



La economía del
**cambio
climático**
en Bolivia

Cambios en la
demanda hídrica



Banco Interamericano de Desarrollo



La economía del cambio climático en Bolivia
Cambios en la
demanda hídrica

Autor: Nashira Calvo Cárdenas

Editores: Carlos E. Ludeña y Leonardo Sánchez Aragón



NACIONES UNIDAS

CEPAL



**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Calvo Cárdenas, Nashira.

La economía del cambio climático en Bolivia: cambios en la demanda hídrica / Nashira Calvo Cárdenas; Carlos E. Ludeña, Leonardo Sánchez Aragón, editores.

p. cm. – (Monografía del BID; 187)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-supply—Climatic factors—Bolivia. 2. Environmental economics—Bolivia. I. Ludeña, Carlos E., editor. II. Sánchez Aragón, Leonardo, editor. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. IV. Título. V. Serie.

IDB-MG-187

Número de referencia de la CEPAL, Naciones Unidas: LC/L.3809

Palabras clave: Cambio Climático, Agua, Recursos Hídricos, Índice de Escasez, Bolivia

Clasificación JEL: Q54, Q25, O54.

Este documento es uno de los análisis sectoriales que conforman la serie “La economía del cambio climático en Bolivia” del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y con el apoyo de UKAID del gobierno Británico.

Esta serie fue coordinada por Carlos Ludeña en colaboración con Leonardo Sánchez-Aragón (BID) y Carlos de Miguel, Karina Martínez y Mauricio Pereira (CEPAL).

Se agradece el apoyo del Ministerio de Ambiente y Agua en la realización de este estudio, en especial al Programa Nacional de Cambios Climáticos, ahora Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra.

El presente documento fue preparado Nashira Calvo Cárdenas, con los aportes de Lykke E. Andersen, Rubén Mamani y Miguel Ontiveros, y comentarios de Fernando Miralles (BID).

Citar como:

Calvo Cárdenas, N. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Cambios en la Demanda Hídrica*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 187, Washington, DC.

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o las legislaciones aplicables.

Copyright ©2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

1.	Introducción	1
2.	Bolivia y los recursos hídricos	2
2.1	Recursos hídricos existentes.....	2
2.2	Usos actuales de los recursos hídricos	3
3.	Proyecciones de recursos hídricos	6
3.1	Oferta hídrica superficial.....	6
3.2	Demanda hídrica	14
3.3	Índice de Escasez.....	24
3.4	El Costo de la reducción en disponibilidad de agua	31
4.	Conclusiones y recomendaciones	33
5.	Referencias.....	34

Resumen

La disponibilidad de recursos hídricos está continuamente distorsionada por fenómenos climáticos como el Niño y la Niña en Bolivia, pero también por la inadecuada gestión del recurso. Estos factores contribuyen con sequías, inundaciones, y distribución heterogénea a la sociedad. La repercusión de estos factores en la economía es significativa, debido a que Bolivia es un país agrícola.

Este estudio analiza los cambios previstos en oferta y demanda de agua a nivel de provincias durante el resto de este siglo, para identificar zonas de escasez y analizar cómo el cambio climático podría afectar los niveles de escasez de agua. Los datos usados son los generados por el modelo regional PRECIS del Centro Hadley.

Los resultados sugieren que la demanda total para consumo de agua potable y riego se incrementaría 12 veces para finales de siglo, en comparación con la demanda al principio del siglo. Sin embargo, la oferta hídrica en muchas provincias se reduciría en más del 30%. Solamente existe un área entre el altiplano y las tierras bajas, donde se esperarían aumentos en la disponibilidad de agua. La posible reducción de agua disponible a finales de siglo sugiere que se deben tomar acciones en los departamentos que se verían afectados.

La economía del cambio climático en Bolivia

Cambios en la demanda hídrica

1. Introducción

El agua posiblemente es el recurso más indispensable del mundo: alimenta y sostiene todos los seres vivos, por lo cual su abastecimiento debe ser indispensable. Existe una relación directa entre la abundancia de agua, la densidad de población, y la calidad de vida. Como la población mundial crece, la presión sobre los limitados recursos hídricos también crece. A menos que los recursos hídricos se gestionen correctamente, la escasez puede ser un obstáculo para el desarrollo económico como también para el progreso social. Para asegurar el abastecimiento a toda la población, se debe llegar a un equilibrio entre el consumo de recursos hídricos y la oferta del mismo, teniendo en cuenta los posibles cambios en el clima que puedan existir en un futuro. Una fuente abundante de agua es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las sociedades modernas.

En Bolivia la disponibilidad de recursos hídricos está continuamente distorsionada por fenómenos climáticos como son el Niño y la Niña pero también por la inadecuada gestión del recurso. Estos factores contribuyen con sequías, inundaciones, escasez y distribución heterogénea a la sociedad boliviana. La repercusión de estos factores en la economía es significativa, debido a que Bolivia es un país agrícola y la economía rural del país depende del recurso hídrico, como también la relación con la salud y el crecimiento económico. Esta es la razón por la que es necesario aplicar estrategias para mitigar los efectos de estos factores en la sociedad boliviana.

El propósito del presente estudio es realizar un análisis de los cambios previstos en oferta y demanda de agua -a nivel de provincias- durante el resto de este siglo, para identificar zonas de escasez y analizar cómo el cambio climático podría afectar los niveles de escasez de agua. Este estudio usa los escenarios climáticos, A2 y B2, generados por el modelo regional PRECIS del Centro Hadley en Inglaterra, que tiene una resolución de 50 x 50 km (ver Jones et al., 2004; Alves, 2007; Andrade, 2014). Los escenarios muestran los cambios en temperatura mensual y precipitación mensual, que se esperan entre el periodo base (1961-1990) y el periodo futuro (2071-2100). Las estimaciones fueron realizadas a partir del modelo climático PRECIS¹ y del Modelo de Equilibrio General Computable BOLIXXI².

Los objetivos específicos del estudio son:

- Proyectar la demanda de agua a nivel provincial, proveniente de dos fuentes: i) la demanda de agua potable y ii) la demanda de riego para agricultura.
 - Desagregar la demanda de agua potable a nivel provincial y proyectarla hasta el año 2100.
 - Estimar la demanda de agua para riego para agricultura y proyectarla hasta finales de siglo a nivel provincial.
- Estimar el Índice de Escasez de Agua a nivel provincial a finales de siglo XXI, en los escenarios con y sin cambios climáticos.

¹ Andrade (2014) describe los resultados y presenta un análisis de validación del modelo.

² Jemio y Andersen (2014) describen en detalle el modelo y el escenario base (sin cambio climático) para el siglo XXI.

El documento está estructurado de la siguiente manera: El primer capítulo da a conocer el contexto en el que se encuentra Bolivia con respecto a los recursos hídricos. En el segundo capítulo se explica la metodología empleada para las proyecciones de demanda de recursos hídricos hasta finales del siglo XXI, como también los resultados obtenidos. El tercer capítulo dará a conocer los resultados del estudio, en los ámbitos de oferta y demanda de recursos hídricos y el Índice de Escasez por provincia para finales del siglo. Finalmente, en el cuarto capítulo se darán a conocer las conclusiones del estudio.

2. Bolivia y los recursos hídricos

Bolivia es un país rico en recursos hidrológicos, aunque la distribución espacial y temporal complica su manejo eficiente. A pesar de la abundancia de los recursos hídricos, los fenómenos climáticos provocan sequías e inundaciones que devastan el país.

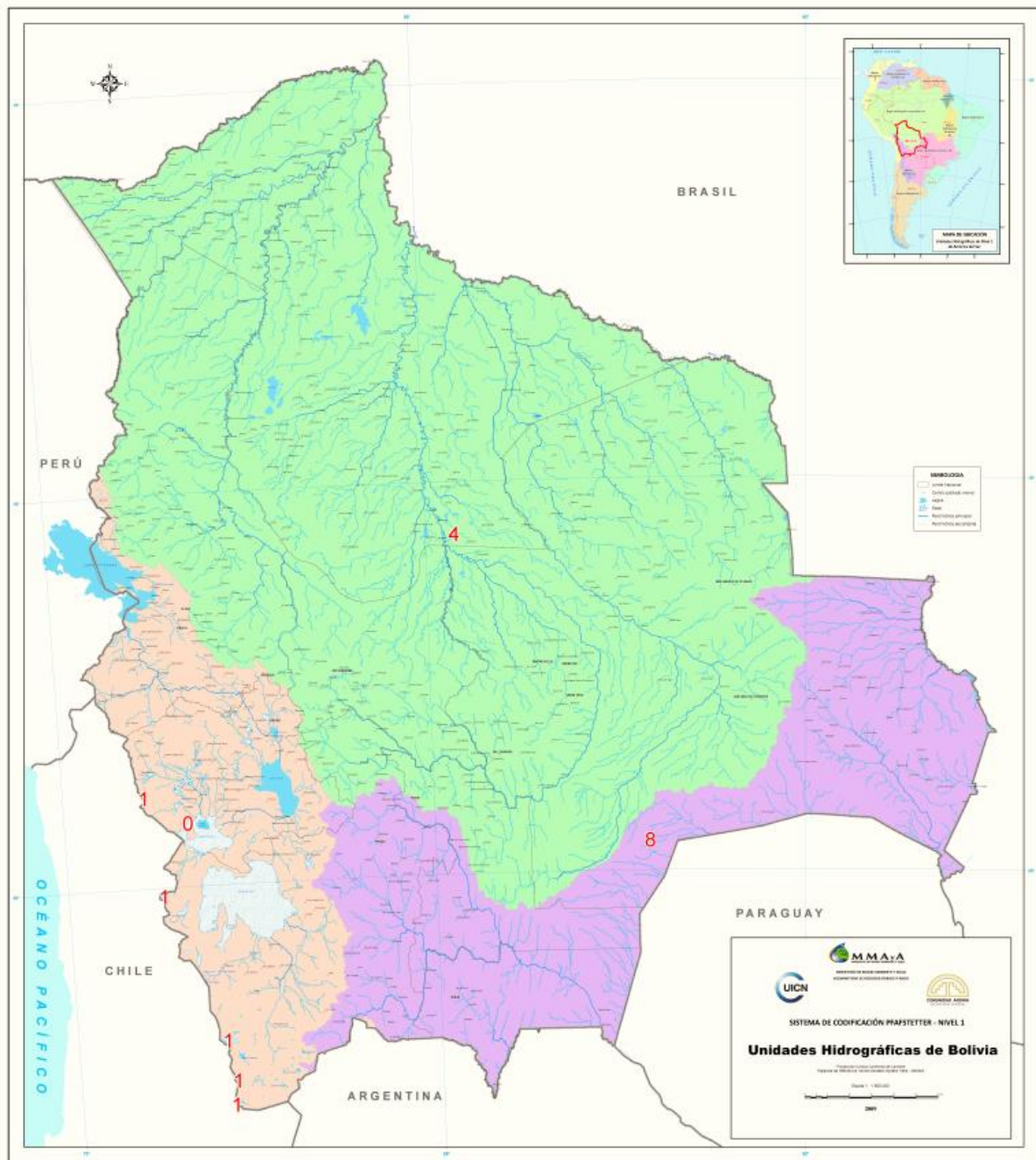
El país es vulnerable a las consecuencias que pueden tener estos fenómenos climáticos, principalmente por la importancia de las actividades agropecuarias dentro de la economía boliviana. De acuerdo con el informe Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998 (CAF, 1997), se estimó que el fenómeno del Niño, en el año 1997, significó pérdidas de 2,6% del Producto Interno Bruto en toda la región, mientras que en Bolivia las pérdidas por el mismo evento llegaron al 7% del PIB.

2.1 Recursos hídricos existentes

Bolivia se divide en tres cuencas hidrológicas: La cuenca del Amazonas, la cuenca del Plata y la cuenca Lacustre (ver mapa 1). La más grande es la cuenca del Amazonas en el norte, tiene una superficie de unos 724.000 kilómetros cuadrados, lo que representa alrededor de 66% del país. Las mayores corrientes navegables en el país se encuentran en esta cuenca. Su cabecera se encuentra en la Cordillera de los Andes o las tierras altas circundantes, y el desagüe en el extremo norte del país. La mayoría de los principales ríos sufren inundaciones anuales durante el verano húmedo.

La segunda más grande es la Cuenca del Plata en el sureste. Esta cuenca tiene una superficie de unos 229.500 kilómetros cuadrados, lo que representa alrededor de 21% del país. Los ríos del sur tienen cabeceras ubicados en la Cordillera de los Andes y fluyen hacia el sur. Los ríos orientales tienen cabeceras ubicadas en las llanuras y el flujo va hacia el este.

Mapa 1: Cuencas hidrográficas de Bolivia



Fuente: Ministerio de Agua y Medio Ambiente.

La más pequeña, es la cuenca Lacustre situada en el altiplano en el suroeste. Esta cuenca cubre un área aproximada de 145.081 kilómetros cuadrados, lo que representa alrededor de 13% del país. Esta es una cuenca endorreica, que significa que todo el drenaje en el área carece de una toma de corriente.

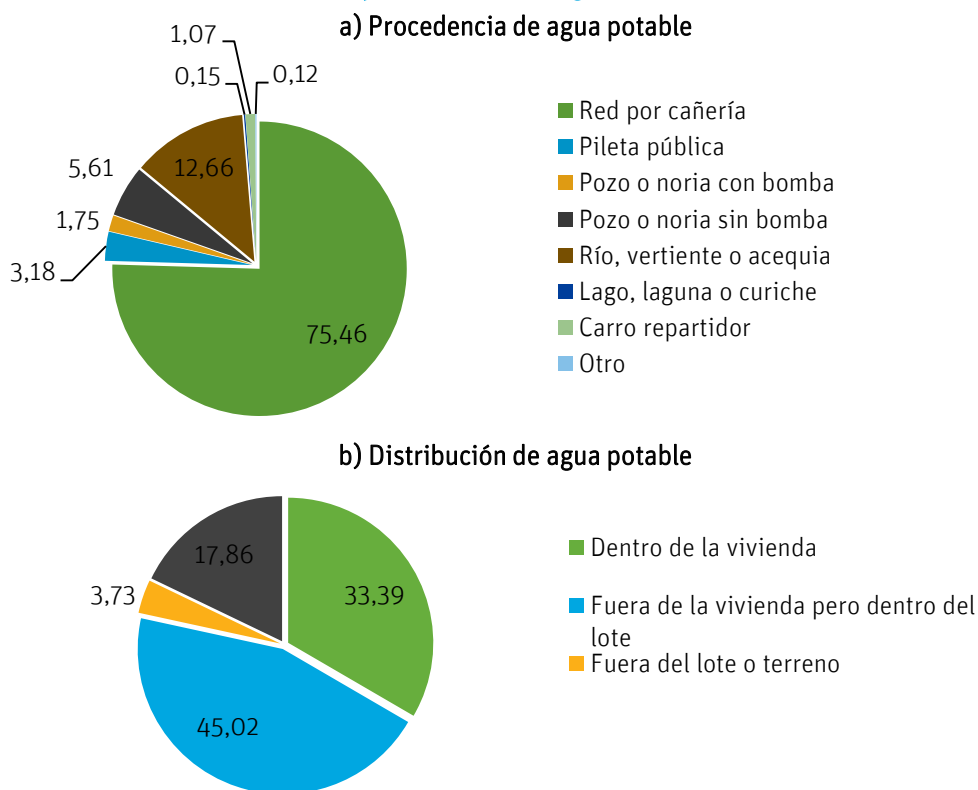
2.2 Usos actuales de los recursos hídricos

La falta de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento adecuado es un problema serio en Bolivia. Existe diferencia entre las condiciones de distribución y utilización de agua entre el área geográfica urbana y rural.

