos que asegure coordinación eficiente entre instituciones. Los planes de prevención de desastres deberían ser implementados hasta en el nivel local con la necesaria tecnología e infraestructura en el lugar. La planificación a través de escalas de gobernabilidad, manejo adecuado de riesgos y marco institucional asegurará coordinación eficiente entre instituciones. Los planes de prevención de desastres deberían ser implementados hasta el nivel local con la tecnología necesaria e infraestructura in situ. La planificación a través de escalas de gobernabilidad, alineamiento de intereses, asegurando cohesión de políticas, será necesaria para asegurar la realización de una estrategia efectiva de prevención de desastres. Esto es particularmente cierto con respecto a las inundaciones: el desarrollo de una red de sistemas de alerta temprana a nivel nacional es una prioridad principal. De acuerdo a los resultados del estudio de impacto de recursos hídricos (Anexo 1) esta red debería primero concentrarse en las cuencas prioritarias, incluyendo Niquisi, Chapare, Grande Bajo, Yapacaní, Mapiro-Coroico, Mizque, y Bermejo.

- **Canalización.** Canalización de canales fluviales, diques y mejoramiento de sistemas de drenaje en centros poblados.

- **Reforestación.** La reforestación es una opción costo-efectiva de combatir la erosión severa y puede reducir la degradación de cuencas en la región de los valles. Más aún, la reforestación reduce el riesgo de deslizamientos y descarga de sedimentos.

- **Esquemas de Pago para Servicios Ambientales en Determinadas Áreas.** Debería considerarse el pago de servicios ambientales, en particular donde las actividades aguas arriba podrían afectar al uso de aguas río abajo. Estas medidas podrían ser aplicadas en diferentes contextos y añadidas a las medidas de adaptación anteriormente mencionadas. En Bolivia, mientras que la compra-venta de bienes y servicios ambientales es un tema políticamente sensible (Robertson y Wunder 2005), los pagos para esquemas de servicios de las cuencas están siendo explorados debido a los severos problemas de uso de tierras y aguas (Cuadro 3).

### *2. Adaptándose a un mejor acceso a aguas para la agricultura*

Algunas acciones de adaptación incluyen:

- **Expansión de Riego.** Bajo los escenarios secos proyectados, las cuencas propensas a sequías requerirán la transformación de áreas actuales cultivadas por lluvias, en zonas irrigadas. Esto involucraría mejoramiento de la infraestructura de almacenamiento de aguas<sup>27</sup> en las subcuencas secas del Altiplano, las regiones de los valles centrales y del sur, y el Chaco.<sup>28</sup> La expansión de las áreas irrigadas debería ser cuidadosamente analizada debido a las restricciones potencialmente altas del uso de agua en estas regiones. Se requiere análisis detallado de provisión y demanda a nivel de cuenca (o micro-cuenca) (Ver Anexo 3: Programa Nacional de Riego, Cuenca Mizque 2004–14) para las áreas críticas proyectadas donde se planifican nuevos proyectos de riego. Más aún, el riego también podría expandirse de la diversificación de agua de superficie o explotación de aguas subterráneas — aunque debería considerarse

27 Referirse a la sección de riego para mayores detalles sobre las diferentes opciones de almacenaje y su adaptabilidad en diferentes contextos.

28 El Índice de Disponibilidad de Aguas in 2050 y el Indicador de Incremento en Almacenamiento de Agua toman en cuenta un incremento proyectado en demanda de riego para todas estas cuencas, de acuerdo a las demandas de riego determinadas por el Plan Nacional de Riego.

### CUADRO 3 RÍO LOS NEGROS, BOLIVIA —COLMENAS Y ALAMBRE DE PÚAS

Dentro de la cuenca de Los Negros en Bolivia, la ONG Fundación Natura está utilizando fuentes de financiamiento externo para facilitar pagos entre los agricultores aguas arriba y aguas abajo en la comunidad Santa Rosa, cubriendo unos 250 km<sup>2</sup>. Los agricultores que acuerdan no extender su área de cultivo hacia el bosque húmedo reciben una colmena por cada 10 hectáreas de conservación de bosques. En el segundo año de operación los agricultores solicitaron y recibieron alambre de púa en vez de colmenas. Los fondos externos utilizados para comprar las colmenas y alambre fueron suplementados por dos pagos de la municipalidad local. Uno de los mayores desafíos, y más importante beneficio del programa, fue construir confianza entre todos los actores en la cuenca de Los Negros.

Fuente: (Asquith and Vargas 2007)

un análisis adicional de la disponibilidad de aguas subterráneas, como se explica abajo— sin mayor necesidad de incrementar la capacidad de almacenamiento de cuencas con mayor disponibilidad de aguas. El riego entonces garantizaría protección contra épocas secas en la estación de lluvias y ayudará a expandir la estación de cultivo.

- **Hacer que las prácticas de riego sean más eficientes e introducir nuevas tecnologías de ahorro de agua.** Ya que el agua para riego significa más del 90 por ciento de la demanda total, estas prácticas mejoradas y tecnologías eficientes deberían reducir la demanda de agua de forma significativa.

### 3. Adaptándose a la escasez de agua (anual y estacional)

De acuerdo con la evaluación de vulnerabilidad y riesgo llevada a cabo para este estudio, hay ciertas áreas en el suroeste donde es probable que la provisión anual de agua no será suficiente para cumplir con la demanda total a las tasas actuales de desarrollo. Por lo tanto es importante desarrollar medidas de adaptación que promuevan almacenamiento de agua y permitan reducción en demanda de agua. Dichas medidas incluyen la reasignación de la provisión de aguas a nivel cuenca para diferentes usuarios, estableciendo claros derechos de propiedad y priorizando ciertos usos con respecto a otros. Esto podría hacerse al establecer cuotas, o más efectivamente con reglamentaciones de

precios que podrían incorporar criterios de equidad social. En este caso, se requiere un análisis económico detallado de provisión y demanda de los usos de agua para incorporar los costos de oportunidad a los precios del agua.

Donde los recursos hídricos del subsuelo todavía son sub-explotados es factible, la disponibilidad de agua incrementada. Sin embargo, en Bolivia, se conoce relativamente poco sobre las dinámicas de los recursos hídricos del subsuelo y su capacidad asociada de producción. Por lo tanto, mientras que los recursos hídricos subterráneos se explotan intensamente en áreas específicas tales como El Alto o Cochabamba, la posibilidad de incrementar la provisión al extraer aguas subterráneas de manera sostenible podría llevarse a cabo en otras cuencas. Esto requeriría un rango de mediciones físicas, pero también incluiría opciones regulatorias y de políticas para evaluar la capacidad y potencial de recarga de los acuíferos subterráneos.

Las medidas adicionales incluyen:

- **Infraestructura de Almacenamiento.** La infraestructura actual necesita ser revisada, actualizada e incrementada. El tamaño y propósitos de la nueva infraestructura deberían ser determinados en función a las características de cada cuenca. Deberían considerarse las compensaciones entre sitios de almacenamiento, desde infraestructura tal como los “atajados “ basados en las comunidades, hasta las

TABLA 9 EJEMPLOS DE MEDIDAS PARA EL MEJOR USO DE RECURSOS DE AGUA EXISTENTES

Macro-región	Municipalidad	Comunidad	Medida
Chaco	Charagua	San Francisco	Construcción de sistema de Micro-riego y uso de agua de río
Altiplano	Carangas Curahuara	Uta Jila Manasaya	Perforación de Pozos e instalación de bombas manuales para agua potable
Valles	Saipina	Oconi	Construcción de represa de almacenamiento en el río Oconi
Valles	Vitichi	Chapicollo	Tanque <sup>1</sup> de Almacenamiento subterráneo

\*SPANISH TEXT NEEDED

TABLA 10 EJEMPLOS DE RECOLECCIÓN DE AGUA PLUVIAL

Macro-región	Municipalidad	Comunidad	Medida
Altiplano	Carangas Curahuara	Uta Jila Manasaya	Construcción de atajados para irrigación de bofedales
Valles	Tarvita	La Silla	Construcción de 50 atajados con capacidad de 4000mc.

grandes represas multipropósito como el proyecto Misicuni en Cochabamba. Estas compensaciones necesitan considerar los beneficios y costos a largo plazo. (Ver Anexo Q, Impactos de Recursos Hídricos, para un juego de tipologías diferentes para este uso particular).

- **Transferencias de Agua.** Aunque las transferencias de agua tienen altos costos sociales y financieros, esta acción puede garantizar acceso al agua de cuencas que tienen un excedente de agua para aquellas que son deficitarias. Esta medida ya está en implementación a nivel de microcuencas en las regiones de los valles y el Altiplano. Debería evaluarse cuidadosamente la cantidad de agua a ser transferida.
- **Reutilización de Agua.** La reutilización de agua a gran escala puede ser costosa, sin embargo, la reutilización de agua a nivel hogares puede ser una medida muy efectiva en costos para ahorrar agua en áreas urbanas.
- **Saneamiento para Aéreas Periurbanas.** La principal necesidad de adaptación para las poblaciones rurales y periurbanas es el acceso

incrementado a servicios de agua y saneamiento.<sup>29</sup> El acceso actual a servicios de agua y saneamiento a través del país debe incrementarse. Una medida prioritaria será extender las redes urbanas existentes a las zonas periurbanas que en la actualidad no tienen acceso a servicios de agua y saneamiento. El crecimiento rápido de dichas áreas necesita ser planificado por adelantado para asegurar servicios adecuados.<sup>30</sup>

Las comunidades estudiadas también proporcionan ejemplos de opciones de adaptación para un mejor manejo de aguas categorizado en tres áreas: 1) mejor uso de los recursos hídricos existentes (Tabla 9); 2) construcción de infraestructura para recolección de agua de lluvia (Tabla 10); y 3) mejora y expansión de los sistemas de agua existentes (Tabla 11). Las tablas abajo proporcionan ejemplos de estos tipos de medidas priorizadas en diferentes comunidades.

29 Ver sección de agua urbana de este informe

30 Una clasificación cualitativa de cada medida de adaptación mencionada arriba se encuentra en el Anexo 3, Impactos de Recursos Hídricos. La información adicional incluye la regional y de escenario de cambio climático al cual es aplicable, basándose en los efectos del cambio climático y los impactos descritos en las secciones anteriores.

TABLA 11 EJEMPLOS DE MEJORAMIENTO DE EXPANSIÓN DE SISTEMAS EXISTENTES

Macro-región	Municipalidad	Comunidad	Medida
Chaco	Charagua	San Francisco	Mejora y expansión de sistemas de agua potable
Chaco	Villa Vaca Guzman	Aguayrenda	Reparaciones de puntos de explotación, construcción de tanque de almacenamiento, e instalación de irrigación presurizada
Llanos	Yapacani	15 de Agosto	Reparaciones de emergencia para agua potable y Centro Educativo

TABLA 12 SISTEMAS DE RIEGO POR ESTACIÓN (HECTÁREAS)

Ríos		Pendientes		Pozos		Reservorios		Total
Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Anual
40,346	114,185	3,044	10,826	6,788	7,372	21,428	22,043	226,032

Fuente: Inventario Nacional de Sistemas de Riego (PRONAR, 2000)

1. *Uso de recursos hídricos existentes:* infraestructura de construcción (construcción de presas, etc.) para dominar las fuentes de agua disponibles tales como ríos, áreas de recolección de aguas y acuíferos subterráneos.
2. *Recolección de Agua de Lluvias:* Construir infraestructura para captar y almacenar agua de lluvias, lo cual involucra la construcción de reservorios artificiales y atajados (pequeñas represas) y proporcionar instalaciones para recolectar agua de techos.
3. *Mejoramiento y expansión de los sistemas de agua existentes:* infraestructura y equipo para expandir la capacidad de los sistemas de captación y distribución de aguas para evitar futura escasez. Las iniciativas de mejora incluyen capacitación y la provisión de instalaciones y equipamiento para hacer uso más eficiente del agua, tales como sistemas de bombeo, mejores redes de tubería y otros esfuerzos para impedir pérdidas de agua en riego.

## Opciones de Adaptación: Infraestructura de Riego

El riego es una de las estrategias más importantes de adaptación al cambio climático en Bolivia. Ayudará a asegurar una provisión de agua adecuada para la seguridad alimentaria y producción agrícola. Este

estudio ha analizado diferentes enfoques para proyectos de mejoramiento de riego con el objetivo de incrementar la resiliencia del sector agrícola al cambio climático el 2050.

### INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE RIEGO

Donde escasea el agua, el riego ha hecho viable la agricultura. Los sistemas de riego, aunque limitados, se han desarrollado con mayor rapidez en el Altiplano, los valles, el Chaco y llanos orientales, cubriendo siete de los nueve departamentos en el país. Más del 80 por ciento de los flujos regulados de agua, son utilizados para riego del sector agrícola. De acuerdo al Inventario Nacional de Riego, menos de 300,000 hectáreas se irrigaron el año 2000. Más de 4,000 sistemas de riego se utilizaron y 200,000 familias se beneficiaron. La construcción de proyectos de pequeña escala ha sido más intensa, constituyendo el 92 por ciento de todos los sistemas de riego. En contraste, los proyectos de gran escala solamente comprenden 8 por ciento de los sistemas de riego, pero proporcionan el 57 por ciento del agua irrigada (ver Anexo 4, Informe de Infraestructura de Riego).

La mayoría de estos sistemas no proporcionan agua a toda el área irrigada debido a limitaciones en la provisión de aguas. En general, estos sistemas también proporcionan agua libre durante las épocas secas de la estación lluviosa. La estacionalidad en la aplicación del riego es un aspecto muy importante a ser





considerado, ya que define el precio de mercado de los productos. La Tabla 12 resume las áreas por tipo de cuenca y estación.

Más del 60 por ciento del área cubierta por sistemas de irrigación se riega solamente durante el verano (época de lluvias) y solamente el 32 por ciento del área podría utilizar riego durante el invierno (la estación con mayor demanda de agua). AL mismo tiempo, más del 60 por ciento del área irrigada está cubierta por captaciones ribereñas y 20 por ciento del agua viene de reservorios. Sin embargo, la provisión de agua de reservorios para riego representa el 19 por ciento del área total.

### NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA ADICIONAL PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los reservorios garantizan irrigación complementaria durante el verano y almacenan agua para el invierno, período en el cual hay gran necesidad de agua para la

agricultura. Las captaciones de ríos proporcionan la mayor parte del agua del país. Esto se debe a los bajos costos de inversión necesarios para proyectos de captación de agua fluvial. Sin embargo, las proyecciones futuras indican mayor variabilidad estacional en la provisión de agua para riego. Al presente, debido a limitaciones de infraestructura, la mayor parte del agua está disponible durante la época húmeda, mientras que la escasez ocurre en el invierno. Dado que la tendencia proyectada es que las lluvias estarán concentradas en menos meses durante el año, está claro que la construcción de reservorios será una importante estrategia de irrigación para proporcionar agua a la agricultura bajo los nuevos escenarios secos proyectados. Las medidas de adaptación en riego necesitarán seguir tres pilares estratégicos:

1. *Asegurar una provisión de agua adecuada para cultivos a través de la construcción de infraestructura para la regulación y almacenamiento de agua. Esto ayudará a enfrentar la variación estacional en la provisión de agua y los requisitos incrementados para agua de cultivos.*

2. *Incrementar la eficiencia en el uso y manejo de aguas* a través de mejoras en la infraestructura de distribución de agua, mejoras en tecnologías de aplicación de riego y asistencia técnica para un manejo más eficiente de los sistemas de riego existentes.
3. *Explotar la provisión residual de aguas urbanas para riego* a través de tratamientos apropiados antes de su aplicación a cultivos.

La integración del cambio climático a los proyectos nacionales de riego no solamente implicará la reevaluación de proyectos que tomen en cuenta requisitos adicionales de agua para cultivos y también el diseño de infraestructura hidráulica de modo que: (a) el sistema tenga suficiente flexibilidad operativa para asegurar un uso eficiente del agua, tomando en cuenta la provisión en las variaciones estacionales; (b) la infraestructura tenga la capacidad de resistir eventos climáticos extremos de mayor magnitud a la observada históricamente; (c) la infraestructura sea diseñada tomando en mente una más larga vida y mayor volumen.

Aunque planificar e implementar sistemas adicionales de infraestructura de riego es una meta ambiciosa, es importante seguir una estrategia de manejo integrado de aguas. Las cuencas propensas a sequías deberían enfatizar la explotación de los recursos superficiales en las épocas secas, permitiendo la recarga del acuífero, así como el manejo y la explotación de aguas subterráneas disponibles durante la época seca.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS ESTRUCTURALES DE ADAPTACIÓN EN IRRIGACIÓN

La Figura 14 representa las estrategias de adaptación y medidas de riego que fueron consideradas y evaluadas como opciones importantes de adaptación: almacenamiento y regulación de aguas; recolección de aguas, captación de agua superficial, captación de aguas de subsuelo y captación de aguas subterráneas.

Un detallado análisis de cada una de estas medidas se encuentra en el Anexo 4. Se dio atención específica al análisis de grandes estructuras para estimar costos y factibilidad.

## Costos Estimados de Medidas Estructurales de Adaptación para Riego

Se ha utilizado una revisión de los proyectos ejecutados entre 1995 y 2008 para construir un rango de costos de infraestructura<sup>31</sup> como una función del volumen de agua regulada para las principales medidas de adaptación discutidas en este estudio.<sup>32</sup> La Figura 15 representa la distribución de los costos asociados al tipo de represas a la fecha. La zona verde representa represas con una alta tasa de costo-beneficio. Estas son represas que ya se han construido en los lugares de más alto potencial; por lo tanto, la rehabilitación sería la única opción de proteger dichas estructuras contra el clima. El área rosa representa la mayoría de las represas construidas en la zona de valles y el Altiplano. La construcción de estas represas ha seguido ciertos criterios de elegibilidad que limitan la cantidad de inversión por hectárea irrigada y hogar.

La perspectiva actual para nueva construcción de represas está fuera de los criterios de elegibilidad establecidos a nivel sectorial, lo que significa que no hay muchas áreas elegibles para nuevas represas que podrían representar una tasa alta de costo/beneficio para los inversores. Por lo tanto, para integrar los impactos del cambio climático, estos criterios deberían hacerse lo suficientemente flexibles como para permitir que un número mayor de hogares se beneficie bajo los futuros desafíos climáticos. El área azul en la gráfica representa la situación actual donde hay una menor tasa costo-beneficio bajo las nuevas iniciativas. Un resumen de los costos de proyectos de infraestructura de aguas se presenta en la Tabla 13.

Los “Atajados” son otras infraestructuras relevantes para captación de aguas a nivel local. Estas captaciones de agua se implementan normalmente como proyectos

31 Los costos han sido estandarizados a bolivianos del 2009 basándose en un índice de costos de construcción disponible en el Instituto Nacional de Estadística.

32 Este rango de costos se basa en una muestra relativamente pequeña de proyectos y no debería interpretarse como los valores verdaderos. Más aún, debería notarse que el país tiene muy diversas características físico-geográficas lo cual implica que proyectos con volúmenes similares tienen diferencias significativas en costos.

