



Información para mejores decisiones
en la gestión de la agricultura
y el medio ambiente

Ministerio de Agricultura

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

El cambio climático y los recursos hídricos de Chile

La transición hacia la gestión del agua en
los nuevos escenarios climáticos de Chile

Fernando Santibáñez Q

*Profesor de agroclimatología
Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile*

Santiago, Diciembre de 2016

Contrapartes técnicas de ODEPA

Alfredo Apey, Geógrafo

Daniel Barrera, Ingeniero Forestal

Daniela Acuña, Ingeniera Agrónoma

Equipo ejecutor INFODEP

Fernando Santibáñez, Ingeniero agrónomo

Paula Santibáñez, Ingeniera civil en Geografía

Paulina González, Ingeniera en Recursos Naturales

El presente estudio se puede reproducir total o parcialmente, citando la fuente. Esta investigación fue encargada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias -Odepa- por lo cual los comentarios y conclusiones emitidas en este documento no representan necesariamente la opinión de la institución contratante.

Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile

Claudia Carbonell Piccardo

Directora Nacional

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

www.odepa.gob.cl

Santiago de Chile

Contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 4 |
| Las dimensiones de los recursos hídricos en Chile..... | 6 |
| Las aguas subterráneas. | 15 |
| Calidad del Agua | 15 |
| Los ciclos del clima y las sequías en Chile | 16 |
| Las tendencias que ha mostrado el clima chileno en las últimas décadas..... | 21 |
| El futuro del cambio climático en el territorio chileno | 25 |
| Los desajustes de la demanda y oferta de agua en Chile | 30 |
| Recursos hídricos, desertificación y cambio climático..... | 36 |
| Agricultura e infraestructura hidráulica..... | 39 |
| Hacia una gestión eficiente de los recursos hídricos | 42 |
| • Tecnificación del regadío..... | 45 |
| • Microsistemas de Cosecha de agua..... | 46 |
| • Cambiar la geografía de la agricultura regada de Chile: agua para la agricultura o agricultura para el agua | 48 |
| • Hacia una agricultura hídricamente eficiente..... | 49 |
| Conclusiones y recomendaciones | 51 |
| Bibliografía | 54 |
| ANEXO | 56 |
| Cambios esperados en la precipitación hacia 2050..... | 56 |
| en las comunas de Chile | 56 |

Introducción

Sólo en los últimos 50 años el agua ha sido vista como un recurso escaso para la humanidad. En la medida que su consumo ha ido creciendo a ritmos insostenibles en relación con la real disponibilidad, el problema de deterioro de las cuencas hidrográficas del mundo es creciente. El agua cumple tres roles esenciales para la sostenibilidad del desarrollo mundial: aseguramiento de la salud humana, desarrollo económico y sustentación de importantes ecosistemas. Más del 70% de los recursos hídricos en el mundo se usan para producir alimentos, de modo que una crisis del agua necesariamente repercutirá en el abastecimiento de alimentos y el precio de éstos. Las evidencias de que la humanidad enfrentará un cambio climático son cada vez más claras, en la medida en que ellas se van presentando ante nuestros sentidos. La presencia de los 7.300 millones de personas que pueblan en la actualidad el planeta, consumiendo diariamente 90 millones de barriles de petróleo, 11.5 Km³ de agua dulce y 6.8 millones de m³ de madera, está llevando a la biosfera a una situación crítica cuya huella ya no parece borrarse por sí sola. Los océanos se han ido llenando de basura, las aguas continentales agotando y degradando en su calidad, y la atmosfera absorbiendo las casi 1.000 toneladas por segundo de gases de efecto invernadero, lo que está provocando un calentamiento en torno de los 0.2°C cada 10 años. Junto con esto, los bosques del mundo, que son los grandes reguladores del clima, se siguen extinguiendo en las regiones tropicales, bajo la sierra y el fuego, a razón de 24 ha por minuto (13 millones de hectáreas por año). Frente a toda esta desenfrenada acción humana, están surgiendo los signos inequívocos del estrés que está sufriendo el planeta. Toda esta actividad, pareciera estar dejando huellas indelebles sobre la faz de La Tierra, siendo prácticamente imposible que una intervención de esta magnitud no tenga efectos en el comportamiento de la atmosfera y en los principales ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del agua, del carbono y del nitrógeno. Los cambios que sufrirá el escenario climático mundial serán uno de los grandes desafíos que enfrentará la humanidad en este siglo. Los cambios permanentes (a escala humana) que podría sufrir el clima de las diferentes regiones del mundo, exigirán importantes acciones de adaptación para reducir los riesgos naturales, mantener la capacidad de producir alimentos, evitar la degradación de los ecosistemas, las extinciones de especies, el agotamiento del agua dulce, la degradación de los suelos y un potencial desequilibrio biológico que afectaría a los ecosistemas naturales, agrícolas y a la salud humana (Santibáñez, 2015).

Sumados todos los usos del agua, el consumo nacional llega a 4.710 m³ /s (Ayala, 2010). El mayor usuario de agua en Chile es la agricultura, con un 73% del total nacional, lo que abastece a una superficie regada de 1,1 millones de ha entre las regiones IV y X (INE, 2007). Un 6% del consumo es agua para fines domésticos. Los usos mineros alcanzan al 9% y los industriales al 12% (Ayala, 2010). En muchas regiones del país los derechos de aprovechamiento existentes superan a la disponibilidad real del recurso, lo que ha llevado a declarar numerosas regiones como agotadas tanto en sus aguas superficiales como subterráneas (Banco Mundial, 2011).

Son numerosos los factores naturales que se conjugan en la crisis del agua en Chile, a estos, se agregan factores jurídicos derivados del estatus legal que el país adoptó para este recurso, lo que facilitó la concentración de la propiedad de los derechos de agua. Se agrega a esto, el alto uso del recurso en la generación eléctrica, la elevación de las isotermas que han reducido los depósitos de nieve (Givovich, 2006), la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación de las aguas, la falta de una gestión de la cubierta vegetal en las partes altas de las cuencas, el cambio en el régimen de precipitaciones y el aumento registrado en los últimos años en las tasas de evaporación.

El objetivo del análisis presentado en este estudio es de proporcionar una visión general de las implicancias que el cambio climático podría tener sobre la disponibilidad y la gestión de los recursos hídricos de que dispone la agricultura en Chile. Son varias las preguntas que emergen cuando se plantea el desafío de vincular cambio climático y recursos hídricos, entre algunas están:

- ¿En qué medida los recursos hídricos están amenazados por el cambio climático en Chile?
- ¿Qué parte del territorio podría sufrir los impactos más negativos?
- ¿Cómo estos cambios afectarían a la agricultura?
- ¿Cuáles son las estrategias que requerimos para mejor enfrentar los desafíos del agua para la agricultura?

Antes de responder estas preguntas, se hace necesario dimensionar los recursos hídricos y la situación actual de su disponibilidad, así como las variaciones climáticas que influyen en la

situación hídrica del país. Con este propósito hemos procesado una gran cantidad de datos climáticos históricos cuyos resultados presentamos a continuación

Las dimensiones de los recursos hídricos en Chile

Por la localización latitudinal del Chile, el territorio parte en la zona subtropical árida que recibe una fuerte influencia anticiclónica correspondiente al cinturón de desiertos del trópico de Capricornio. El anticiclón del Pacífico sur-oriental permanece todo el año, con su alta presión, bloqueando el ingreso de cualquier perturbación atmosférica que pudiera generar lluvias, ese es el origen del desierto del norte grande. En el desierto de Atacama se registran las menores precipitaciones del planeta, alcanzando promedios tan bajos como 2 mm/año. A medida que nos alejamos del trópico hacia el sur, el anticiclón va perdiendo su capacidad de bloqueo, permitiendo cada vez más el ingreso de los frentes de lluvia que vienen del suroeste. Así, el territorio chileno va observando un gradual aumento de las precipitaciones hasta la región de Aysén, donde esta llega a un máximo superior a los 3.000 mm anuales debido al paso de un par de frentes cada semana, los que dejan más de 250 días de lluvia cada año en las islas más occidentales. Hacia el extremo austral (Magallanes), la precipitación declina nuevamente debido a la influencia “pampeana” que acarrea las altas presiones del anticiclón del Atlántico, responsable de la aridez del sur de Argentina. Junto con esta evolución, el territorio se enfría gradualmente desde la región central al sur, manteniendo temperaturas diurnas unos 8 a 10°C más bajas en la costa que en el interior (figuras 1 y 2).

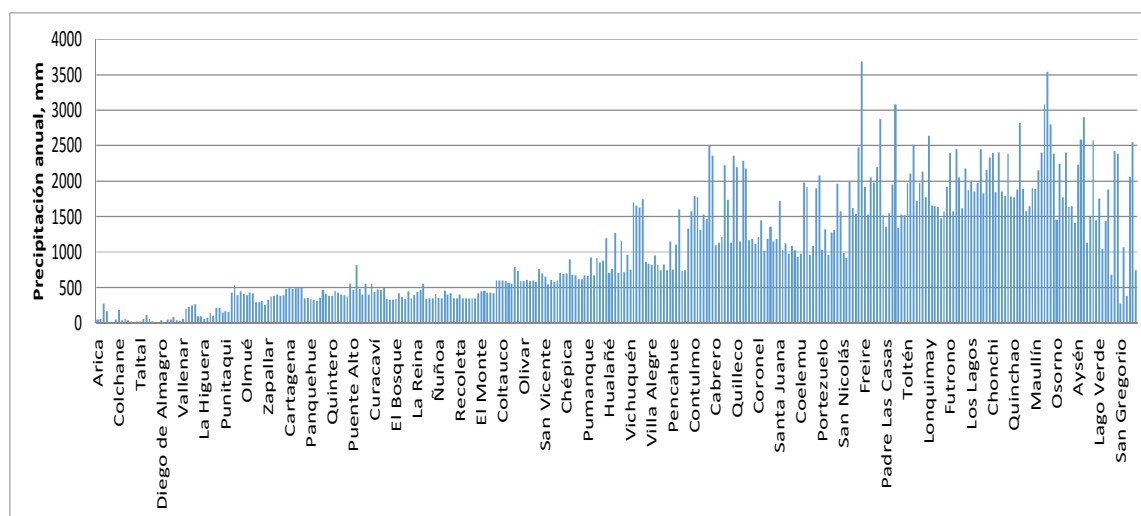


Figura 1. Perfil pluviométrico de Chile: variación latitudinal de la precipitación anual

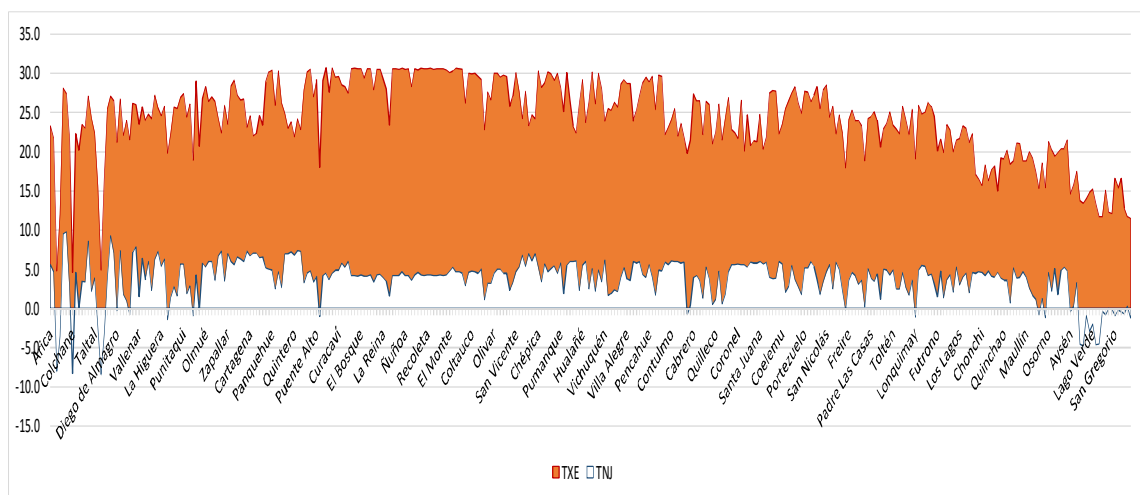


Figura 2. Perfil térmico de Chile: variación latitudinal de las temperaturas máximas y mínimas

El total de aguas renovable en Chile alcanza a los 922 Km³ anuales, lo que lo sitúa en el lugar 14 en el mundo y 5 en Latinoamérica. No obstante esto, el agua en Chile presenta un fuerte desequilibrio geográfico (Tabla 1). El patrimonio hidrológico de Chile se estructura en 101 cuencas hidrográficas principales, que nutren a 1.251 ríos cuya escorrentía anual en conjunto alcanza a los 2.9245 m³/s. (MOP, 2013). Este caudal de agua renovable, en relación con la población del país, da una disponibilidad de agua del orden de los 53.000 m³/habitante año, lo que es 25 veces el valor de 2000 m³/habitante, considerado adecuado para un desarrollo ilimitado en agua.