La procedencia de agua en Bolivia está organizada, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE), de las siguientes formas: red por cañería, pileta pública, pozo con y sin bomba, río o vertiente, lago o laguna y carro repartidor. Por otro lado, la distribución de agua tiene las siguientes maneras: dentro de la vivienda, fuera de la vivienda pero dentro del lote, fuera del lote, y no tiene distribución de agua.

En Bolivia el 75% de las viviendas obtienen el agua potable por red de cañería, distribuida y administrada por Empresas Prestadores de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (EPSA). El 45% de las viviendas reciben agua potable por cañería fuera de la vivienda (ver gráfico 1).

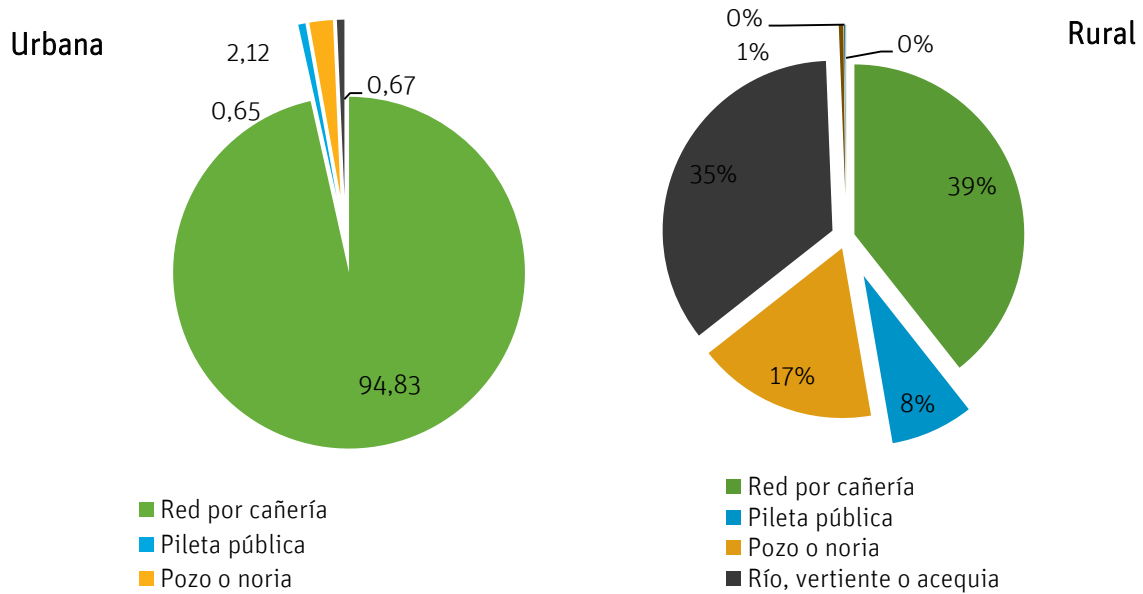
Gráfico 1: Procedencia y distribución de agua en la vivienda 2007



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadística.

En el área urbana prevalece la distribución por cañería, con 95%; en el área rural solamente existe 39% de viviendas con distribución de agua potable por cañería. En cambio, en el área rural predomina con 35% la procedencia de agua por río o vertiente, es decir que en áreas rurales no existe la facilidad de consumir recursos hídricos desde la vivienda; es necesario ir hasta la pileta pública más cercana a la vivienda para la obtención de agua potable. La utilización de recursos hídricos subterráneos es mediante la extracción de pozos con y sin bomba; esta práctica es preponderante en las áreas rurales, con 17% (ver gráfico 2).

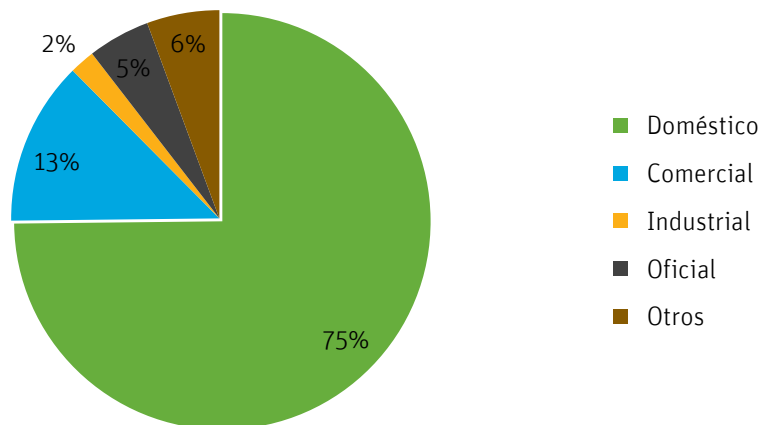
Gráfico 2: Procedencia de agua en la vivienda, según área geográfica, 2007



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística.

El consumo de agua potable en Bolivia es principalmente para uso doméstico, con 75%, seguido por 13% de uso comercial; lo restante está dividido entre el uso industrial y oficial (ver gráfico 3).

Gráfico 3: Consumo de agua potable según tipo de servicio, 2007



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística.

El agua potable no es contabilizada en los usos de la agricultura. Para este cometido se utiliza el Inventario Nacional de Sistemas de Riego, el cual considera la utilización de aguas para la producción agrícola.

Según el informe “Marco Global para la Acción”, cerca de 85% del agua extraída se destina para uso agrícola a nivel mundial y Bolivia no es una excepción. Bolivia tiene la menor cantidad de tierras de regadío y los sistemas de riego menos eficientes en América Latina. La eficiencia promedio de los sistemas de riego es de 15 a 20%. Esto significa que alrededor de 80% del agua de riego se pierde antes de llegar a su destino (GWP, 1999).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Sistemas de Riego (Bolivia, 2000), hay un total de 4.724 sistemas de riego, con exclusión de Beni y Pando, para regar un total de 226.564 hectáreas. Cochabamba tiene la mayor extensión de regadío con 87.534 hectáreas, con más de 1.000 sistemas de riego. Las fuentes de agua para el riego son los ríos (69%), los depósitos (19%), pozos (6%), y otras fuentes de agua superficiales (6%).

3. Proyecciones de recursos hídricos

Las proyecciones de demanda de agua a nivel provincial, realizadas en el presente estudio, están basadas en proyecciones a nivel nacional del modelo BOLIXXI (Jemio et al. 2014). Este modelo proporciona información base como población, proyección de consumo de agua potable y proyección de área cultivada hasta 2100. Esta información se utiliza para calcular todas las variables necesarias para el estudio.

Por las características de la información, se desagregó la demanda hídrica en dos clases de consumo de agua: i) consumo de agua potable y ii) consumo de agua para riego.

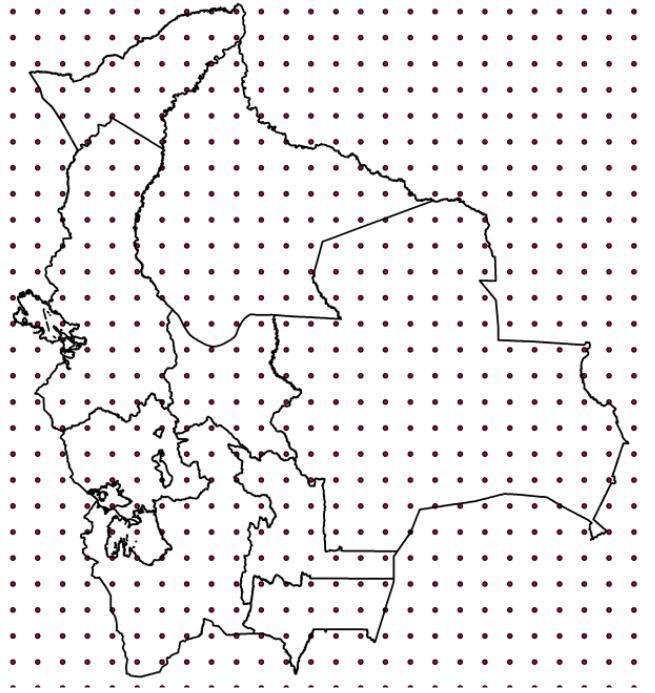
La primera, consumo de agua potable, representa el volumen de agua utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinados y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales. Las demandas sectoriales definidas por el Instituto Nacional de Estadística son: consumo doméstico, comercial e industrial. La segunda, el consumo de agua para riego, considera exclusivamente los sistemas de riego cuyas aguas son utilizadas para la producción agrícola.

3.1 Oferta hídrica superficial

El estudio de la oferta hídrica tuvo en cuenta fuentes de abastecimiento hídrico superficial. La información base del modelo PRECIS fue georreferenciada en una rejilla de 50 km x 50 km, para poder procesar la información (ver mapa 2).

Para analizar la oferta hídrica superficial a nivel local solamente se necesita información sobre precipitación y temperaturas. Se utilizó la ecuación de Turc (1954) para estimar la evapotranspiración, la cual fue deducida de la precipitación en cada punto de la rejilla. También es convencional deducir 20% más para cubrir la absorción natural a los suelos, para llegar a la oferta neta en cada punto. Esta oferta neta en cada punto (expresada en mm/año) se puede sumar después dentro de una región dada, y expresarla en volumen de agua disponible por año ($m^3/año$). Como la demanda de agua estaba expresada a nivel departamental, es conveniente también calcular la oferta a nivel de provincias.

Mapa 2: Rejilla georreferenciada de precipitación y temperatura

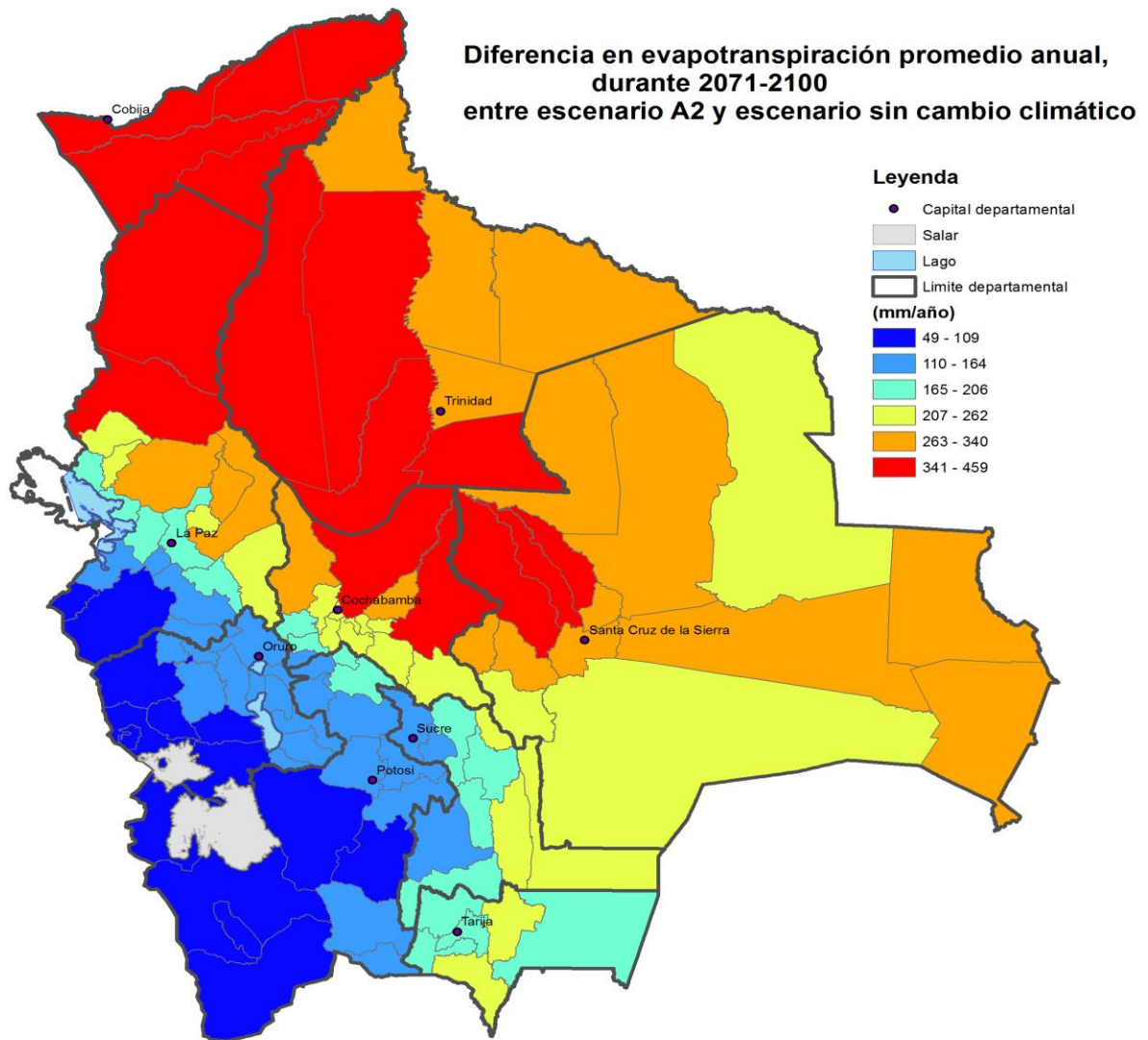


Fuente: Elaboración propia.

Se analizó la oferta hídrica bajo dos diferentes escenarios para el periodo 2071-2100: a) con cambio climático (como previsto por el modelo PRECIS en el escenario A2), y b) sin cambio climático (lo que sería el clima del periodo base 1961-1990, también de acuerdo al modelo PRECIS).

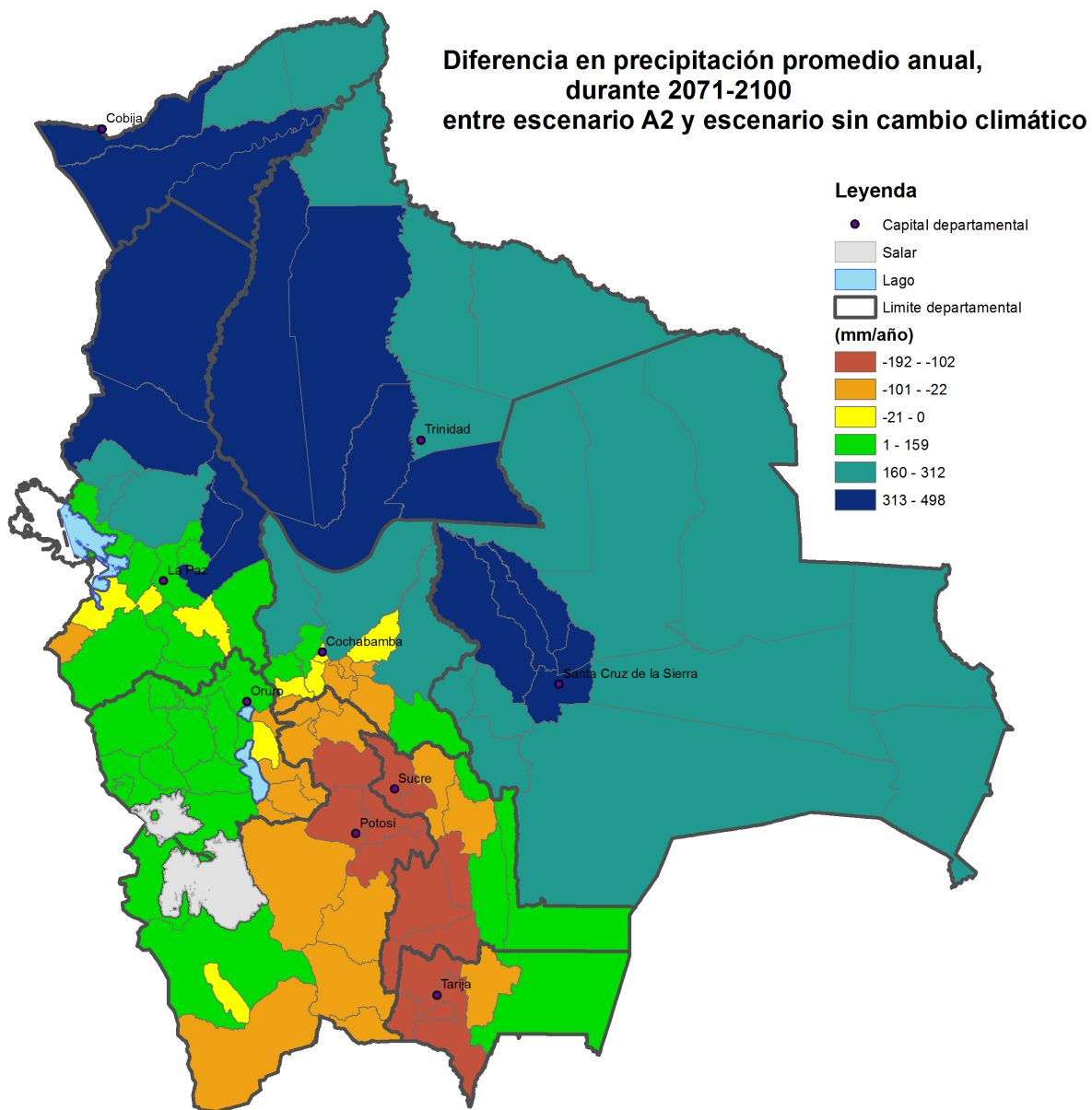
El mapa 3(a) muestra la diferencia en precipitación promedio anual durante el periodo 2071-2100 entre el escenario A2 y el escenario sin cambio climático, y el mapa 3(b) muestra las diferencias en evapotranspiración que se esperarían debido a las mayores temperaturas y los diferentes niveles de precipitación en el escenario A2, en comparación con el escenario sin cambio climático.