FIGURA 14 ESTRATEGIAS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

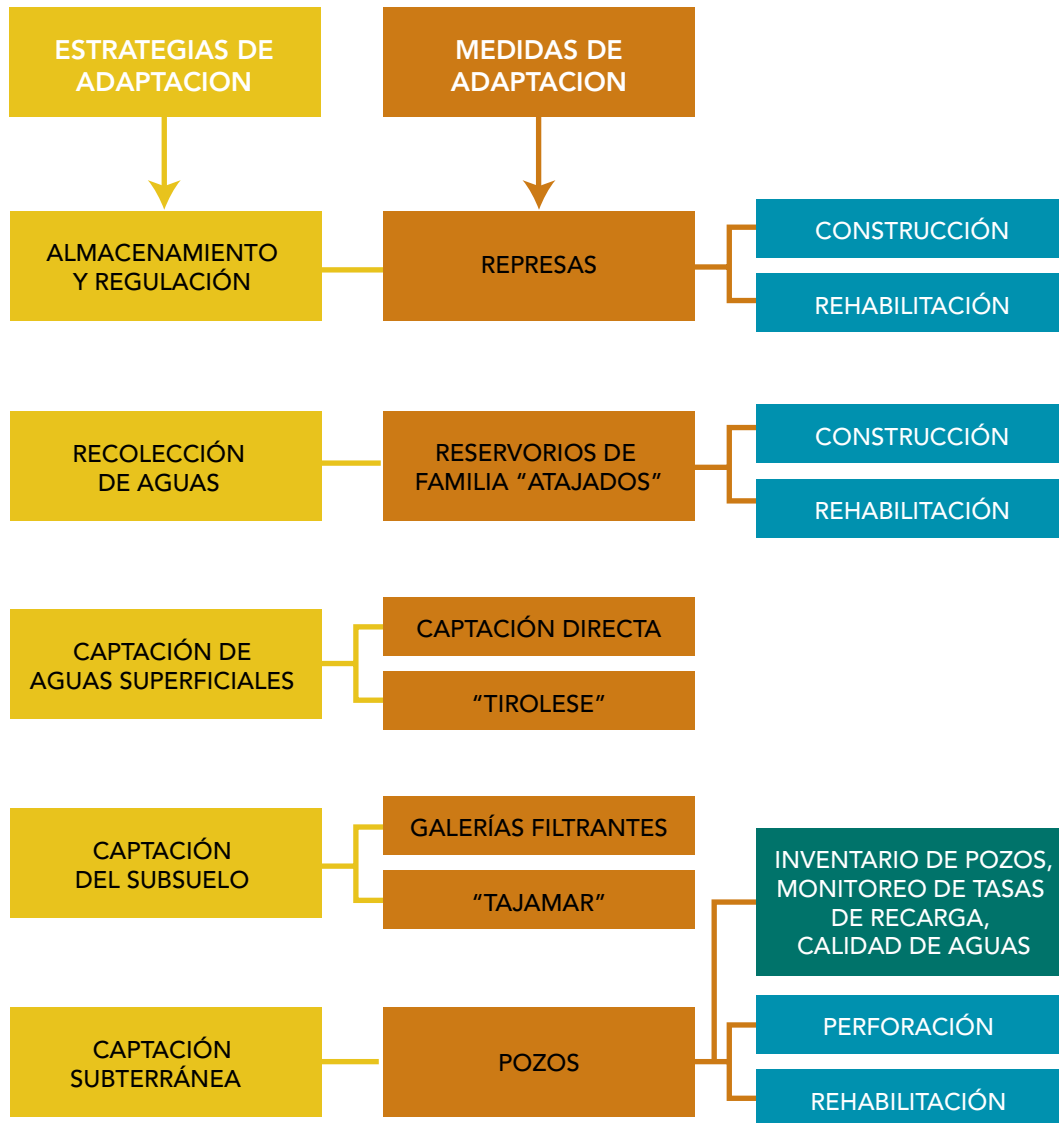
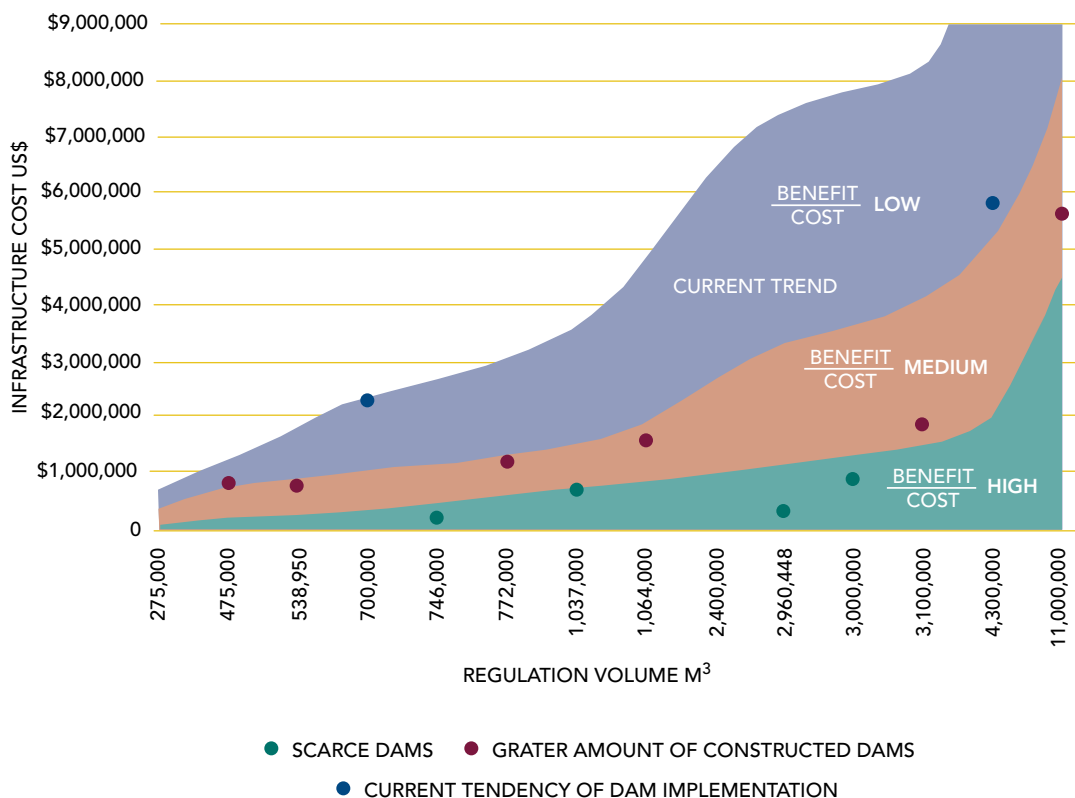


FIGURA 15 PROVISIÓN DE AGUAS VS. COSTO—PRESAS



de recolección de aguas que incluyen varios atajados para una comunidad. Este tipo de medida ha sido muy popular en comunidades locales debido a su bajo costo y necesidades de mantenimiento. Se construye un atajado para cada familia; el costo típico es de \$3,500 a \$5,500, con una capacidad de almacenaje de entre 1,000 y 2,500 m<sup>3</sup>.

En el caso de sistemas de riego de alta tecnología, el costo está \$2,800 y \$3,600 por hectárea,<sup>33</sup> dependiendo del área donde se instale. Adicionalmente a este costo, hay costos de operación y mantenimiento, así como costos de capacitación. El beneficio de estos sistemas es la posibilidad de duplicar la eficiencia del agua de riego aplicada.

TABLA 13 RESUMEN DE COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Volumen Regulado m <sup>3</sup>	Costo Infraestructura \$US
<b>REPRESAS</b>	
275,000–600,000	300,000–825,000
600,000–1,000,000	220,000–1,700,000
1,000,000–3,000,000	340,000–1,600,000
3,000,000–4,300,000	900,000–5,900,000
4,300,000–11,000,000	5,600,000–5,900,000
<b>ÁREA DE INFLUENCIA</b>	
70,000–200,000	39,000–140,000
200,000–325,000	110,000–278,000
325,000–560,000	184,000–280,000
560,000–1,300,000	280,000–505,000
<b>SUB-ÁREA DE INFLUENCIA</b>	
70,000–200,000	50,000–135,000
200,000–300,000	93,000–187,000
300,000–400,000	147,000–325,000

33 Manual de Riego Tecnificado - PIEN - 2008 (P. Hoogendam - C. Ríos)

**TABLA 14 CAMBIOS EN SUMINISTRO DE AGUA PARA ESCENARIOS DE CLIMA HÚMEDO Y SECO AL 2050**

Porcentaje de Variación con relación a la Línea Base								
ESCENARIO	Santa Cruz	Cochabamba	La Paz	Oruro	Potosí	Tarija	Chuquisaca	Promedio
SECO	+0.60%	-6.79%	-10.45%	-15.08%	-10.99%	-3.29%	+1.63%	-6.34%
HÚMEDO	-7.33%	+8.19%	+17.72%	+14.40%	+14.38%	+9.16%	+3.08%	+8.51%

**TABLA 15 PROYECTO ANUAL DE DEMANDA DE AGUA DE RIEGO EN 2050**

Medido en Millones de m <sup>3</sup>							
Santa Cruz	Cochabamba	La Paz	Oruro	Potosí	Tarija	Chuquisaca	Total País
456.28	443.70	261.96	169.21	654.08	426.87	402.15	2,814.25

## ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD ADICIONAL DE ALMACENAMIENTO PARA RIEGO Y COSTO POTENCIAL ESTIMADO

Esta sección presenta un marco teórico para estimar los requisitos de adaptación para obtener capacidad adicional necesaria para proporcionar agua de riego en períodos deficitarios en agua. El objetivo base es compensar la nueva variación de provisión de agua debido al cambio climático para una demanda dada de agua agrícola. Las proyecciones de la demanda agrícola de agua se basaron en presunciones sobre la futura expansión de irrigación en el país (ver Anexo 4).<sup>34</sup>

La estimación de las necesidades de adaptación y el costo estilizado de capacidad de almacenamiento sigue un enfoque de cuatro pasos: (1) estimación de la provisión de agua en el 2050; (2) estimación de demanda de agua en el 2050; (3) estimación del déficit mensual acumulado (balance de provisión y demanda); y (4) estimación del costo total de adaptación, definido en términos del costo de construir capacidad de almacenamiento adicional (ver Anexo 4).

### *Estimación de Provisión de Agua para 2050*

Se describe la estimación de cambios en la provisión de agua en forma detallada en el Anexo 1. Para efectos de comparación, la provisión mensual de agua se agregó de la cuenca de río a nivel departamental para los siete departamentos que aplican riego en el país. La Tabla 14 contiene la variación de provisión mensual de agua para los dos escenarios climáticos estudiados. La variación se mide en términos de porcentajes comparados a la situación presente.

**El promedio nacional de cambios en la provisión de agua muestra un incremento en la provisión de agua del 8.51 por ciento para el escenario húmedo y una disminución del 6.34 por ciento para el escenario seco.** Santa Cruz (llanos) muestra una reversión en tendencias para los escenarios secos y húmedos, lo que podría significar que más lluvias podrían caer en la época seca.

### *Estimación de Demanda de Aguas al 2050*

La estimación de la demanda futura de agua de riego (hasta el 2050) se basó en los cálculos existentes hasta el 2015 del Viceministerio de Riego, tomando en cuenta la expansión proyectada de riego y la tendencia hacia mayor regulación de aguas para cumplir con irrigación en la época seca. De acuerdo al Inventario Nacional de Sistemas de Riego, casi el 70 por ciento de sistemas de riego proporcionan agua en la época de lluvias, mientras que 30 por ciento proporciona agua en la estación seca. Para identificar futuras necesidades de

<sup>34</sup> Debido a limitaciones de datos y tiempo, los requisitos adicionales de agua para cultivos debido a temperaturas más altas no se consideraron en el estimado de demandas agrícolas. Más aún, la cantidad de infraestructura para capacidad de almacenamiento se asume como constante con respecto al presente; en otras palabras, no hay crecimiento en la capacidad de almacenamiento en una línea base sin cambio de clima.

TABLA 16 TOTAL ACUMULADO DE DÉFICIT DE AGUAS DE RIEGO

Medido en Millones de m <sup>3</sup>								
ESCENARIO	Santa Cruz	Cochabamba	La Paz	Oruro	Potosí	Tarija	Chuquisaca	Total País
SIN CAMBIO DE CLIMA	9.62	39.16	2.62	29.69	220.82	68.79	77.33	448.03
SECO	11.37	51.11	11.88	35.34	240.74	72.46	81.06	503.95
HÚMEDO	11.76	42.54	3.72	31.84	220.06	67.03	80.01	456.96

TABLA 17 COSTO TOTAL ESTIMADO PARA NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA AL 2050

Costo de Inversión Estimada \$US			
Departamento	Sin Cambio de Clima	Escenario Clima Seco	Escenario Clima Húmedo
Santa Cruz	10,311,396	12,179,669	12,598,115
Cochabamba	41,959,327	54,758,218	45,573,934
La Paz	2,805,019	12,725,095	3,983,341
Oruro	31,806,015	37,866,677	34,119,795
Potosí	236,592,155	257,931,679	235,780,328
Tarija	73,705,418	77,634,335	71,823,380
Chuquisaca	82,849,966	86,854,946	85,720,325
<b>TOTAL</b>	<b>480,029,296</b>	<b>539,950,620</b>	<b>489,599,217</b>

almacenamiento, se asumió en estos nuevos cálculos que habrá una necesidad de utilizar 70 por ciento de agua de riego durante la estación seca (de Abril a Noviembre) hasta el 2050. La Tabla 15 presenta la demanda adicional de agua de riego al 2050 por Departamento.

#### ***Balance de Provisión y Demanda de Agua el 2050***

Se hizo un balance de provisión y demanda de agua mensual para estimar la escasez de agua en la época seca o un exceso de agua en la época húmeda. Al comparar ambas figuras, es posible obtener estimados del agua adicional necesaria para aliviar los déficits mensuales que podría ser obtenida del almacenamiento de agua de los excedentes mensuales. El déficit mensual para la época seca está agregado para todo el año para obtener la demanda anual de capacidad de almacenamiento al nivel departamental hasta el 2050.

Como se muestra en la Tabla para Santa Cruz, el GCM proyecta que los cambios de precipitación de lluvias también serán erráticos, aún en los escenarios

húmedos. Esto sugiere que la lluvia podría concentrarse en períodos más cortos durante la época húmeda, lo que significa que en la época húmeda también podrían ocurrir déficits mensuales (ver Anexo 4, Figura 13 para más detalles).

#### ***Estimación del costo de implementar acciones de riego como medidas de adaptación***

El costo de construir o restaurar almacenamiento de aguas para adaptarse a un nuevo sistema de riego se define por el costo de construir capacidad de almacenamiento adicional para compensar un mayor déficit de aguas anual debido al cambio climático. Este costo se obtuvo para los dos escenarios hidrológicos extremos para obtener un posible rango de costos además de un costo de línea base sin cambio climático (Tabla 17). La capacidad adicional estimada de almacenamiento no toma en cuenta las necesidades adicionales de agua durante épocas húmedas debido a la limitación de datos.

El costo estimado de nuevas medidas de adaptación incrementadas para riego es de alrededor de \$60

TABLA 18 COSTOS DE ADAPTACIÓN PARA ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

DEPARTAMENTO	ESCENARIO CLIMA SECO		WET CLIMATE SCENARIO	
	Necesidad Adicional de Almacenaje (m <sup>3</sup> )	Inversión Estimada \$us **	Necesidad Adicional de Almacenaje (m <sup>3</sup> )	Inversión Estimada \$us **
Santa Cruz	1,743,721	1,868,273	2,134,271	2,286,719
Cochabamba	11,945,632	12,798,891	3,373,634	3,614,607
La Paz	9,258,737	9,920,076	1,099,767	1,178,321
Oruro	5,656,619	6,060,663	2,159,528	2,313,780
Potosí	19,916,889	21,339,524	0	0
Tarija	3,666,989	3,928,917	0	0
Chuquisaca	3,737,981	4,004,980	2,679,002	2,870,359
<b>TOTAL PAIS</b>	<b>55,926,569</b>	<b>59,921,324</b>	<b>11,446,202</b>	<b>12,263,787</b>

\* Se asume un promedio de consumo es de 7,000 m<sup>3</sup> por hectárea irrigada  
\*\* Se asume un costo de Inversión de 7,500 \$us por hectárea irrigada con infraestructura de agua almacenada

millones para el escenario seco y de \$12 millones para el escenario húmedo hasta el 2050. Estos costos son adicionales al costo estimado de línea base para cumplir con las necesidades de almacenamiento de aguas sin cambio climático (Tabla 18).

Debería notarse, sin embargo, que para el riego la definición de acciones de adaptación y sus costos es estrecha. Los costos adicionales emergentes de la optimización de los usos del agua —tales como mejoras en la infraestructura existente o asistencia técnica para mejorar la aplicación de irrigación—, deberían también ser considerados.

## Provisión de Agua y Saneamiento en Áreas Urbanas

### *Vulnerabilidad al cambio climático*

Las ciudades que se apoyan en una sola fuente de agua están más expuestas que aquellas que se apoyan en diversas fuentes. Casi todas las áreas urbanas dentro de la región de los llanos se apoyan exclusivamente en aguas subterráneas. Otras ciudades, tales como Sucre o Bermejo— se apoyan exclusivamente en agua superficial. En áreas donde la provisión ya está debajo de los niveles de la demanda, las situaciones críticas se

pueden exacerbar por una sequía potencial, trayendo restricciones de agua adicionales a la población. Tales ciudades son especialmente vulnerables porque los recursos superficiales tienden a ser más susceptibles a cambios en precipitación y por lo tanto su capacidad se reduce antes que las fuentes subterráneas. Las ciudades de La Paz/El Alto, Potosí, Yacuiba, Tarija, y Cochabamba se apoyan en fuentes sin suficiente capacidad de satisfacer la demanda (ver Anexo 1). Sin embargo, también hay ciudades como Camiri, que se apoya completamente en aguas subterráneas que han sufrido severas restricciones durante períodos secos. La calidad de agua en la fuente cruda (primaria) puede también ser afectada por contaminación biológica u otras actividades como la minería. La falta de protección adecuada de las fuentes aumenta su nivel de exposición.

En muchos casos —tales como Cochabamba, Sucre, o Tarija— hay alta competencia por los recursos hídricos, y los conflictos sociales son frecuentes entre los servicios básicos urbanos y las diferentes comunidades usuarias. Estos conflictos tienen probabilidad de aumentar si el recurso se hace más escaso. Este es un punto importante a ser considerado en todas las áreas que ya han llegado a su capacidad de fuente, ya que cualquier disminución en la provisión natural causada por cambio climático reducirá el consumo per cápita trayéndolo a niveles peligrosos. El problema

TABLA 19 VARIABLES CLIMÁTICAS CLAVES EN RELACIÓN AL SECTOR URBANO

Efecto del Cambio Climático	Impacto
Incremento de Temperatura/Mayor Evapotranspiración/disminución en provisión natural	Incremento en demanda de agua debido a incremento de temperaturas/Problemas con seguridad de alimentos/ Impactos en la agricultura del sector rural pueden provocar importante aumento de migración rural a urbana, creando fuertes/inesperados incrementos de demandas de agua/ Empresas de servicios no pueden satisfacer los niveles de demandas  Las personas sin acceso seguro pueden sufrir importantes impactos en su salud ya que las fuentes desprotegidas podrían desaparecer o presentar mala calidad
Mayores variabilidades de precipitaciones/periodos de sequía más largos	La capacidad de almacenaje puede no ser suficiente para proveer agua en la época de sequía
Inundaciones	Daños en infraestructura urbana  Empeoramiento de la calidad de agua

de apoyarse en una fuente vulnerable de agua puede también reforzar otros tipos de vulnerabilidad social. Por ejemplo, durante la sequía de 1997 en Cochabamba, la tasa de cobranza de tarifas bajó abruptamente ya que los consumidores no pagaron por servicios que no recibían (CAF, 2000). Más aún, en situaciones críticas, las empresas de servicios básicos se ven obligadas a comprar agua de otras fuentes.

El cambio climático afectará la capacidad de las empresas de servicios básicos de entregar agua y servicios de saneamiento y también la capacidad de controlar inundaciones, ya que éstas se harán más frecuentes e intensas, especialmente en los llanos. Un resumen de los impactos potenciales del clima en el sector agua a nivel urbano se muestra en la Tabla 19. Las áreas urbanas principales del país están expuestas a diferentes efectos del cambio climático que amenazan su capacidad de proporcionar agua segura y saneamiento. Las ciudades ubicadas en las cabeceras de cuenca del Altiplano y regiones vallunas — tales como La Paz-El Alto (cuencas del Titicaca y Beni), Sucre, Potosí (Parapetí-Pilcomayo), y Cochabamba (Grande)—son más propensas a estar expuestas a amenazas que afectan sus fuentes de agua, ya que la disponibilidad de agua en dichas áreas es significativamente menor que aguas abajo en las cuencas correspondientes. Estas ciudades están altamente expuestas a tendencias de menor pluviosidad, cambios inesperados en estacionalidad y sequías prolongadas.

El caso de La Paz-El Alto es particularmente preocupante debido a la desaparición de la contribución

glaciar a las corrientes superficiales, la cual, aunque no ha sido cuantificada debidamente, provocará una reducción en la cantidad de agua y presentará una amenaza adicional sobre esta zona metropolitana donde la demanda ya se ha igualado a la oferta<sup>35</sup>. Una descripción detallada de cada uno de los indicadores de vulnerabilidad, midiendo tanto los efectos del cambio climático y la vulnerabilidad de las empresas de agua, se presenta en el Anexo 1.

Para las cuencas de Cochabamba o Santa Cruz, los cambios mostrados en los escenarios húmedos y secos son similares. En Santa Cruz, los estudios predicen que los niveles de oferta actual<sup>36</sup> sin tomar en cuenta cualquier efecto de cambio climático en consideración, podrían satisfacer la demanda hasta el 2022. Las gráficas muestran, sin embargo, en ambos escenarios húmedo y seco, que proyectan una disminución en la oferta natural de agua, que la brecha entre la oferta y demanda se cerrará antes de lo que se espera en la actualidad. Una situación similar existe para Cochabamba, la cual no puede cumplir con la demanda y tiene una brecha del casi el 50 por ciento. Ambos escenarios de cambio climático predicen una disminución en la provisión de agua natural, agravando el problema.

35 El sistema de provisión de agua de La Paz-El Alto sufrió un alerta de escasez en la época húmeda del 2008, la cual se repitió el otoño del 2009. Las medidas de emergencia —tales como la perforación de pozos de emergencia— se implementaron para cumplir con los niveles de demanda de dichos periodos.