Tabla 1. Disponibilidad de agua en las regiones de Chile

| Macrozona | Región | Región | m ³ /s | Escorrentía per cápita m ³ /persona/año |
|-----------|--------|---------------|-------------------|--|
| Norte | | Arica y | | |
| | XV | Parinacota | 5,5 | 725 |
| | I | Tarapacá | 6,4 | 599 |
| | II | Antofagasta | 0,9 | 47 |
| | III | Atacama | 1,9 | 190 |
| | IV | Coquimbo | 22,2 | 908 |
| Centro | V | Valparaíso | 41 | 703 |
| | RM | Metropolitana | 103 | 444 |
| | VI | O'Higgins | 205 | 7.037 |
| | VII | Maule | 767 | 23.191 |
| Sur | VIII | Biobío | 1.638 | 24.432 |
| | IX | Araucanía | 1.041 | 33.167 |
| | XIV | Los Ríos | 1.046 | 81.563 |
| | X | Los Lagos | 4.109 | 154.058 |
| Austral | XI | Aysén | 10.134 | 2.950.168 |
| | XII | Magallanes | 10.124 | 1.938.956 |
| Total | | | 29.245 | 5.216.188 |

Adaptado de Atlas del agua (DGA, 2015)

En cifras globales, Chile es un país con abundantes recursos de agua. Considerando el total de la escorrentía procedente de las precipitaciones, la disponibilidad anual es de 53.000 m³/habitante (Banco Mundial, 2011), muy superior a los 2.000 m³/habitante/año, considerado mundialmente como necesario para el desarrollo sostenible. A pesar de esto, hay un fuerte desequilibrio geográfico entre la localización de los recursos y la población. La región central y norte, deficitaria en agua, concentra el 65% de la población del país. El caso más extremo se presenta en las regiones de Antofagasta y Atacama con 52 y 208 m³/habitante. Entre las regiones de O'Higgins y La

Araucanía, la disponibilidad natural de agua supera los 6.000 m³/persona/año, llegando hasta los 49.000m³/persona/año. Desde la región de Los Ríos hacia el sur aumenta el agua y disminuye la población, observándose una disponibilidad natural de agua que supera los 169.500 m³/habitante/año.

Esto nos permite afirmar que el desarrollo de actividades económicas en el norte de Chile dependerá en el futuro fuertemente de las posibilidades de generar nuevas fuentes de agua a costos *razonables*. *Por ahora*, las tecnologías de transporte de agua a distancia o la desalación de agua marina tienen costos claramente por encima de 1 dólar por m³, lo que deja a la agricultura fuera de posibilidades de acceder a estas soluciones. Dados los grandes volúmenes de agua usados por la agricultura, los que difícilmente bajarán de 6500 m³/ha año, las soluciones viables con esta industria deberán producir agua a menos de 1/10 de los costos que pueden ofrecer estos sistemas.

Entre Atacama y Biobío precipitan, en un año normal, 168,84 Km³(*) de agua. De esta cantidad, solo 38,55 Km³ escurren desde la cordillera hacia los Valles (caudal afluente). De ese caudal, una cantidad muy baja llega al mar en las regiones del norte (Atacama y Coquimbo), no obstante en las regiones centrales llama poderosamente la atención constatar que más de un 50% del agua de los ríos llega al mar (caudal sobrante) y de O'Higgins al sur más del 100% del agua que provee la cordillera llega hasta el mar, esto último, debido a que los cauces principales reciben aportes de afluentes en la parte baja del valle, haciendo llegar más agua al mar, de lo que aportó la cuenca principal en la cordillera. Es así como entre Atacama y Biobío los ríos vierten al mar anualmente una cifra del orden de los 50 Km³ de agua dulce (50 veces el sistema Paloma-Recoleta-Cogotí completo) (Tabla 2).

Tabla 2. Algunas estadísticas del agua en Chile

| Región | Población | Superficie Km2 | PP media mm/año | Escorrentía mm/año | Escorrentía % | Agua renovable m3/hte |
|--------------------|-----------|----------------|-----------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| Arica y Parinacota | 243.149 | 16.873 | | | | |
| Tarapacá | 344.760 | 58.698 | 94 | 7 | 8 | 972 |
| Antofagasta | 631.875 | 126.444 | 45 | 0 | 0 | 51 |
| Atacama | 316.692 | 75.573 | 82 | 1 | 1 | 208 |
| Coquimbo | 782.801 | 40.656 | 222 | 18 | 8 | 1.213 |
| Valparaíso | 1.842.880 | 16.396 | 434 | 84 | 19 | 894 |
| Metropolitana | 7.399.042 | 15.349 | 650 | 200 | 31 | 438 |
| O'Higgins | 926.828 | 16.341 | 898 | 362 | 40 | 7.578 |
| Maule | 1.050.822 | 30.825 | 1.377 | 784 | 57 | 26.181 |
| Biobío | 2.127.902 | 36.929 | 1.766 | 1.173 | 66 | 23.270 |
| Araucanía | 1.005.322 | 31.842 | 2.058 | 1.476 | 72 | 54.050 |
| Los Ríos | 407.300 | 18.429 | | | 78 | |
| Los Lagos | 847.495 | 67.013 | | 2.423 | 80 | 226.543 |
| Aysén | 109.317 | 109.025 | 3.263 | 2.828 | 87 | 3.369.942 |
| Magallanes | 165.547 | 132.033 | 2.713 | 2.338 | 86 | 2.046.684 |

Fuente FAO 2000, INE 2015

En general los ríos de Chile tienen un régimen predominantemente nival en la zona central y norte, el cual evoluciona gradualmente hacia uno pluvial de Biobío al Sur, pasando por un régimen mixto de transición en Maule y Ñuble. Cualquiera que sea el régimen, la temporada de riego se extiende por 6 o 7 meses, por lo que en el restante tiempo las aguas siguen su curso hacia el mar, especialmente en las cuencas que no cuentan con regulación artificial.

Esta situación, además de la existencia de afluentes en zonas bajas, hace que a nivel de promedios anuales, los caudales en la desembocadura sean una proporción muy alta en relación con el caudal afluente (en el punto más alto antes de la existencia de usuarios). En el río Maipo el caudal sobrante es superior al 90% y de Rapel al sur los caudales en la desembocadura superan incluso al caudal afluente. Sólo de Limarí al norte los ríos llegan con menos del 50% de su agua al mar. Todo esto señala una situación de relativa abundancia de agua, la cual no puede ser aprovechada debido a la falta de capacidad de regulación del caudal (Tabla 3).

Tabla 3. Caudales afluentes y sobrantes de las principales cuencas de Chile

| Cuenca | Caudal afluente, Qa | Caudal sobrante, Qs | Qs/Qa |
|-----------|---------------------|---------------------|-------|
| Lluta | 1.86 | 1.54 | 82.8 |
| San Jose | 1.03 | 0.00 | 0.0 |
| Loa | 0.70 | 0.32 | 45.7 |
| Copiapó | 0.61 | 0.10 | 16.4 |
| Huasco | 2.91 | 1.50 | 51.5 |
| Elqui | 6.01 | 2.48 | 41.3 |
| Limarí | 6.31 | 2.40 | 38.0 |
| Choapa | 9.00 | 8.10 | 90.0 |
| Aconcagua | 33.44 | 22.13 | 66.2 |
| Maipo | 104.72 | 97.96 | 93.5 |
| Rapel | 130.00 | 174.00 | 133.8 |
| Maule | 331.40 | 469.45 | 141.7 |
| Itata | 310.00 | | |
| Bio Bio | 479.50 | 924.70 | 192.8 |

Las cuencas presentan claros signos de estrés del Aconcagua al norte (Ayala, 2010). Al sur de O'Higgins, la demanda está por debajo de la oferta considerando cifras anuales, no obstante en periodos de estío, han comenzado a aparecer claros signos de deficiencia hídrica hasta la región de Osorno.

Los caudales de los principales ríos se han mostrado altamente variables en las últimas décadas, insinuando ciclos de varios años de mayor caudal, alternados con ciclos de menor caudal. Estos ciclos están alineados con los ciclos más lluviosos y secos asociados a la PDO, los que tienen una

longitud de 10 a 20 años. Aunque los caudales no muestran una tendencia clara, hay ciertas cuencas, que sugieren una cierta declinación de la escorrentía en las últimas décadas, este es el caso de Aconcagua y Toltén (Figuras 3a y 3b).

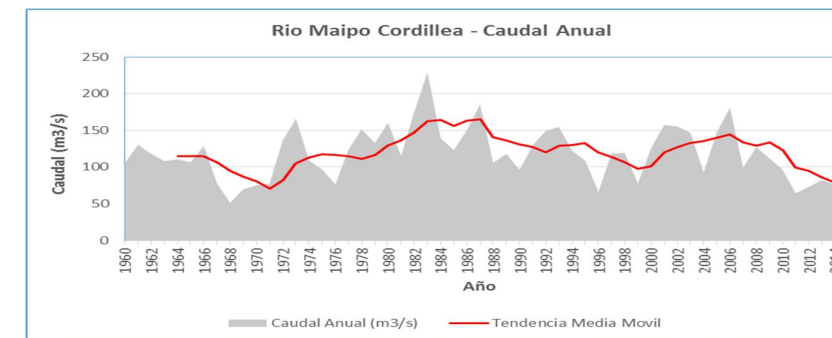
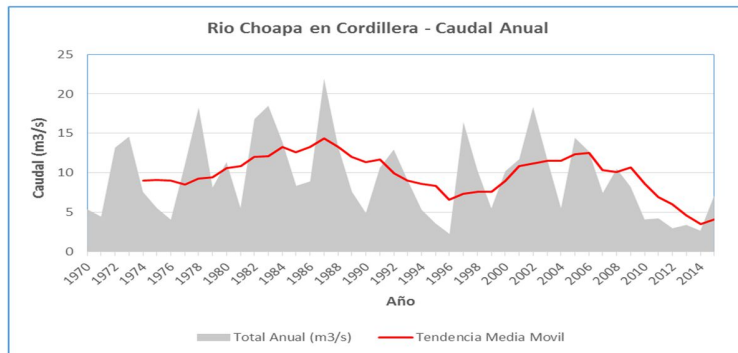
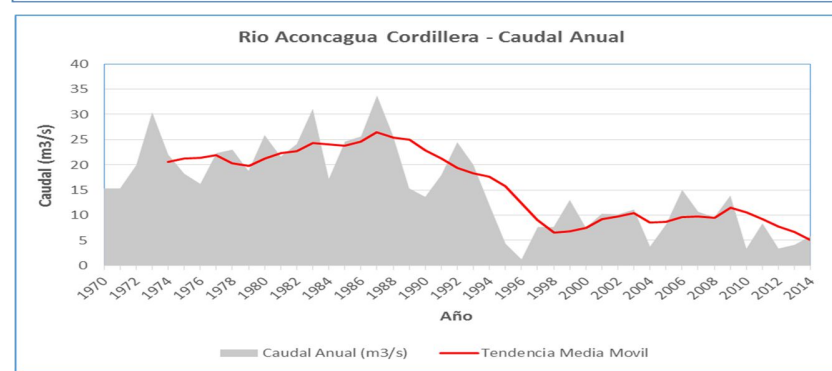
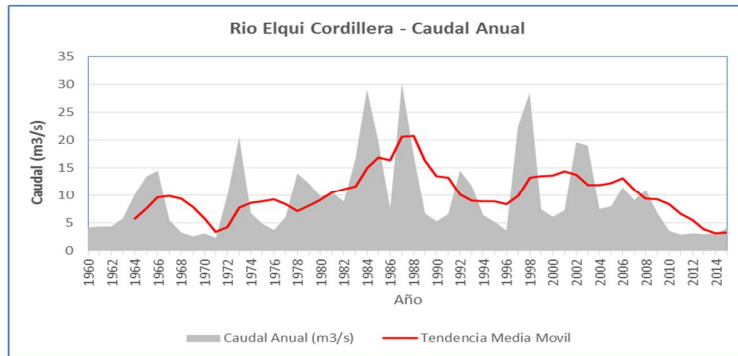
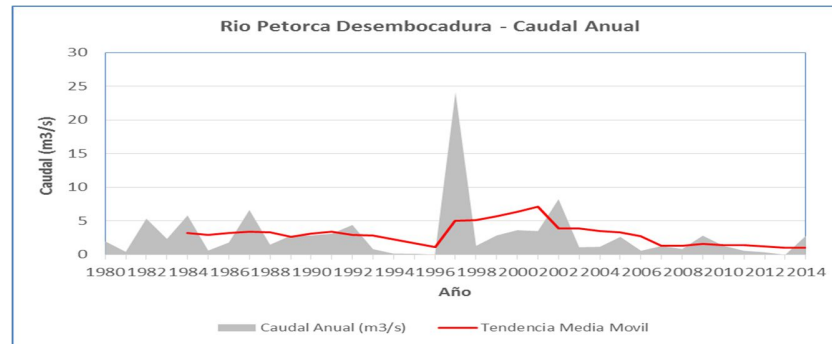
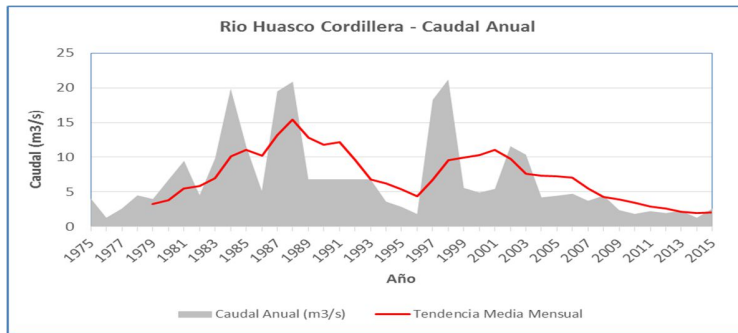