Mapa 3a: Cambios en evapotranspiración entre el escenario A2 y el escenario sin cambio climático, 2071-2100 (mm/año)



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 4b: Cambio en precipitación entre el escenario A2 y el escenario sin cambio climático, 2071-2100 (mm/año)

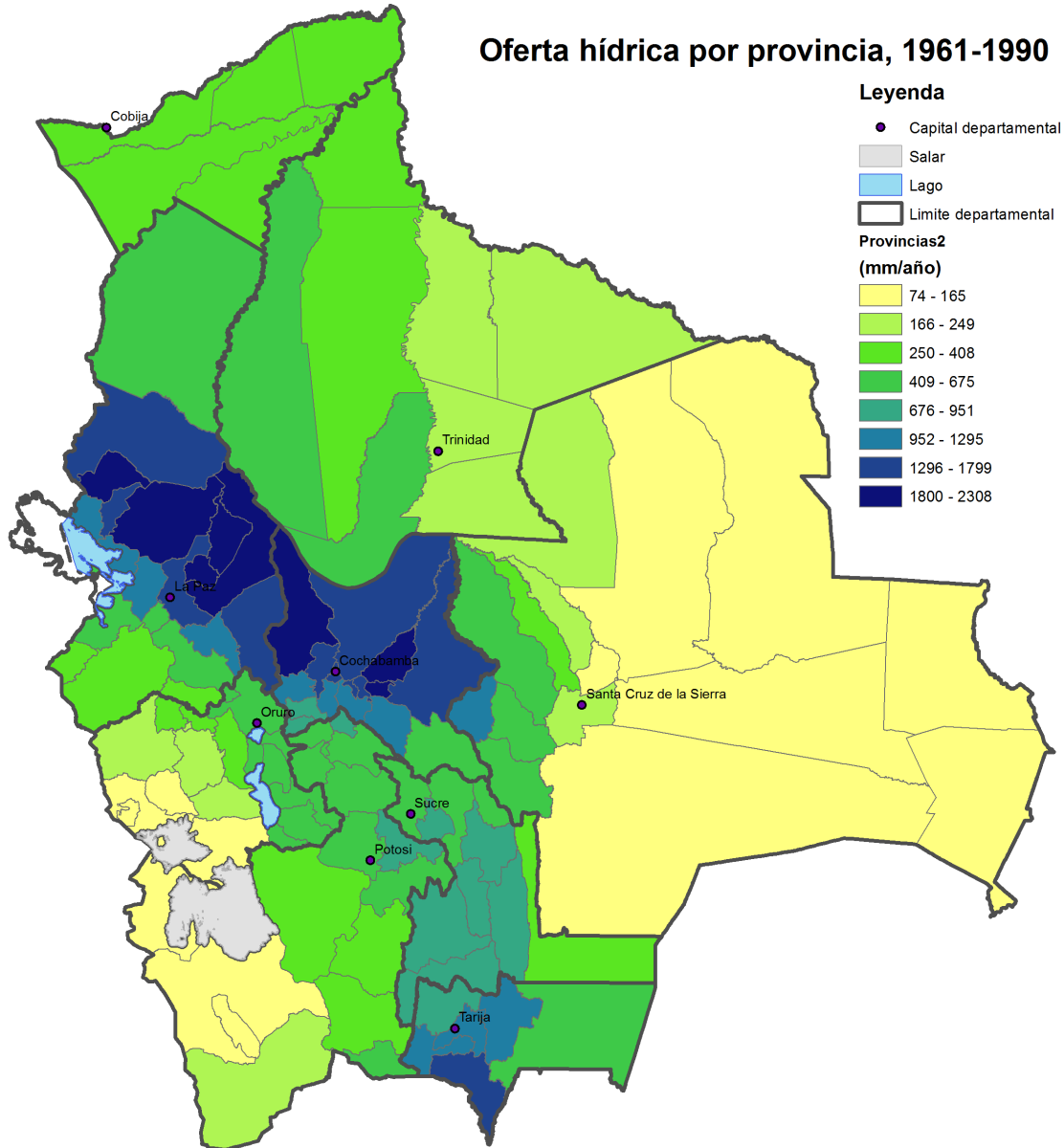


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las simulaciones de PRECIS, el cambio climático causaría una disminución de precipitación en las tierras altas y un aumento en las tierras bajas, mientras que la evapotranspiración aumentaría en todo el territorio (debido a las temperaturas más altas). Cuando se considera esta información en conjunto, se encuentra que la oferta neta de agua se reduciría sustancialmente en las tierras altas (por menor precipitación y mayor evapotranspiración) y que se reduciría moderadamente en ciertas partes de las tierras bajas, porque el aumento en evapotranspiración sería mayor que el aumento en precipitación (ver mapa 4).

Mapa 5a: Oferta hídrica neta en el escenario sin cambio climático y el escenario A2 y (mm/año)

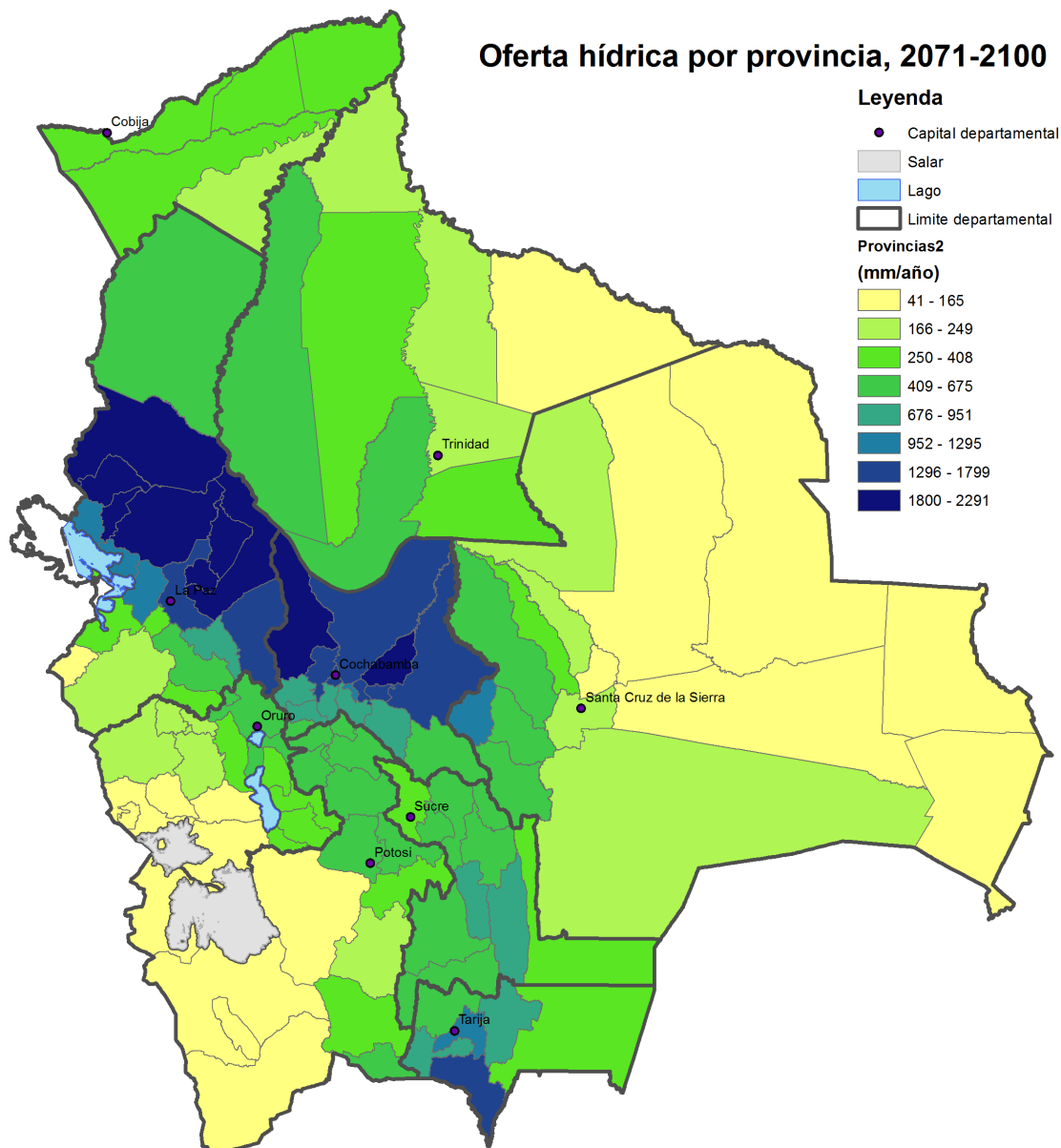
(a) 2071-2100 Escenario sin cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 6b: Oferta hídrica neta en el escenario sin cambio climático y el escenario A2 y (mm/año)

(b) 2071-2100 Escenario A2

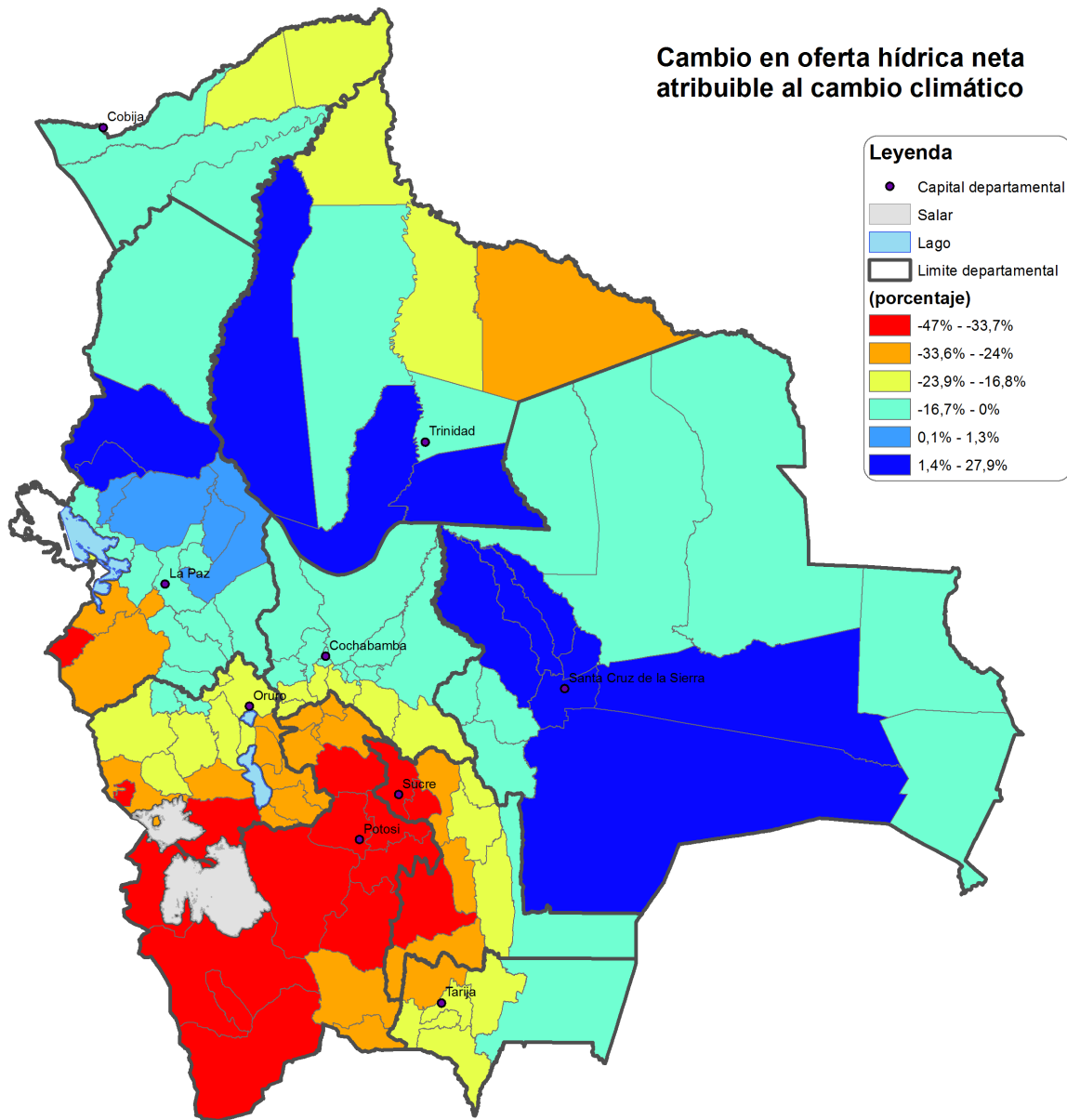


Fuente: Elaboración propia.

Para resaltar el impacto del cambio climático sobre la oferta hídrica neta al final del siglo, el mapa 5 presenta el cambio porcentual en oferta hídrica entre el escenario A2 y el escenario sin cambio climático.

Se nota que todo el altiplano experimentaría reducciones en la oferta hídrica debido al cambio climático previsto por el modelo PRECIS, y en muchas provincias las reducciones son dramáticas (más de 30%). Casi todo el bosque amazónico también experimentaría reducciones, aunque menos severas. Solamente habría una franja entre el altiplano y las tierras bajas, donde se esperarían aumentos en la disponibilidad de agua. El Chaco, que ahora es relativamente seco, es uno de los pocos lugares de Bolivia que potencialmente podría beneficiarse del cambio climático, por tener mayor disponibilidad de agua.