36 Estos estudios fueron mencionados en los Planes Estratégicos de Desarrollo.





## OPCIONES DE ADAPTACIÓN PARA LA INFRAESTRUCTURA URBANA DE AGUA

El principio guía de adaptación en áreas urbanas, así como para áreas rurales, debería ser desarrollar más rápidamente.<sup>37</sup> La estrategia consiste en aumentar la

capacidad de las empresas de agua de proporcionar agua segura y servicios de saneamiento para toda la población. Esto debería hacerse al enfrentar las vulnerabilidades indicadas en este análisis. Las empresas de agua y saneamiento deberían tomar en cuenta el cambio climático al desarrollar sus planes estratégicos a largo plazo. En este sentido, una de las principales preocupaciones de los planificadores urbanos o gerentes de empresas de servicios básicos será cómo manejar la incertidumbre asociada al cambio climático. Un

<sup>37</sup> La separación de la adaptación de los costos de desarrollo con frecuencia se refiere al concepto del déficit de adaptación que captura la idea de que los países están sub-preparados para el futuro cambio climático. Presumiblemente, estas deficiencias ocurren porque la gente está mal informada sobre la incertidumbre climática y por lo tanto no asignan recursos racionalmente para adaptarse a eventos climáticos. La deficiencia no es el resultado de niveles bajos de desarrollo, pero más bien de asignaciones de recursos limitados menos que óptimas, resultando, digamos en una infraestructura de drenaje urbano insuficiente. El costo de cerrar esta deficiencia y llevar a los países a un estándar aceptable para enfrentar condiciones climáticas actuales dado su nivel de desarrollo — es una

definición del déficit de adaptación. El segundo uso del término capta la noción de que los países pobres tienen menos capacidad de adaptarse al cambio, ya sea inducido por cambio climático u otros factores, por su menor estado de desarrollo. La capacidad adaptiva de un país, por lo tanto, se espera que mejore con su desarrollo. Este significado quizás se exprese mejor por el término déficit de desarrollo.



enfoque razonable sería estimar el nivel de umbral mínimo de la provisión natural de agua (o el umbral en estacionalidad de lluvias) en el cual la empresa tendría problemas en entregar un servicio seguro. Seguidamente, se debe estimar la probabilidad de que dicho umbral ocurra, dadas las diferentes predicciones de los modelos climáticos. El problema con este

enfoque es que, por una parte, muchas empresas de agua ya han llegado a dicho umbral aún sin tener que lidiar con el cambio climático; y por otra parte, los datos climáticos disponibles al momento todavía no permiten estimaciones de dicha probabilidad con suficiente precisión.<sup>38</sup>

Las opciones de adaptación para desarrollo urbano pueden ser divididas en tres categorías: opciones de adaptación de lado de la oferta, opciones del lado de demanda, y medidas integrales y control de inundaciones.

#### *Opciones de adaptación de lado de la oferta*

**Reforzar, mejorar, proteger y diversificar las fuentes de agua.** Esto es necesario para fortalecer la capacidad de producción de las empresas de aguas urbanas, especialmente en ciudades de las regiones áridas como La Paz, Cochabamba o Sucre pero también en otras como Bermejo o Guayamerín. Tomar en consideración el cambio climático en los planes de desarrollo de las empresas de servicios básicos implica determinar el punto en el cual sería necesario fortalecer la capacidad de producción de la empresa, no sólo para enfrentar la demanda incrementada esperada, pero también para poder proporcionar agua segura en épocas más secas. Adicionalmente, será necesario asegurar protección contra eventos extremos de lluvias. Esto es particularmente importante para centros urbanos situados en localidades con fuerte pluviosidad estacional.

**Proteger las fuentes de agua para garantizar calidad.** Se están desarrollando estudios hidrológicos en el área de El Alto para determinar la dinámica de las fuentes. Se requerirían estudios similares para áreas con alta presión sobre los recursos hídricos tales como Cochabamba. En algunos casos, se han empezado los análisis, pero no han sido completados.

**Extender la infraestructura de oferta de agua a toda la población, incluyendo áreas periurbanas.** Esta es una meta de desarrollo ya reconocida en el Plan Nacional de Saneamiento de Bolivia. Si se cumple con la meta, casi todos los centros urbanos principales podrían tener cobertura universal de agua y saneamiento hasta el 2050.

<sup>38</sup> Missing Text!

**Revisar capacidad de almacenamiento.** Es necesaria una revisión de la capacidad de almacenamiento para asegurar que la capacidad existente podría considerar pérdidas adicionales debido a un incremento en tasas de evaporación y cambios en variabilidad de lluvias, así como para proteger dichas instalaciones contra eventos climáticos como inundaciones. Adicionalmente, los planificadores urbanos podrían anticipar las tasas de crecimiento futuro de diferentes ciudades.

**Mejorar la infraestructura de saneamiento.** Es importante aumentar el número de hogares conectados a la red de alcantarillado para tratar y descargar los efluentes con seguridad. Más aún, ya que tomará tiempo aumentar el número de casas conectadas a la red de alcantarillado, sería necesario reforzar las opciones sanitarias existentes in situ en tierras urbanas no consolidadas, haciéndolas resistentes a inundaciones, solamente como medida temporal antes de que se incorporen dichas áreas a la red.

#### *Opciones de adaptación del lado de la demanda*

**Asegurar que las tarifas sean progresivas.** Las opciones de demanda serían particularmente necesarias para todas las áreas urbanas en las zonas áridas del Altiplano, valles, y el Chaco, y más específicamente para aquellas que presentan altas tasas de crecimiento poblacional. Sin embargo, dada la situación actual del sector urbano de aguas, las opciones de adaptación del lado de provisión todavía son una primera prioridad. Las empresas de servicios básicos de agua potable deberían asegurar que las tarifas sean progresivas,

garantizando acceso para consumo básico y aumentando la presión para usos no productivos. En caso de que las tasas de consumo aumentaran en el futuro, se debería considerar apoyar la implementación de medidas de reutilización a nivel de hogares, como bio-filtros sencillos para utilizar el agua del lavabo para descargar los inodoros.

#### *Medidas integrales y control de inundación*

**Incorporar los planes de desarrollo de las empresas de servicios básicos a los planes de desarrollo de las cuencas.** Esta estrategia promueve la inclusión de ciudades como un elemento importante del manejo de cuencas de modo que estén integradas a las estrategias de manejo de aguas planificadas para toda la cuenca. El uso de agua puede entonces ser cuantificado y comparado a la oferta natural en dicha cuenca para planificar una coexistencia sostenible entre todos los usuarios urbanos/rurales. Más aún, integrar la ciudad como un elemento de la cuenca facilita la asimilación del concepto de “riesgo hidrometeorológico” como una característica de los instrumentos de planificación urbana. Los planificadores urbanos podrían entonces determinar áreas de riesgo, donde, por ejemplo, no se debería permitir construcciones, o detectar zonas cruciales donde la infraestructura esté en riesgo durante las inundaciones o eventos extremos de lluvias. En muchos casos, en términos de costos es más efectivo implementar un sistema de alerta temprana que revisar, reconstruir o sobre-construir un sistema de drenaje en terreno urbano consolidado. Sin embargo, como se mencionó líneas arriba, estos sistemas de alerta solamente tienen sentido si están enmarcados en el contexto de la cuenca.

SEISES



# Perspectivas a Nivel Local Sobre Adaptación al Cambio Climático

Las formas de vida de las familias más pobres de Bolivia se basan en la agricultura a secano, agricultura a pequeña escala, pequeña crianza de animales y trabajos estacionales. Las familias en mejores condiciones trabajan en actividades de vida basadas en una combinación de agricultura a secano y agricultura con riego, crianza de animales, trabajos no-agrícolas y migración temporal. Estos hogares con más resiliencia al cambio climático tienen estrategias de vida basadas en agricultura bajo riego con una menor parte a secano, crianza de animales parcialmente de corral o crianza de animales a mayor escala, productos lácteos y ocupaciones en el sector de servicios. Las familias más vulnerables son las que tienen miembros mayores o discapacitados y miembros jóvenes, así como los hogares con mujeres a la cabeza.

Para propósitos de este estudio, se llevaron a cabo discusiones de grupos focales, talleres comunitarios,

entrevistas a expertos y entrevistas de hogares en catorce municipalidades<sup>39,40</sup> (ver Tabla 20).

Se clasificaron los niveles de pobreza de 60 hogares entrevistados en base a indicadores como tenencia de tierras, propiedad de ganado, prestigio de familia, ocupación de los niños y tipo de vivienda<sup>41</sup>. La Figura 16 presenta la estratificación socioeconómica de las familias entrevistadas. Esta fue una clasificación relativa, construida al comparar una familia con la otra, reconociendo que lo que constituye una familia pobre en una comunidad podría ser muy diferente en otras comunidades. Sin embargo, esta clasificación permitió una aproximación de los bienes de cada nivel. Aquellas familias consideradas como menos pobres tienen bienes que son cinco a diez veces mayores a aquellos de las

**TABLA 20 NÚMERO DE MUNICIPALIDADES ESTUDIADAS POR COMPONENTE SOCIAL, POR MACRO-REGIÓN**

Macro-región	Número de Municipalidades
Altiplano	4
Valles	5
Chaco	2
Llanos	3
Total	14

39 La metodología consistió de una revisión de la literatura, un muestreo para identificar las municipalidades más vulnerables al cambio climático hoy y trabajo de campo. Para el trabajo de campo, se entrevistó un total de 42 informantes claves y setenta y cinco hogares (cinco hogares por comunidad); se llevaron a cabo cuarenta y cinco grupos focales sobre estrategias de vida, se hizo un taller nacional con expertos de cada región estudiada y catorce talleres que utilizaron técnicas de escenarios participativos de desarrollo con representantes de las comunidades de cada municipalidad seleccionada. El trabajo de campo fue llevado a cabo por nueve instituciones privadas seleccionadas por su larga experiencia con municipalidades.

40 El equipo EACC en Washington desarrolló una metodología general para el componente social. Los consultores locales adecuaron esta metodología al contexto boliviano y mejores caracterizaciones de vulnerabilidad al cambio climático dentro del contexto local. Ver el Anexo 5 para mayor información sobre la metodología del componente social.

41 En las áreas de estudio, todas las familias se consideraban pobres de acuerdo a la definición de pobreza del Instituto Nacional de Estadística.

familias más pobres. Las diferencias notables en el estado socioeconómico se explican principalmente por la propiedad de animales de cría y tierras de labranza. La región con la mayor desigualdad es la macroregión de los llanos, donde las comunidades indígenas y campesinas viven lado a lado con agroindustria, grandes ganaderías e industrias madereras.

## Prácticas pasadas de adaptación y sobrevivencia

Se entrevistó 70 hogares sobre estrategias pasadas de sobrevivencia en eventos de inundación, sequía, granizada y/o helada. Cincuenta por ciento de los entrevistados no se involucraron en nuevas actividades para manejar el evento extremo. Estas familias o no estuvieron afectadas por el evento climático y tenían una capacidad adaptiva relativamente fuerte, es decir una estrategia de vida diversificada con actividades de generación de ingresos no sensibles al clima, o tenían muy pocos recursos para invertir en nuevas medidas de adaptación y en algunos casos sobrevivieron consumiendo menos alimentos o recurriendo a sus reservas.

En el último grupo, los hogares que continuaron con sus estrategias de vida tradicionales lo hicieron pese al hecho de que luego de muchos años de adaptarse al cambio climático, sus estrategias de lucha ya no eran suficientes. Estos hogares consistían principalmente de personas mayores, niños, personas discapacitadas y mujeres solas con pocos recursos quienes generalmente se apoyaban en la asistencia de familiares o vecinos.

*...Yo me dedico a producir leche; tengo unas pocas vacas y además voy de casa en casa para recoger leche y vendo todo a un negocio. Cuando había sequía, la leche bajó a la mitad por falta de forraje para los animales. Yo tenía que sobrevivir con eso. No tengo marido y mis hijos son muy jóvenes para trabajar y no puedo abandonar mi casa...". (de Juana Mamani, 37 años, Municipalidad de Pucarani, Altiplano)*

El 50 por ciento de los hogares entrevistados restantes se involucraron en un rango diverso de adaptaciones. Algunos integraron nuevas actividades a sus estrategias de vida, como por ejemplo, migración temporal; otros siguieron con las mismas actividades pero experimentaron con formas de mejorar sus prácticas tradicionales. La Figura 17 resume las actividades de adaptación de dichas familias.

FIGURA 16 ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS DE COMUNIDADES LOCALES

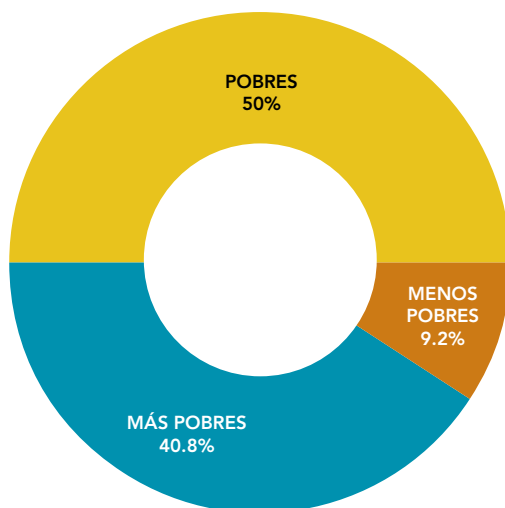
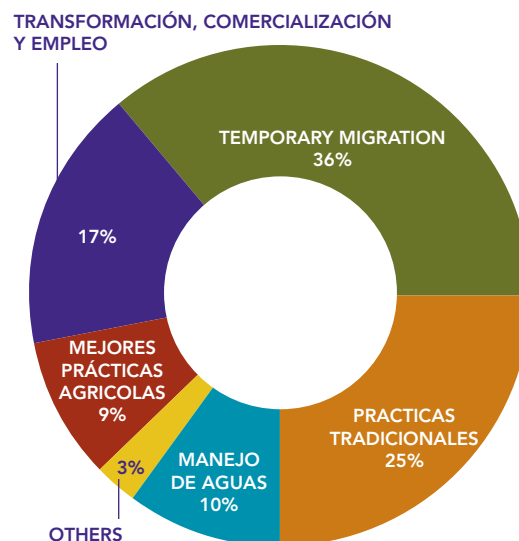


FIGURA 17 RESPUESTAS PASADAS A EVENTOS CLIMÁTICOS



De los 70 hogares entrevistados, 25 habían recurrido a la migración temporal. Estas familias no habían recurrido anteriormente a migración, pero creyeron que era necesario para compensar pérdidas económicas (ver también el Anexo 5 para el Informe de Componente Social completo).

Los resultados revelan que para adaptarse a los cambios climáticos, el 17 por ciento de los hogares entrevistados desarrollaron nuevas actividades de sustento tales como la producción de artesanías o comercio o trabajo local. Este análisis también mostró que una mayoría de los hogares que se adaptaron a los eventos climáticos recurrieron a un promedio de una nueva medida de adaptación por evento en un intento de compensar las pérdidas. El 25 por ciento de las familias retornaron a antiguas prácticas indígenas, incluyendo llamados rituales a la lluvia, creando humo para combatir las heladas y encendiendo petardos para combatir la granizada.

Durante los talleres comunitarios locales, los participantes discutieron los cambios autónomos que buscaron en el pasado para posteriormente discutir el tipo de medidas de adaptación que serán necesarias en el futuro. En el pasado, los sistemas de producción cambiaron gradualmente con poco apoyo externo del estado o de instituciones locales. La mayoría de estos cambios se hicieron en forma autónoma y a su propio costo, sin planificación previa. Como con todas las innovaciones en agricultura, el proceso toma muchos años y se hace sobre una base empírica de “prueba y error”. Una vez que las estrategias locales se consideran exitosas, los gobiernos municipales e instituciones locales —a solicitud de las comunidades— han tomado algunas de dichas innovaciones y las han traducido en proyectos a mayor escala. Los proyectos de riego e infraestructura de protección fueron introducidos de alguna manera en cinco de las comunidades estudiadas.

### UTILIZANDO EJERCICIOS DE DESARROLLO DE ESCENARIOS PARA AVIZORAR FUTURAS PRIORIDADES DE ADAPTACIÓN

En base a las observaciones del clima en los últimos 20 a 30 años, todos los miembros de comunidades que participaron en el estudio creen que el clima futuro se caracterizará por temperaturas más altas,

escasez de agua, lluvias más irregulares y una época de lluvias más corta pero más intensa. Solamente en la Amazonía, los miembros de las comunidades esperan que la lluvia caerá con mayor frecuencia que antes, causando mayor incidencia de inundaciones. Las medidas de adaptación priorizadas por las comunidades fueron específicas en términos de sus necesidades, el número de beneficiarios involucrados, los tipos de experiencias pasadas en enfrentar riesgos climáticos, sus propios criterios culturales, y valores económicos considerados. Con el objetivo de encontrar tendencias emergentes de este juego complejo y diverso de estrategias de adaptación, las medidas fueron clasificadas en ocho tipos:

- Manejo de aguas
- Infraestructura
- Mejores prácticas pecuarias
- Mejores prácticas agrícolas
- Mejor manejo ambiental
- Capacitación y construcción de capacidades
- Crédito y finanzas
- Transformación y empleo

Las Tablas 21 y 22 abajo presentan una muy amplia variedad de estrategias de vida comunitaria en las regiones de los llanos y el Altiplano de Bolivia, respectivamente. Esta diversidad de opciones puede ser explicada por los siguientes factores: primero, cada estrategia tiende a reflejar las preocupaciones específicas de una comunidad, especialmente en relación a la dimensión de la exposición y sensibilidad de la comunidad al cambio climático. Las medidas de adaptación identificadas por las comunidades y el orden de prioridades asignado a cada una de las medidas o inversiones muestran cómo las estrategias de adaptación preferidas dependen de la historia reciente de la comunidad en particular. Por ejemplo, las comunidades que se han beneficiado de inversiones en esquemas de manejo de aguas que resultaron en agua potable más segura no consideran el manejo de aguas para mejorar el agua potable como algo necesario para su futura estrategia de vida, ya que no ven el sistema actual como inadecuado.

La presencia o falta de instituciones es un segundo determinante para identificar, priorizar y secuenciar las estrategias de adaptación en Bolivia. Donde las

**TABLA 21 ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN PRIORIZADAS (PLANIFICADAS Y AUTÓNOMAS) POR COMUNIDAD EN LA REGIÓN DE LOS LLANOS**

San Isidro (Municipalidad Yapacani)	Puerto San Borja	Agosto 15 (Yapacani Municipality)	Valparaíso (San Pedro Municipality)
Sistema de provisión de agua para ganado	Construcción de aguada	Recuperación de aguas de emergencia y Centro Educativo	Bote de fondo plano comunitario para transportar productos al mercado
Construcción de vivienda social	Terrenos familiares a ser cercados	Construcción de defensivos en el río Yapacani	Plantar legumbres de rápido crecimiento
Ganado bi-propósito mejorado	Sistema de almacenamiento de grano	Reparación de 5 km de camino principal en la comunidad 15 de Agosto	Irrigación doméstica con ruedas de agua en huertas
Construcción del puente Condorito	Bombas de Irrigación a ser instaladas	Instalación de rompevientos en arrozales	30 bombas de irrigación para huertas familiares en la comunidad Valparaíso (con agua de río)
Centro piloto de mejoramiento de apicultura	Construcción de terrazas artificiales	Recomenzar producción de arroz en la comunidad 15 de Agosto	10 bombas de irrigación para levantar agua de río para irrigar parcelas familiares
Controlar alta incidencia de hierba mala en pastizales y huertas	Construcción de terrazas (camellones)	Diversificar producción agrícola con cítricos y cacao	
Producción conjunta de cítricos y café			
Estudio diagnóstico de tiempos de florecimiento de plantas locales			
Fuente: Talleres Comunitarios			

autoridades locales e instituciones privatizadas tienen una historia de apoyo al desarrollo, los miembros de las comunidades contarán con su apoyo continuado y priorizarán medidas que requieren apoyo externo. Donde las instituciones no tienen una fuerte presencia, las opciones priorizadas de adaptación no estarán basadas en un apoyo externo principal.

Con relación a la migración, la consideración —por las comunidades rurales— de la migración como una estrategia viable y preferida de adaptación estuvo fuertemente influenciada por preferencias sociales. La migración temporal no fue priorizada como una medida de adaptación en las comunidades estudiadas. Más bien, en la identificación de medidas de adaptación, la lógica de las comunidades fue “¿Qué podríamos hacer para adaptarnos de modo que no tengamos que abandonar la comunidad?” Una mujer de la municipalidad de Beni en la región de los llanos dijo:

*“No queremos mover la comunidad, para las autoridades esta es la solución fácil. Queremos quedarnos en la comunidad, aún con inundaciones. Nos cuesta mucho salir de nuestra comunidad a este lugar y es ahora una ubicación estratégica, todos pasan por nuestro puerto. La ayuda debería enfocarse en ayudarnos a quedarnos aquí, no en ayudarnos a movernos.”*

Por lo tanto, las preferencias sociales podrían ser determinantes y más incluyentes en las preferencias de adaptación que las razones económicas. Del ejemplo anterior, uno puede ver que las poblaciones no siempre optan por opciones de maximización de riqueza. En Bolivia, donde la tierra se encuentra fuertemente interconectada no sólo con subsistencia sino también con cultura e identidad, las poblaciones indígenas podrían ver su permanencia en tierras ancestrales como más importante que la búsqueda de actividades más lucrativas en otros lugares.