Figura 3a. Tendencias temporales de los caudales de algunos ríos

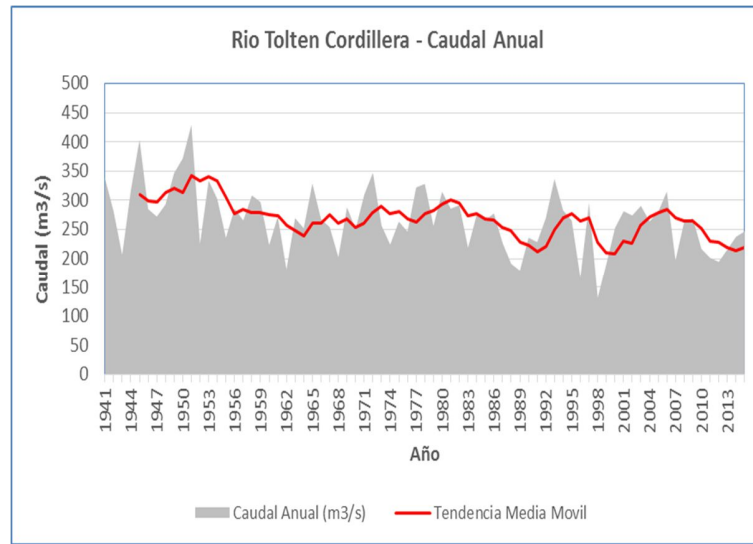
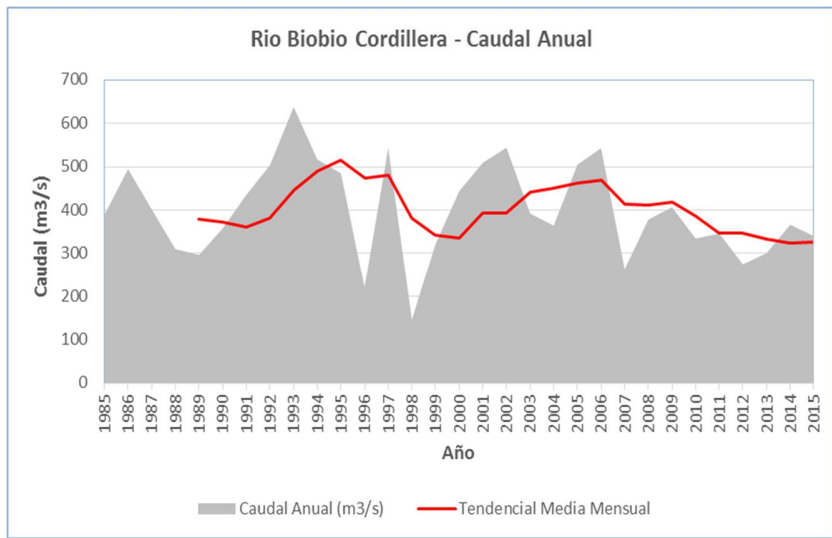


Figura 3b Tendencias temporales de los caudales de algunos ríos

Las aguas subterráneas.

La recarga media estimada alcanza aproximadamente 55 m³/s desde la RM al norte (Salazar, 2003). Al sur de la región del Libertador B. O'Higgins no hay datos precisos pero se estima una recarga de alrededor de 160 m³/s entre las regiones VII y X (DGA, 2011).

La utilización efectiva de las aguas subterráneas fue estimada en 88 m³/s en 2003, de los cuales 49% se utilizaba para la agricultura, 35% para abastecimiento poblacional y 16% para industria (Salazar, 2003). En la actualidad este valor bordea los 100 m³. Las aguas subterráneas son particularmente importantes para los sectores minero y sanitario, representando alrededor de 63% de los DAA mineros en 2006 (Proust Consultores, 2008) y 46% de los usos por agua potable (SISS, 2010). Son particularmente importantes para la agricultura del norte a partir de la Región de Valparaíso. La mayor parte de los acuíferos se encuentran sobreexigidos en Chile debido a la inexistencia de modelos hidrogeológicos operacionales que ayuden a racionalizar la gestión de las aguas subterráneas.

Calidad del Agua

La contaminación de las aguas principalmente se genera a través de las aguas servidas, originadas de los usos domésticos, de los efluentes mineros y los residuos industriales líquidos, de la lixiviación de sales al suelo, la contaminación difusa por fertilizantes y pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas (Orrego, 2002). A parte de esto, las aguas de escorrentía son, en general, de elevado contenido de sales del Cachapoal al norte, lo que conduce a problemas de salinización cuando se usan sistemas de riego de alta eficiencia.

El boro y arsénico exceden la norma de riego en Lluta y Camarones; el boro también supera la norma en los ríos Huasco, Copiapó y Elqui; el Cachapoal tiene índices altos de hierro y cobre, este último anormalmente alto también en el río Mapocho. Desde la Región del Maule a Magallanes los ríos examinados presentan índices de contaminantes muy por debajo de límite fijado por la norma NCh 1333. (DGA, 1996)

Sobresalen por su calidad a todo lo largo de su curso los ríos Lauca, Mataquito, Maullín, Aysén, Cisnes y Side, en Tierra del Fuego. Los lagos del Sur de Chile y los lagos norpatagónicos han

presentado un fuerte aumento de la eutrofización causado por las actividades económicas y humanas en sus riberas, que introducen en ellos nutrientes y materia orgánica. Este proceso está más avanzado en los lagos Villarrica, Calafquen, Riñihue y Llanquihue, aunque los efectos nocivos han disminuido paulatinamente con la instalación de plantas purificadoras de aguas servidas, en las ciudades ribereñas.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas de los ríos en Chile son el mercurio, selenio, arsénico, cadmio, molibdeno, zinc y níquel. En casos específicos, el cobre puede encontrarse en niveles elevados (Pizarro et al., 2010).

Los ciclos del clima y las sequías en Chile

El clima chileno está fuertemente influido por el fenómeno de El Niño-La Niña (ENSO). Durante la fase cálida de El Niño, el anticiclón de repliega más al norte o bien se debilita y divide en dos, una fracción se mantiene frente a la costa norte y la otra se desplaza a regiones australes, provocando sequías en Aysén y Magallanes, mientras los frentes ingresan con frecuencia trayendo lluvias a la zona central, aprovechando el espacio que dejan las dos fracciones del anticiclón. Contrariamente durante la fase fría de La Niña, el anticiclón se refuerza, y avanza hacia la zona central y centro sur, ejerciendo un efecto de bloqueo de los frentes, lo que no pueden ingresar al centro del país, propiciando lo que se asocia a una sequía. Por lo general esto hace que continúe la tendencia decreciente que han mostrado las precipitaciones en el último siglo. A estas tendencias de largo plazo, se agregan los ciclos de sequía de corto plazo, los que tienen una longitud de 10 a 20 años, en los cuales pasamos por periodos lluviosos y secos. Este último fenómeno es conocido como la Oscilación decadal del Pacífico, el cual hace que toda la costa americana pase por periodos de aguas frías, asociados a una alta frecuencia de Niñas. Adicionalmente a esta causa de variabilidad climática, sobre los climas chilenos juega además otro fenómeno llamado Oscilación Antártica (AO), el que influye mayormente en la actividad frontal en la zona subantártica. En periodos bajos de la OA, los frentes son más débiles, no alcanzando a traer precipitaciones hacia la zona central. Desde el inicio de los años 2000 estamos cruzando por un periodo seco asociado mayormente a la Oscilación Decadal del Pacífico, lo que ha traído una alta frecuencia de episodios de aguas oceánicas frías y la consecuente menor pluviometría. La PDO muestra ciclos positivos y

negativos de más de una década de duración creando ciclos de 15 a 20 años más secos o más lluviosos, según pase por su fase negativa o positiva (Figura 4)

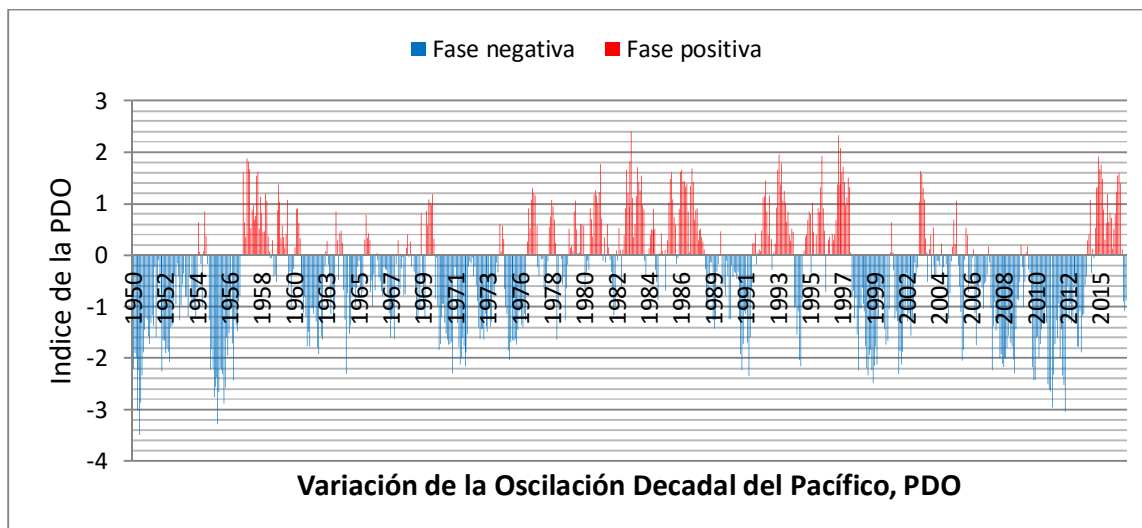


Figura 4. Ciclos positivos y negativos de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) desde 1950. Se aprecia que los años 60 y 70 dominó un ciclo negativo, en los 80 y 90, uno positivo que trajo en ciclo lluvioso, desde los 2000 hemos estado en fase negativa, la que está dando señales de término para pasar a una positiva.

Si bien la PDO es el fenómeno planetario que determina los ciclos del clima a macroescala en la costa americana, el fenómeno que más directamente determina el comportamiento pluviométrico de cada año es la Oscilación de El Niño-La Niña (ENSO), (figura 5).