Mapa 7: Cambio en oferta hídrica neta atribuible al cambio climático
 (2071 - 2100, escenario A2 comparado con el escenario sin cambio climático)
 (cambio porcentual)

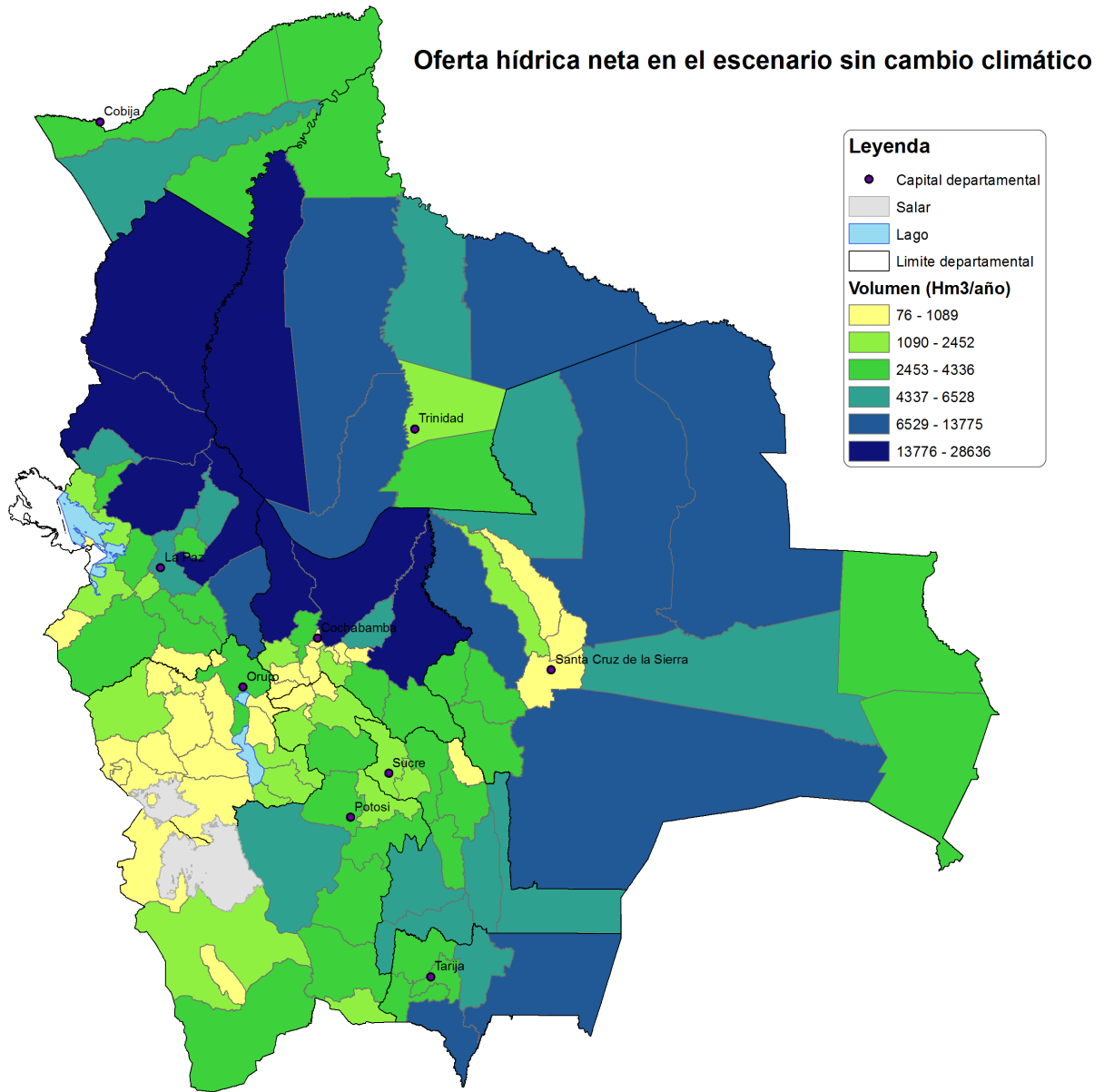


Fuente: Elaboración propia.

La oferta hídrica neta expresada en mm/año se puede convertir a volúmenes de agua simplemente multiplicando por el área de cada provincia. Por ejemplo, una provincia donde la disponibilidad neta promedio es de 1.000 mm/año y el tamaño de la provincia es de 1.000 km², la oferta hídrica sería de 1.000 millones m³ = 1.000 Hm³. Estos volúmenes son representados en el mapa 6 en los escenarios sin y con cambio climático, para su posterior comparación con la demanda de agua en cada provincia.

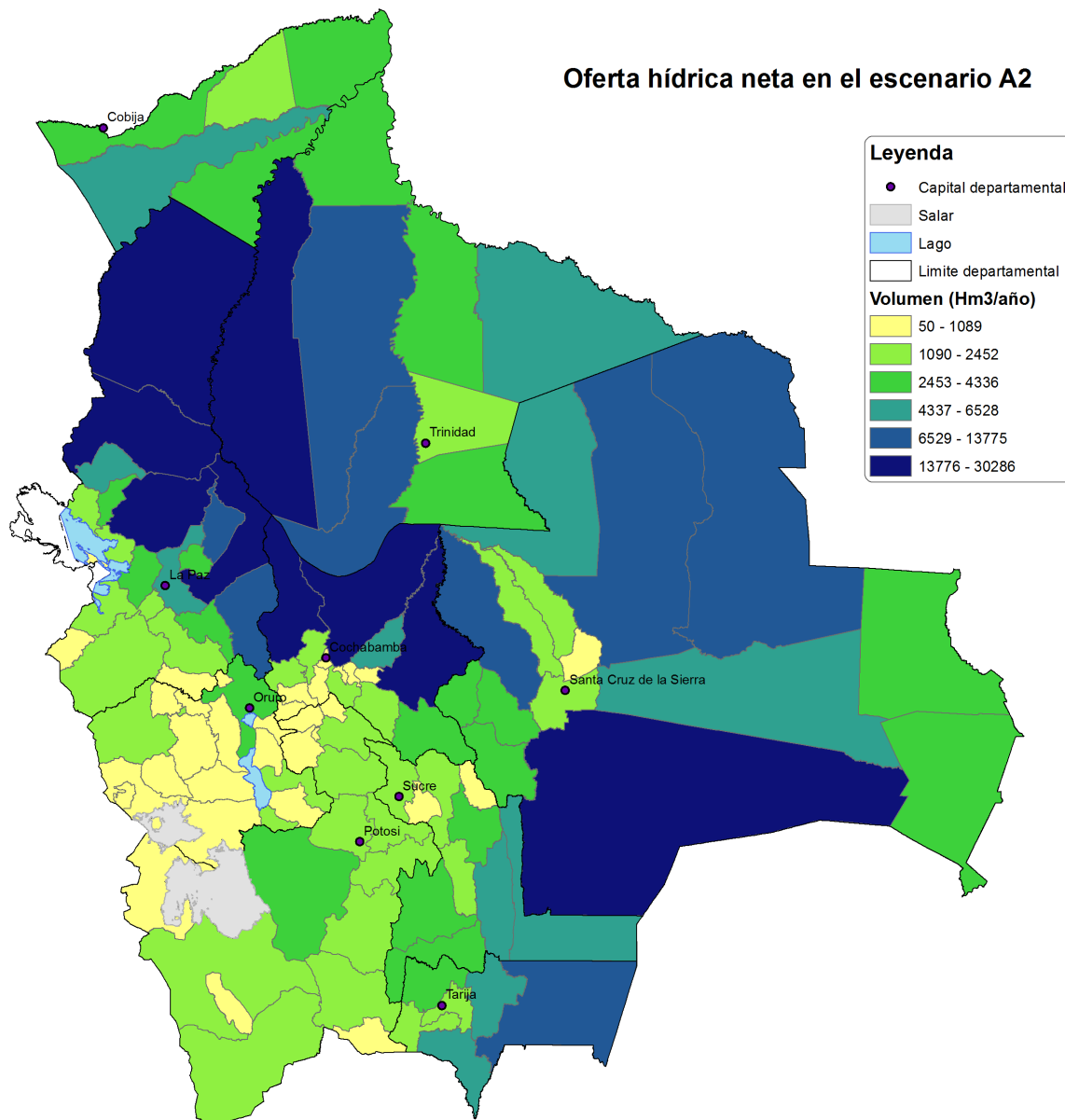
Mapa 8a: Oferta hídrica neta en el escenario sin cambio climático y el escenario A2, por provincia (Hm³/año)

(a) 2071-2100 Escenario sin cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 9b: Oferta hídrica neta en el escenario sin cambio climático y el escenario A2, por provincia (Hm3/año)
 (b) 2071-2100 Escenario A2



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Demanda hídrica

Para el estudio de la demanda hídrica se tuvieron en cuenta dos fuentes de información: el consumo de agua potable y la demanda de agua para riego³. Se usa la demanda actual como punto de partida, y los cambios proyectados en el escenario de referencia, para estimar la demanda al final del siglo.

³ Ver Inventario Nacional de Sistemas de Riego (Bolivia, 2000).

Consumo de agua potable

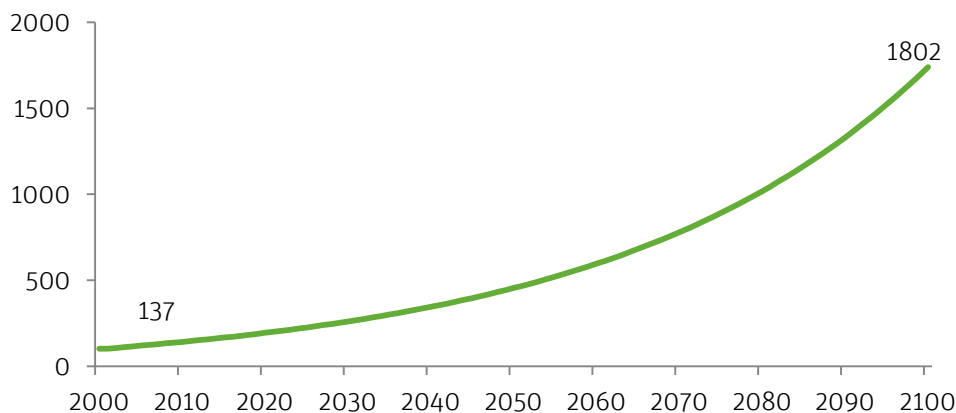
El cálculo de la demanda hídrica estuvo basado en las proyecciones obtenidas por el modelo BOLIXXI desarrollado en Jemio et al. (2014); se utilizaron las proyecciones realizadas de consumo de agua potable y de área cultivada. En primer lugar, se trabajó con las proyecciones de consumo de agua (ver gráfico 4) del modelo BOLIXXI obtenidas a nivel nacional.

De acuerdo con estas proyecciones, el consumo de agua potable se incrementaría de 137 millones de metros cúbicos en 2008 a 1.802 millones de m³ el año 2100, teniendo un incremento de 13 veces. Esto significa un consumo per cápita, de 14 m³ por persona para el 2008 y 110 m³ por persona para el 2100.

La demanda de agua potable al final del siglo será aproximadamente 13 veces mayor que al principio del siglo, por el crecimiento de la población, el aumento en cobertura de agua potable y el aumento en demanda de los hogares, que serán diez veces más ricos. En áreas de crecimiento poblacional más alto, la demanda crecerá más rápidamente que este promedio⁴.

De acuerdo a Falkenmark y Widstrand (1992), la necesidad mínima para uso doméstico sería 100 litros por día, correspondiendo a 36 m³ por año por persona. Es decir, en Bolivia se usa ahora solamente un tercio del mínimo recomendado, pero al final del siglo se estima que se usará tres veces más del mínimo. La cantidad al final del siglo, de 110 m³ por persona, sin embargo, es solamente la mitad del consumo actual en Estados Unidos, 211 m³ por persona por año (European Schoolbooks, 1994).

Gráfico 4: Proyecciones de consumo de agua potable de acuerdo al modelo BOLIXXI, 2000-2100 (millones de metros cúbicos)

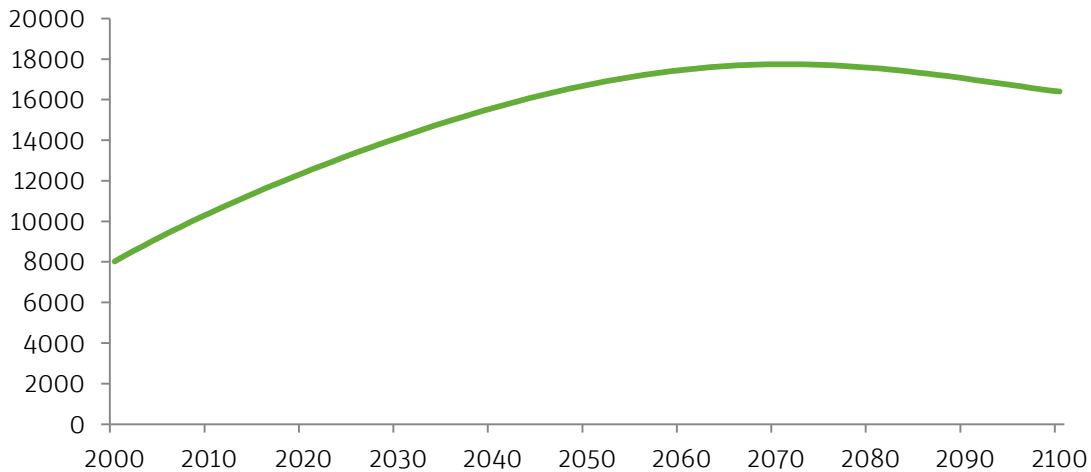


Fuente: Elaboración propia con información modelo BOLIXXI.

Para desagregar las proyecciones a nivel nacional, realizadas mediante el modelo BOLIXXI, se utilizaron las proyecciones de población departamental desarrolladas en Andersen, Jemio y Valencia (2014) en base a proyecciones de INE y CEPAL. A nivel nacional, se espera que la población boliviana se duplique durante este siglo (ver gráfico 5). Sin embargo, siguiendo las tendencias de la migración interna de las últimas décadas, se espera que las poblaciones de las tierras bajas crezcan más rápidamente que las poblaciones de las tierras altas.

⁴ Ver Jemio y Andersen (2014).

Gráfico 5: Proyecciones de población, 2000-2100 (miles de personas)

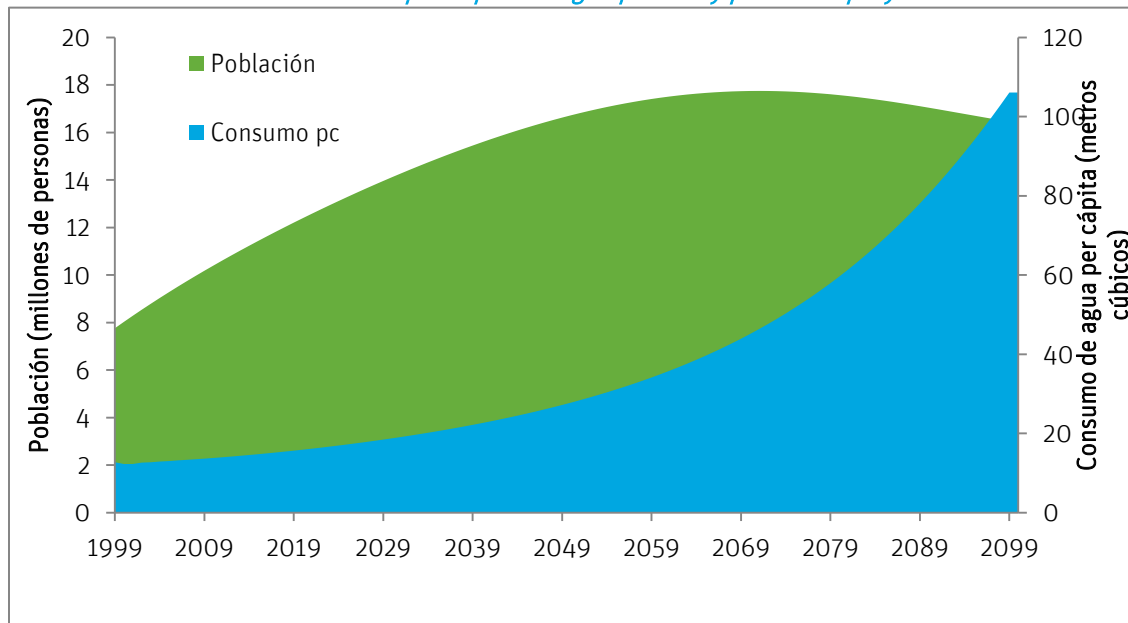


Fuente: Elaboración propia con información modelo BOLIXXI.