**TABLA 22 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PRIORIZADAS, POR COMUNIDAD EN LA REGIÓN DEL ALTIPLANO**

<i>Chaquilla (Porco)</i>	<i>Puerto San Borja (Calacoto)</i>	<i>Pampajasi (Pucarani)</i>	<i>Jila Manasaya Uta (Curawara Carangas)</i>
Mejor sistema de manejo de riego para mejorar el uso de aguas y reducir sedimentación	Construcción de pozos e instalaciones de captación de aguas	Construcción de una represa	Construcción de un sistema de aguas multifamiliar
Construcción de nuevos canales de irrigación para incluir instalaciones de conexión de aguas y cámaras de flujo de agua para irrigación eficiente.	Construcción de reservorios	Construcción de reservorios	Perforación de pozos e instalación de bombas manuales para agua potable
Medidas para recuperar bofedales degradados (cercas, fertilización, irrigación y re-plantación)	Mejoramiento de pastizales y forraje	Construir infraestructura para manejo de ganado para lácteos	Mejorar pozos familiares e instalar bombas manuales
Capacitación y concientización de usuarios para promover uso sostenible de recursos disponibles	Infraestructura pecuaria	Manejo y mejora de producción agrícola	Mejora de pastizales nativos con construcción de canales de infiltración y plantación de semillas de pastos nativos
Construcción de corrales techados y otra infraestructura necesaria para mejorar producción	Apoyo a actividades agrícolas	Manejo y conservación de forraje	Construcción de <i>atajados</i> para irrigar <i>bofedales</i>
Programa amplio de salud animal	Manejo de créditos a bajos intereses	Mejoramiento de ganado para lácteos	
Mejor manejo genético y reproductivo de ganado.	Capacitación técnica en diversas actividades	Apoyar el establecimiento de una entidad para producir y vender agregados	
Capacitación y concientización de criadores de animales para producción sostenible y manejo de ganado.	Organizar una Asociación de Productores	Producción de legumbres en carpas solares	
Construcción y / o reparación de defensivos y muros de contención en terrazas cultivadas	Mejoramiento de infraestructura productiva	Mejoramiento y producción de cultivos de papa	
Mejoramiento de canales de irrigación e instalaciones de captación de agua para uso eficiente de agua de irrigación.	Mejoramiento genético y manejo de ganado		
Apertura y / o construcción de zanjales de drenaje para evitar daño por humedad a los cultivos.	Procesamiento y comercialización de productos locales		
Cultivos orgánicos utilizando especies seleccionadas y variedades tolerantes a condiciones climáticas adversas.			
Capacitación y concientización —de residentes comunitarios para proteger y preservar suelos utilizados para agricultura			

Fuente: Talleres Comunitarios



Notablemente, las entrevistas de hogares e informantes claves revelaron que existen grandes discrepancias entre las formas en que las autoridades locales y comunidades perciben la adaptación al cambio climático presente y futuro. La mayoría de las autoridades locales entrevistadas consideran el cambio climático un problema que llegará en el futuro y creen que la inversión en proyectos de infraestructura es la mejor manera de adaptación. Al contrario, las comunidades consideran el cambio climático como una realidad de hoy, y discutieron la necesidad de definir estrategias que apoyen transformaciones fundamentales en actividades de los hogares, y no las medidas de adaptación individuales “duras”.

### SÍNTESIS DE HALLAZGOS A NIVEL DE PERSPECTIVAS LOCALES DE ADAPTACIÓN

Las comunidades rurales e indígenas tienen una larga y rica historia de observación sistemática del clima; de hecho su sobrevivencia depende de esta capacidad. El cambio climático y la variabilidad climática en aumento

significan que muchos de los indicadores climáticos utilizados por estas comunidades serán menos efectivos. Los talleres comunitarios revelaron que debido a una incapacidad creciente de predecir los patrones climáticos, la gente necesita nuevos indicadores para diagnosticar y predecir futuras variabilidades. En base a sus observaciones de los últimos 20 a 30 años, todos los miembros de comunidades participantes en el estudio creen que los futuros escenarios climáticos se caracterizarán por temperaturas más altas, escasez de aguas, lluvias más irregulares y una estación de lluvias más corta pero más intensa. Solamente se espera que las lluvias lleguen con más frecuencia que antes en la región amazónica, causando mayor incidencia de inundaciones.

Las comunidades en los valles y Altiplano priorizaron medidas de adaptación relacionadas al manejo de aguas, seguido por mejores prácticas agrícolas y pecuarias. Ellos ven a la sequía como la principal amenaza a su forma de vida. En contraste, las comunidades del Chaco y llanos aseguraron que las prácticas agrícolas

mejoradas eran una prioridad y consideraron las medidas del manejo de aguas como de importancia secundaria.

Los resultados también demuestran que las comunidades ven a las estrategias de adaptación no como medidas aisladas, pero más bien como un juego complejo de medidas complementarias que se componen de medidas tanto duras como blandas. Las inversiones

en infraestructura serán insuficientes si no se hacen esfuerzos complementarios para promover la construcción de capacidades, desarrollo institucional, y en muchos casos, transformación fundamental de las estrategias y lógicas de forma de vida subyacentes. Por esta razón, es esencial comprender estas medidas de adaptación como una jerarquía con un orden específico de ejecución, ya que algunas estrategias dependerán de la implementación sostenible de las otras.



# Análisis Costo-beneficio de las Opciones de Inversión en Adaptación

La herramienta de análisis costo-beneficio fue diseñada para permitir la integración de las variables de cambio climático al desarrollo de flujos de caja con costos y beneficios para opciones climáticas con resiliencia. El análisis también trata de responder la pregunta de cómo el análisis costo-beneficio para proyectos regulares de desarrollo puede ser afectado por el cambio climático. Tal información puede ser útil para la distribución de presupuestos nacionales, así como para la priorización y secuenciamiento de opciones de adaptación en futuros gastos públicos. Un análisis detallado de costo beneficio fue hecho sobre opciones de adaptación sintetizadas de dos sectores —agricultura y recursos hídricos— basadas en opciones de adaptación seleccionadas del Mecanismo Nacional de Adaptación (PNCC 2007, 1997) y además validadas con expertos en los sectores locales de agricultura y aguas. El análisis empírico permitió la derivación de costos estimados de ocho medidas de adaptación a largo plazo (30 años<sup>42</sup>). Los proyectos de agua fueron agregados en dos componentes: provisión de agua y control de inundaciones. Para este análisis, la infraestructura de opciones de adaptación que fueron analizadas incluye:

## **Sector Recursos hídricos**

- Riego (represa, derivación, cosecha, y subsuelo)
- Provisión de aguas tratadas (represas, pozos, y captaciones superficiales de agua)
- Control de inundaciones (control hidráulico y administración territorial)

42 El análisis evalúa primariamente la vida útil de los proyectos en mayores inversiones, en operaciones y mantenimiento. Por lo tanto, no fue factible predecir las futuras reinversiones y flujos de caja de un proyecto luego de 30 años.

## **Agricultura**

- Investigación Pública (ej: nuevas variedades de cultivos resistentes a sequía)
- Servicios de Extensión (ej: introducción a nuevas formas de cultivo)
- Caminos Rurales
- Técnicas de Riego (en áreas de cultivos)

El Análisis costo-beneficio fue aplicado a un conjunto de opciones de adaptación en términos de valores financieros (valor de mercado) y en términos socioeconómicos (precio sombra). El análisis integró variables de cambio climático (temperatura y precipitación) bajo un escenario seco (peor escenario posible) y sin cambios en escenarios climáticos<sup>43</sup>. Los resultados fueron interpretados para estos dos escenarios climáticos.

El análisis costo-beneficio consistió de los siguientes pasos:

### **1. Estimación del costo de inversión a nivel de proyecto**

- Listado por ítems de componentes físico, ingeniería y/o biología de cada proyecto
- Cuantificación de montos físicos para cada ítem en materiales que serán usados en el curso de la implementación de inversión del proyecto
- Estimación del valor de mercado para cada componente (tanto en términos financieros como económicos)

43 Al momento del análisis no había datos disponibles del escenario húmedo. El escenario seco se consideró como el escenario de peor caso como “sequía”, ya que ésta continúa como uno de los mayores desafíos a resolverse para las tierras altas en Bolivia.

## 2. Estimación de daños evitados para cada proyecto de inversión

- Identificación de todos los resultados posibles (daños evitados o beneficios) de la implementación de las alternativas de inversión
- Cuantificación de cada resultado en unidades físicas.
- Evaluación de cada resultado, en términos monetarios, financieros y económicos (eso significa también precios de mercado y sombra)

Todos los proyectos evaluados tuvieron resultados positivos de análisis socioeconómico (Tabla 23 abajo) Esto sugiere que el proyecto es robusto para cualquier escenario climático de inversión pública en estas áreas justificado por la región. En forma similar, todos los proyectos de agua (para uso en riego y control de inundaciones) también fueron positivos, así como la producción de cultivos, en particular en áreas de riego donde se espera que se incremente significativamente si la provisión de agua fuese viable, por lo menos durante la fase más crítica de

las etapas fenológicas. Estos resultados son concordantes con el análisis de agricultura y recursos hídricos presentados anteriormente.

En los estudios de agricultura y recursos hídricos, los resultados sugieren que el Altiplano será favorecido por temperaturas incrementadas, mientras que las zonas del Oriente y el Chaco serán afectadas negativamente por temperaturas en incremento y la reducción de precipitaciones. Estos resultados van de acuerdo a la distribución espacial de los proyectos seleccionados, donde dependiendo del área, el IRR está reducido debido a estos impactos regionales. Los proyectos de agricultura muestran un crecimiento en el IRR, bajo cambio climático en zonas altiplánicas. Esto sugiere que la inversión planificada en agricultura y recursos hídricos continúa siendo robusta al cambio climático, por lo menos en condiciones extremas. De este modo, medidas de adaptación en Bolivia representan primariamente un buen desarrollo de estrategias bajo variabilidad climática.

**TABLA 23 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN SECTORES DE AGRICULTURA Y RECURSOS HÍDRICOS**

Nombre del proyecto	Costos de Inversión		Análisis Económico Línea Base		Análisis Económico con cambio Climático (Escenario Seco)	
	Análisis Económico	Beneficiarios	Valor Actual Neto	IRR	Valor Actual Neto	IRR
<b>PROYECTOS DE ADAPTACIÓN DE AGUA</b>						
Agua Potable distribución Sapecho	3,440,553	2,199 Personas	3,428,089	24.0%	3,331,530	23.95%
Sistema Agua Potable San Pedro de Cogotay	408,345	140 Personas	8,105	12.91%	2,916	12.76%
Excavación de Pozos Chapicollo	317,136	50 Familia	187,383	17.35%	151,686	16.83%
Control Inundación Caranavi	4,052,215	528 casas	2,658,043	21.5%	2,658,043	21.5%
<b>PROYECTOS DE ADAPTACIÓN EN AGRICULTURA</b>						
Irrigación represa San Pedro Aiquile	11,476,499	147 Has	2,583,295	15.74%	4,195,411	17.61%
Restauración represa Tacagua	313,623,524	907 Has (incremento)	(184,275,594)	2.65%	(171,580,897)	3.46%
Elevación pared represa Tacagua	120,457,550	907 Has (incremento)	9,705,456	14.02%	21,563,503	15.66%
Riego mediante Derivación Buen Retiro Sur Paraisito	3,686,740	178 Has.	17,260,185	71.02%	14,874,454	63.01%
Pequeña Captación de agua "Atajados" Aiquile	1,951,407	32 Has.	115,778	13.94%	347,000	16.41%

El análisis costo-beneficio representa un ejemplo del uso de herramientas económicas mejoradas para la evaluación de proyectos de inversión bajo clima cambiante. Sin embargo, la selección de proyectos es limitada debido a la disponibilidad de una estrecha selección de proyectos (mayormente proyectos de agua en áreas rurales), que no incluyen proyectos de gran infraestructura en áreas urbanas. Un análisis detallado del costo-beneficio será información importante en el proceso de secuenciación y priorización de diferentes opciones de inversión en adaptación.

OCHO





# *Herramienta de Planificación de Inversiones (MIP)*

## *para la Selección de Opciones de Adaptación bajo Futuras Incertidumbres Climáticas*

### **Selección de Estrategias Robustas**

El desarrollo de la Herramienta de Planificación de Inversiones MIP (Modelo Matemático de Programación de Números Enteros Mixtos) es un ejemplo de la investigación de los posibles efectos del cambio climático en el desarrollo del riego en Bolivia, identificada como la mayor necesidad de adaptación en la agricultura, recursos hídricos, y componentes sociales del estudio. El desarrollo del estudio de caso tiene la intención de evaluar el efecto de un clima cambiante sobre las decisiones a tomarse para inversiones duraderas. En particular, el modelo desarrollado para este estudio permite la investigación del efecto sobre las inversiones de (1) una reducción presupuestaria, (2) una decisión de centralizar o descentralizar las decisiones de inversión, y (3) los impactos del cambio climático. Los resultados de este estudio son ilustrativos de los temas principales. El modelo de planificación de cuencas desarrollado para esta investigación también deberá ser una herramienta de planificación práctica, útil para las autoridades bolivianas, a ser refinada y actualizada según se cuente con datos adicionales disponibles de clima y de la cuenca.

### **LA CUENCA**

La cuenca Mizque es una subcuenca de la macrocuenca del Río Grande la cual ha sido identificada como una de las cuencas bolivianas más vulnerables al cambio climático. Esta vulnerabilidad se debe tanto al nivel existente de pobreza en la cuenca (Cedeagro

2005, Pronar 2005) como a impactos de sequías más altos de lo esperado. Los resultados del estudio sobre recursos hídricos (Anexo 1) identifica a la cuenca mayor Mizque (como se define en el Plan Nacional de Cuencas) como una de las más vulnerables del país.

Sin embargo su vulnerabilidad se debe principalmente a la alta proporción de gente sin acceso a agua y saneamiento, y su vulnerabilidad frente a inundaciones y sequías. Este es un punto particularmente sensible cuando se analiza el sector urbano debido a la alta competencia por agua en la región. Como parte del Plan de Promoción del Programa Nacional de Cuencas (PPPNC), el Ministerio de Desarrollo y Planificación Sostenible preparó el Plan Integrado de Gestión para la Cuenca del Río Mizque (Anexo 3). La cuenca del Río Mizque del Programa de Manejo Integrado de Cuencas (PMIC)-Mizque es la porción aguas abajo de la gran cuenca Mizque. El estudio PMIC-Mizque publicado el 2005 (Anexo 3), proporciona los antecedentes y datos para este estudio. Estos datos incluyen un inventario de proyectos potenciales de riego junto con sus costos y características principales, así como un balance de aguas por subcuencas.

Para explorar el efecto del cambio climático sobre la viabilidad física y económica de los proyectos de riego identificados en el estudio PMIC-Mizque, los datos fueron proyectados hasta el 2090 y combinados con proyecciones climáticas del 2090 para generar un Modelo Matemático de Programación de Números Enteros Mixtos. Este modelo estimula el proceso de toma de decisiones de un planificador que invierte en

programas de riego a través del tiempo para maximizar los beneficios que se proporcionan a los residentes de la cuenca. La decisión de inversión está limitada por recursos financieros y recursos hídricos. Tres diferentes reducciones presupuestarias anuales son exploradas: \$2 millones, \$4 millones, y \$6 millones. Cualquier dinero no gastado puede ser ahorrado (a una tasa de descuento social) y acumulado para el futuro. Se exploran dos políticas: (1) descentralización de presupuestos a nivel subcuenca vs. planificación centralizada de la cuenca Mizque, y (2) maximización del número de familias que reciben riego vs. maximización de los beneficios económicos del riego.<sup>44</sup> El modelo se corrió bajo tres escenarios climáticos, “húmedo,” “seco,” y el clima actual.<sup>45</sup> Estos regímenes de lluvias corresponden a aquellos discutidos en la Sección 5 arriba.

Se consideró la exploración de los efectos de descentralización presupuestaria como de alta prioridad frente al alto conflicto potencial entre los conocidos beneficios de gestión a nivel de cuencas y las nuevas políticas de Bolivia de apoyar la descentralización presupuestaria. Uno de los objetivos, por lo tanto, era ver cuán importante era el posible beneficio mayor entre maximizar los beneficios generales de cuenca y el manejo descentralizado.

## DATOS

Los datos para este estudio fueron proporcionados por el estudio PMIC-Mizque. Este estudio proporciona los siguientes datos, que fueron utilizados para el estudio actual de adaptación: (a) un balance de aguas para las 22 subcuencas de la cuenca; (b) proyecciones de demanda futura de agua hasta el 2014; (c)

identificación de 74 potenciales proyectos de riego en la cuenca; (d) costo de inversión, número de familias beneficiarias y hectáreas adicionales regadas para cada proyecto; (e) patrones de cultivo y demanda de aguas por patrón de cultivo en cada subcuenca y (f) flujo de caja por patrón de cultivo en cada subcuenca.<sup>46</sup>

## METODOLOGÍA

La metodología para la Herramienta de Planificación de Inversión fue diseñada utilizando los planes de desarrollo para la cuenca Mizque por el Plan Nacional de Cuencas PNC. EL uso de los datos oficiales proporciona una oportunidad de validar y evaluar proyectos identificados como potenciales bajo las limitaciones del nuevo cambio climático. Esto representa una forma aceptable de integrar la adaptación al cambio climático a los planes de desarrollo con relación a la priorización y secuenciamiento de proyectos dentro de un portafolio planificado, pero tomando el clima cambiante en consideración.

Como se describe arriba, se construyó un Modelo Matemático de Programación de Números Enteros Mixtos (MIP) para extender el estudio PMIC-Mizque a un horizonte futuro de 50 años y colocarlo en un marco optimizador.<sup>47</sup> Este marco permite que el modelo escoja el programa de inversión óptimo para los 50 años bajo (1) presupuestos variados, (2) dos políticas de descentralización diferentes, y (3) diferentes objetivos a ser maximizados —beneficios sociales generales y número de familias participantes. A través de la aplicación del modelo, el estudio evalúa el efecto del cambio climático sobre el futuro programa de inversión del gobierno como se identifica en el estudio PMIC-Mizque. Se requirió ensamblaje de datos PMIC-Mizque para crear 74 proyectos de inversión. Cada proyecto de inversión tiene un costo inicial de

44 Los beneficios se maximizan a una tasa de descuento del 0% y a una tasa de descuento del 6%.

45 Los niveles actuales de provisión fueron reportados por el estudio PRONAR. Para determinar los escenarios de CC y los cambios de disponibilidad de agua, los valores presentes y futuros de escurrimiento para la cuenca Mizque, se determinaron utilizando software CLIRUN-2 e. Los datos de los 17 GCMs se analizaron y los escenarios húmedo y seco fueron escogidos en función al máximo incremento y decremento de escurrimiento, respectivamente. Aquellos resultaron ser los modelos GFDL 2.1, como el escenario húmedo, con un incremento esperado de escurrimiento anual de 16 por ciento; y el modelo CCCMA para el escenario seco con una disminución de escurrimiento anual del 24 por ciento para el 2050. Estos dos porcentajes se aplicaron a la provisión actual reportada por subcuenca para lograr un pronóstico futuro anual.

46 Para varios cultivos en la tabla de balance de aguas, el ingreso neto no estuvo disponible. Para estos cultivos (menores) el ingreso neto se estimó en base a cultivos relacionados para los cuales había información, siguiendo consultas con expertos agrícolas bolivianos.

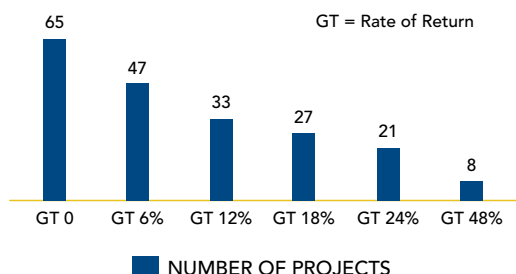
47 El horizonte de tiempo del estudio fue de 90 años. Esto se consideró necesario para considerar adecuadamente inversiones que se harían en los próximos 50 años. Este es el caso porque se consideró que los proyectos deberían tener una vida de 20 años con opción a reformarlos a mitad del costo por 20 años adicionales. Por lo tanto, cualquier proyecto construido en el 2050, por ejemplo, estaría considerando potenciales beneficios hasta el 2090.

inversión, operaciones futuras y mantenimiento (O&M) (presumido al 1 por ciento por año de la inversión inicial) e ingresos netos de los agricultores. Cada proyecto también requiere de una cantidad de agua de riego como se determina por los patrones de cultivo en la subcuenca. Los nuevos proyectos de riego en la subcuenca deberán competir por agua con los proyectos de irrigación existentes, agua potable y ganadería. El agua disponible se ajusta para el cambio climático. Las proyecciones de Naciones Unidas, se utilizan como base del crecimiento proyectado de población hasta el 2050. Tres escenarios climáticos se investigan; un escenario de línea base que proyecta el clima y disponibilidad de agua actual hacia delante, y un costo asumido de O&M de 1 por ciento, los 74 proyectos potenciales de riego producen la distribución de tasas internas de retorno (IRR).