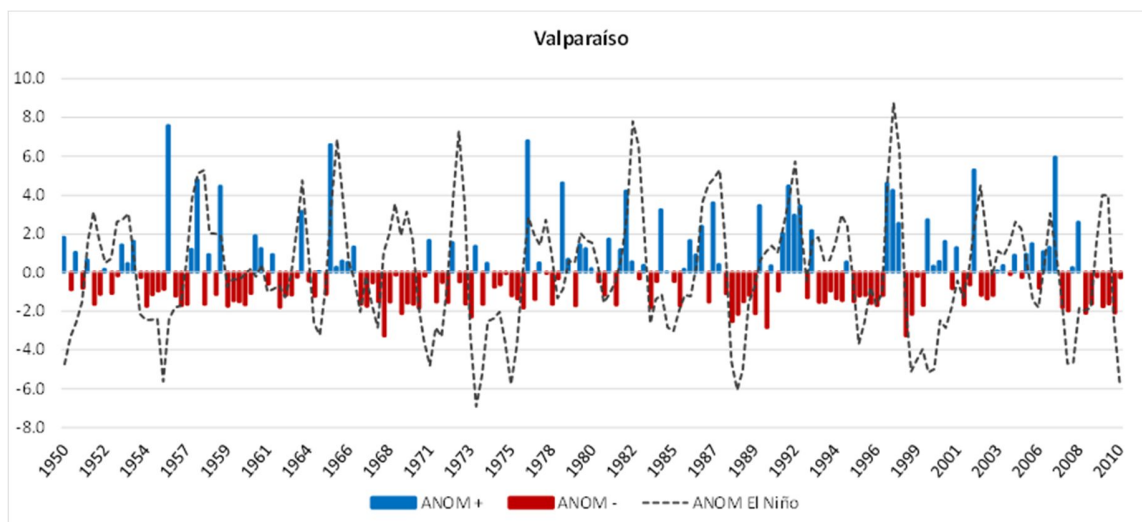


Figura 5. Los ciclos de El Niño-La Niña desde 1950. Se aprecia la fuerte relación entre las anomalías de la Temperatura de la superficie del mar y las anomalías de la precipitación en la zona central.

Las series de tiempo muestran una cierta regularidad entre los ciclos ENSO cálidos y fríos. Durante los ciclos cálidos, correspondientes al evento de El Niño las precipitaciones tienden a ser más abundantes. Inversamente, los eventos fríos (La Niña) tiende a provocar sequias persistentes. Como los mecanismos generadores de precipitación dependen además de la actividad frontal asociada a la Oscilación Antártica (AO), la relación entre Niños y precipitación no es absoluta. La figura 10 muestra el nivel de asociación entre años lluviosos y anomalía de la TSS. Se aprecia que en un 75% de los casos de anomalía negativa de la TSS, la precipitación responde negativamente (sequia), pero hay un 25% de los casos en que una anomalía negativa de TSS se asocia a lluvias por sobre lo normal, lo que rompe la regla. Inversamente, las anomalías positivas de la TSS tienden en un 65% a provocar lluvias por sobre lo normal, mientras que en un 35% de los casos ellas se asocian a sequias. En los últimos 60 años los ciclos cálidos (Niño) de la TSS han mostrado una duración media de 20 meses y los fríos (Niña) de 19 meses, con un periodo de retorno del orden de 24 meses. La duración de los eventos cálidos (Niños) ha mostrado una ligera tendencia a la disminución, junto a un aumento en la duración de las Niñas. (Figura 6).

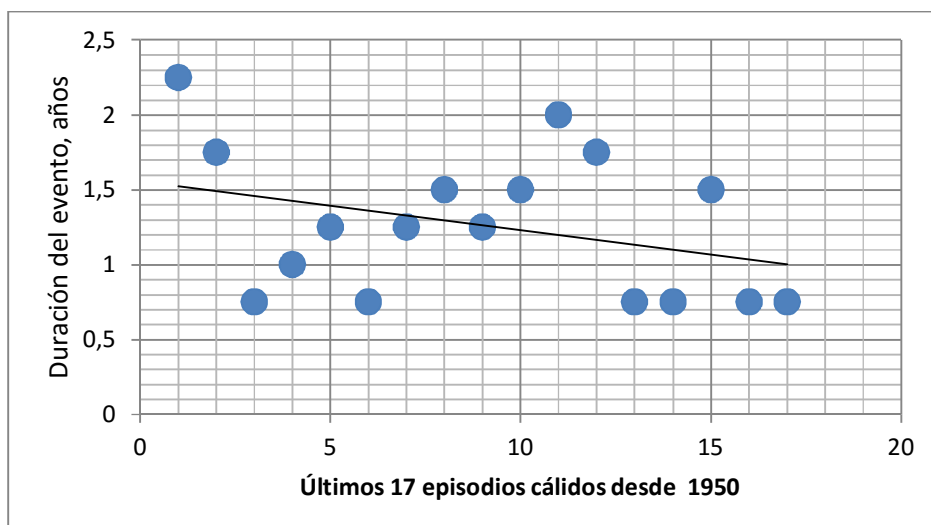


Figura 6. Duración de los eventos de El Niño (Número de años en que se mantiene la anomalía positiva), en los eventos desde 1950

La megasequía 2008-2015 ha roto varios records históricos. Ella ha coincidido con los años más cálidos de los últimos 100 años, ha registrado el mayor número de años consecutivos con precipitaciones deficitarias (6 años entre 2010 y 2015) (figura 7 y 9) y registra el mayor número de años consecutivos con déficit hídrico (PP-ETP) superior a los 1.000 mm/año (10

años entre 2005 y 2015). Esto último se debe no sólo a la menor pluviometría registrada durante esta sequía, sino al progresivo aumento de la evapotranspiración que la ha elevado desde los 1.150 mm por año en 1900 a más de 1.300 mm/año en los años recientes (Figura 8).

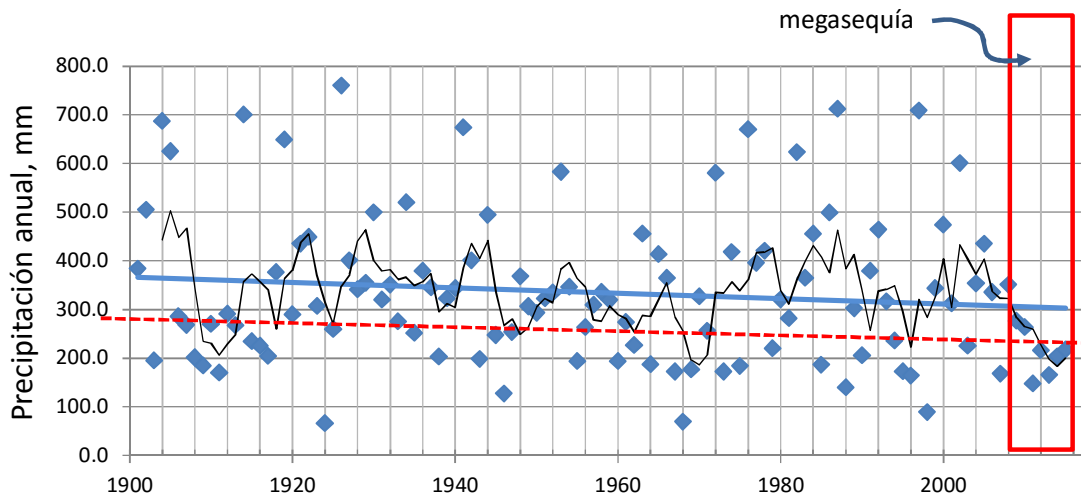


Figura 7. Precipitación histórica en Santiago. Nótese que nunca se había producido un periodo consecutivo de 8 años sin ningún año que sobrepase los valores normales. La línea azul corresponde al promedio, la roja al límite de sequía (80% del promedio) y la negra es la media móvil de 4 años.

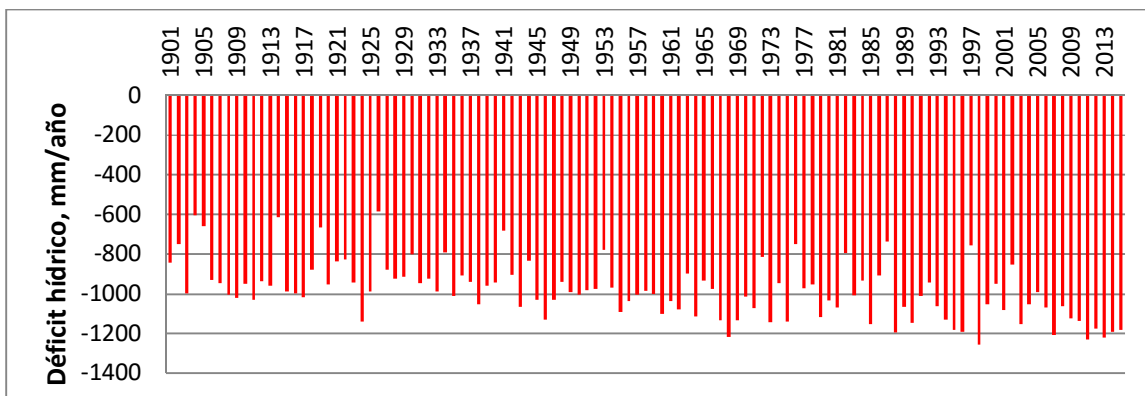


Figura 8. Progresivo aumento del déficit hídrico (PP-ETP) en Santiago que muestra que a partir de 2005 se ha producido el periodo más árido de la historia en esta zona.

Las tendencias que ha mostrado el clima chileno en las últimas décadas

En todo el orbe los bordes polares de los desiertos han visto avanzar la aridez sobre regiones agrícolas como California, Atacama y zonas sub saharianas. De continuar esta tendencia, estaríamos transitando hacia un país algo más árido como ocurrirá en todas las regiones del mundo que están al borde de un desierto. No podemos olvidar que el desierto de Atacama avanzó hacia el sur a razón de 0.4 a 1 Km por año durante todo el siglo XX. Es probable que esta tendencia continúe por algunas décadas antes de alcanzar el equilibrio que la detenga. Esto nos lleva a redoblar el paso en materia de gestión hídrica. La escasez de agua es la mayor amenaza que nos trae el cambio climático, por sobre el aumento de la variabilidad, de ciertos eventos extremos como lluvias intensas, vientos y granizo.

En zonas templadas los inviernos se han tornado más y más suaves. Si bien estos cambios pueden constituir una amenaza para la actividad agrícola, a veces ellos representan buenas oportunidades para ampliar o diversificar la agricultura local; en Chile este será el principal sello de los cambios climáticos en la zona sur.

En Chile se produce una situación muy especial, cual es la presencia del océano Pacífico a todo lo largo de su geografía. Un océano frío cuyo litoral es recorrido por la corriente fría más extensa del mundo, la corriente de Humboldt. Como se supone que los vientos aumentarán su intensidad sobre los océanos, las corrientes marinas debieran igualmente hacerse más intensas, lo que paradójicamente debiera enfriar las aguas superficiales en las zonas cercanas a la costa chilena. Estas aguas más frías ejercerán un efecto refrescante, mayor que el actual, sobre las masas de aire que ingresan desde el océano al continente, lo que tenderá a neutralizar el calentamiento global en una extensa franja costera de varias decenas de kilómetros. Este fenómeno ya comenzó a operar hace varias décadas, lo que ha tenido como consecuencia un descenso de las temperaturas máximas ya observado en zona litorales del norte y centro de Chile.

La precipitación anual, en las zonas costeras, ha disminuido entre un 15 y 30% en los últimos 100 años, mientras que en zonas interiores, este cambio es sólo ligeramente perceptible. Veamos algunas estadísticas: la precipitación media anual de La Serena en 1960 fue de 111 mm, mientras que en 2002 fue de sólo 88 mm, y en Concepción las cifras en el

mismo período fueron de 1.400 mm y 1.170 mm respectivamente (figura 11). El hecho de que la disminución de las precipitación se haya concentrado mayormente en zonas costeras puede estar relacionado con un cambio en la trayectoria de los frentes debida a un cambio en la conducta del anticiclón del Pacífico. Si esta situación se mantiene así en este siglo, entonces el volumen total de agua de escorrentía de las cuencas no estaría tan amenazado, por cuanto el caudal es más bien regulado por las precipitaciones de cordillera. Lo que sí estaría amenazada es la estacionalidad del agua que escurre por los ríos, pues al subir la temperatura, subiría la línea de las nieves, lo que haría que más precipitación lo hiciera en forma líquida y menos como nieve, aumentando la escorrentía invernal, cuando la agricultura no requiere agua. Este cambio podría tornar más amenazante al régimen de lluvias si se considera además que las precipitaciones en Chile podrían disminuir en número (figura 12) pero aumentar en intensidad, tendencia de la cual ya hay algunos indicadores.

El régimen térmico igualmente ha mostrado cambios diferentes en zonas costeras e interiores. En zonas costeras las máximas han tendido a descender haciendo que los veranos sean cada vez más frescos, mientras que las mínimas han subido marcadamente. En zonas interiores, se observa una tendencia al alza tanto de mínimas como de máximas.

El alza cercana a 1°C que han experimentado las máximas en zonas interiores, tendría consecuencias sobre el número de días con temperaturas extremadamente altas (Mayores a 33°C). La evapotranspiración ha ido igualmente al alza, aumentando los requerimientos de riego, especialmente en las especies plurianuales (figura 13). Se espera que las demandas de agua incrementen en 5 a 8% por cada grado de aumento en la temperatura, lo que en una temporada podría significar una demanda adicional de agua de hasta 800 m³ por hectárea.