Para calcular el consumo total de agua proyectado del modelo BOLIXXI, se distribuye entre las provincias en proporción a su población proyectada de cada año.

El consumo per cápita de agua potable proyectado por el modelo BOLIXXI, tiene una tendencia creciente, a diferencia de la población, la cual muestra un punto de inflexión por el año 2070 aproximadamente (ver gráfico 6).

Gráfico 6: Consumo per cápita de agua potable y población proyectada

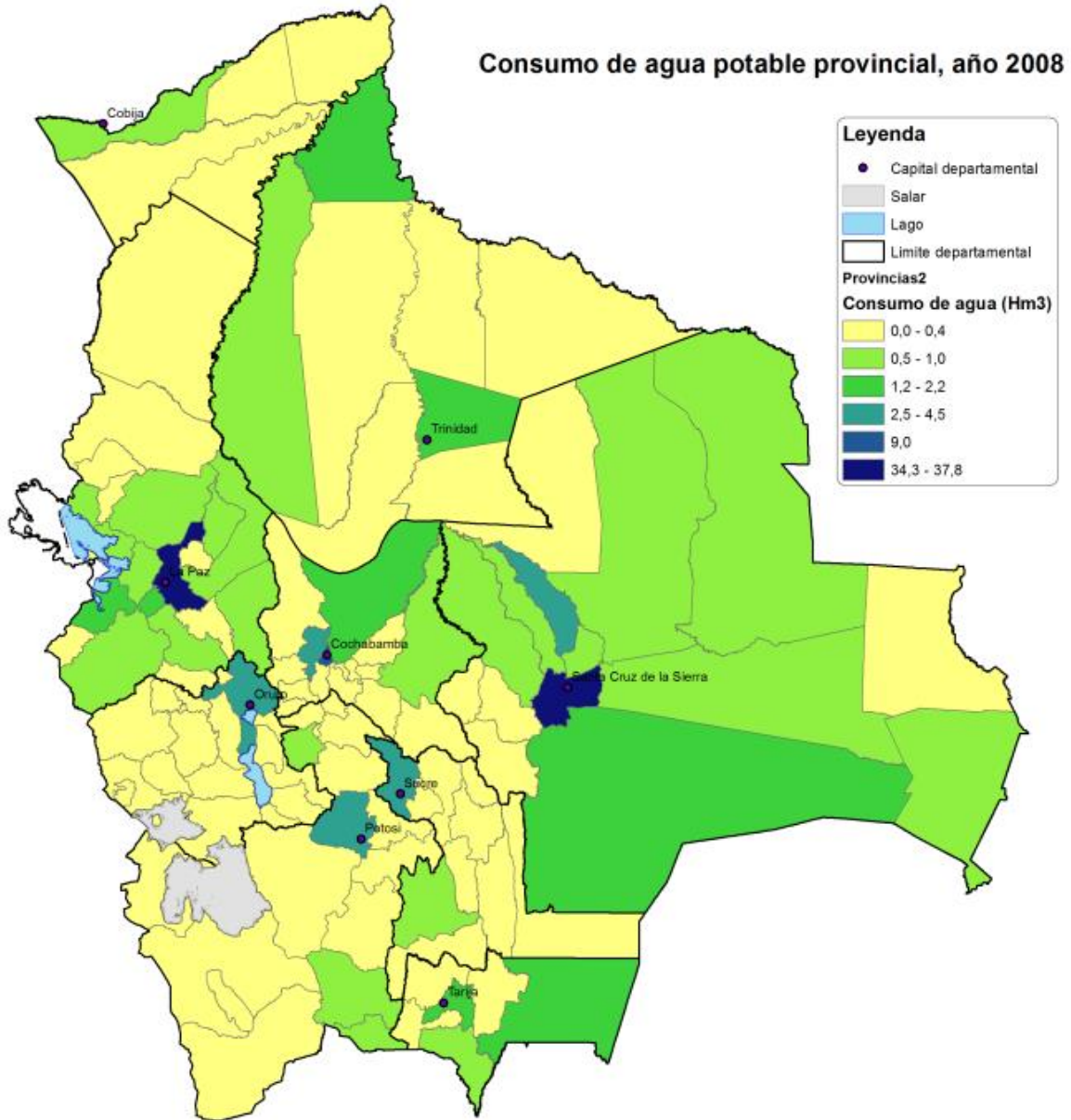


Fuente: Elaboración propia con datos modelo BOLIXXI (2009).

El segundo paso consistió en calcular el consumo de agua potable provincial, con las proyecciones provinciales realizadas en Andersen, Jemio y Valencia (2014); se aplicó la misma metodología utilizada en los departamentos (consumo de agua distribuido de acuerdo a la población). En promedio, el incremento del

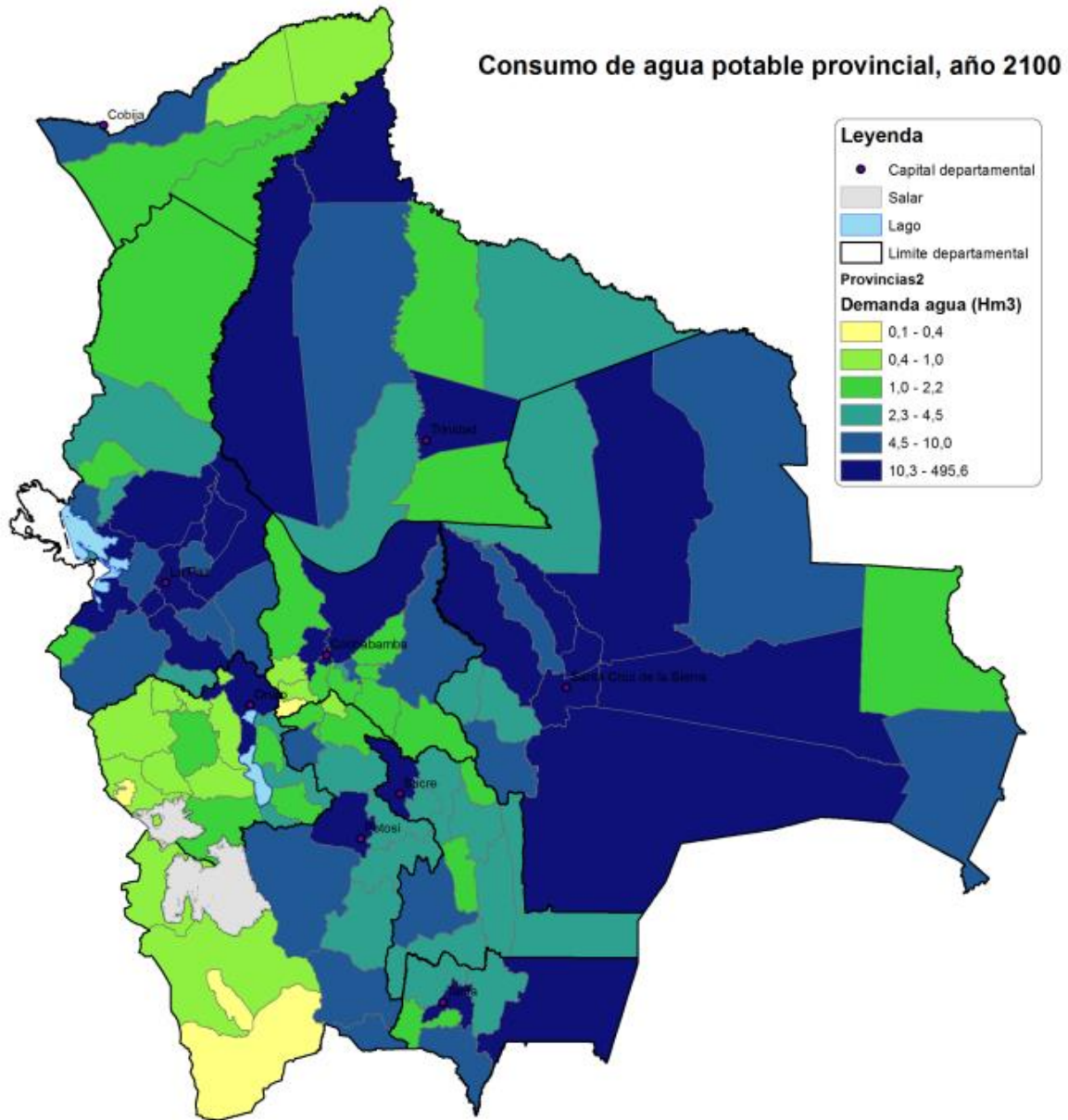
consumo sería de 13 veces más que el año base; en este escenario, las ciudades capitales son las que tienen mayor consumo de agua potable (ver mapa 7).

Mapa 10a: Consumo provincial de agua potable, 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 11b: Consumo provincial de agua potable, 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

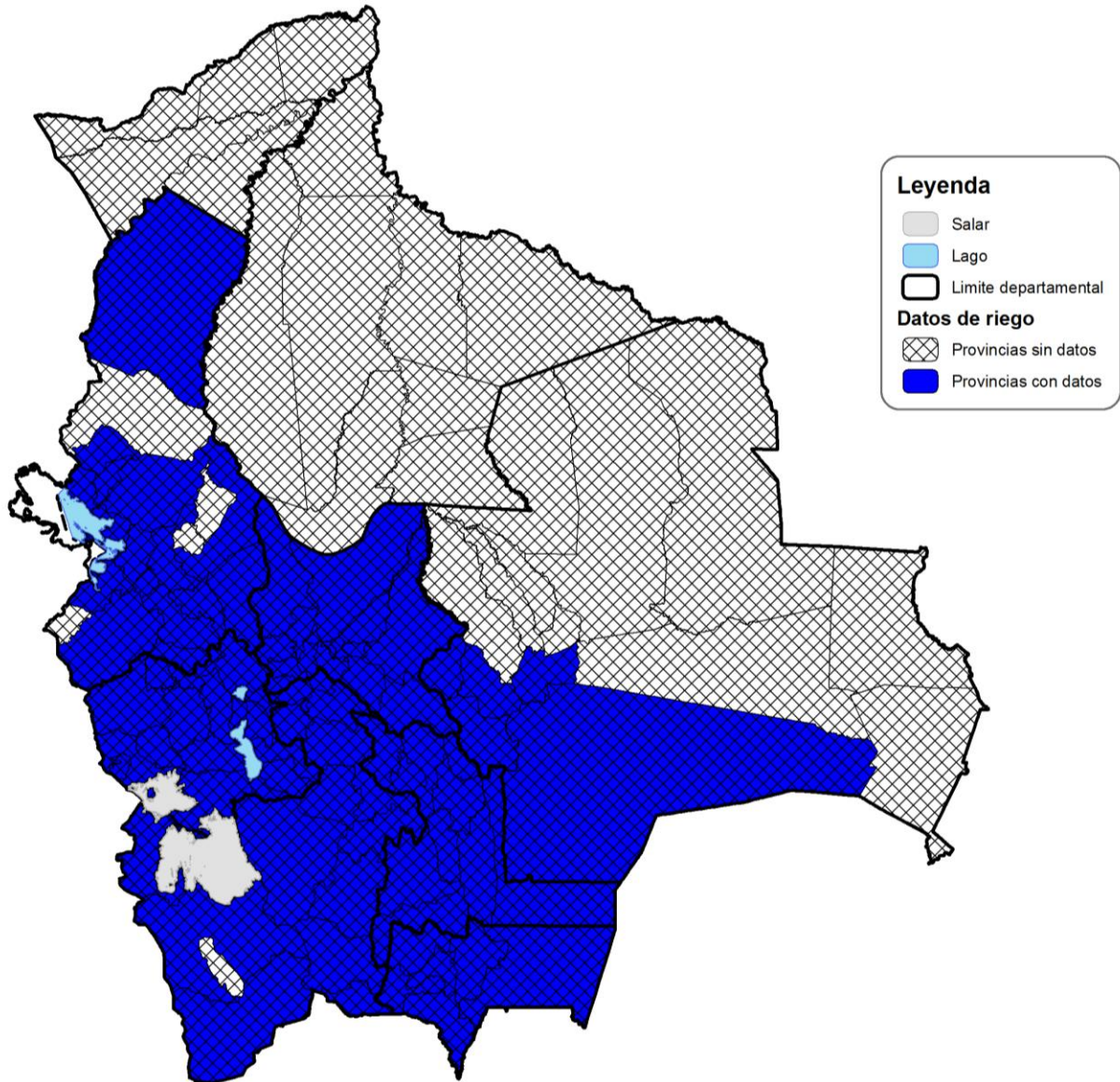
Consumo de agua para riego para la producción agrícola

Mucho más importante que la demanda de agua potable es la demanda de agua para riego. En la actualidad, el uso de agua para riego es alrededor de 40 veces mayor que el uso de agua potable. Se espera que la demanda hídrica para la producción agrícola aumente de 5,4 mil Hm³ a 66 mil Hm³ para el año 2100, con un incremento de 12 veces, correspondiendo a la expansión del área cultivada previsto en el escenario base⁵. Se supone que la demanda de agua para riego aumenta de la misma manera en todas provincias.

⁵ Ver Jemio y Andersen (2014).

Para el consumo de agua por riego se trabajó con los datos del Inventario Nacional de Sistemas de Riego⁶, realizado para el año 2000. Los datos del inventario dan a conocer el consumo de agua para riego únicamente para la producción agrícola. Es necesario aclarar que no existen datos de riego para la mayoría de las provincias de la zona amazónica ni algunas provincias de la zona altiplánica como Caranavi, Gral. José Manuel y Enrique Baldivieso.

Mapa 12: Provincias con demanda de agua para riego, 2000



Fuente: Elaboración propia.

⁶ Ver Inventario Nacional de Sistemas de Riego (Bolivia, 2000).

La razón por la que la información de riego de todas las provincias no se levantó, de acuerdo al Inventario Nacional, es que no practican agricultura a gran escala, por lo que el inventario no las tuvo en cuenta; estas provincias tienen diferentes actividades como: pesca, castaña, entre otros.

Para ser consistentes con la información, se estimaron los datos de demanda de riego para las provincias en las que no existían datos. Es decir, en las provincias donde no existe información, (ver mapa 8) se estimó el consumo de agua para riego.

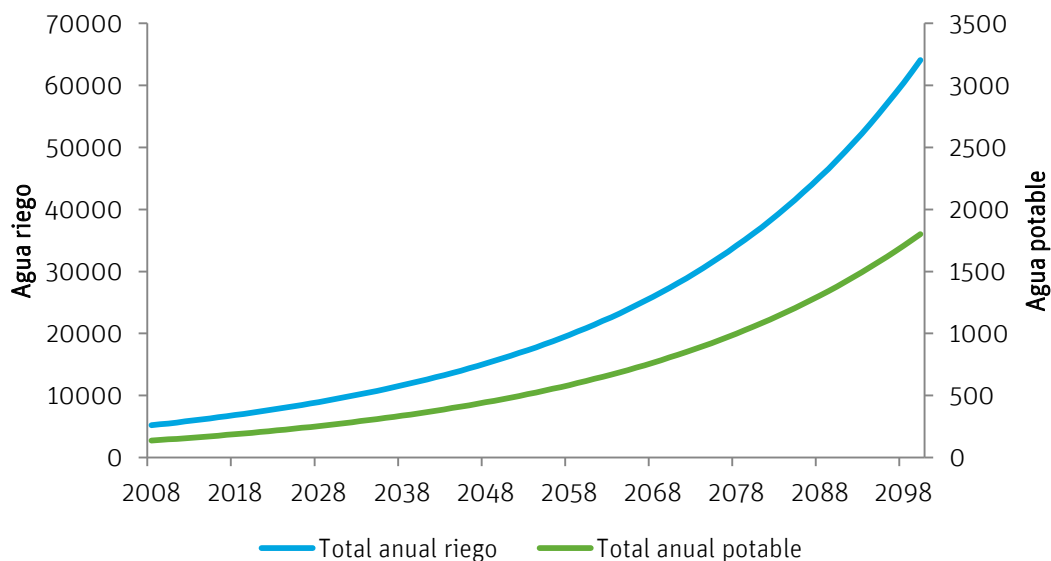
La metodología empleada para el cálculo estuvo basada en el informe Cambio Climático en Bolivia (MPD/PNCC 2007)⁷, y consiste en aumentar diez veces el consumo de agua potable (calculado en el modelo BOLIXXI) en las provincias donde no se tenga información. De esta manera, el índice de escasez no se subestimaría en las provincias sin información.