Como se muestra en la Figura 18, de 74 proyectos, 65 tienen una tasa de retorno social<sup>48</sup> mayor a 0 por ciento y 47 tienen una tasa de retorno social mayor al 6 por ciento. La inversión en un proyecto de riego podrá hacerse en cualquier año entre 2010 y 2050<sup>49</sup>. Se asume que los Proyectos tienen una vida de 20 años después de la cual podrán (opcionalmente) ser actualizados a un costo del 40% de la inversión inicial. Invertir en un proyecto crea la opción de irrigar. Si no hay suficiente agua disponible, el sistema de riego podrá ser operado por debajo de su capacidad. Sin embargo, las decisiones económicas de construir un proyecto de riego toma este sub-uso en cuenta al momento de tomar la decisión de inversión.

Las simulaciones exploran el efecto del cambio climático dentro del contexto de (1) el intercambio entre el número de familias directamente beneficiadas y los beneficios sociales nacionales (2) diferentes limitaciones presupuestarias (\$2, \$4, y \$6 millones por año), y (3) diferentes tasas de descuento social (0 por ciento y 6 por ciento), y (4), una política presupuestaria centralizada y una descentralizada. Como se ilustra en la Figura 18, a 0 por ciento de tasa de descuento, 65 de

**FIGURA 18 DISTRIBUCIÓN DE LAS TASAS INTERNAS DE RETORNO (IRR) CALCULADAS PARA 74 PROYECTOS DE RIEGO PRONAR**



los 74 proyectos son económicamente viables. A la tasa de descuento de 6 por ciento, el número de proyectos viables se reduce a 47. Las limitaciones presupuestarias sirven para racionar el número de proyectos que pueden ser construidos en un año dado. Se permite ahorros (a la tasa de descuento) para permitir la acumulación de recursos para pagar grandes proyectos. En total, las corridas reportaron que la limitación presupuestaria permite la implementación de todos los proyectos a través de los 40 años. Una limitación presupuestaria más apretada simplemente hace más lenta la velocidad de implementación.

### IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN CON RESILIENCIA AL CLIMA: EJEMPLO DE LA CUENCA MIZQUE Y ESTUDIO DE CASO DE RIEGO

Esto incluye un inventario de proyectos potenciales de riego junto con sus costos y características principales, así como un balance de aguas por subcuenca. Para explorar los efectos del cambio climático sobre lo económico y la viabilidad física del programa potencial de inversión, los datos se proyectaron hacia delante hasta el 2090 y se combinaron con las proyecciones climáticas del 2090 para generar un Modelo Matemático de Programación de Números Enteros Mixtos. Este modelo fue utilizado luego para explorar el efecto del clima bajo varios escenarios climáticos, de políticas y de escenarios.

**Efecto del cambio climático.** Con relación al clima actual, el efecto de un escenario de clima “seco”,

48 “Tasa de retorno social” significa el retorno sobre todos los costos y beneficios, a quien sea que le lleguen.

49 Para permitir inversión al final del período, la cual solamente beneficiará luego del 2050, el modelo fue optimizado con un horizonte de planificación al 2090. Para los escenarios climáticos la transición del clima actual al del 2090 se asumió como lineal, basándose en la proyección del 2050.

es de reducir los beneficios sociales potenciales del programa de irrigación PMIC-Mizque de entre 3–5 por ciento. El efecto del escenario “húmedo” incrementa los beneficios entre 1–3 por ciento. El efecto sobre el número de familias beneficiadas es muy similar. Estos resultados varían en algo a diferentes niveles de las limitaciones presupuestarias y entre las dos políticas de manejo de cuencas (descentralizada y centralizada).

**Efecto de gestión descentralizada.** Se simuló una política de inversión descentralizada al imponer restricciones presupuestarias en cada subcuenca y no a nivel de la cuenca Mizque en su integridad. Estos presupuestos de subcuencas, fueron calculados para mantener la inversión per capita igual a través de todas las subcuencas. Una política de descentralizar los presupuestos a nivel de subcuenca reduce los beneficios potenciales significativamente más que el cambio climático. Esto es cierto aún si el objetivo es maximizar los beneficios sociales nacionales<sup>50</sup> o maximizar el número de familias beneficiadas.<sup>51</sup> El efecto de descentralizar el presupuesto al nivel de subcuenca es reducir los beneficios sociales y/o el número de familias directamente beneficiadas por los proyectos entre 2 por ciento y 30 por ciento. Este efecto es menor cuando la limitación presupuestaria es flexible (hay más dinero para invertir) y donde los proyectos deben pasar una prueba de costo-beneficio más estricta. Crece según las limitaciones presupuestarias se ajustan y se relajan los criterios de costo-beneficio. Con un presupuesto ajustado y criterios menos permisivos para la calidad de proyectos, el manejo presupuestario descentralizado de proyectos permite que se construyan proyectos inadecuados en una subcuenca, aun si muchos mejores proyectos no se pueden construir debido la falta de recursos en otras subcuencas. Este efecto disminuye según se vaya aligerando la limitación presupuestaria porque tanto los proyectos buenos como los deficientes se construyen. También disminuye con una prueba más exigente de costo-beneficio equivalente a la tasa de retorno

del 6 por ciento (utilizando una tasa de descuento del 6 por ciento) que mantiene los beneficios de la política descentralizada dentro del 5% de la política centralizada. Sin embargo, con un presupuesto ajustado y una política de maximizar empleo (en vez de maximizar beneficios sociales) el manejo descentralizado reduce el número de familias que reciben riego en casi 20 por ciento.

Hay dos importantes precauciones con respecto a la generalidad de estos resultados. Primero, la política descentralizada simulada considera que las poblaciones de las subcuencas solamente podrían gastar su presupuesto en proyectos PMIC-Mizque. Si una mayor gama de proyectos hubiera estado disponible, incluyendo proyectos fuera del riego, los resultados podrían haber sido muy diferentes. Segundo, en la cuenca Mizque, ningún conflicto inter-cuencas emergió bajo ninguno de los escenarios. Si hubiera emergido un conflicto entre intereses aguas-arriba y aguas abajo, la necesidad de planificación de toda la cuenca hubiera sido mayor. En la cuenca Mizque el conflicto solamente existió sobre recursos financieros. Si hubiera surgido conflicto sobre el agua también, la dificultad en identificar intercambios entre políticas centralizadas y descentralizadas se hubiera hecho mucho mayor. Los modelos de optimización del tipo ilustrado en este estudio pueden ser herramientas muy útiles para explorar los beneficios relativos de políticas alternativas de descentralización limitadas; esto es, políticas que permiten toma de decisiones descentralizadas pero dentro del contexto de reglas establecidas por los principios de gestión de toda la cuenca.

**Efecto de la Incertidumbre Climática.** Pese a que la cuenca fluvial Mizque se encuentra en una macro cuenca considerada vulnerable al cambio climático, este estudio encontró que la inversión potencial de riego en la cuenca fluvial Mizque es robusta a los resultados climáticos. Este es el caso porque los principales problemas de vulnerabilidad están aguas arriba y se relacionan a la provisión de agua, saneamiento y amenazas de inundaciones y sequías. Este estudio sugiere que en la parte baja de la cuenca del Río Mizque, la pluviosidad anual permanecería como suficiente para casi todos los proyectos de riego identificados por el estudio PMIC-Mizque, asumiendo que se construya suficiente almacenaje como parte

50 Los beneficios sociales netos son iguales al valor presente neto sobre el horizonte de 50 años del ingreso neto de agricultores de nuevos cultivos en producción a través de riego, menos inversión y costos de mantenimiento de las nuevas estructuras de riego.

51 El objetivo de maximizar el número de familias beneficiarias no mira el costo económico y beneficios de los proyectos. Simplemente maximiza el número de familias que pueden tener riego en cada limitación presupuestaria y régimen de descentralización.

**TABLA 24 EL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN BENEFICIOS SOCIALES DEL PROGRAMA DE INVERSIÓN PRONAR EN LA CUENCA DE MIZQUE (6% TASA DE DESCUENTO, NPV EN \$ MILLONES)**

Escenarios Climáticos	Restricción de Presupuesto (\$ millón/año)					
	Presupuesto Centralizado y Administración			Presupuesto Descentralizado y Administración		
	6	4	2	6	4	2
Húmedos	15.7	15.6	15.3	14.6	14.0	12.6
Línea Base	15.5	15.4	15.1	14.4	13.8	12.4
Seco	15.0	14.9	14.6	13.9	13.3	11.9

del programa.<sup>52</sup> Setenta y cuatro proyectos potenciales fueron identificados por el estudio PMIC-Mizque en dieciséis de las veintidós subcuencas de la cuenca Mizque. De estas dieciséis subcuencas, solo tres experimentaron escasez de agua antes del 2050 — aún en el escenario “seco”. Dos de las subcuencas limitadas en agua contienen un total de tres proyectos potenciales — todos los cuales son viables y robustos bajo los tres escenarios climáticos. Esto deja ocho proyectos en la tercera subcuenca con limitación de agua (Tipajara) que son sensibles a incertidumbres climáticas. De estos, sólo un proyecto es robusto a los tres escenarios climáticos (a una tasa de descuento del 6 por ciento), con tres proyectos robustos a dos de los tres resultados climáticos.

Finalmente, es importante notar que la intención original fue utilizar el estudio de Bolivia para hacer un ejercicio mucho más ambicioso —utilizar el mismo modelamiento matemático para identificar la oportunidad económicamente óptima de los diferentes proyectos de adaptación, en diferentes sectores, todos en competencia de recursos de un presupuesto limitado. Cuando comenzó este ejercicio más ambicioso, el equipo se vio confrontado inmediatamente con un inmenso requerimiento de datos, incluyendo el costo de proyectos, y esto demostró no ser factible. El desafío de utilizar enfoques similares para determinar la oportunidad óptima de los proyectos de adaptación continúa en pie.

52 No fue posible hacer esta valoración como parte del estudio. El tema debería ser investigado en un trabajo futuro. El marco modelo de este estudio proporciona una herramienta ideal para esta investigación.

## Análisis del Modelo

### EL EFECTO DEL CLIMA EN EL PROGRAMA DE INVERSIÓN DE CUENCAS

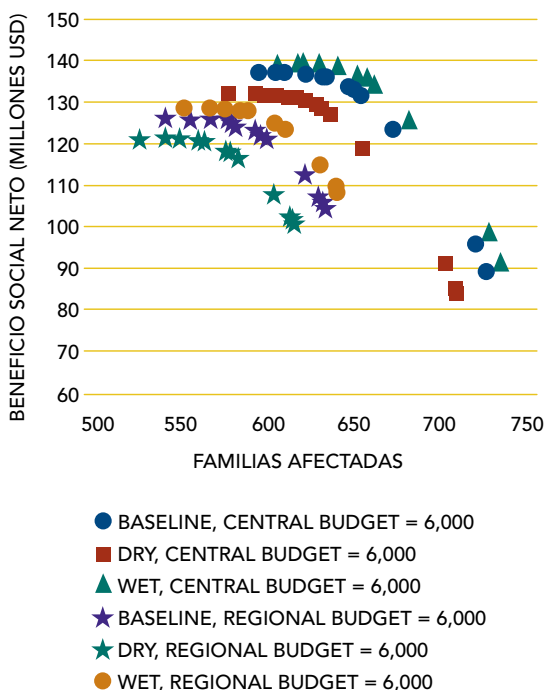
El efecto del cambio climático en los beneficios sociales del programa de inversión de cuencas PMIC-Mizque se muestra en la tabla 24 a continuación.

La Tabla 24 muestra el efecto de optimización de los beneficios sociales del riego en Mizque asumiendo un 6 por ciento de descuento en la tasa<sup>53</sup>. El efecto del escenario de clima seco es de reducir el valor del programa de inversión en 3 a 4 por ciento en todos los escenarios del presupuesto, mientras que el efecto del escenario húmedo es de aumentar los beneficios en 1 por ciento. La diferencia en los beneficios se debe al cambio climático, debido a la diferencia de disponibilidad de agua en la subcuenca de Tipajara, como se discute en la sección más abajo titulada “Cómo se pierde el Bienestar”

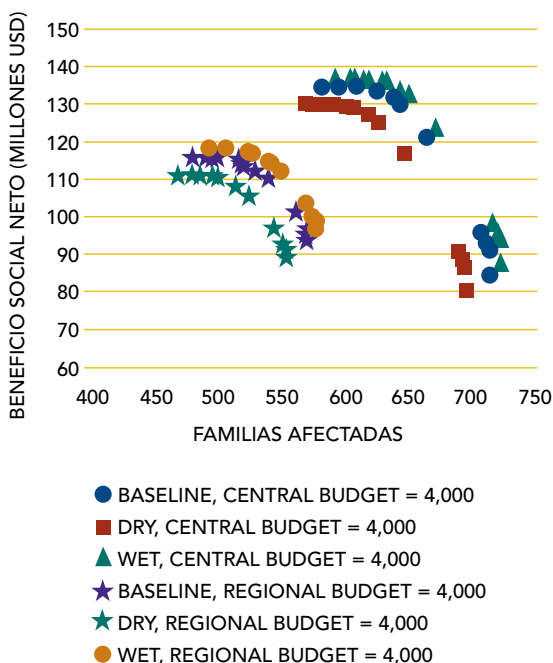
El efecto de políticas de descentralización, administración y presupuesto es considerablemente más importante que el cambio climático. Con una restricción de presupuesto de \$2 millones, el efecto significa reducir beneficios en las cuencas en 7 por ciento. Esta pérdida en beneficios crece a medida que la restricción presupuestaria se limita más.

53 El Valor Presente Neto (VPN) del programa de inversión es igual a la suma de todos los beneficios netos de cada año en los 50 años de horizonte de planificación descontados hacia atrás hasta el presente  $VPN = \sum_{t=1}^{50} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$  donde  $B_t$  y  $C_t$  representan los beneficios y costos de inversión y operación de sistemas de irrigación en cada año,  $t$  es el año (1–50), y  $r$  la tasa de descuento social aplicada.

**FIGURA 19 COMPENSACIÓN ENTRE BENEFICIOS SOCIALES FAMILIAS AFECTADAS (PRESUPUESTO ESTIMADO=\$6 MILLONES)**



**FIGURA 20 COMPENSACIÓN ENTRE BENEFICIOS SOCIALES Y FAMILIAS AFECTADAS (PRESUPUESTO=\$4 MILLONES)**



Con una restricción de \$6 millones anuales, la diferencia entre escenarios bajo políticas centralizadas y descentralizadas alcanza aproximadamente a 18 por ciento. Resultados similares se obtienen con una optimización al 0 por ciento de descuento, excepto por el efecto de administración descentralizada que es más pronunciado.

### EL IMPACTO DEL PRESUPUESTO, EL CLIMA Y LA POLÍTICA DE DESCENTRALIZACIÓN.

La figuras 19 a 21 muestran la relativa importancia del presupuesto, el clima y la política de descentralización. Para cada escenario, la curva (trazada por los símbolos) representa la mejor combinación posible de beneficios sociales y familias beneficiadas.<sup>54</sup> Por lo tanto, por ejemplo, la curva trazada por el diamante verde en la Figura 19 representa la mejor combinación de beneficios sociales y número de familias empleadas que se puede lograr bajo escenario de clima húmedo con una política de presupuesto centralizado y con un presupuesto de \$ 6 millones por año. El triángulo superior izquierdo representa los beneficios sociales más altos alcanzables bajo este escenario, sin dar ponderación al número de familias alcanzadas. Esto está ligeramente bajo \$140 millones en beneficios sociales y aproximadamente 62,000 familias beneficiadas. Por otro lado el triángulo inferior derecho representa la combinación de beneficios sociales y familias beneficiadas que se ganarán sin dar ponderación a beneficios sociales enfocándose exclusivamente en el número de familias. Por lo tanto, como se muestra en la figura, si uno maximiza sólo el número de familias beneficiadas y no pondera los beneficios sociales económicos, el número de familias beneficiadas con el nuevo proyecto de irrigación PMIC-Mizque sería de aproximadamente 74,000 familias con beneficio social de un poco mas de \$90 millones. Entre el punto que maximiza beneficios sociales en la parte superior izquierda y el que maximiza alcance de familias en la inferior derecha se encuentran los otros puntos en la curva generando la “frontera de posibilidades” de la mejor combinación de familias beneficiadas y beneficios sociales (en clima húmedo, políticas presupuestarias centralizadas y escenario de \$6 millones de presupuesto)

<sup>54</sup> Es importante anotar que estos gráficos están mostrados en términos sin descuento, y que el Valor Presente Neto muestra la simple suma de 50 años de costo y beneficio de los proyectos incluidos en la solución

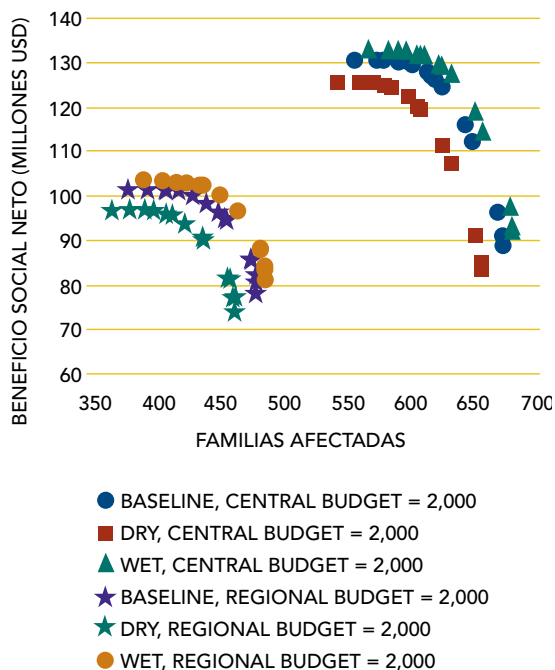
Las Figuras 19, 20 y 21 trazan similarmente la frontera de posibilidades para escenarios secos, húmedos y línea base para ambas políticas presupuestarias, centralizada y descentralizada, para un total de 6 escenarios en cada figura. La figura 19 muestra la “frontera de posibilidades” para una asignación presupuestaria de \$6 millones por año, mientras que las Figuras 20 y 21 hacen lo mismo para presupuestos de \$4 millones y \$2 millones respectivamente. Mirando las 3 figuras, dos puntos importantes emergen. Primero, a pesar del régimen climático, la administración centralizada de cuencas rinde mayores beneficios sociales nacionales y un número más grande de beneficiarios directos que un régimen descentralizado. Nótese por ejemplo que en cada figura la frontera de posibilidades para los tres escenarios climáticos para el régimen centralizado está siempre encima y a la derecha (mayor beneficio social y más familias beneficiadas) de la frontera de posibilidades que el régimen de descentralización. En otras palabras aunque uno quisiera maximizar beneficios sociales o número de familias recibiendo beneficios de riego, la planificación de toda la cuenca siempre rendirá mayores beneficios que los de presupuesto descentralizado, y el efecto de esta política es más importante en magnitud que el efecto de cambio climático.