Al parecer esta disminución en zonas interiores y precordilleranas estaría siendo compensada por el aumento en la intensidad de las precipitaciones, lo que no estaría ocurriendo en zonas costeras. La disminución del número de días de lluvia, junto al aumento de su intensidad y al aumento de las tasas de evaporación, puede aumentar la presión hacia la erosión de los suelos, con los consecuentes riesgos de sedimentación de los lechos y cuerpos de agua. Esta combinación es igualmente negativa para la agricultura de secano y para el crecimiento de las praderas.

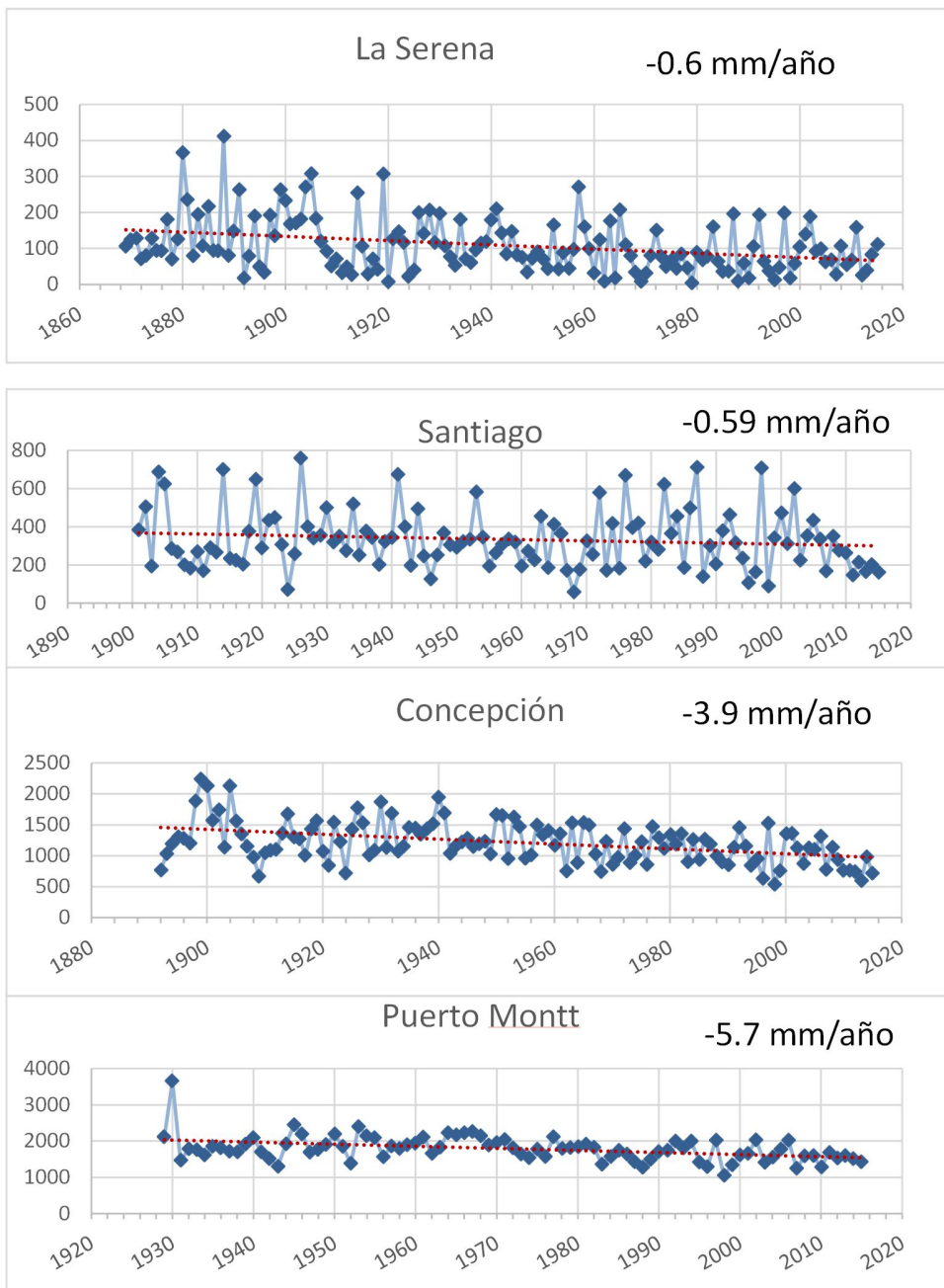


Figura 11. Tendencias de la precipitación total anual en Chile. La cifra al lado del título indica el cambio experimentado por la precipitación durante el siglo XX. En las regiones costeras la tendencia negativa es más marcada que en sectores interiores.

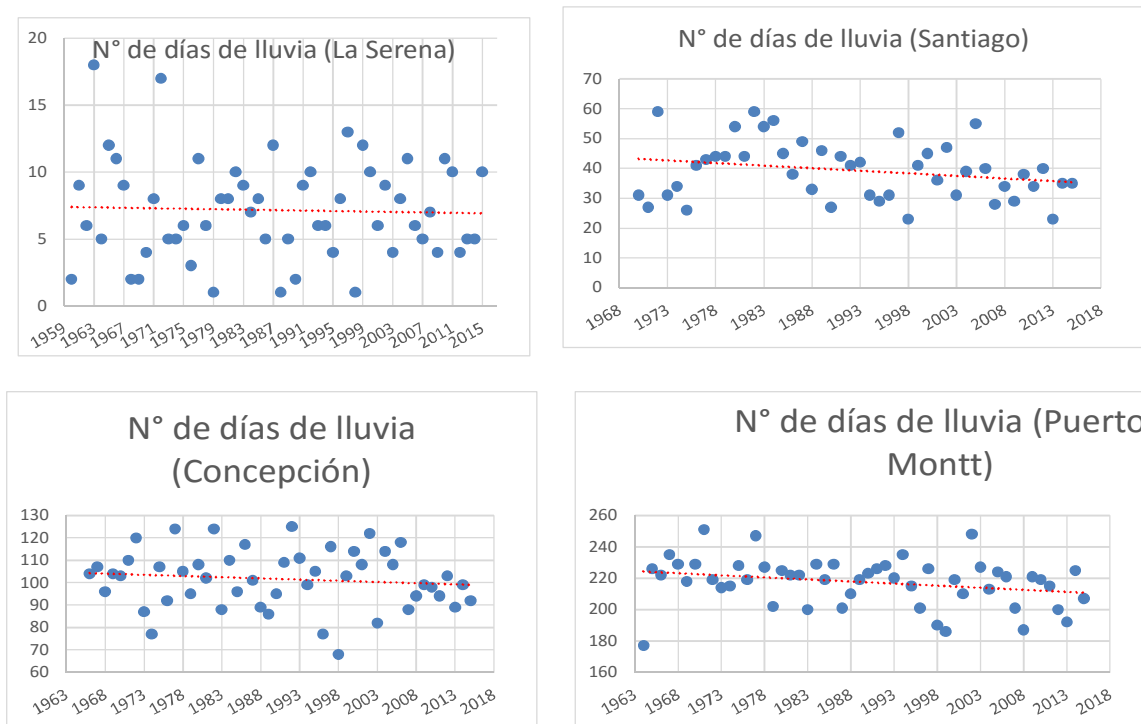


Figura 12. Variación del número de días de lluvia en varias localidades de Chile, se aprecia una ligera tendencia decreciente en el tiempo.

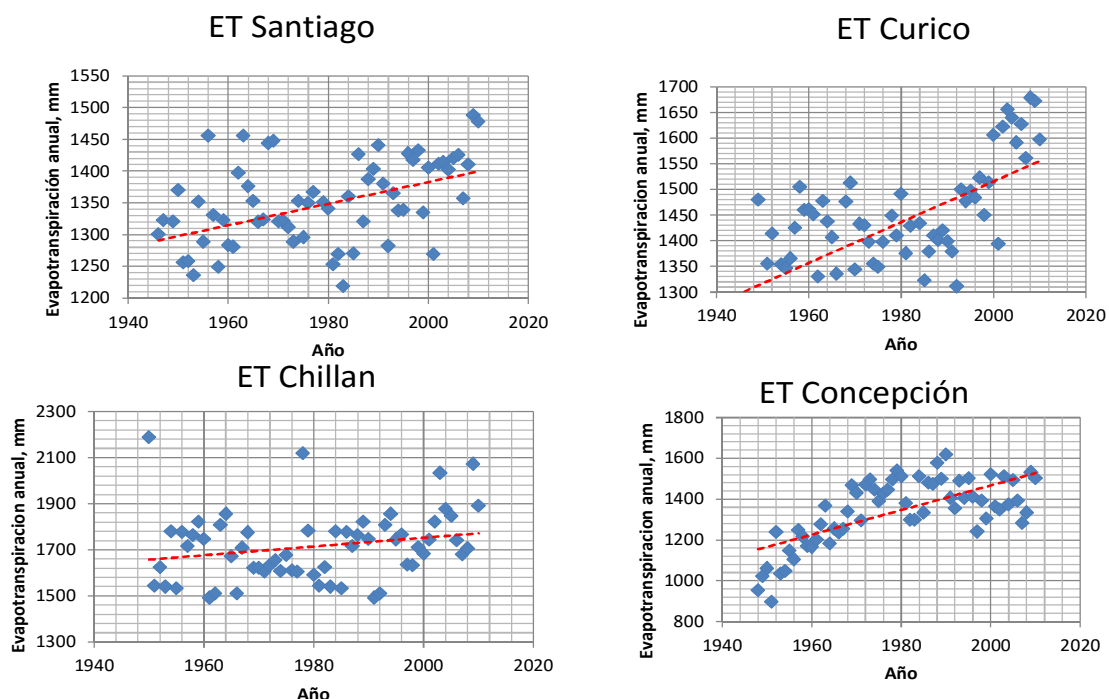


Figura 13. Cambios observados en las tasas de evapotranspiración en Chile central

El futuro del cambio climático en el territorio chileno

El agua es uno de los recursos que deberá resistir a las mayores amenazas durante este siglo en Chile, debido al excesivo consumo y a la reducción de su disponibilidad debido a los cambios que está experimentando y que probablemente seguirá experimentando el régimen de lluvias. La fuerte reducción que se ha observado en la precipitación anual en las regiones costeras de Chile, hasta ahora es un fenómeno más bien localizado en el litoral, no sabemos en qué medida, durante este siglo, las regiones interiores podrían comenzar a mostrar similar tendencia. Como sea lo que acontezca con las precipitaciones, la hidrología de los ríos podría sufrir importantes consecuencias debido a la subida de 300 a 500 metros de la isoterma 0°C, lo que reducirá los depósitos de nieve en la cordillera, haciendo que la precipitación invernal escurra rápidamente hacia el mar.

En la cordillera de Los Andes se espera que la isoterma de 0°C suba entre 300 y 500 metros, reduciendo la capacidad de la cordillera de almacenar nieve, aun cuando la precipitación no varíe. La elevación de las líneas de las nieves en unos 500 metros entre el río Aconcagua y el Biobío, representa una pérdida de 400 a 450 millones de metros cúbicos de agua que ahora caerían en forma líquida y no sólida, por lo que dejarían de estar disponibles para la estación estival, cuando es requerida para el riego. Esto induciría una desregulación hidrológica que aumentaría la escorrentía invernal a la vez que crearía mayor riesgo de crecidas que pueden aumentar los riesgos de zonas pobladas (figura 14).

En las próximas décadas podríamos observar que se mantenga el alza en las demandas evapotranspirativas, presionando al alza los requerimientos de riego, particularmente en frutales. En el caso de los cultivos anuales esto no es tan seguro considerando que las fechas de siembra podrían desplazarse más al invierno, neutralizando las altas demandas de agua estivales.