Finalmente, se agregaron ambas fuentes de demanda de agua: demanda por consumo de agua potable y la de riego para agricultura. Para este propósito se transformaron ambas fuentes de datos a volumen, ya que la demanda por riego se encontraba en caudal.

Finalizados todos los pasos, se obtuvo la demanda de agua, tanto de agua potable como de riego para la agricultura, a nivel nacional, proyectada hasta el 2100, por provincia.

Tanto el consumo de agua potable como el de riego crecen exponencialmente. A principios de siglo, el riego significaba el 97% del total de consumo de agua. Esta situación no cambia a finales de siglo, es decir el porcentaje de agua utilizada para riego es el mismo (ver gráfico 7).

Gráfico 7: Evolución de la demanda total de agua potable y agua para riego durante el siglo (millones de metros cúbicos)

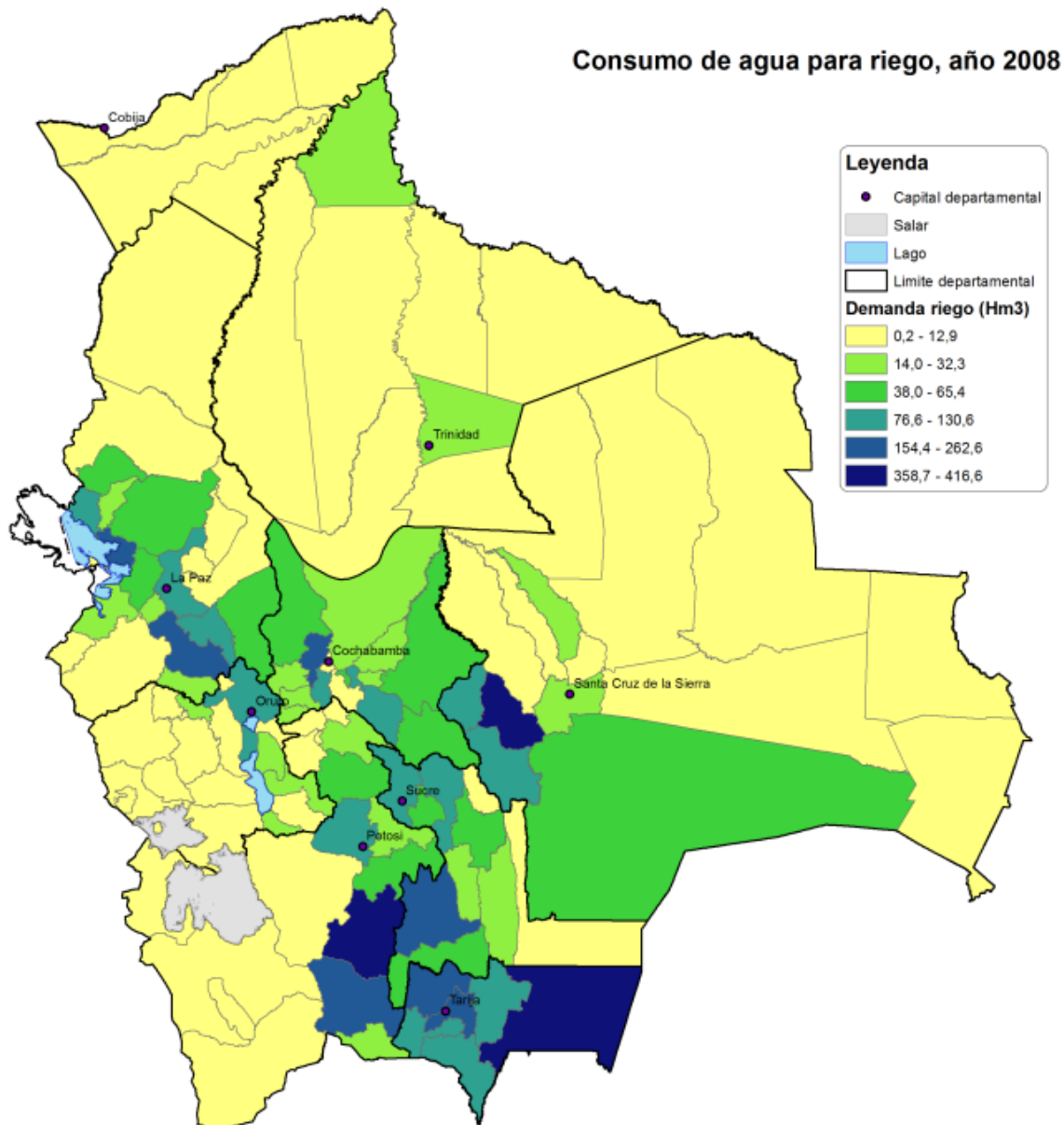


Fuente: Elaboración propia.

⁷ Ver Cambio Climático en Bolivia (2003).

El consumo de agua para riego se incrementa principalmente en la zona de valles de Bolivia, debido a la importancia de la agricultura; en menor proporción existe incremento en la zona altiplánica y amazónica. La demanda de agua para riego total para el año 2008 es de 5.217 millones de m³ y se incrementaría a 64.043 millones de m³, es decir 12 veces al igual que la expansión de área cultivada para el escenario base⁸.

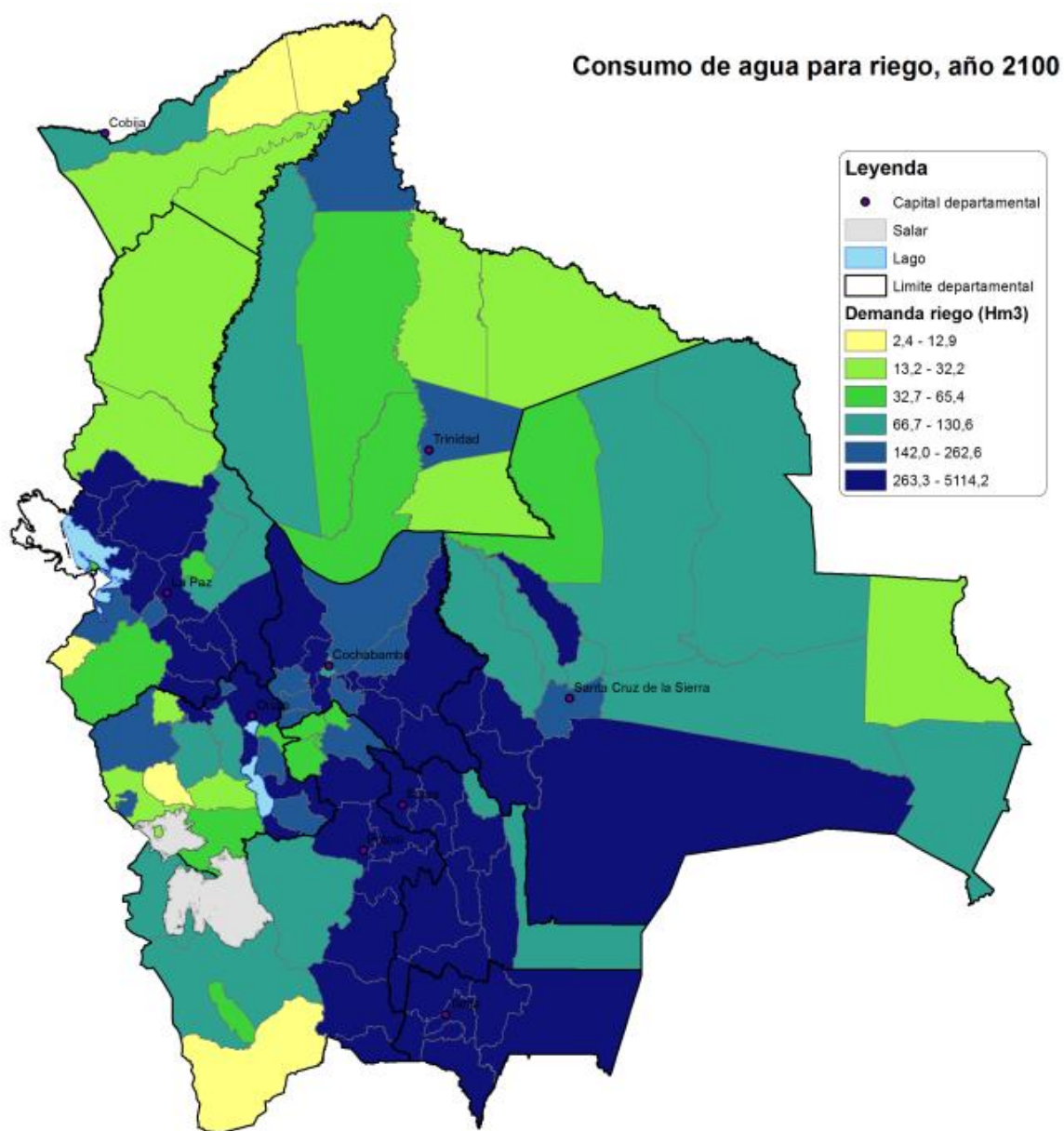
Mapa 13a: Consumo provincial de agua para riego, 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

⁸ Ver Jemio y Andersen (2014).

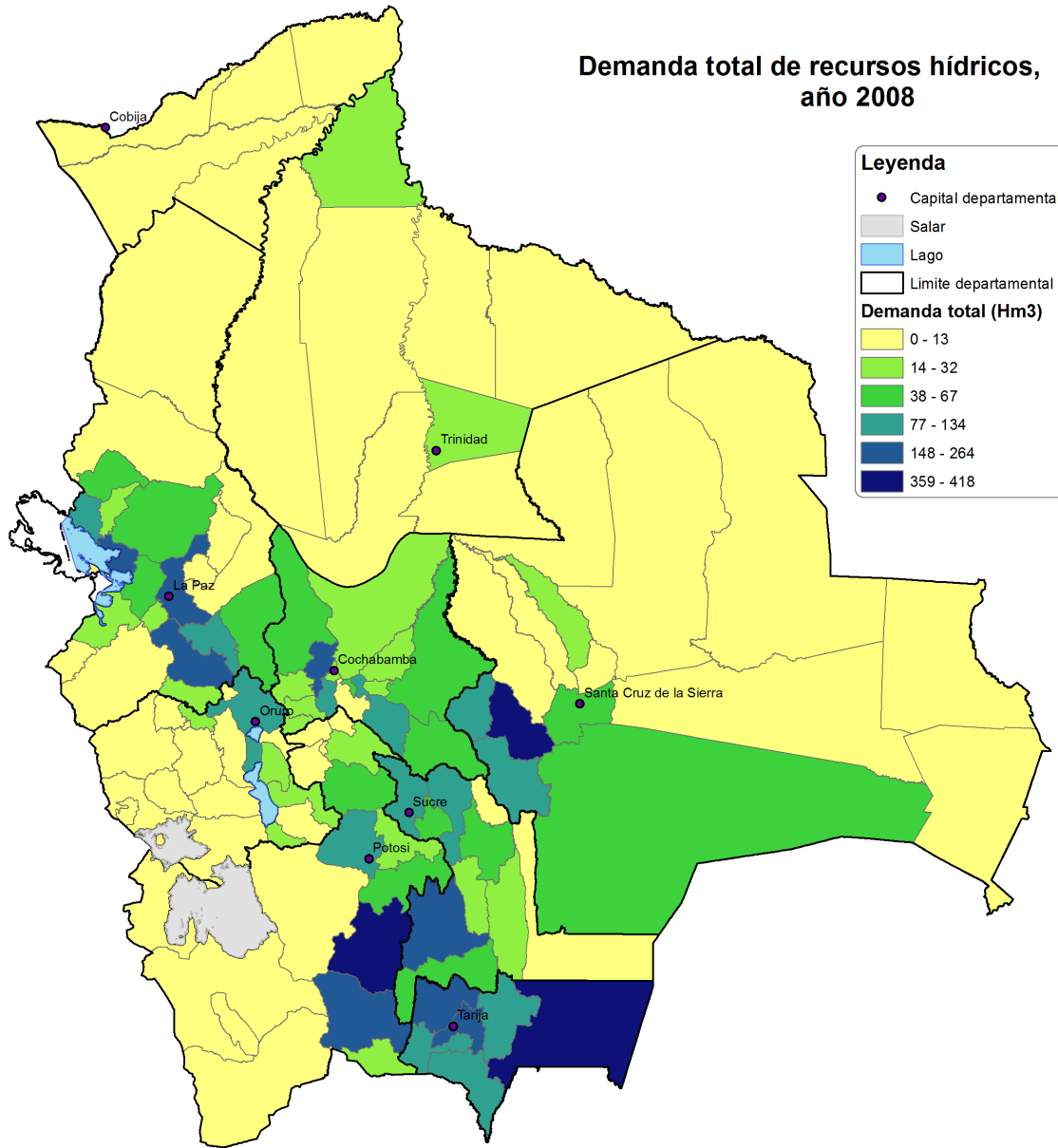
Mapa 14b: Consumo provincial de agua para riego, 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

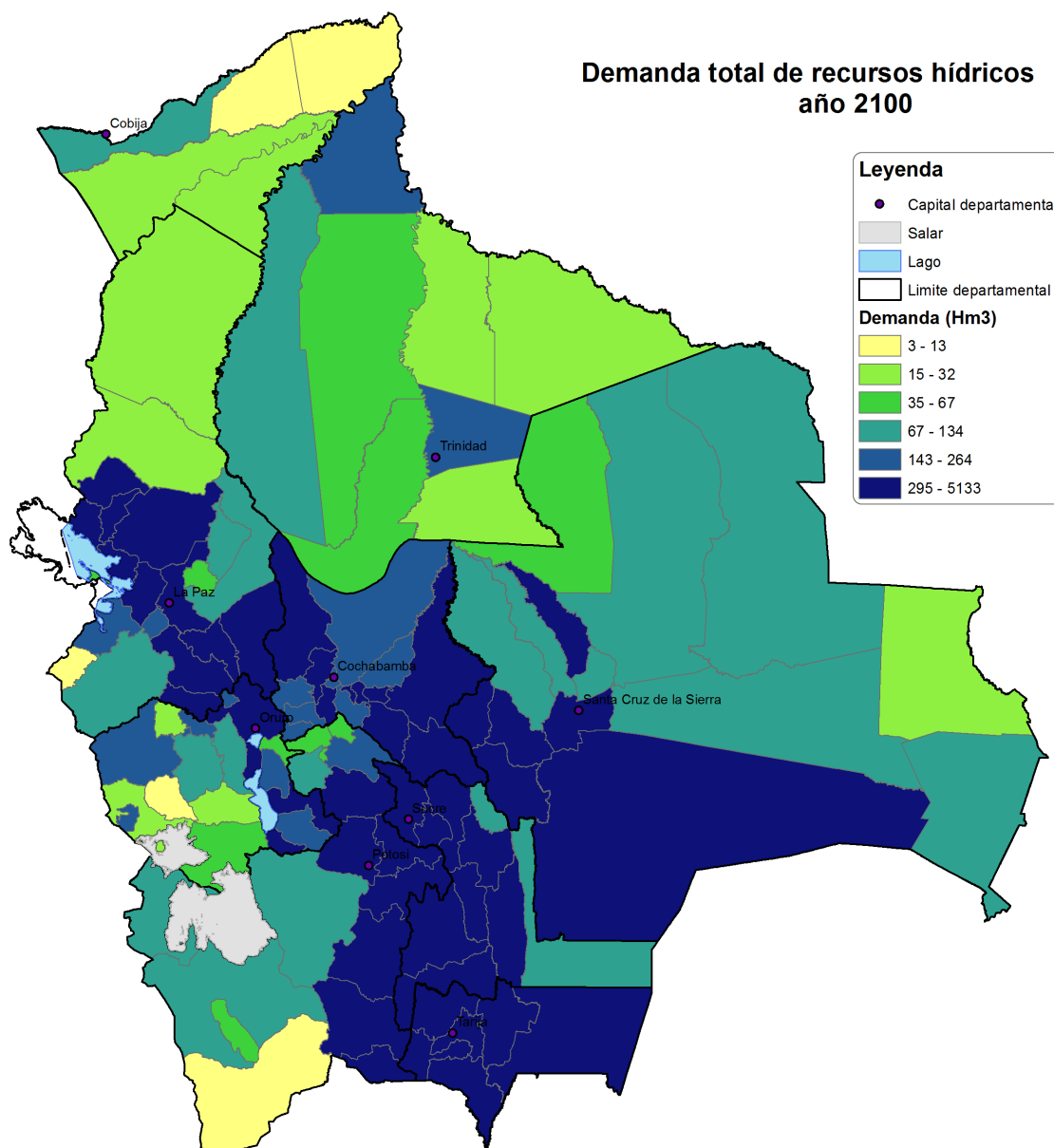
La demanda total de recursos hídricos (consumo de agua potable y consumo de agua para riego) se incrementaría de 5,5 mil Hm³ a 68 mil Hm³ en 2100, debido a que la demanda de agua potable está directamente relacionada con la del crecimiento poblacional y el consumo de agua para riego crece proporcionalmente al área de cultivo estimada en el modelo BOLIXXI.