Segundo, este efecto se vuelve más pronunciado a medida que los recursos se vuelven más limitados. Esto se puede ver comparando la Figura 19 (basada en un presupuesto de \$6 millones por año) con la figura 21 (mostrando un presupuesto de \$2 millones al año). Con un presupuesto de \$6 millones anuales, la diferencia en el máximo de beneficios sociales entre régimen centralizado y descentralizado (para un régimen climático dado) es típicamente de \$10 millones; para el presupuesto de \$2 millones, la diferencia se vuelve \$30 millones<sup>55</sup>. Similarmente, para el número de familias potencialmente afectadas, la diferencia en beneficiarios entre los dos regímenes políticos crece de 100,000 familias con \$6 millones de presupuesto a 150,000 familias con \$2 millones de presupuesto.<sup>56</sup>

55 Esto compara la distancia vertical entre cada punto izquierdo superior en cada escenario climático.

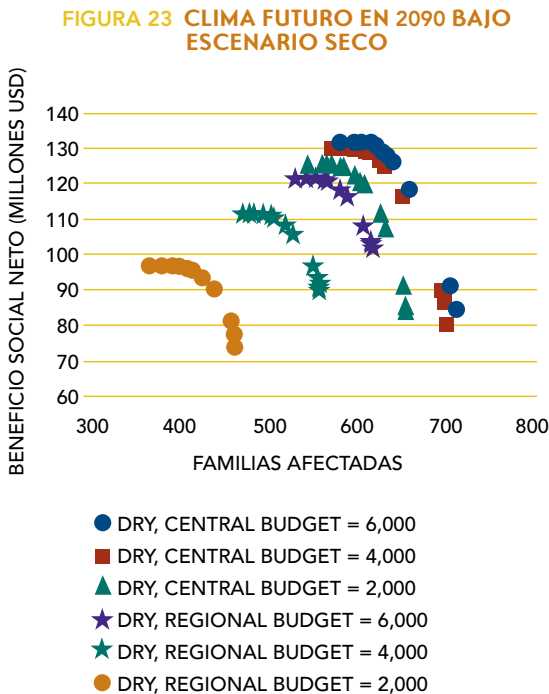
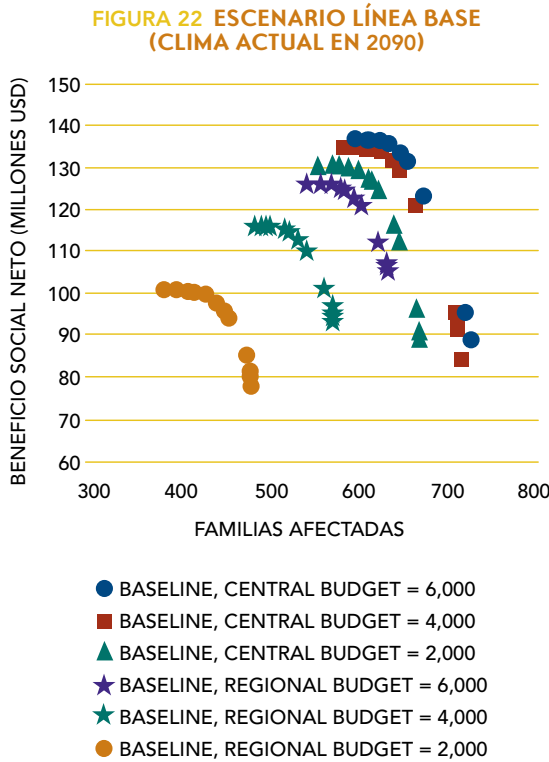
56 Esto compara la distancia horizontal entre cada punto izquierdo superior en cada escenario climático.

**FIGURA 21 COMPENSACIÓN ENTRE BENEFICIOS SOCIALES FAMILIAS AFECTADAS (PRESUPUESTO=\$2 MILLONES)**



Las Figuras 22 y 23 muestran la importancia relativa de la política, los recursos presupuestados, el clima para línea base y los escenarios climáticos secos. Para ambos escenarios todas las preferencias presupuestarias centralizadas producen mayores beneficios que las preferencias presupuestarias descentralizadas. Esto es, incluso el presupuesto de \$2 millones por año, administrado mediante presupuesto centralizado de cuencas produciría mayores beneficios que \$6 millones presupuestados por año administrados por el nivel de subcuenca. Comparar las dos figuras permite una idea del efecto de restricción presupuestaria. Por ejemplo, para mantener los \$130 millones en beneficios sociales alcanzables bajo el clima actual (Figura 22) con \$2 millones por año de restricción de presupuesto se requeriría \$4 millones por año bajo régimen climático “seco” (Figura 23).

Se debe notar, sin embargo, que esto no significa que el costo de mantenimiento de \$4 millones de beneficios sociales bajo escenario “seco” sería el doble del costo



que el escenario de línea de base. El presupuesto restringe la asignación presupuestaria anual (que puede ser gastada o ahorrada), no el total que puede ser gastado durante los 40 años de horizonte de inversión. De hecho, el total descontado de inversión en construcción y reacondicionamiento de proyectos de irrigación fue esencialmente igual para el programa óptimo, bajo los dos escenarios climáticos.

La diferencia es que para adecuar beneficios bajo los dos escenarios se requiere que el escenario seco produzca riego adicional significativo al principio del periodo. Este riego adicional al inicio del periodo compensa el riego perdido al final del periodo, sin embargo permite que los beneficios sean igualados entre escenarios de línea base y secos. Para poder hacer esta irrigación temprana, la restricción presupuestaria debe ser suavizada para el escenario “seco”.

## Como se pierde el Bienestar

Nótese que la pérdida de Bienestar bajo el escenario de clima seco (como es captado en este estudio) es por el potencial de riego reducido en la subcuenca de Tipajara. La Figura 24 muestra el camino de desarrollo del riego en las subcuencas (bajo los 3 escenarios climáticos).

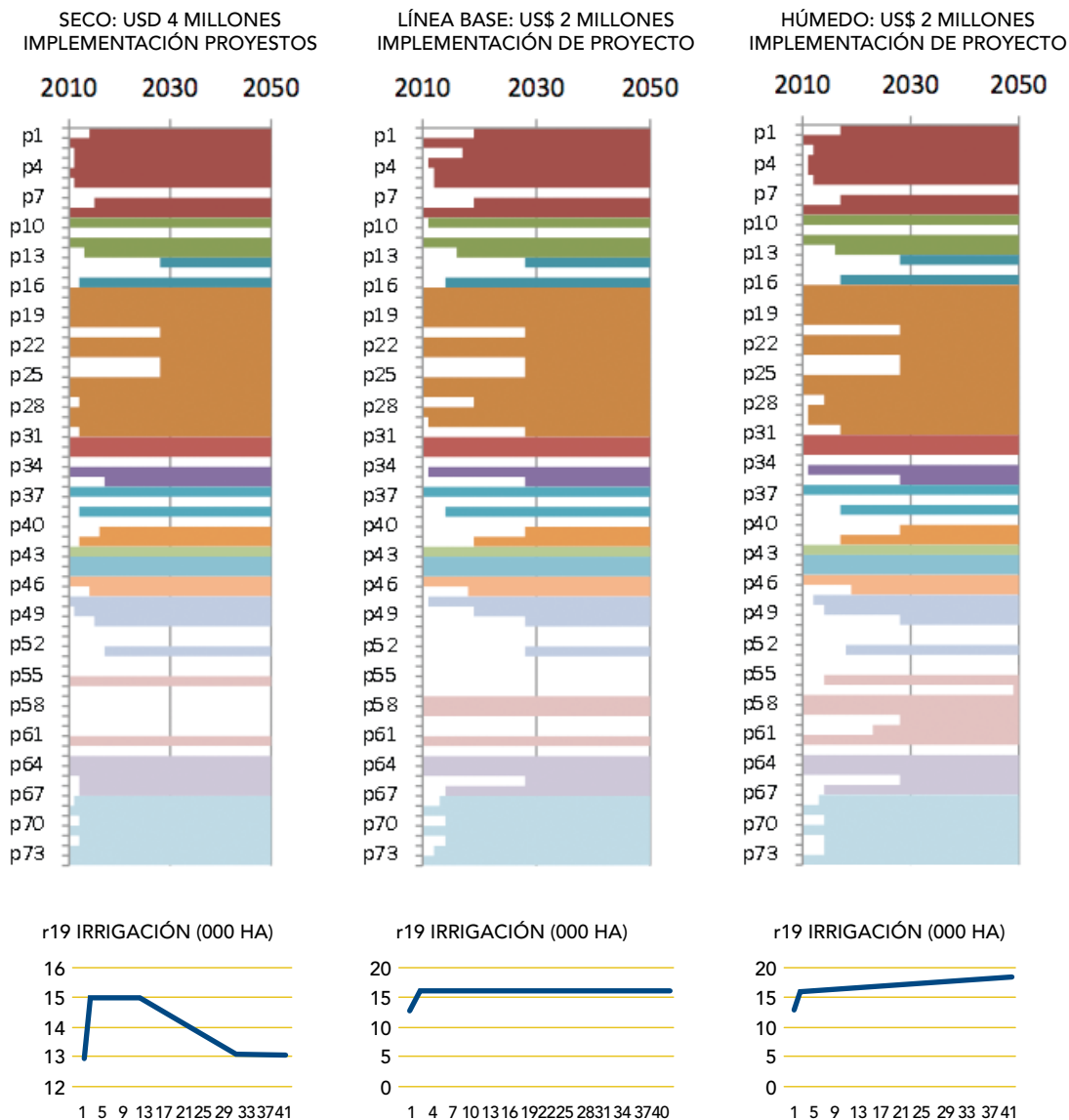
Bajo escenarios de “Línea Base” y “Húmedo” con \$2 millones de presupuesto (anual) las autoridades construirán inmediatamente 3 proyectos, Montecillos (p58), Puca Pila (p59), y Tipa Tipa (p62) (nótese que los proyectos p55–p62 están en la subcuenca 19) incrementando el área de de 13,000h a 16,000h. Bajo el escenario de clima húmedo se construyen proyectos adicionales mediante el periodo de 50 años, posibilitado por disponibilidad adicional de agua. Bajo el régimen de clima seco por otro lado, dos proyectos se construyen —Tipa Tipa (p62) y Kurumayu (p56).

Mientras estos proyectos inicialmente incrementan el área de riego a 14,000 hectáreas, empezando el 2021 la escasez de agua impide la operación a capacidad total de los dos proyectos como se muestra en la Figura 25.

La Figura 25 muestra la evolución de los proyectos 56 y 62 bajo escenario seco. Mientras que la disponibilidad actual de agua permite a los dos proyectos operar

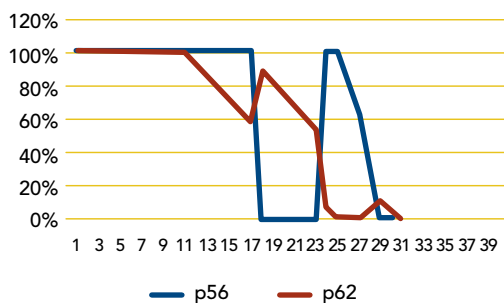


**FIGURA 24 CÓMO SE RESTAURA EL BIENESTAR SOCIAL (ADMINISTRACIÓN CENTRALIZADA, o% DESCUENTO)**



BENEFICIOS TOTALES DEL PROGRAMA			
<i>Beneficios sociales (número de proyectos)</i>	130	130	133
<i>Familias (número de personas)</i>	568,566	552,475	569,466
<i>Área irrigada (has)</i>	1,134,821	1,105,123	1,122,771

**FIGURA 25 CAPACIDAD DE UTILIZACIÓN DE PROYECTOS 56 Y 62 BAJO ESCENARIO SECO**



a capacidad total, la escasez empieza a emerger en el año 11 (2021) cuando por lo menos uno de los proyectos se ve forzado a reducir su área de riego. La capacidad máxima “boom-bust” de utilización producida por el modelo ilustra dramáticamente el potencial de un serio conflicto de agua. Buenas instituciones podrían asegurar una división más equitativa de agua — una transición suave a otro empleo. Nótese que el año 31 el proyecto creado por el programa se ha quedado sin agua.

## Cómo se Restaura el Bienestar

Es importante entender en detalle cómo se restaura el Bienestar mediante incremento de presupuesto para proyectos de riego. Como será mostrado, el sentido en el que el “bienestar es restaurado” es bastante estrecho. En la Figura 26, el nivel de beneficios de la cuenca de Mizque será restaurado mediante la suavización de la restricción del presupuesto de (US\$2 millones a \$4 millones) para el escenario seco.

Un presupuesto más relajado permite el desarrollo del riego más rápido en las subcuencas que no experimentan escasez de agua. Mediante la implementación de proyectos, los beneficios tempranos del proyecto están disponibles para más años, compensando (en términos numéricos) las pérdidas acumuladas en la subcuenca Tipajara del 2021 en adelante.

Comparando la implementación de proyectos a través de los tres regímenes climáticos (Figura 26) se muestra que, para compensar, los proyectos en cuencas secas se implementan antes que los proyectos de cuencas de línea base.

Para que estos beneficios actualmente se transformen en beneficios de restauración para los habitantes de la subcuenca de Tipajara, sin embargo, se requerirá de innovaciones institucionales significativas.

## El Efecto de Descontar

El análisis de líneas arriba fue realizado en términos no descontados, esto significa que los beneficios futuros y costos recibidos ponderados son iguales a beneficios y costos actuales. El efecto más importante de imponer una tasa de descuento mayor a 0 es de excluir a todos los proyectos para los que el IRR está bajo esa tasa de descuento. Este concepto es especialmente importante para evaluar qué recursos serán mejor gastados en el desarrollo de sistemas de riego en la cuenca del Mizque o gastados en algún lugar de la sociedad boliviana. Para el propósito de este estudio hemos asumido que el costo capital de oportunidad social es igual a 6 por ciento.

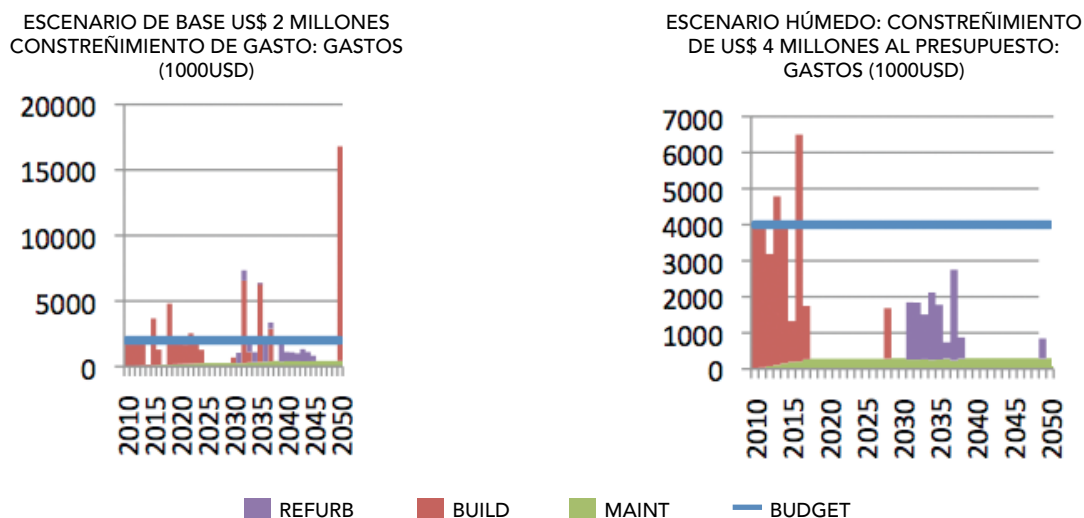
### ¿CÓMO DESCONTAR CAMBIA EL ANÁLISIS DE DESARROLLADO ANTERIORMENTE LÍNEAS ARRIBA?

Como se muestra en la figura 18, requerir un 6 por ciento de tasa de retorno de los proyectos, reduce el número de proyectos elegibles a 47. Esto se puede ver mediante la comparación del número de proyectos implementados en las Figuras 24 y 27.<sup>57</sup> Eliminando proyectos con un IRR de menos de 6 por ciento disminuye casi a la mitad a ambos, el número de familias atendidas por riego adicional y el número de hectáreas adicionales bajo riego.

A pesar del número reducido de proyectos elegibles, ahora toma un flujo de caja más rápido al principio del periodo para construir los proyectos necesarios y para compensar

<sup>57</sup> Como se indica arriba, la lógica de usar este descuento sería que a la tasa de 6 por ciento, los recursos de inversión generarían más beneficios sociales si están invertidos fuera de la Cuenca de Mizque.

**FIGURA 26 CASH FLOW OF INVESTMENT PROGRAMS HAVING EQUAL SOCIAL BENEFITS (DRY SCENARIO, 0% DISCOUNTS)**



las pérdidas por cambio climático que reducen la disponibilidad de agua — \$6 millones comparados a \$2 millones con 0 por ciento de descuento como en el caso analizado líneas arriba<sup>58</sup> (Figura 27). Este (probablemente de forma poco realista) requiere 37 proyectos a construirse el primer año y los demás el segundo año.

El propósito primario de este análisis es demostrar la utilidad de un enfoque de optimización inter-temporal para análisis de inversión bajo cambio climático. Claramente, será necesario hacer más modificaciones antes de que este modelo pueda ser empleado por autoridades de Planeamiento. Primero, es necesario mayor análisis para muchos de los proyectos. El Plan de Estudio Hidrológico de Mizque (Anexo 3) documenta el estatus actual de la preparación del proyecto, para estos proyectos. La mayoría son ideas propuestas, sin estudio o diseño de factibilidad completo y final. Además, como mencionamos anteriormente, no está claro si es que será necesario más almacenaje para estos proyectos de riego, o si es que hay suficiente almacenaje incluido en el diseño actual. Segundo, el

tratamiento climático puede ser mejorado. Debido al tiempo limitado, el cambio climático fue incorporado en el modelo mediante extrapolación lineal de la proyección 2010–50 hacia 2090.<sup>59</sup> Un tratamiento más sofisticado del periodo 2050–90 deberá ser garantizado en trabajos futuros. Finalmente, sería interesante investigación adicional sobre la restricción presupuestaria. La restricción presupuestaria empleada (\$2, \$4, y \$6 millones anuales) probablemente permite un número irrealista de proyectos que pueden ser construidos en un año, fallando al no tomar en cuenta la capacidad de implementación de los mismos. Otros análisis posteriores deberán explorar también la implementación así como las restricciones financieras.

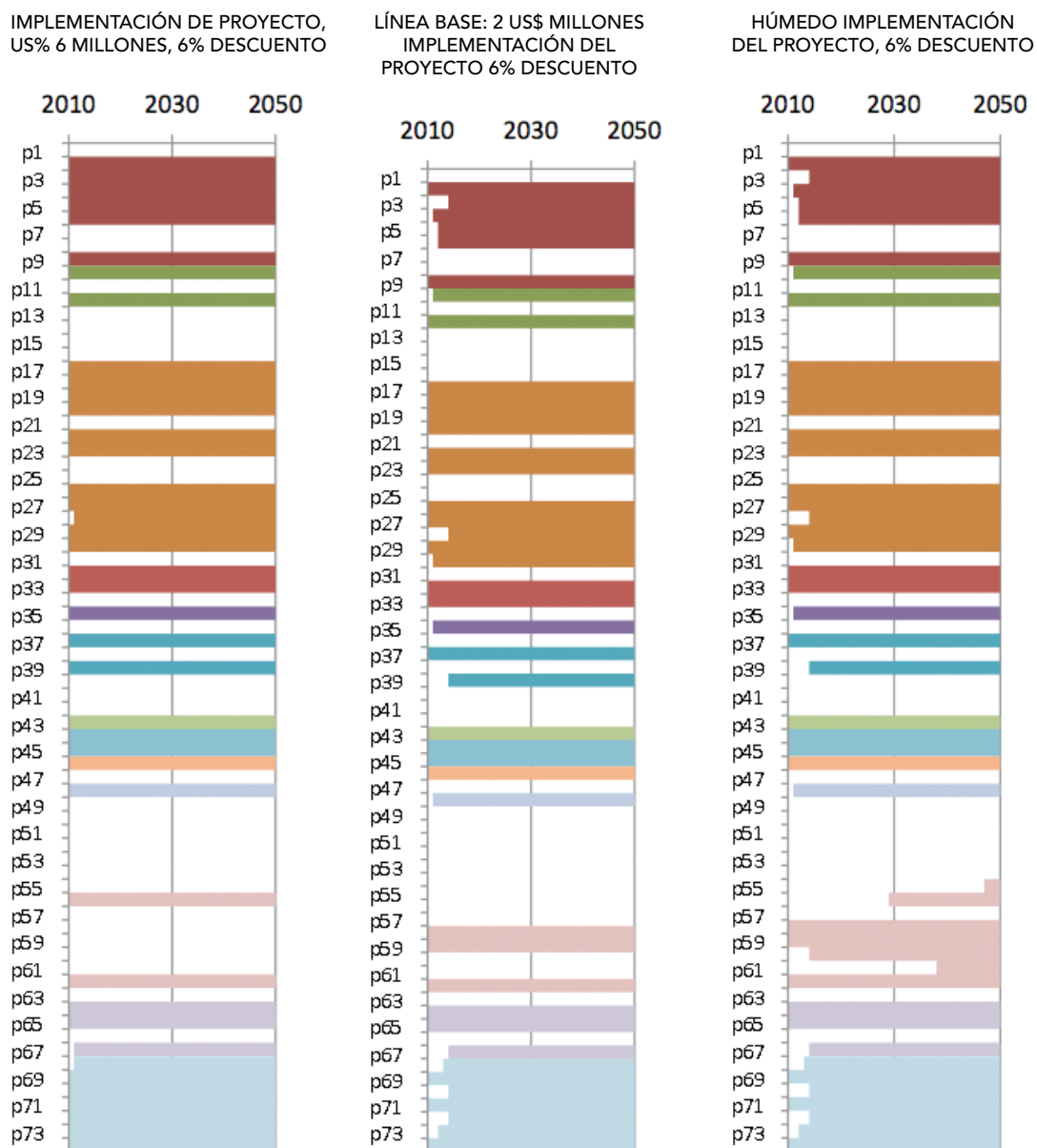
#### ***Limitación inherente al análisis económico del cambio climático.***

Otras limitaciones, inherentes a cualquier análisis económico del cambio climático, están resaltadas por el estudio país. La más importante es la noción de

58 Como se muestra en la figura 11 con una tasa de descuento de 6 por ciento, \$6 millones de presupuesto en el escenario seco producen aproximadamente los mismos beneficios sociales que \$2 millones de presupuesto en el escenario de Línea Base (VPN de 15.0 vs. 15.1)

59 Como se indica arriba, aunque el Estudio ha investigado la inversión solo hasta el 2050, fue necesario tener un horizonte hasta el 2090. Sin un horizonte de tiempo más amplio no se construirían proyectos en la mitad de temporada del horizonte de 2050—debido a que los beneficios se acumularían más allá del horizonte.