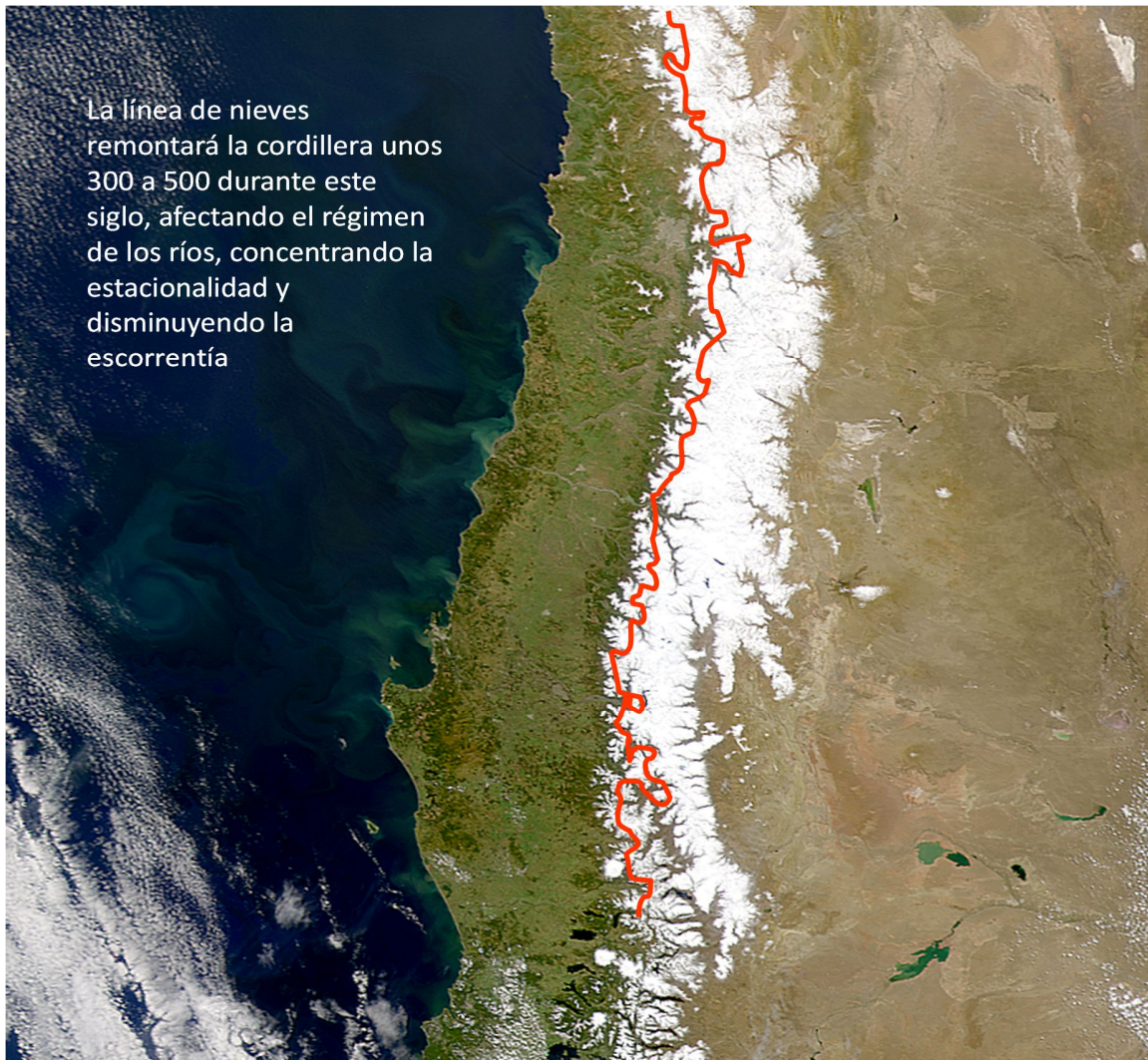


Figura 14. Alza esperada en el límite inferior de las nieves, lo que amenaza con reducir la capacidad de regulación hidrológica de la cordillera.

Es probable que el número de días de lluvia continúe descendiendo durante las próximas décadas, debido al efecto de bloqueo que el anticiclón ejercerá al paso de los frentes, especialmente si se desplaza más al sur, lo que interceptaría la trayectoria de los frentes que se mueven desde el SO. Los modelos regionales proyectan para este siglo el mayor descenso en la precipitación, entre las regiones de Valparaíso y Biobío, lo que podría afectar fuertemente a la agricultura del secano costero (Figura 15).



VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN (PPA) ENTRE EL ESCENARIO LINEA BASE Y EL 2050

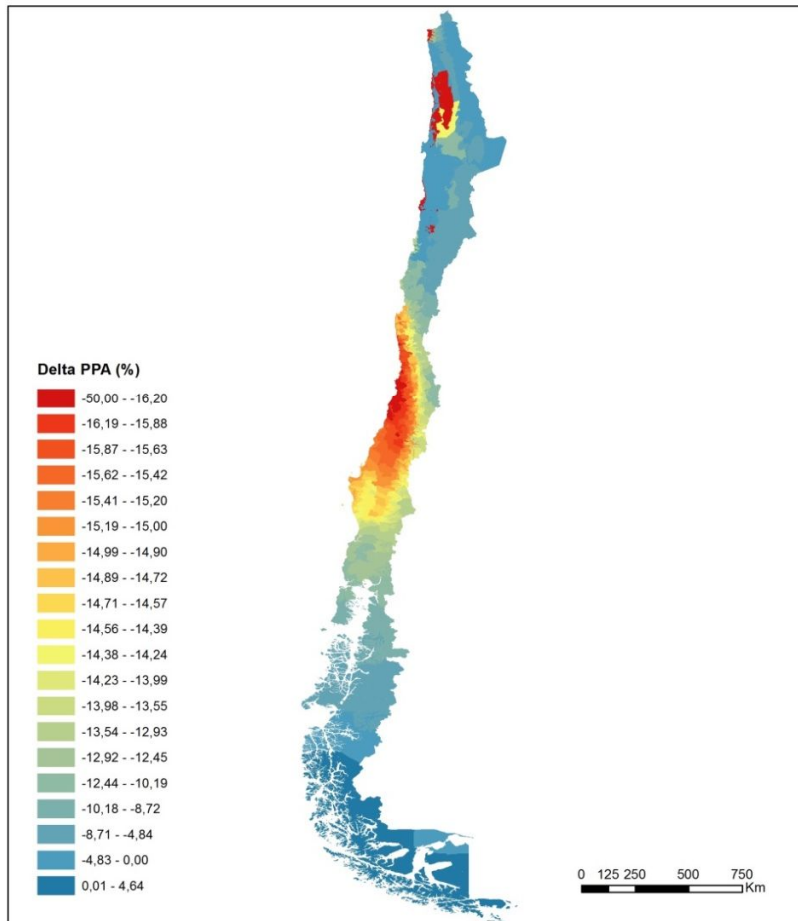


Figura 15. Cambio esperado en la precipitación en este siglo. Las regiones más afectadas son de Valparaíso a Biobío.

Otro aspecto interesante, es que lo más probable es que el viento aumente su intensidad, especialmente en zonas costeras y cordilleranas. Una atmósfera más caliente igualmente tiende a aumentar la intensidad y frecuencia de lluvias convectivas, es decir, aquellas lluvias súbitas que producen chubascadas de gran intensidad, asociadas a tormentas eléctricas y granizo. Esto último tiene dos caras. La cara buena es que esto podría ayudar a recargar las reservas de agua en las cuencas. La cara mala es que podría aumentar la frecuencia e intensidad del granizo en zonas agrícolas. El mayor ingreso de masas de aire desde el océano hacia el continente, con más humedad y frescor, podría aumentar la nubosidad de una extensa franja territorial cercana al litoral, la que podría ingresar algunas decenas de kilómetros hacia

el interior, creando un corredor donde el alza de la temperatura se vería considerablemente atenuada (figura 16).

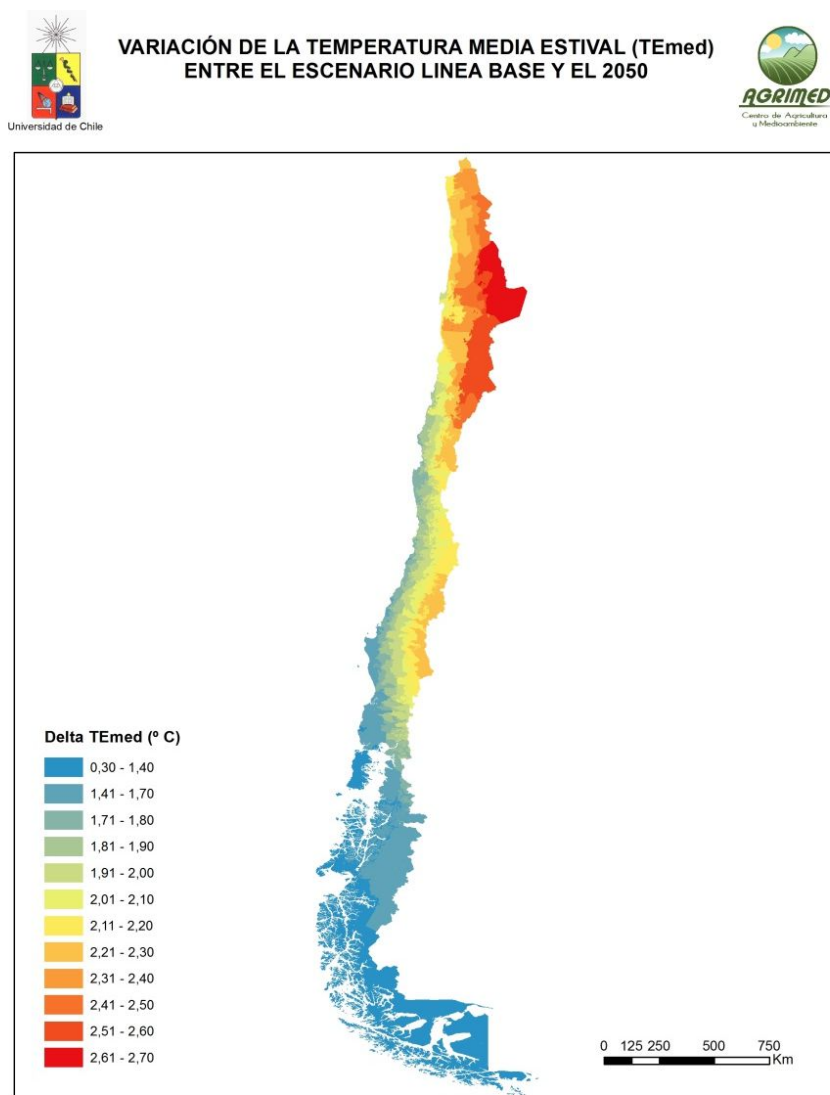


Figura 16. Cambio esperado en la Temperatura media para este siglo. Las proyecciones señalan el aumento de la regulación marítima en un corredor de 50 a 60 kilómetros desde el litoral. En esta franja el alza de las temperaturas debiera verse fuertemente moderada.

La corriente de Humboldt, actúa en Chile como un verdadero sistema de climatización, pues al subir la temperatura de la atmósfera, el viento toma mayor velocidad sobre el océano, haciendo que las aguas profundas y frías del océano suban a la superficie en mayor cantidad enfriando las aguas del Pacífico cercanas al litoral. Con esto, las masas de aire que ingresan al continente se ven más refrescadas al pasar sobre las aguas frías del océano. Este mismo enfriamiento, más el aumento de la actividad convectiva de la zona intertropical, haría que el anticiclón del Pacífico tienda a desplazarse más al sur de Chile. Es posible que esto tenga además como consecuencia que sólo los frentes dotados de más energía logren franquear al anticiclón, trayendo lluvias con menor frecuencia a la zona central. Quizás por esta razón es que el número de lluvias anuales ha tendido a disminuir en los últimos 100 años, tendencia que podría prolongarse por alguna décadas más.

Lo que traería el cambio climático para la zona central de Chile

Según las tendencias observadas y los pronósticos que hacen los modelos mundiales del clima, los climas del futuro debieran variar según las tendencias siguientes:

- *Disminución de la precipitación en zonas costeras mayormente.*
- *Disminución del número de días de lluvia.*
- *Aumento de la energía de la precipitación.*
- *Aumento del contenido de vapor del aire*
- *Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida.*
- *Aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego.*
- *Posible disminución en la recarga de las napas.*
- *Mayor arrastre de sedimentos.*
- *Temperaturas máximas más altas en zonas interiores y más bajas en sectores costeros.*
- *Disminución del frío invernal.*
- *Aumento del estrés térmico de las plantas.*
- *Aumento del viento.*
- *Aumento de la nubosidad, especialmente en un corredor de 60 Km desde la costa.*

Los desajustes de la demanda y oferta de agua en Chile

Adicionalmente a los factores naturales derivados del cambio climático, los recursos hídricos vienen dando señales de agotamiento hace ya varias décadas en la zona centro norte de Chile. El aumento desmedido de la demanda por la agricultura, la minería y la generación de energía, junto al deterioro de la calidad de las aguas por contaminación, está haciendo de este recurso un elemento crónicamente deficitario de Santiago al Norte y frecuentemente deficitario de Santiago al sur. Contribuyen a esta situación, el despoblamiento vegetal que han sufrido las laderas de los cerros y las quebradas, lo que ha acelerado el escurrimiento y reducido la recarga de las napas, y el aumento de la evaporación debida al calentamiento global. Todo esto está intensificando la aridez de la zona central, proceso que es parte de un fenómeno más global, llamado “desertificación” (Santibáñez et al.,2015).