Mapa 15a: Demanda hídrica provincial en los años 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 16b: Demanda hídrica provincial en los años 2008 y 2100



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Índice de Escasez

Una vez estimadas la demanda y la oferta de agua, se puede calcular un Índice de Escasez de Agua, que muestra la relación existente entre la demanda de agua y la oferta hídrica existente en las fuentes abastecedoras. De acuerdo con el Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (ONU, 1997), se registra escasez de agua cuando la cantidad de agua utilizada supera la capacidad de las de fuentes naturales (aguas superficiales y subterráneas) de suministro para suplir las necesidades para uso doméstico, de los sistemas

productivos y del ecosistema, entre otros. La escasez tiende a aumentar principalmente en regiones con tasas elevadas de crecimiento demográfico y de expansión de las actividades industriales y agrícolas.

La expresión⁹ de cálculo del Índice de Escasez en su forma porcentual es:

$$Ie = \frac{D_t}{O_n} \times 100\%$$

Donde:

Ie Índice de Escasez

D_t Demanda total

O_n Oferta neta

La escala de valoración para categorizar el Índice de Escasez, está dividida en seis categorías (ver cuadro 1). Cuando los aprovechamientos representan menos del 1% del agua disponible no existen problemas. Si es entre 1% y 10% supone una escasez mínima y si es del 10 al 20% el nivel de escasez sería medio. Si la demanda es mayor al 20% se deben tomar previsiones para satisfacerla, ya que la demanda es apreciable en comparación con la oferta. Si la demanda constituye más de 50% de la oferta, el nivel de escasez sería alto, y por encima de 100% sería imposible cubrir la demanda con la oferta local de agua superficial.

Cuadro 1: Categorías del Índice de Escasez

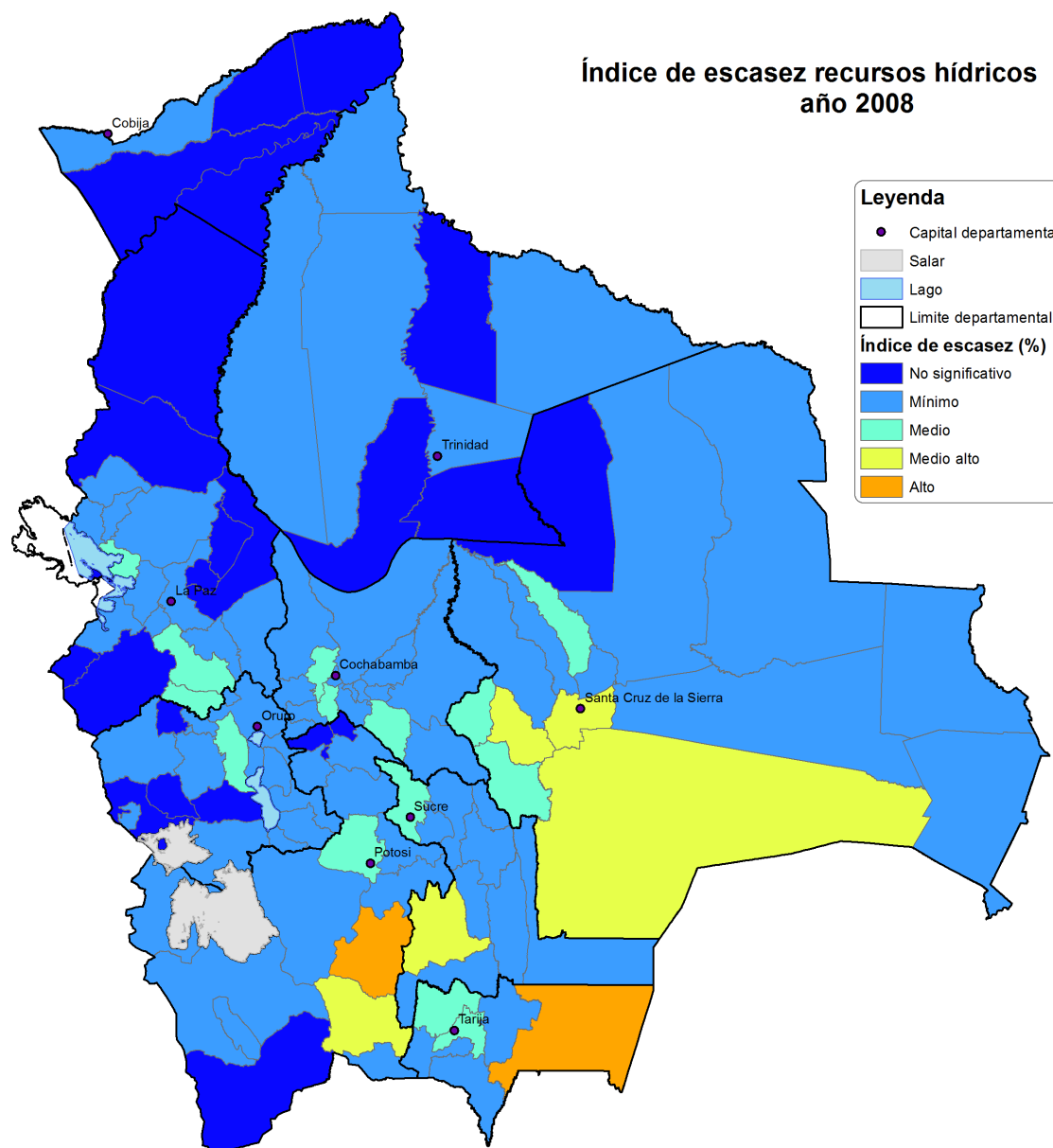
Índice de Escasez	Categoría de escasez	Características
<1%	No significativo	Demanda no significativa en relación con la oferta.
1-10%	Mínimo	Demanda muy baja con respecto a la oferta.
11-20%	Medio	Demanda baja con respecto a la oferta.
21-50%	Medio alto	Demanda apreciable.
51-100%	Alto	Demanda alta con respecto a la oferta.
>100%	Muy alto	La demanda no se puede cubrir con la oferta local de agua superficial.

Fuente: Adaptado de Rivera et al. (2004).

El mapa 11 muestra el Índice de Escasez a principios del siglo XXI. Se puede apreciar que en general hay abundante agua superficial disponible en comparación con la demanda en casi todo el país. A nivel de país, la oferta neta anual asciende a 84 mil Hm³, mientras que la demanda para agua potable y riego solamente es de 5,5 mil Hm³, es decir casi 7% de la oferta neta. En las provincias color azul no se usa ni el 1% del agua superficial disponible, mientras que en las provincias de color celeste se usa entre 1 y 10%, lo que significa que la escasez es mínima. En la categoría celeste claro hay una escasez media, ya que se usa entre 10 y 20% del agua disponible. Hay cinco provincias con un Índice de Escasez medio alto, donde se usa hasta 50% del agua disponible, y dos provincias con escasez alta, ya que se usa más de 50% de la oferta neta.

⁹ Ver ONU (1997).

Mapa 17: Índice de Escasez de Agua a principios del siglo XXI.



Fuente: Elaboración propia.

La situación cambiará sustancialmente en el transcurso de este siglo, ya que se prevé un aumento en la demanda de cerca de 12 veces. La demanda a nivel nacional a final del siglo ascendería a 68 mil Hm³ (97% de esto para riego), mientras que, en el caso de cambio climático escenario A2, la oferta neta se reduciría de 84 a 77 mil Hm³. Es decir, a nivel nacional, el nivel de escasez sería “alto.” Sin embargo, como la oferta y la demanda no se distribuyen homogéneamente en el país, unas provincias tendrían niveles de escasez muy altos (por encima de 100%), lo que indicaría la necesidad de usar reservas subterráneas, o la necesidad de regular la expansión de actividades agrícolas.

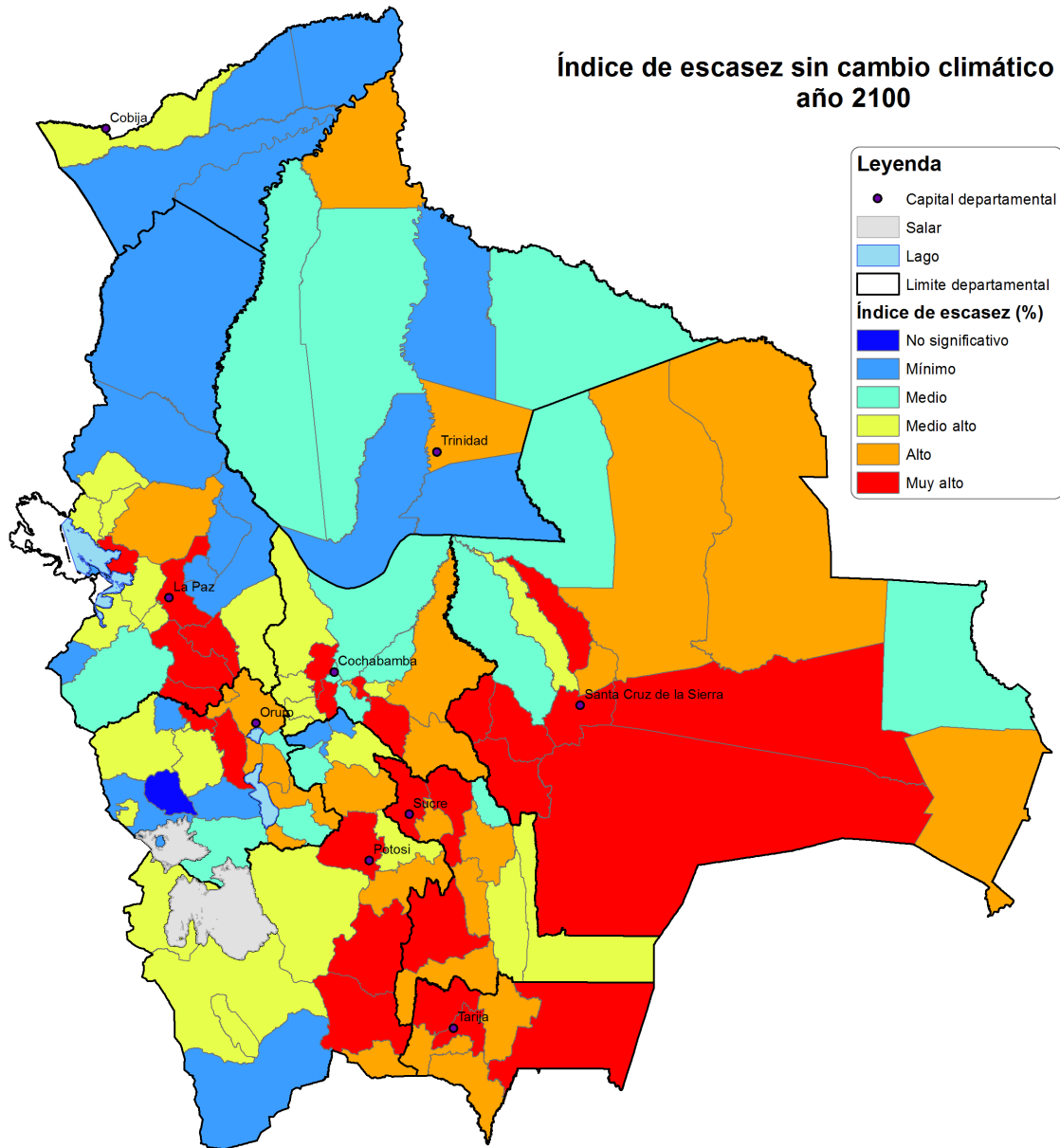
El mapa 12 muestra el Índice de Escasez de Agua a nivel provincial a finales del siglo, en el escenario sin cambio climático y en el escenario con cambio climático (escenario A2). Se nota un gran cambio entre la situación al principio del siglo (mapa 11) y la situación al final del siglo (mapa 12), mientras que las diferencias entre los escenarios con y sin cambio climático son menos importantes.

Existen cuatro provincias donde el cambio climático podría aumentar el Índice de Escasez de Agua al final del siglo de “alto” a “muy alto” (Arce y O’Connor en Tarija, Chayanta en Potosí, y Campero en Cochabamba); tres provincias donde podría aumentar el Índice de Escasez de “medio alto” a “alto” (Mejillones y Sahama en Oruro y Nor Lipez en Potosí); y tres donde cambiaría de “medio” a “medio alto” (Arze y Tiraque en Cochabamba y Pagador en Oruro).

También existen provincias donde el análisis sugiere que el cambio climático podría reducir el Índice de Escasez de manera importante: En Warnes de Santa Cruz y Barro de Oruro, el Índice de Escasez se mejoraría de “alto” a “medio alto”, y en Loayza de La Paz y Chiquitos de Santa Cruz, el Índice se mejoraría de “muy alto” a “alto”.