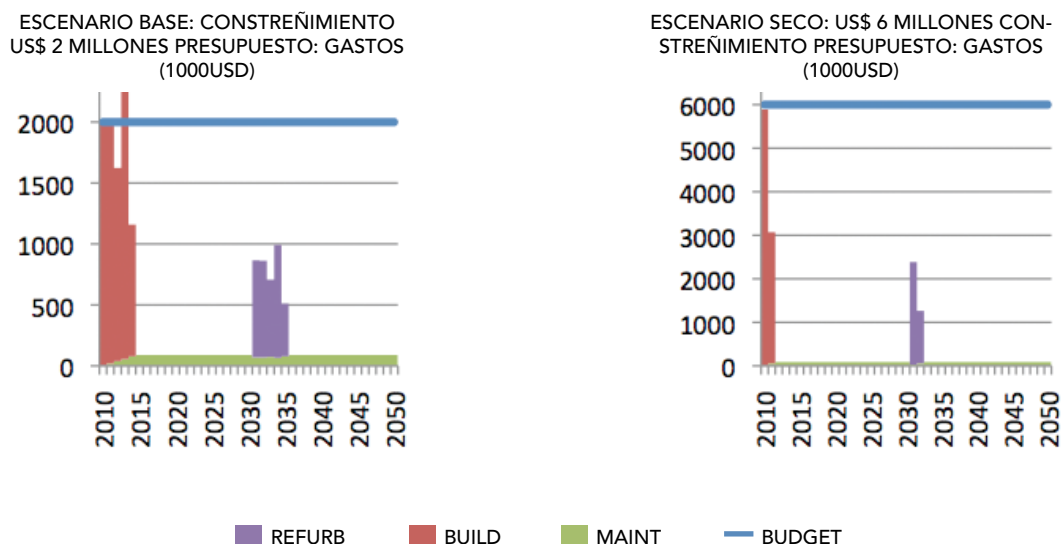
FIGURA 27 RESTAURANDO BIENESTAR (ADMINISTRACIÓN CENTRALIZADA, 6% DESCUENTO)



## BENEFICIOS TOTALES DEL PROGRAMA

<i>Beneficios sociales (número de proyectos)</i>	15.0	15.1	15.3
<i>Familias (número de personas)</i>	277,618	287,387	298,479
<i>Área irrigada (has)</i>	644,324	659,195	674,777

FIGURA 28 FLUJO DE CAJA DE PROGRAMAS DE INVERSIÓN CON BENEFICIOS SOCIALES IGUALES



compensación. Este estudio ha tomado el Bienestar en la cuenca de Mizque durante el periodo 2010–20 como la unidad de análisis. Ha restaurado pérdidas en Bienestar causadas por cambios climáticos mediante la provisión de financiamiento adicional para construir riego adicional. Mientras este riego adicional era construido en la cuenca de Mizque, almacenajes de aguas emergentes fueron construidos con anterioridad y en áreas que no sufrían de escasez de agua. Para que esta compensación llegue actualmente a las familias afectadas por escasez de agua, se necesita que se instituyan mecanismos para ya sea mover las familias a áreas beneficiosas o mover beneficios a las familias afectadas. Lo que realizó este estudio fue identificar la población vulnerable (que reside en la subcuenca Tipajara) e identificar cómo, mediante construcción adicional de proyectos de riego, la cuenca de Mizque puede mantener su potencial de productividad en el horizonte de tiempo. Lo que no pudo hacer el estudio es identificar el mecanismo mediante el cual la cuenca de Mizque compense a la población directamente afectada.

Es bueno mencionar, por ejemplo, que (para maximizar beneficios sociales del riego) el modelo invierte en

dos proyectos en la subcuenca de Tipajara en 2011 solo viéndolos como escasez recién el 2021. Habiendo identificado que la población en la subcuenca de Tipajara es vulnerable a escasez, una política más a futuro deberá buscar alternativas de riego para esta población en vez de hacer ganancias con nuevos proyectos a corto plazo insostenibles (aunque sean rentables).

## CONCLUSIONES PARA HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

Específicamente, el estudio investigó el efecto del cambio climático en un programa de desarrollo de riego en la cuenca de Mizque en Bolivia. Varias conclusiones emergen. Primero, el efecto del cambio climático sobre el desarrollo del riego aparentemente modifica el plan original de desarrollo, en particular para la subcuenca de Tipajara. Esta inversión debe ser considerada debido a un déficit de agua estimado para el 2021. Segundo, bajo el peor escenario (seco) el efecto de cambio climático en esta subcuenca reduce el retorno del potencial del programa de inversión de PRONAR por aproximadamente 3 por ciento, y tercero, esta



reducción es menor de la que ocurriría si las decisiones de inversión se descentralizan a nivel subcuenca que a nivel de la cuenca en general.

El estudio ha identificado la población más vulnerable, y cómo restaurar beneficios a nivel de cuencas hacia su nivel de línea base (sin cambio climático) mediante inversión acelerada. Mientras que sí se resalta el problema de la población vulnerable, este estudio no ha identificado mecanismos para asegurar que los beneficios adicionales de cuencas lleguen directamente de los almacenajes a aquellas personas necesitadas. Este problema es inherente a, y es una importante limitación de, los estudios económicos que agregan a través de espacio y tiempo. Mientras mayor sea el nivel de agregación, mayor se vuelve el problema.

El Estudio ha ilustrado las ventajas y desventajas de este tipo de modelos de planificación para análisis de cambio climático. Las mayores ventajas son que permiten una comparación detallada de inversiones alternativas y el potencial efecto de cambio climático en las mismas— y lo hace con un marco de inter-temporalidad óptimo (planificación).

Aunque no está completamente explorado en este estudio, debido a la naturaleza relativamente simple de las restricciones de aguas que emergen del estudio (efectivamente restringido a una subcuenca), el método también permite explorar la robustez de las estrategias alternativas de inversión ante posibles resultados climáticos. Para muchas aplicaciones la viabilidad de explorar la robustez es crítica, especialmente en vista de la

incertidumbre sobre posibles resultados climáticos. Modelos de optimización del tipo ilustrado en este estudio también pueden ser herramientas extremadamente útiles para explorar los beneficios relativos de políticas de descentralización de restricción alternativa; éstas son políticas que permiten la toma de decisiones descentralizadas, pero dentro del contexto de reglas establecidas por principios amplios de administración de cuencas. La mayor desventaja es que requieren buen nivel de datos de proyectos y buena caracterización del efecto de cambio climático en proyectos, los que no están generalmente disponibles.

Dudamos que haya una manera seria de mejorar la calidad de la planificación de inversión a largo plazo bajo incertidumbre sin la calidad de datos que estuvieron disponibles para este estudio, sin embargo, este es un argumento para muchos estudios preliminares de inversión del tipo que hace Pronar y Cedeagro en el estudio PMIC-Mizque, y que fueron la base para este trabajo actual.





# Conclusiones Generales y Lecciones Aprendidas

## Dimensiones Sociales del Cambio Climático

Las Comunidades Rurales e indígenas tienen una larga y rica historia de observación sistemática del clima; en efecto, su supervivencia depende de esta capacidad. El cambio climático y la variabilidad climática creciente significan que muchos de los indicadores climáticos utilizados por estas comunidades se están tornando en menos efectivos. Sin embargo, los talleres con comunidades demostraron que debido a la inhabilidad creciente de predecir patrones climáticos, las personas necesitan de nuevos indicadores para diagnosticar y predecir variabilidades futuras. En base a las observaciones climáticas de los pasados veinte a treinta años, todos los miembros de las comunidades que participaron en el estudio creen que los escenarios climáticos futuros serán caracterizados por altas temperaturas, escasez de agua, lluvia irregular, y una época de lluvias corta pero muy intensa.

Las comunidades en los valles y Altiplano ponen la mayor prioridad en medidas de adaptación relacionadas con la administración del agua, seguidas por la agricultura mejorada y las prácticas de ganadería. Ven a la sequía como principal amenaza a su forma de vida. En contraste, las comunidades del Chaco y de las regiones de los llanos reafirman que las prácticas de agricultura son más importantes y consideran a las medidas de administración del agua como de importancia secundaria. En el Anexo 5, un análisis de la dimensión social provee más detalle de las medidas de

adaptación priorizadas por tipo y comunidad. Además, los resultados demuestran que las comunidades ven las estrategias de adaptación no como medidas únicas ni como proyectos singulares, sino más bien como un conjunto de medidas complejas que comprenden medidas suaves y duras. La Inversión en infraestructura será insuficiente si no se llevan a cabo esfuerzos complementarios para promover capacidad de construcción, desarrollo institucional y en muchos casos transformación fundamental de la lógica subyacente y estrategias de sustento. En particular, la adaptación de estrategias podría implicar mayores cambios al sistema de producción que necesita también ajustes tecnológicos y organizacionales apropiados.

Por esta razón, es esencial entender estas medidas de adaptación como una jerarquía con un orden específico de ejecución, ya que algunas estrategias dependen de la implementación sostenible de otras.

Las siguientes lecciones para elaborar políticas de adaptación, pueden ser extraídas de los resultados de la investigación a nivel comunidad:

**Las estrategias pasadas de sobrevivencia y prácticas de adaptación a la variabilidad climática y eventos extremos contienen lecciones valiosas para la planificación de adaptación en el futuro** y deberán formar la base de formulación de políticas de adaptación. Parece esencial combinar conocimientos tradicionales con nuevos métodos. La adaptación al cambio climático no es algo nuevo para comunidades indígenas; ellos han

desarrollado sistemas de sustento en línea con los cambios y el medioambiente dinámico. Al mismo tiempo las autoridades locales y comunidades podrían carecer de nuevos conocimientos técnicos necesarios para mejorar la resiliencia al cambio climático. Una mayor provisión de información e iniciativas de construcción de capacidades sobre el impacto del cambio climático y políticas de adaptación, son medidas significativas para el incremento de la capacidad adaptativa de autoridades locales, expertos técnicos y miembros de la comunidad por igual.

**Es necesario planificar a través de distintas escalas de gobernabilidad, alineando intereses, y asegurando políticas de cohesión para asegurar una adaptación efectiva, particularmente dado al sistema único de descentralización de Bolivia.** La identificación y priorización de medidas de adaptación es un proceso complejo y delicado, frecuentemente basado en frágiles negociaciones a nivel local, que depende de varias fuentes de información. Consecuentemente, las políticas de adaptación deben ser definidas de forma participativa respetando los procesos existentes a nivel local, que definen las prioridades de inversión. Será esencial captar efectivamente a miembros de la comunidad, así como autoridades locales, en el desarrollo y adaptación del proceso de planificación. Por ejemplo, es necesario planificar a través de todos los estratos de gobernabilidad para la formulación de un marco normativo, claro y eficiente, que pueda apoyar los esfuerzos de la comunidad para regular accesos a forestación y pastizales. La colaboración y coordinación con instituciones locales, organizaciones privadas y organizaciones de productores, incrementará la efectividad de las políticas de adaptación.

Las inversiones Municipales son identificadas y priorizadas en las comunidades y talleres municipales en los cuales la sociedad civil toma las decisiones. La priorización de inversiones públicas a nivel de las comunidades es compleja y modelada por las dinámicas de poder, lo que resulta en un frágil proceso de negociación que puede ser fácilmente desestabilizado por intervenciones externas. Por lo tanto, es importante **respetar prácticas comunitarias existentes que guiarán la priorización de la inversión, podrá ayudar a facilitar el desarrollo de políticas robustas para la adaptación.**

## Agricultura

Aunque los modelos de cultivos y modelos climáticos representan una simplificación excesiva de los sistemas naturales— y por lo tanto, deben ser interpretados como tal— son las herramientas más utilizadas en la actualidad para evaluar efectos en tendencias y potencial debido a cambios climáticos. Bajo la suposición específica de este estudio, los efectos del cambio climático —un incremento en la variabilidad de lluvias y periodos e incidencia de sequías— podrían tener implicaciones importantes en los sistemas productivos de quinua, maíz, soya, y papa. Estos cambios esperados pueden tener implicaciones importantes para la sostenibilidad del futuro de la agricultura en Bolivia.

La inversión en mejor gestión de aguas aumentará la resiliencia de la agricultura de Bolivia tanto ante los cambios sistemáticos en niveles de lluvias anuales, como ante la mayor volatilidad de año en año en los patrones de lluvia.

Dicha inversión sería deseable bajo la mayoría de las estrategias de desarrollo dentro de un clima estable, de modo que el cambio climático probablemente refuerce los beneficios de dichas inversiones. Se aplican observaciones similares a otras inversiones como la infraestructura rural, particularmente para caminos que pueden mejorar accesos a mercados en áreas de cultivos existentes y nuevos. En ambos casos el nivel y ubicación de la inversión debe tomar en cuenta los cambios de ventajas agrícolas comparativas dentro del país, de modo que las inversiones sean asignadas para cumplir con los futuros patrones de producción y no basarse en patrones históricos.

Los análisis de efectos potenciales del cambio climático sobre el rendimiento de cultivos revelaron resultados mixtos. Bajo un escenario seco, se espera que los rendimientos disminuyan si los requerimientos adicionales resultantes de mayores temperaturas no son cubiertos y si no se cubren los requerimientos adicionales de agua resultantes de aumentos de temperatura. Los resultados del estudio sugieren que cosechas de bajas alturas (principalmente maíz y soya) enfrentarán disminución de rendimientos de hasta 40%. Bajo un escenario húmedo con temperaturas que incrementan, el análisis

de impacto y vulnerabilidad del cambio climático en los cuatro cultivos sugiere que la productividad de las cosechas puede incrementar significativamente; sin embargo estos resultados no toman en cuenta la posibilidad de eventos como plagas, largos periodos de sequía e inundaciones de terreno.

El incremento proyectado de temperatura también puede ser una oportunidad para mejorar la productividad si hubiera agua disponible en los periodos fenológicos críticos de los cultivos. Las mejoras en riego pueden proveer la cantidad apropiada de agua necesaria en periodos de incremento de déficits de agua y pueden ser consideradas como una estrategia de adaptación apropiada a condiciones de cambio climático. Bajo dicho escenario, los rendimientos de maíz y soya pueden incrementarse de 40 a 45 por ciento, y la producción de quinua y papa pueden incrementarse de 60 a un 90 por ciento. Las pérdidas esperadas de producción por clima seco son más bajas que las ganancias por un clima más húmedo y caliente.

Las pérdidas potenciales por un clima más seco están proyectadas en aproximadamente 25 por ciento para maíz, 10 y 15 por ciento para soya, papa y quinua. Estos resultados están generados por los beneficios de agricultura en un clima más cálido y libre de heladas. Se sugiere que la implementación de irrigación rápida y a tiempo (por lo menos en la fase inicial de desarrollo de cultivos) sería aún más atractiva bajo un escenario de cambio climático. Estas acciones, junto con planes de seguros de cosechas, están empezando a ser consideradas dentro del Plan Nacional de Desarrollo (2010–15).

La diversidad de los ecosistemas y características socioeconómicas de los agricultores en Bolivia implica que cualquier medida de adaptación necesita ser evaluada en relación a su ambiente productivo. En el pasado, los agricultores cuyo sustento estaba basado en agricultura a secano se adaptaron autónomamente en una variedad de formas incluyendo construcción de sistemas de riego a microescala e infraestructura de defensa para lidiar con inundaciones; cambiar a nuevas variedades de cultivos; convertir el uso de tierras para ganadería en tierras para cultivos; recurriendo a migración laboral temporal y entrando en el sector de servicios. Los agricultores de subsistencia con bajas

capacidades de adaptación tienen menos posibilidades de adaptarse debido a la carencia de recursos.

Los tomadores de decisiones necesitan crear estrategias de adaptación que incluyan medidas a mediano y largo plazo aunque requieran grandes inversiones por adelantado. La introducción de nuevas variedades de cultivos y mejor administración de variedades existentes es importante para el crecimiento de resiliencia del sector agrícola hacia cambios climáticos. La sostenibilidad de esta estrategia dependerá de la implementación exitosa de una investigación nacional de agricultura, servicios de extensión y de mejorar el acceso de los agricultores a mercados de insumos y productos agrícolas, crédito, seguro agrícola, etc. Hay también necesidad de mejorar las habilidades para generar ingresos (sustento alternativo) y mejorar accesos a préstamos y microcrédito. Discusiones de grupos focales y talleres comunitarios revelan que miembros de la comunidad creen que la adaptación no es sólo de inversión en infraestructura; adicionalmente, la adaptación requiere construcción de capacidades, desarrollo organizacional y usos de tecnología. Será crucial dar apoyo para cambios sustanciales en sistemas y prácticas de forma de vida—tales como cambiar de riego por lluvia a sistemas de irrigación y de ganadería libre a ganadería controlada.

Por consiguiente, aunque los servicios de extensión de agrícola y las medidas para incrementar acceso a mercados requieren de una inversión significativa, pueden ofrecer beneficios sociales y ambientales sostenibles a largo plazo. La implementación de opciones de adaptación como ser seguros de agricultura o acciones para aumentar el acceso a mercados diferirán dependiendo de la estructura y tamaño del sistema de agricultura. El enfoque de implementación de éstas en áreas como el Altiplano, donde las familias de pequeños productores son mayoría, será diferente de aquellos enfoques apropiados para áreas como Santa Cruz donde la mayor parte de la producción es de productores a gran escala. Todos los modelos de agricultura para los diferentes cultivos sugieren que la viabilidad de agua es crucial para incrementar la resiliencia a los cambios climáticos en el sector. La evaporación incrementada (causada por altas temperaturas), las precipitaciones más irregulares (épocas de lluvias más cortas e intensas así como calor intenso), y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (sequías e inundaciones) enfatizan la

necesidad de inversión en almacenaje de agua y riego para una reducción de la vulnerabilidad climática de la agricultura a secano, en un escenario climático tanto seco como húmedo pero inestable.

## Recursos hídricos

El agua es considerada como uno de los sectores más vulnerables que requerirán inversiones adicionales (para mitigar inundaciones y sequías) mediante medidas ‘duras’ (represas e infraestructura de riego) y ‘blandas’ (construcción de capacidades, educación y servicios de extensión). La inversión en recursos de agua debe hacerse a medida para mejorar la planificación y administración a nivel de cuencas, ya que existe una gran necesidad de mejorar la capacidad de almacenaje de agua para utilizar el excedente de agua de los meses y años húmedos. Las mejoras en acceso de agua e irrigación incrementan resistencia a sequías en las épocas de siembra, son robustas a través de escenarios climáticos, y más que todo duplican el promedio de rendimiento de los principales cultivos de la región. El análisis costo-beneficio de proyectos de riego en la región, sugiere que la mayor parte de las irrigaciones son oportunidades de inversión económicamente viables en ambos escenarios “con y sin” cambio climático. Esto lleva a concluir, que claramente la adaptación en Bolivia debe ir de la mano con el desarrollo. Aunque el enfoque sea mayormente económico, los temas políticos e institucionales juegan un rol central en comprender e identificar soluciones a algunos de los mayores retos de la adaptación. Sin mejoras fundamentales en las políticas e instituciones financieras que mantiene e invierten en sectores claves como agua y agricultura, recursos adicionales dirigidos a la construcción de resiliencia no serán efectivos al largo plazo.

## RECURSOS HÍDRICOS RURALES

Es imperativo encontrar un equilibrio entre desarrollar más rápido de lo que es usual, y la integración de fuertes medidas de adaptación que minimicen incertidumbre en un marco de tiempo razonable. Para poder reducir dependencia del ciclo del agua y por lo tanto de la variabilidad de suministro de agua natural, será necesario desarrollar una estrategia de gestión de aguas integrada y sólida que funcione a través de escalas, y en

particular a nivel de cuencas. Para una mejor y más efectiva planificación de recursos de agua, los principios de gestión integrada de aguas, reconocidos en el Plan Nacional de Cuencas, deben ser transformados en medidas prácticas y efectivas.