El agua utilizada para actividades económicas y como bebida, es de 16.47 Km³. El riego entre Atacama y Biobío, demanda unos 7.39 Km³ de agua cada año. Esta demanda no es satisfecha por igual según las regiones. Así por ejemplo en Atacama de una demanda de 120 millones de m³ (0.12 Km³), sólo habría unos 50 millones de m³ disponibles en superficie. La diferencia es probablemente satisfecha por la extracción de aguas subterráneas. En Coquimbo la situación no es mejor, de una demanda de 530 millones de m³, las aguas superficiales aportarían unos 430 millones de m³, siendo necesario completar los 100 millones de m³ restantes con extracción de agua subterránea. La región de Valparaíso presenta la situación más crítica, con una demanda de 650 millones de m³, la cual sólo es satisfecha en una cifra de 450 millones por las aguas superficiales, presentando un desabastecimiento de 190 millones de m³. La agricultura de la región Metropolitana tiene una demanda de 1.030 millones de m³, de lo que aportarían las aguas superficiales unos 910 millones, los 120 millones faltantes serían aportados por las aguas subterráneas. Ya en la Región de O’Higgins la situación mejora un tanto, por cuanto, en años normales, la demanda puede ser enteramente aportada por las aguas superficiales, habiendo un excedente de 264 millones de m³. En Maule este excedente crece a 1.400 millones de m³ y en Biobío a 3.587 millones de m³. Estas cifras muestran una situación muy desigual entre las regiones, habiendo un déficit crónico de agua desde la región Metropolitana al norte. (Tabla 5). Probablemente por esta razón, es que en los últimos años se ha observado una tendencia a la disminución de la superficie regada en estas regiones, lo que estaría indicando que se está produciendo un

ajuste entre la oferta y la demanda, no sin costo para los agricultores que invirtieron importantes recursos en plantaciones y sistemas de riego.

Las cifras anteriores se refieren a promedios históricos. No podemos dejar de lado la fuerte variabilidad de las precipitaciones anuales, lo que, en años lluviosos, tiende a anular el déficit crónico, el cual reaparece inmediatamente cuando la precipitación vuelve a la normalidad o a valores por debajo de lo normal, donde estos déficits se agravan aún más. Esto hace fuertemente inestable el balance hídrico de los ríos de la zona central y norte de Chile, poniendo frecuentemente en riesgo la seguridad de riego (figura 18).

Los sistemas de regulación hidrológica con que cuentan algunas regiones, pueden atenuar el déficit de años secos con el agua almacenada en años más lluviosos (Tabla 4). No obstante eso, la capacidad de regulación es limitada, quedando fuertemente disminuida durante los ciclos de sequía que pueden durar varios años. Con las demandas actuales de agua, en el mejor de los casos los embalses disponen de una capacidad para atenuar la sequía de un par de años consecutivos, lo que es claramente insuficiente durante sequías prolongadas como la que estamos atravesando entre 2008 y 2015. Una sequía de esta duración agota cualquier sistema de regulación hidrológica.

En general los ríos muestran claros indicadores de estrés a partir de la Región Metropolitana al norte. En cifras globales anuales pareciera que este estrés no es tal, considerando que la relación caudal sobrante/afluente está por sobre el 50% desde el río Choapa al sur y sobre 100% del Rapel al sur. Estas cifras esconden el déficit de agua en el periodo estival, el cual está siendo recurrente al menos hasta el río Maule. Este estrés se debe fundamentalmente a la fuerte estacionalidad de la demanda de agua, lo que refleja la estacionalidad de la agricultura, cual es el principal consumidor de este recurso (Universidad de Chile, 2012).

Tabla 4. Capacidad de almacenamiento de agua por la infraestructura hidráulica regional

| Embalse | Región | Cuenca | Capacidad | Promedio mensual | Uso principal |
|------------------|--------|-----------|------------------|------------------|---------------|
| | | | MMm ³ | | |
| Chonchi | II | Loa | 22 | 19 | Riego |
| Lautaro | III | Copiapó | 26 | 11 | Riego |
| Santa Juana | III | Huasco | 166 | 125 | Riego |
| La Laguna | IV | Elqui | 40 | 24 | Riego |
| Puclaro | IV | Elqui | 200 | 132 | Riego |
| Recoleta | IV | Limarí | 100 | 68 | Riego |
| La Paloma | IV | Limarí | 748 | 425 | Riego |
| Cogotí | IV | Limarí | 150 | 82 | Riego |
| Culimo | IV | Quilimarí | 10 | 4.5 | Riego |
| El Bato | IV | Choapa | 26 | | Riego |
| Corrales | IV | Choapa | 50 | 42 | Riego |
| Aromos | V | Aconcagua | 35 | 31 | Agua potable |
| Peñuelas | V | Peñuelas | 95 | 29 | Agua potable |
| El Yeso | RM | Maipo | 220 | 151 | Agua potable |
| Rungue | RM | Maipo | 1.7 | 1.5 | Riego |
| Convento Viejo | VI | Rapel | 237 | 203 | Riego |
| Rapel | VI | Rapel | 695 | 496 | Generación |
| Colbún | VII | Maule | 1544 | 1276 | Gen. y riego |
| Laguna del Maipo | VII | Maule | 1420 | 969 | Gen. y riego |
| Bullileo | VII | Maule | 60 | 57 | Riego |
| Digua | VII | Maule | 225 | 216 | Riego |
| Tutuvén | VII | Maule | 22 | 12 | Riego |
| Coihueco | VIII | Itata | 29 | 29 | Riego |
| Lago Laja | VIII | Biobío | 5582 | 3336 | Gen. y riego |
| Ralco | VIII | Biobío | 1174 | 839 | Generación |
| Pangué | VIII | Biobío | 83 | 75 | Generación |

Tabla 5. Caudales afluentes y sobrantes de las principales cuencas en el área regada de Chile

| Cuenca | Caudal afluente, Qa | Caudal sobrante, Qs | Qs/Qa |
|-----------|---------------------|---------------------|-------|
| Lluta | 1.86 | 1.54 | 82.8 |
| San Jose | 1.03 | 0.00 | 0.0 |
| Loa | 0.70 | 0.32 | 45.7 |
| Copiapó | 0.61 | 0.10 | 16.4 |
| Huasco | 2.91 | 1.50 | 51.5 |
| Elqui | 6.01 | 2.48 | 41.3 |
| Limarí | 6.31 | 2.40 | 38.0 |
| Choapa | 9.00 | 8.10 | 90.0 |
| Aconcagua | 33.44 | 22.13 | 66.2 |
| Maipo | 104.72 | 97.96 | 93.5 |
| Rapel | 130.00 | 174.00 | 133.8 |
| Maule | 331.40 | 469.45 | 141.7 |
| Itata | 155.05 | 294.48 | 189.9 |
| Bio Bio | 479.50 | 924.70 | 192.8 |

En los últimos 20 años, la seguridad del riego se está viendo limitada por la disponibilidad de agua desde Maule al sur, lo cual es una paradoja si se observa que del Maipo al sur el caudal sobrante de los ríos supera al 90%. Esto es debido mayormente a que esto no refleja la verdadera situación de los ríos durante la estación de verano. La mayor parte del “excedente” hidrológico de los ríos es vertido al mar en la estación invernal ya sea por su uso en la generación de energía, ya sea por la falta de capacidad de almacenamiento. En este ámbito de estrechez hídrica, el mercado del agua no asegura el agua para la agricultura por cuanto esta debe salir a competir por el recurso con otras actividades económicas con mayor capacidad de pago, como la industria, la minería o el agua potable. Es así como en las regiones de más al norte (Atacama y Coquimbo), muchos derechos de agua han sido transferidos desde la agricultura a la minería. Es probable que esto se propague a Valparaíso y la Región Metropolitana en los próximos años, con lo cual la agricultura en estas regiones se podría ver fuertemente contraída, como ha ocurrido en Atacama.

En el tabla 6 se resumen algunos componentes del balance del agua para la agricultura entre Atacama y Biobío. Se aprecia en estas cifras, la existencia de un déficit hídrico estructural entre Atacama y la Región Metropolitana (figura 17). Como este balance refleja sólo a las aguas superficiales, es probable que parte del déficit esté siendo cubierto por extracciones de aguas subterráneas, las cuales igualmente han mostrado tendencias negativas en las últimas décadas. Puede notarse que de la región Metropolitana al sur los déficits reales o potenciales

en años de sequía tienden a estar por debajo del 10% de los caudales sobrantes, es decir, ellos podrían ser perfectamente cubiertos por este en caso de disponerse de mayor regulación hidrológica.

Tabla 6. Uso de los recursos por la agricultura entre Atacama y Biobío

| Region | Qa | Qs | Agua extraída | Demanda de Riego | Disponible para riego | Déficit o superávit | Déficit o Superavit |
|---------------|-------|-------|---------------|------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Km3 | Km3 | Km3 | Km3 | Mm3 |
| Atacama | 0.19 | 0.05 | 0.13 | 0.12 | 0.05 | -0.06 | -64.22 |
| Coquimbo | 1.15 | 0.57 | 0.48 | 0.53 | 0.43 | -0.10 | -101.42 |
| Valparaíso | 1.20 | 0.60 | 0.57 | 0.65 | 0.45 | -0.19 | -192.06 |
| Metropolitana | 3.66 | 2.14 | 1.14 | 1.03 | 0.91 | -0.12 | -117.43 |
| O'Higgins | 4.10 | 4.66 | 2.05 | 1.58 | 1.84 | 0.26 | 264.67 |
| Maule | 8.10 | 15.25 | 4.05 | 2.24 | 3.65 | 1.40 | 1403.87 |
| Biobío | 20.15 | 26.81 | 8.06 | 1.25 | 4.84 | 3.59 | 3587.06 |
| | | | 16.47 | 7.39 | 12.17 | | |

Qa: caudal afluente, Qs: caudal sobrante, Agua extraída: suma de todos los usos
 Disponible para riego: agua extraída menos otros usos