Mapa 18a: Índice de Escasez de Recursos Hídricos al final del siglo XXI, en los escenarios con cambio climático y sin cambio climático

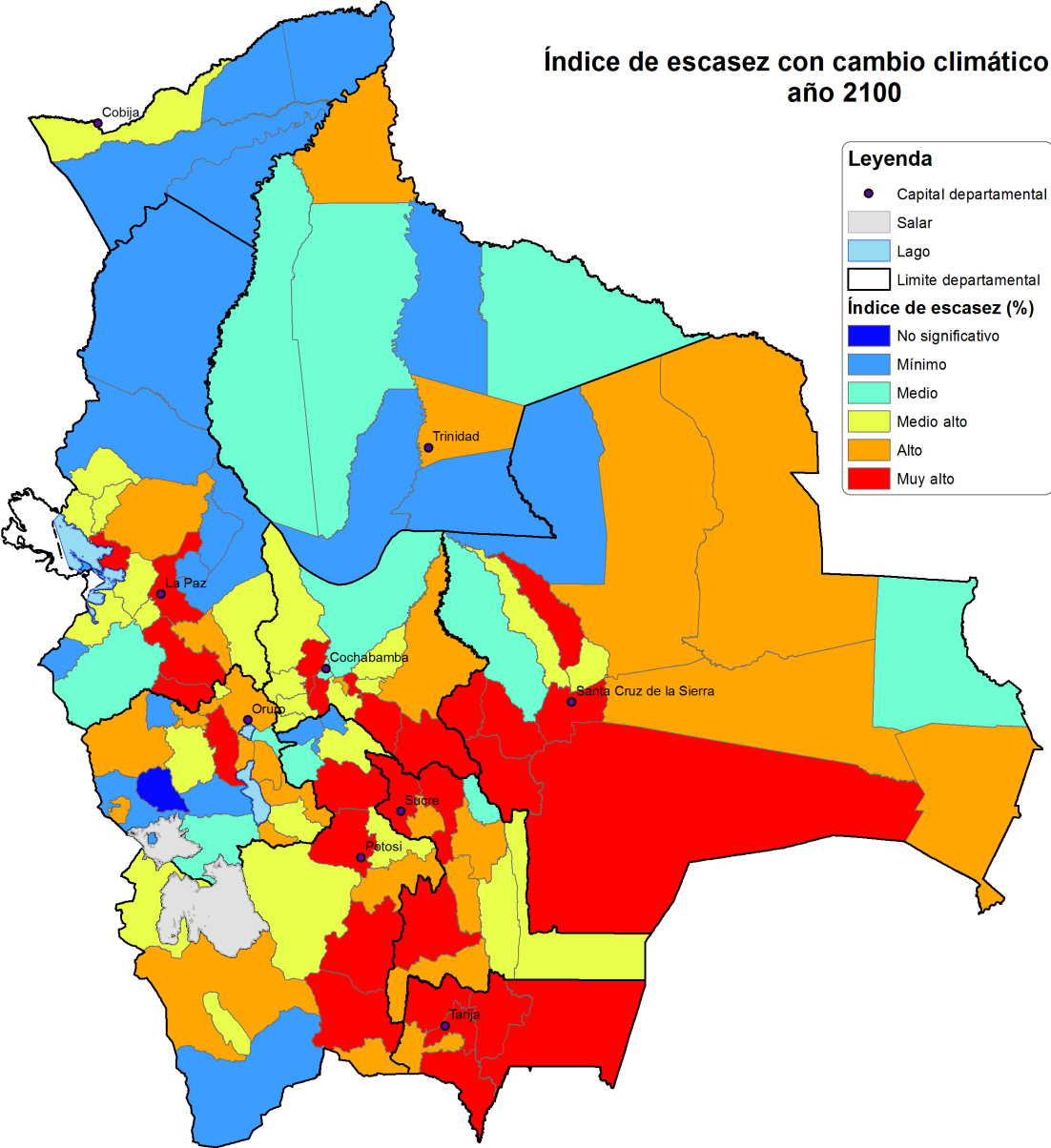
(a) Escenario sin cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 19b: Índice de Escasez de Recursos Hídricos al final del siglo XXI, en los escenarios con cambio climático y sin cambio climático

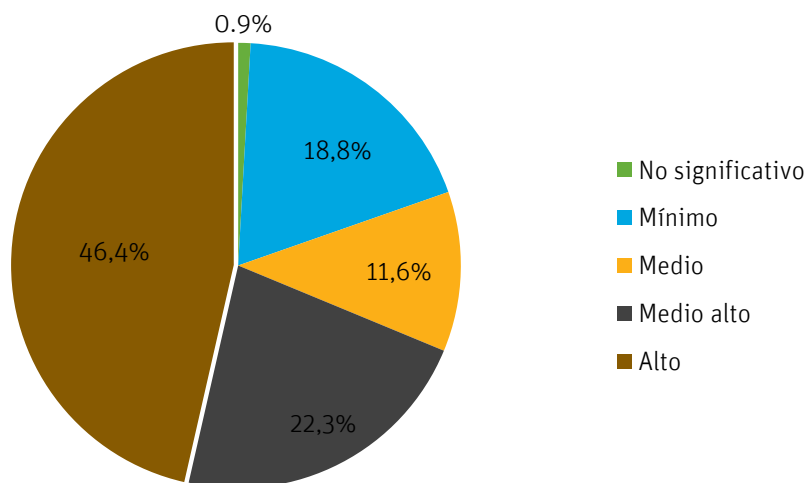
(b) Escenario con cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

El 0,9% de las provincias de Bolivia utiliza menos del 1% de la oferta hídrica superficial disponible, y el 18,8% utiliza entre el 10 y 20% de la oferta hídrica. Los problemas de escasez empiezan cuando la utilización de agua es mayor al 20%; esto corresponde al 80,3% del total de provincias que utilizan entre el 20 y 100% del total de agua superficial disponible (ver gráfico 8).

Gráfico 8: Distribución porcentual de provincias de acuerdo a las categorías de escasez a principios del siglo XXI.

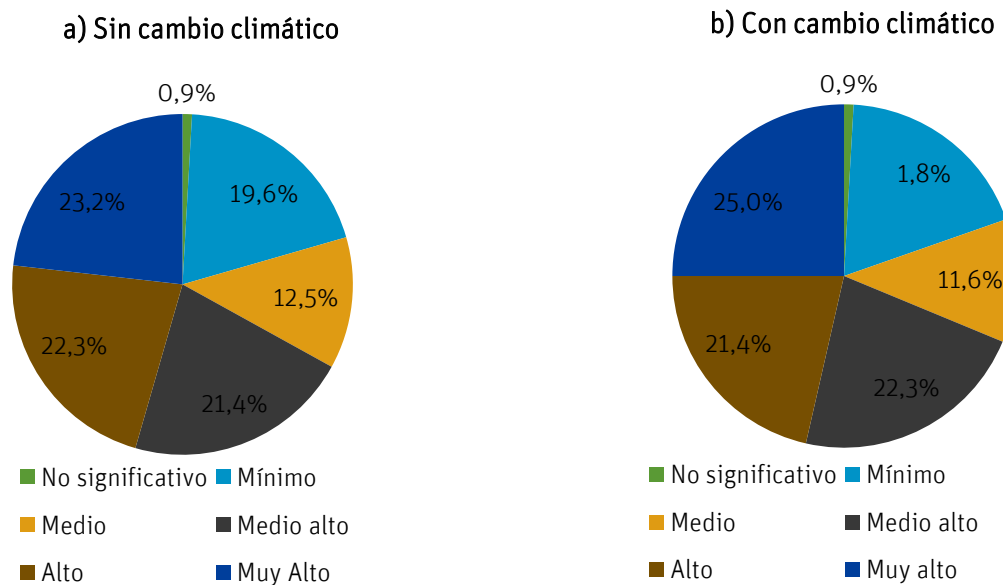


Fuente: Elaboración propia.

El aumento de demanda de agua potable y de agua para riego se incrementará 12 veces en el transcurso del siglo, por lo que fue necesario incrementar una categoría más en la cual la utilización de oferta hídrica superficial es mayor al 100%. Muchas provincias utilizarán más del 50% de la oferta superficial disponible de agua lo que causaría una aguda escasez del líquido elemento. La zona sur del altiplano se ve afectada, debido a que la precipitación se reduciría y la temperatura aumentaría. En el escenario sin cambio climático existen 75 provincias que utilizan más del 20% de la oferta disponible; en su mayoría, estas provincias se encuentran en los departamentos del Altiplano y también en los departamentos de Tarija, Chuquisaca y el sur de Santa Cruz. En el escenario con cambio climático existen 77 provincias que utilizarían más de 20% de la oferta de agua disponible, dos más que en el escenario anterior.

La categoría “muy alto” representa a las provincias que consumirían más del 100% de la oferta hídrica, es decir la oferta hídrica superficial no abastecería para el consumo de agua potable y de riego, por lo que es necesario buscar alternativas de abastecimiento como aguas subterráneas, pero sin alterar el proceso natural del medio ambiente. El porcentaje de provincias con consumo de más del 100% son: 23% para el escenario sin cambio climático y 25% para el escenario con cambio climático. Para el consumo entre 50 y 100% es de 22% para el escenario sin cambio climático y 21,4% para el escenario con cambio climático (ver gráfico 9).

Gráfico 9: Distribución porcentual de provincias de acuerdo a las categorías de utilización en los escenarios con cambio climático y sin cambio climático.



Fuente: Elaboración propia.

3.4 El Costo de la reducción en disponibilidad de agua

Bolivia es uno de los países con mayor disponibilidad de agua dulce por persona y los habitantes consideran el agua “un derecho universal y comunal que debe ser distribuido equitativamente de acuerdo a las necesidades, tradiciones y prácticas comunitarias donde se respeta el ciclo del agua”. En general, los regantes no pagan por el agua, aunque en ciertos lugares hacen contribuciones mensuales o anuales para mantener los sistemas de riego (Aisquith y Vargas, 2007).

Sin embargo, para satisfacer la creciente demanda de agua, se necesitan inversiones en represas, canales de riego, bombas, etcétera, lo que implica un costo.

De acuerdo con el estudio de agua en Bolivia coordinado por Asquith y Vargas (2007), el agua superficial de irrigación tiene un costo real entre US\$0,005 y 0,03/m³, mientras que el agua subterránea para irrigación cuesta US\$0,01 - 0,05/m³. Considerando el alto nivel de escasez hacia finales del siglo, sería razonable asumir el costo más alto dentro de estos rangos, es decir un costo de US\$0,05/m³.

El agua potable tiene un costo mayor, porque está tratada y porque requiere infraestructura más cara para su transporte. Las tarifas que actualmente se pagan en Bolivia, oscilan entre US\$0,27 y 2,13/m³ dependiendo del lugar y el tipo de consumidor (Ledezma, *s.f.*). Los pequeños consumidores domésticos (entre 20 y 60 m³ por año) normalmente disfrutan de precios subsidiados. Como precio referencial al final del siglo se usó US\$2,13/m³, que corresponde al precio que pagan los consumidores comerciales en La Paz actualmente.

A nivel nacional, el cambio climático de acuerdo al escenario A2 reduciría la oferta de agua en 7.165 mil Hm³. Sin embargo, no se deben contabilizar reducciones en provincias con abundante agua, ya que la reducción no

representaría un problema. Tampoco se deberían contabilizar aumentos en provincias con abundante agua, porque no implicarían un beneficio.

Si solamente contamos las reducciones y aumentos en provincias con un nivel de escasez medio o mayor, llegaríamos a una reducción relevante de 6.089 Hm³. Aproximadamente el 2,7% de esto sería la reducción en agua potable, mientras que el 97,3% sería una reducción en agua de riego. Entonces, el costo total de la reducción en disponibilidad de agua se puede calcular como $0,027 \times 6.089 \text{Hm}^3 \times \$2,13/\text{m}^3 + 0,973 \times 6.089 \text{Hm}^3 \times \$0,05/\text{m}^3 = 646$ millones de dólares de 2007, lo que equivaldría a 0,31% del PIB del 2100.

Cómo se puede ver en el cuadro 2, serían principalmente los departamentos Chuquisaca, Cochabamba, Potosí y Tarija los que sufrirían por los cambios en disponibilidad de agua debido al cambio climático, mientras que Santa Cruz podría beneficiarse debido a la mayor disponibilidad de agua en este departamento.

Cuadro 2: Impactos del cambio climático (A2) sobre la oferta neta de agua al 2100

Departamento	Cambio en oferta neta	Costo del cambio en oferta hídrica	
	(Hm ³)	(millones de dólares de 2007)	(% del PIB del 2100)
Beni	-15	2	0,00
Chuquisaca	-1.640	174	0,08
Cochabamba	-1.588	169	0,08
La Paz	-5	0	0,00
Oruro	-448	48	0,02
Pando	-27	3	0,00
Potosí	-1.661	176	0,08
Santa Cruz	425	-45	-0,02
Tarija	-1.129	120	0,06
Bolivia	-6.089	646	0,31

Fuente: Estimación propia.

Nota: Solamente provincias con un Índice de Escasez mayor a 20% son contabilizados.

4. Conclusiones y recomendaciones

Bolivia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de agua dulce disponible en el mundo, pero su distribución en el territorio es desigual, lo que complica la provisión a toda la población.

La demanda de agua potable se incrementaría 13 veces de acuerdo a las proyecciones de consumo de agua potable realizadas por el Modelo de Equilibrio General Computable BOLIXXI. La demanda de agua para sistemas de riego se incrementaría 12 veces al igual que la expansión del área cultivada para el escenario base.

La demanda total de agua para consumo de agua potable y riego se incrementaría 12 veces para finales de siglo en comparación con la demanda al principio del siglo. Sin embargo, la oferta hídrica de acuerdo al modelo PRECIS, en muchas provincias se reduce en más del 30%. Solamente existe un área entre el altiplano y las tierras bajas, donde se esperarían aumentos en la disponibilidad de agua.

Para las provincias que tengan altos índices de escasez de agua se deben buscar alternativas para abastecimiento, como ser aguas subterráneas, pero la explotación debe ser a una velocidad menor que su velocidad de recarga natural para preservar el sistema.

Aunque el costo de la reducción en disponibilidad de agua a finales de siglo no tenga un efecto muy perceptible en el Producto Interno Bruto en términos de porcentaje, es necesario tomar acciones para los departamentos que se verían afectados, como Chuquisaca, Potosí, Cochabamba y Tarija.

5. Referencias

- Alves, L. M. (2007). Simulações da Variabilidade do Clima Presente sobre a América do Sul Utilizando um Modelo Climático Regional. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós- Graduação em Meteorologia. INPE, São José dos Campos, Brazil.
- Andersen, L.E., L.C. Jemio, H. Valencia. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Impactos en el sector Agropecuario*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 191, Washington, DC.
- Andrade, M.F. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Validación de Modelos Climáticos*. C.E. Ludeña y L. Sanchez-Aragon (eds), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 184, Washington, DC.
- Asquith & Vargas (2007). "Fair deals for watershed services in Bolivia". Natural Resource Issues No. 7. International Institute for Environment and Development. London, UK.
- BID y CEPAL. 2014. *La Economía del Cambio Climático en el Estado Plurinacional de Bolivia*. C.E. Ludeña, L. Sanchez-Aragon, C. de Miguel, K. Martínez, y M. Pereira (eds). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 220 y Naciones Unidas LC/W.627.
- Bolivia (2000). "Inventario Nacional de Sistemas de Riego". Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Cochabamba, Bolivia, junio.
- CAF (1997). "Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y Propuestas para la Región Andina: Bolivia". Corporación Andina de Fomento, Caracas, Venezuela, 1997.
- GWP (1999). "Marco Global para la acción". Global Water Partnership. La Haya, Marzo. European Schoolbooks (1994) *The battle for water: Earth's most precious resource*. Cheltenham, United Kingdom: European Schoolbooks.
- Falkenmark, M., y C. Widstrand (1992). "Population and Water Resources: A delicate balance. Population Bulletin." *Nationmaster*, 2004.
- Jemio, L.C., L.E. Andersen, C.E. Ludeña, C. de Miguel, M. Pereira. 2014. *La economía del cambio climático en Bolivia: Estimación de Impactos en Equilibrio General*. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 201, Washington, DC.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. (2004). "Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre". Exeter, UK, 40pp, April.
- Ledezma, R. (s.f.). "Análisis de las tarifas de agua potable y alcantarillado de Bolivia." Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas. (http://www.aderasa.org/docs_tscr/docs_tscr_comp/Analisis_Tarifas_en-Bolivia.pdf)
- MPD/PNCC (Min. de Planificación del Desarrollo/Programa Nal. Cambio Climático) (2007b). "El Cambio Climático en Bolivia (Análisis, Síntesis de Impactos y Adaptación)". La Paz, Bolivia. Quality, SRL.
- ONU (1997). "El Desarrollo de los Recursos Hídricos". UNESCO.
- Rivera et al. (2004). "Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial". Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Turc, L. (1954). "Le bilan d'eau des sols. Relation entre la précipitation, l'évaporation et l'écoulement." *Ann. Agronomiques* 5: 491-569.



www.iadb.org/cambioclimatico
Síguenos en twitter @BIDcambioclima