Esto es importante no sólo desde una perspectiva de adaptación al cambio climático, sino también para proteger los recursos hídricos y garantizar las necesidades presentes y futuras para todos los usos de agua, incluyendo servicios medioambientales. Sin embargo, la necesidad de gestión a través de la cuenca, difiriendo de las situaciones actuales de inversión comunitaria de pequeña escala, requerirá de un reforzamiento institucional significativo. Muchas de las adaptaciones de inversión requieren de acuerdos multi-comunitarios; y por lo tanto, el estado deberá crear el espacio apropiado para generar dichos acuerdos.

Las estrategias para mejorar la gestión de aguas, deben depender de cuatro componentes estratégicos (1) un marco legal e institucional adecuado para asegurar el compromiso correcto y coordinado de los diferentes actores en el sector hídrico, incluyendo marcos que aseguren alineación con las necesidades e intereses de la población local y dar espacio el compromiso de los miembros más vulnerables de la sociedad (2) una buena fluidez de información técnica sobre el ciclo hídrico y de demanda por cuencas; (3) una capacidad sólida financiera, administrativa y técnica para asegurar que la administración de los recursos de agua sea implementada bajo criterios de sostenibilidad; y (4) provisión de y acceso a la infraestructura física y tecnológica necesaria (ver Figura 29).

Con estos principios estratégicos en su lugar, se pueden enfrentar las tendencias a largo plazo de disponibilidad reducida de agua. Esto también facilitará el desarrollo de estrategias de prevención de desastres para mejorar control sobre sistemas de agua e incrementar su resiliencia. Además, una estrategia efectiva debe reducir la dependencia en la variabilidad natural de los recursos hídricos y proveer una resiliencia incrementada por sistemas planificados con respecto al acceso del agua. Algunas medidas específicas a nivel de manejo integrado de cuenca deben de incluir:

- Definición de límites de cuencas e información básica de la cuenca

FIGURA 29 COMPONENTES ESTRATÉGICOS PARA ADMINISTRACIÓN DE AGUA



- Especificación de usos de agua en la cuenca y establecimiento de medidas de recuperación de costos de los diferentes subsectores de agua para proteger recursos de agua
- Priorización del uso del agua en la cuenca
- Elaboración de las regulaciones necesarias basadas en principios de Administración Integrada de Recursos Hídricos y las especificaciones de la cuenca, tales como la determinación de flujos medioambientales y locaciones vulnerables basándose en información hidrológica.
- Determinación de los diferentes actores involucrados en el sector de agua en esa cuenca y definición de las reglas bajo las cuales deben interactuar para toma de decisiones y propósitos de planificación de inversión.
- Priorización de medidas para proteger recursos de agua y garantizar usos de agua
- Elaboración de usos de agua de un plan de inversión para la cuenca.

### MEJORANDO LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

El riego puede asegurar una provisión adecuada de agua para la agricultura y compensar los requerimientos adicionales de agua para cultivos. El potencial de riego del país implica que éste puede ser considerado como una estrategia de adaptación apropiada a cambios en las condiciones climáticas.

Construir infraestructura para almacenar agua y regular flujos estacionales de agua, necesitará ser parte de un estrategia de riego a futuro, para incrementar la resiliencia del sector agrícola de Bolivia. Los sistemas de riego basados en reservorios han sido identificados como medidas de adaptación costo-eficientes. Este sistema equilibra la provisión de agua estacional y tiene un alto retorno por unidad de implementación. Los reservorios actualmente constituyen 2 por ciento de los proyectos de riego, pero aun así representan 19 por ciento del total de provisión de agua. Sin embargo, la rehabilitación de reservorios existentes y construcción de nuevos vendrá con costo adicional para el sector.

La consideración de corrientes dominantes de cambio climático en proyectos de infraestructura hidráulica implicará asegurar la flexibilidad de operaciones en el sistema, revisando la capacidad de volumen diseñado, el tiempo de vida de la estructura, e incrementando la resiliencia ante eventos extremos de gran magnitud. Las estrategias de Riego que promueven un mejor y más eficiente uso de agua constituyen una opción ganadora (win-win) para todos. Optimizar el uso de agua en riego depende de medidas tales como mejor una distribución del recurso e incremento de la eficiencia en el proceso de irrigación. Por ejemplo, se ha demostrado que incrementar la eficiencia de sistemas de riego por gravedad en por lo menos 50 por ciento es una medida relativamente simple de implementar. La sostenibilidad de cualquier estrategia, medida o proyecto de riego puede ser reforzada utilizando planificación integrada de la cuenca fluvial y un enfoque de gestión. Además, la inversión complementaria en el sector de agricultura— como servicios de extensión o educación— también contribuye a la sostenibilidad de inversiones en irrigación.

## RECURSOS HÍDRICOS URBANOS

El sector urbano está ya muy expuesto a variabilidad climática, debido a las diferentes dimensiones de vulnerabilidad (recursos, infraestructura, y capacidad administrativa operativa) que presenta. Los impactos de cambio climático— incluyendo reducciones en disponibilidad de agua e incremento de la frecuencia e intensidad de inundaciones y sequías— generarían tensionamiento adicional sobre la capacidad actual de las empresas de agua para entregar agua segura y servicios de saneamiento y controlar inundaciones. Las áreas urbanas en zonas áridas tienen más dificultad en incrementar su capacidad de producción debido a restricciones en la disponibilidad de agua natural, particularmente cuando estas áreas están localizadas en cabeceras de cuenca. Las áreas periurbanas de Cochabamba y La Paz/El Alto son particularmente conflictivas debido a la gran competencia por agua, infraestructura pobre, y exposición a efectos de cambio climático. Los grupos que viven en las áreas periurbanas de rápido crecimiento son especialmente vulnerables ante los efectos de cambio climático, porque no siempre están conectados a las redes de agua y saneamiento; ellos dependen de recursos inestables y viven

en áreas de riesgo como ser taludes empinados o zonas propensas a inundaciones. Mientras se necesita mayor análisis de estas tendencias, en un país que se urbaniza rápidamente, los planificadores urbanos deben anticipar tasas de crecimiento urbano futuro para poder proporcionar asentamientos seguros.

La mayoría de las medidas de adaptación descritas en el estudio son impulsadas por la oferta “(supply-driven)”. Para poder incrementar la resiliencia a los cambios climáticos, las empresas urbanas de servicio de aguas necesitan reforzarse y diversificar sus fuentes de agua, incrementar cobertura, manejar los efluentes de forma eficiente, y garantizar capacidad de almacenaje adecuado en anticipación a cambios en variabilidad de lluvias y tasas de evapotranspiración incrementadas (especialmente bajo escenarios secos). Estas medidas implican que las empresas de agua en Bolivia necesitan mejorar sus operaciones, administración y desempeño financiero, porque con seguridad necesitarán aportes externos. En el caso de inundaciones, las compensaciones y complementariedades de medidas duras y suaves necesitan ser evaluadas con mucho cuidado. Las medidas duras incluyen revisión y mejora de sistemas de drenaje; canalización de los canales fluviales cuando éstos cruzan tierras urbanas; construcción de diques, desviación de ríos y esclusas o medidas mayores como construcción de represas aguas arriba para el control de inundación. Las medidas blandas de adaptación consisten en sistemas de alerta temprana, reforestación aguas arriba, o asegurar lechos de río limpios, y más seguros. La estrategia de adaptación más efectiva es la que pueda combinar estratégicamente las medidas duras y blandas.

El Plan Nacional de Cuencas representa una guía en la implementación del Manejo Integrado del Recurso Hídrico (IWRM en inglés) a nivel de cuencas, de modo que los planificadores de las empresas de servicios básicos de agua puedan incorporar en sus planes maestros de desarrollo una administración de cuencas más amplia que considera los centros urbanos como parte de las cuencas hidrológicas. En este contexto, la generación de información hidrometeorológica a largo plazo a nivel cuenca permitirá que los planificadores urbanos incorporen diversas medidas de gestión de riesgo climático en sus instrumentos de planificación territorial. Esto permitirá identificar áreas vulnerables e implementar las regulaciones urbanas necesarias

incrementando así la resiliencia ante eventos extremos a largo plazo.

## Herramienta de Planificación de la Inversión

La herramienta de modelación de planificación de inversiones permitió identificar a la población más vulnerable, y sugerir medidas de cómo restaurar los beneficios a nivel Cuenca a sus niveles de línea base por medio de inversiones aceleradas. Este tipo de modelo de planificación permite una comparación detallada de las alternativas de inversión y del efecto potencial climático sobre ellas, y lo hace dentro de un marco de planificación que es consistente a través del tiempo. El enfoque también facilita la investigación de la robustez de las estrategias de inversión a los posibles resultados de cambio climáticos, algo que es particularmente importante en vista de la incertidumbre de estos modelos. Sin embargo, el asegurarse de que los beneficios adicionales de la cuenca lleguen a aquellos que sufren directamente de escasez de agua es mucho más difícil.

Los resultados de la herramienta de planificación de inversión mostraron que el secuenciamiento y priorización de los proyectos de riego depende mayormente de una gestión de manejo descentralizada y no de los impactos del cambio climático (sin importar si el objetivo fuese maximizar los beneficios sociales nacionales o maximizar el número de familias directamente beneficiadas por los proyectos), en la evaluación de proyectos de desarrollo hídrico a nivel cuenca. El efecto es menor donde las limitaciones presupuestarias son holgadas, y donde los proyectos deben pasar pruebas estrictas de costo-beneficio.

El estudio permite ilustrar las ventajas y desventajas de este tipo de modelo de planificación para el análisis de cambios climáticos. Las principales ventajas son que permite una comparación detallada de las diversas alternativas de inversión y el efecto potencial de cambio climático sobre ellas — y lo hace dentro de un marco (de planificación) inter-temporal óptimo. El estudio no evaluó esto en detalles debido a la naturaleza relativamente sencilla de la limitación hídrica (efectivamente restringido a una sola subcuenca), el

método también permite la exploración de la robustez de estrategias de inversión alternativas a los posibles resultados climáticos. Para muchas aplicaciones, esta capacidad de explorar robustez en la toma de decisiones es crítica, especialmente en vista de la incertidumbre sobre los posibles resultados climáticos. La principal desventaja es que requiere de buenos datos a nivel proyecto, y buena caracterización del efecto del cambio climático sobre los proyectos. Actualmente, la mayoría de los datos necesarios para este tipo de análisis son limitados y/o costosos en obtención y síntesis. Lamentablemente, no hay una forma seria de mejorar la calidad de la planificación de la inversión bajo incertidumbre sin este análisis de clima detallado a nivel de proyecto. Otras limitaciones adicionales se describen en el Cuadro 4.

## ¿Cómo avanzar?

El gobierno de Bolivia ha logrado un comienzo importante y serio en comprender y responder a los efectos del cambio climático. Sin embargo, Bolivia, como muchos otros países en el mundo, todavía necesita desarrollar e implementar políticas, instituciones y prácticas efectivas y complementarias para adaptarse a la realidad de severos riesgos climáticos. De acuerdo a un reciente informe de Oxfam, se necesita desarrollar un marco general institucional y de políticas públicas para las políticas nacionales sobre adaptación al cambio climático y necesidades de mitigación, a través de una estrategia doble:... “Primero, al integrar las medidas de cambio climático al nuevo marco legislativo que implementará la nueva Constitución de Bolivia y por lo tanto insertar las políticas de cambio climático al nivel más alto. Segundo, el Gobierno debería desarrollar e implementar aún más una estrategia nacional de adaptación que sea debidamente transversalizada (mainstreamed) a través de los programas de erradicación de pobreza del Gobierno, y adoptada por y coordinada con todos los ministerios claves. Dichos planes deberían también identificar las actividades más urgentes de adaptación y el costo de las mismas, y asegurar financiamiento externo para su implementación.”... (Oxfam, 2009). Esta conclusión sigue siendo válida.

Enfrentar los riesgos actuales del clima debería ser una prioridad para incrementar la futura resiliencia. En

#### CUADRO 4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Una limitación clave en el contexto del EACC es que todos los modelos utilizaron vías de investigación puramente científica para plantear y responder preguntas que pueden ser respondidas por todos los modelos de impacto climático y económico. Sin embargo, las preguntas más importantes podrían ser más bien institucionales o culturales, o más probablemente una combinación de ambos, además de factores políticos. Por ejemplo: ¿Cómo influenciará la localización de personas lejos de áreas de alto riesgo o cada vez menos productivas? ¿Cómo mejorar la asignación de agua y tierras? ¿Cómo mejorar la calidad de la educación? Las herramientas utilizadas en este análisis ayudan a definir la importancia de hacer estas cosas, pero no nos pueden decir cómo hacerlas. Para aquello, sin embargo, la economía es claramente insuficiente, pero por definición, el estudio no fue construido para comprender todos los aspectos de la adaptación al cambio climático.

Para hacer que los cálculos sean tratables, el estudio 1) limita tanto la amplitud del análisis económico y la duración del horizonte temporal, 2) investiga la adaptación del sector público únicamente, y 3) el horizonte de inversión del estudio solamente llega al 2050. Aunque la ciencia del clima nos dice que los costos y perjuicios de la adaptación aumentarán a través del tiempo, y que efectos mayores tales como la desaparición de los glaciares y hielos tienen mayor probabilidad de ocurrir más allá de dicho horizonte temporal, la incertidumbre con respecto tanto del clima como del crecimiento, hace que los esfuerzos de analizar la adaptación más allá de este período sean un tanto improductivos.

La mayoría de los resultados de este estudio se basan en modelos biofísicos, económicos y de ingeniería. Como se dijo arriba, estos modelos utilizan técnicas matemáticas para representar los procesos físicos y económicos. Cuanto más los fenómenos del mundo que se simulan están siendo generados por procesos físicos determinísticos, mejor será el desempeño de los modelos. Cuando los fenómenos están cada vez más influenciados por la incertidumbre (con distribuciones probabilísticas subyacentes desconocidas) o por comportamiento humano y cambio institucional, la capacidad de simulación se debilita.

Además del problema de eficiencia sectorial y de eficacia, el enfoque general de los modelos excluyó otros elementos de importancia crítica: servicios de ecosistema (bosques y biodiversidad), salud, y mayor integración de los análisis sociales y económicos. Con respecto a la biodiversidad en particular, todavía no queda claro cómo cuantificar el impacto del cambio climático y qué medidas de adaptación serán efectivas en su preservación, pero la información necesaria para estimar los costos de adaptación no se encuentra mayormente disponible.

El estudio también se encuentra limitado por la falta de información en importantes sectores relevantes para el desarrollo del país. Un ejemplo específico es el análisis del sector de infraestructura. Los datos del estudio global EACC se presentan bajo agregados a nivel país como una referencia en términos de costos de adaptación, pero la validación de los datos a nivel local todavía está por hacerse.



particular, la reducción de desastres necesita ser parte de la planificación a largo plazo en todos los niveles de gobierno, a través de todas las industrias y particularmente a nivel departamental y municipal. Esto también incluye la mejora de la capacidad con respecto a estado de preparación ante desastres. Dado el riesgo climático incrementado y la severa vulnerabilidad de los pequeños agricultores, el desarrollo de un esquema nacional de seguro agrícola debería ser una prioridad, junto con almacenamiento y gestión de aguas. Una mejor gestión de aguas debería también enfocarse en las áreas urbanas donde la demanda en aumento está generando problemas de escasez. Dada la alta tasa de pérdida de agua por causa de infraestructura pobre, que en ciudades como El Alto lleva a pérdidas de hasta el 40 por ciento, el gobierno debería dar alta prioridad a la construcción de nuevas infraestructuras para el almacenamiento de agua. A nivel comunidad, se necesitan recursos para poder captar, almacenar y utilizar la lluvia existente.

Este estudio EACC podría ser utilizado para llenar algunas de las brechas del conocimiento requeridas para el avance de la agenda de adaptación en el país. Iniciativas adicionales desarrolladas por el Banco Mundial podrán también complementar la información inicial proporcionada por el estudio EACC. Un ejemplo de tales iniciativas es el modelaje detallado de la disponibilidad de agua superficial utilizando un modelo hidrológico (SWAT) que está siendo desarrollado por el Banco Mundial Región Latinoamérica y Caribe. La herramienta SWAT podrá mejorar los datos climáticos para la línea base a nivel cuencas, y por lo tanto, mejorar la precisión de los indicadores de vulnerabilidad (principalmente para el sector hídrico). La mejoría en la resolución de proyecciones climáticas, sin embargo, es otro de los aspectos más importantes a ser mejorados por la comunidad científica en general. Ambos estudios, así como otros previamente mencionados en el informe, proporcionarán apoyo a las fases iniciales del PPCR.

# Trabajos Citados

- ANESAPA. 2009. Planes estratégicos de 12 EPSAS. Bolivia
- Asquith, N.M. & M.T. Vargas. 2007. Fair Deals for Watershed Services en Bolivia. Natural Resource Issues. International Institute for Environmental y Development. London, UK.
- Roche M.A, y Fernandez C. 1986. Los balances hídricos de Bolivia. Premier Simposio de la Recherche Française en Bolivia, La Paz, Septiembre 1986: 44-47.
- Beltrán, I., y J.L. Gutiérrez. 2008. "Impacto del fenómeno ENSO"
- Centro de Desarrollo Agropecuario (CEDEAGRO) 2005. Planificación hídrica de la Cuenca del Mizque. GTZ. PRONAR.
- CEPAL, 2008 Evaluación de los eventos ENSO 2007 y 2008 en la Región Andina.
- PHICAB. "Balance Hídrico Superficial de Bolivia" (1990).
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). 2006. "Evaluación de tendencias de cambio climático in aéreas Áridas y Semiáridas de Bolivia".
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). 2006. "Cambio climático en Bolivia".
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). 2007. "Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio climático"
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). 1998. "Vulnerabilidad y Adaptación de los Recursos hídricos en Bolivia".
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC). 2007. "Eventos de Inundación en la Cuenca de Beni en 2007" Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Corporación Andina de Fomento (CAF).2000. Lecciones del Niño en Bolivia en 1997-1998.
- Fundepco. Oxfam. 2008. "Atlas of Threats, vulnerabilities and risks of Bolivia"
- Instituto de Hidrología e Hidráulica. 2005. "Balance Hidrológico de la Cuenca del Pilcomayo".
- Panel Inter-governmental para el Cambio Climático (IPCC). 2007. "Reporte Técnico para el Cambio climático y Agua"
- Panel Inter-governmental para el Cambio Climático (IPCC). 2007. Fourth Assessment Report
- Killeen, T.J. et al. 2007. "Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia." *Ambio* 36 (7): 600-606.
- Marengo, J.A., et al. 2009. "Future change de temperature y precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system". *International Journal de Climatology*.
- Mechler R. et al. 2009, A Risk Management Approach for Assessing Adaptation to Changing Flood and Droughts. Risks in Europe, Chapter 8, In: M. Hulme, H. Neufeldt (eds.). *Making Climate Change work for us: European Perspectives on Adaptation and Mitigation Strategies*. Cambridge University .
- Ministerio de Agricultura. (2005) "Plan Nacional de Irrigación". Manual de Riego Tecnificado - PIEN - 2008 (P. Hoogendam - C. Ríos)
- Ministerio de Agricultura. Programa Nacional de Irrigación. "Inventario Nacional de Sistemas de Riego" (2000).
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. "Plan Nacional de Cuencas: Marco estructural y conceptual. (2006).
- Instituto Nacional de Estadística. Censo de Población 2001 y Proyecciones de Población por departamento hasta el 2030. (2001).
- Instituto Nacional de Estadística. (INE) y Ministerio de Economía y Finanzas Publicas, Referencia de Análisis Fiscal (RAF).
- Orellana, R. 1995. Aproximaciones a un marco teórico para la comprensión y el manejo de conflictos socio-ambientales. CERES - FTTP. Cochabamba, Bolivia.
- Oxfam Fundepco. 2008. "Threats, vulnerabilities and risks de Bolivia Atlas"
- Oxfam. 2009. Bolivia: Cambio climático, pobreza y adaptación.
- Robertson, N. y S. Wunder. 2005. *Fresh Tracks in the Forest Assessing Incipient Payments for Environmental Services Initiatives en Bolivia*. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Universidad de San Andrés, Institut de Recherche pour le Developpement. "Deshielo de la Cuenca del Tuni Condoriri y el impacto sobre los recursos hídricos de las ciudades de la Paz y El Alto" (2007).
- UNESCO. "Agua en Bolivia" (2008).

- UNISDR. "National Report on Institutional Vulnerability in Disaster Risk Management" (2004).
- Vice-ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente. "Diagnostico y priorización de Cuencas Hidrográficas en Bolivia" (1997).
- World Bank. "Water and Climate Change : Understanding the Risks and Making Climate-Smart Investment Decisions" (2009).
- World Bank 2009a. *The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New Methods and Estimates*. Consultation draft. Washington, DC: The World Bank.
- World Bank.2010. World Development Report: Development and Climate Change. Washington, DC: World Bank.
- World Food Program, SINSAT, UDAPE. 2003 "Municipal Atlas of Food Security"
- World Food Program, SINSAT, UDAPE. 2007 "Municipal Atlas of Food Security"
- Water and Sanitation Program. 2009"Peri-urban strategy for water and sanitation" (Working Paper) (2009).