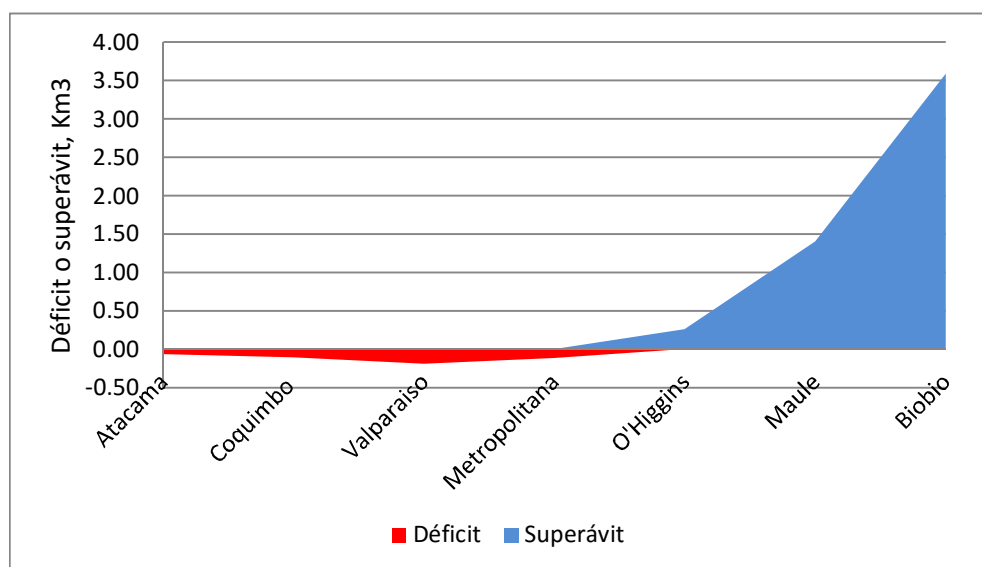


Figura 17. Balance entre la demanda y la oferta de agua por región

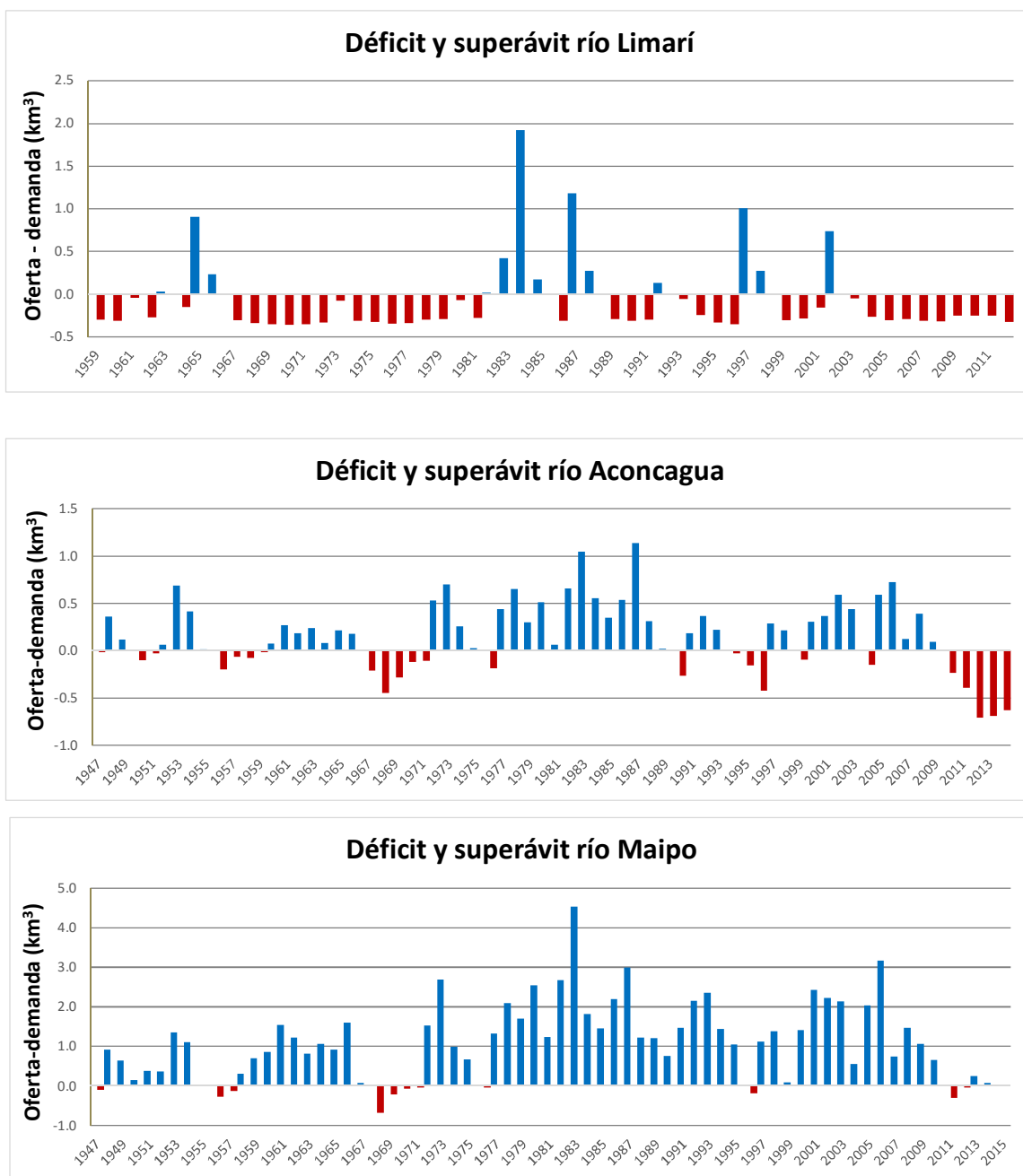


Figura 18. Balance de oferta y demanda de agua en tres ríos que comienzan a dar señales de estrés

La mejora de la relación oferta demanda para por el mejoramiento de la infraestructura hidrológica de las cuencas implica obras mayores como embalses, sistemas de infiltración y recarga, mejoramiento de canales, sistemas automatizados de distribución del agua. Todo esto el país no lo puede afrontar en un periodo menor a 20 años, lo importante es ir avanzando en el mejoramiento de la infraestructura por cuanto de no hacerse, el gasto seria inabordable

para el país en caso de que lleguemos a un estado crítico de escasez de agua antes de la mitad de este siglo. Lo interesante es que, si se hacen las inversiones, el problema es solucionable al menos de la cuenca del río Maipo al sur, pues estamos hablando de ríos que llegan con la mayor parte de su caudal al mar. Hacia Coquimbo y Atacama la situación es diferente, pues los caudales que llegan al mar se han reducido considerablemente en los últimos años, de modo que ya está menos relacionado con el aumento de la capacidad de los embalses, sino con un aumento en la eficiencia de uso del agua, reduciendo pérdidas en los sistemas de riego y en los canales de distribución, así como con un mejor ajuste entre demandas y oferta que, por ahora, parece estar desbalanceada.

Recursos hídricos, desertificación y cambio climático

La degradación de la tierra es consecuencia de una combinación de factores humanos y climáticos. En el siglo XX, la temperatura cambió más rápido que en los siglos precedentes, tendencia que ha mostrado una aceleración en décadas recientes (Villalba et al, 2003). Las temperaturas mínimas han mostrado mayor tendencia al alza que las máximas, especialmente en las costas Occidentales y Orientales de Sudamérica (Vincent et al, 2005). En las costas Sur Occidentales del continente, en contacto con el Océano Pacífico, la precipitación mostró una tendencia negativa durante siglo XX. Es así el territorio chileno comprendido entre los paralelos 28 y 42 S, observó una declinación pluviométrica de 10% a 25% durante el siglo XX, especialmente en regiones costeras. Esto ha provocado un desplazamiento hacia el sur de las isoyetas del orden de 0.4 a 0.5 Km por año. Una tendencia opuesta ha sido observada en la costa atlántica de Argentina y Brasil Meridional (IPCC, 2007).

La variabilidad climática parece estar aumentando en todo el continente, haciéndose más frecuentes los eventos climáticos extremos de la sequía e inundaciones (Aguilar et al, 2005). A lo largo de toda la cordillera de Los Andes se observa un rápido retroceso de los glaciares y el permafrost, los que han perdido en promedio sus 300 metros inferiores en el último siglo (Pizarro R y Cabrera C 2001). Algunos glaciares de la Argentina Meridionales y Chile han retrocedido cientos de metros, a la vez que han reducido su espesor a razón de un promedio de 100 centímetros por año. Los glaciares en Patagonia han retrocedido cientos de metros (1,5 km) sólo en las dos últimas décadas (CEC, 2011). Toda estas tendencias afectan la hidrología global de las cuencas

andinas y afectando la disponibilidad de agua para la irrigación de áreas agrícola importantes del Chile.

La aridización del régimen pluviométrico, junto a un aumento de la temperatura del orden de 0.5 a 0.6°C produjo una caída en los rendimientos de los cereales que hizo desaparecer casi por completo su cultivo en casi la totalidad de la región de Coquimbo. Similar tendencia sufrieron el anís y el comino. Las praderas naturales igualmente han visto reducida su productividad, afectando a crianza de cabras, la más importante fuente de sustento de las comunidades agrícolas de esta región. En general, el aumento de la variabilidad climática, así como la disminución pluviométrica en zonas de la costa ha hecho más azarosa la agricultura de secano en las últimas décadas (Santibáñez et al., 2014).

Las consecuencias de la sequía son múltiples en un país como Chile. La falta de forraje para la ganadería de secano es una de las más dramáticas. La pérdida de siembras de cereales en el secano de la costa, las pérdidas de producción en la fruticultura han sido significativas de Aconcagua al norte, llegando incluso a abandonarse huertos con el objeto de concentrar el agua en sectores más reducidos. En ciertos casos, las consecuencias se proyectan hacia la sustentabilidad humana, por cuanto como consecuencia del descenso de las napas, en extensos sectores de la costa los pozos han quedado en seco, dejando a los asentamientos humanos sin abastecimiento de agua de bebida, siendo necesario implementar planes de emergencia con cierta frecuencia.

Las regiones más afectadas son las de menor pluviometría, es decir, de Aconcagua al norte. No obstante, esto, la sequía se está haciendo sentir tan al sur como Osorno y en las regiones australes, donde un breve periodo sin lluvias se hace sentir como sequía, debido a las elevadas tasas de evaporación que genera el viento seco que llega de la vertiente argentina.

Luego de una sequía tan larga, las cuencas quedan exhaustas, perdiendo gran parte de sus reservas de nieve, de la cobertura vegetal y del agua almacenada en el subsuelo. Para recuperar el estado hidrológico normal de ellas se requiere al menos un par de años consecutivos con precipitación claramente por sobre el promedio.

La sequía que se inició en la primera década de los años 2000 ha sido una de las más extremas por su duración, al punto, que ha provocado el vaciamiento casi total de los embalses en la

región de Coquimbo y una reducción notable de las reservas en los embalses hasta la región del Maule.

No obstante los efectos catastróficos de la sequía, los ríos del Maipo al sur siguen vertiendo cerca del 80% de su agua en el océano. Esto se debe fundamentalmente a dos razones: la insuficiente capacidad de embalse y la gran proporción de agua usada en la generación de energía, durante el invierno. Lo primero se soluciona con el aumento de la capacidad de los embalses, lo segundo, cuando es posible, con embalses a menor cota que retengan el agua usada en la generación de energía, para esto se requieren condiciones geográficas que no siempre están presente.

A parte de afectar los rendimientos de los cultivos y especies forestales como pino y eucalipto, las variaciones climáticas afectarán la incidencia de plagas y enfermedades, la disponibilidad de aguas para el riego y, en ciertos casos, la calidad del producto final, como es el caso de la vitivinicultura.

Los ecosistemas naturales han iniciado un periodo de estrés climático debido a cambios en el régimen de lluvias y térmico. Pequeñas variaciones pueden causar grandes distorsiones en cadenas tróficas, en los polinizantes, en la reproducción de plantas y animales, en la capacidad competitiva de las especies nativas, cediendo espacio a especies invasoras, adaptadas a un rango más amplio de condiciones ambientales. Como los cambios climáticos están ocurriendo a una velocidad mayor al tiempo que las especies y los ecosistemas pueden adaptarse, es muy probable que durante este siglo se produzcan cambios significativos en la estructura y composición específica de importantes biomas del territorio, especialmente en la zona peri árida y árida que representa el borde sur del desierto de Atacama, regiones costeras con disminución de precipitaciones y áreas de altura en la cordillera de los Andes, donde el calentamiento podría ser más acelerado.

A parte del aumento en la frecuencia de ciertos extremos climáticos, el calentamiento global podría acarrear un aumento en la ventosidad, lo que podría convertirse en un factor de estrés y de aumento en las tasas de evapotranspiración, complicando con ello la gestión del riego. Este fenómeno deberá ser compensado con mayores inversiones en estructuras de reducción de viento.

Adicionalmente podría producirse un aumento de la frecuencia de precipitaciones de primavera verano y una disminución del número de lluvias de invierno. Si bien podría observarse una disminución en el total de lluvia anual, las precipitaciones podrían aumentar en intensidad, lo que es particularmente relevante en los casos que ellas coincidan con el periodo de fructificación de

las cosechas o durante la época en que el suelo está descubierto de vegetación y vulnerable a la erosión.

Todos estos cambios ejercerán efectos encadenados sobre los ecosistemas naturales y agrícolas, lo que hace difícil pronosticar cuán positivos o negativos serán sus efectos. En general existe un cierto consenso en que las condiciones climáticas serán algo más hostiles y azarosas, por lo que será necesario implementar estrategias de control de riesgos, de reducción de estrés o simplemente, relocalizar los cultivos evitando con ello enfrentarse a los riesgos. La agricultura tiene una gran tarea para adaptarse a estas nuevas situaciones, sin que ello signifique un aumento de costos que haga perder competitividad al sector.

Agricultura e infraestructura hidráulica

La agricultura es una actividad estratégica para cualquier país, cuyo impacto social es evidente por la mano de obra que genera, las cadenas productivas que moviliza y por los efectos reguladores de la demografía en la ocupación del territorio. A diferencia de la minería, es una actividad de baja concentración de capital, por lo que su capacidad de pago para abordar enormes inversiones es baja. No descarto que los privados puedan aportar con recursos, pero las inversiones iniciales debiera hacerlas el Estado, el cual recuperará la inversión en el largo plazo vía una mayor productividad agrícola y quizás algún sistema de gravamen por la plusvalía de la tierra al aumentar la seguridad de riego. Cualquiera sea el mecanismo, son inversiones que no pueden evaluarse sólo por su flujo de caja pues el Estado recupera la inversión por la enorme cantidad de externalidades positivas que genera el desarrollo agrícola de una región (empleo, cadenas de distribuidores que pagan impuestos, retención de población rural, menor presiones urbanas, entre otros). Durante los años 50 y 60 se realizaron grandes esfuerzos en mejorar la infraestructura de regulación hidrológica, habiéndose construido una capacidad cercana a los 4.000 millones de m³ solo en dos décadas. Entre los 70 y 90 no hubo progresos significativos al respecto, habiéndose retomado esta inversión después de los 2000, para llevar la capacidad de almacenamiento de agua a cifras algo superiores a los 5.000 millones de m³ (figura 19).

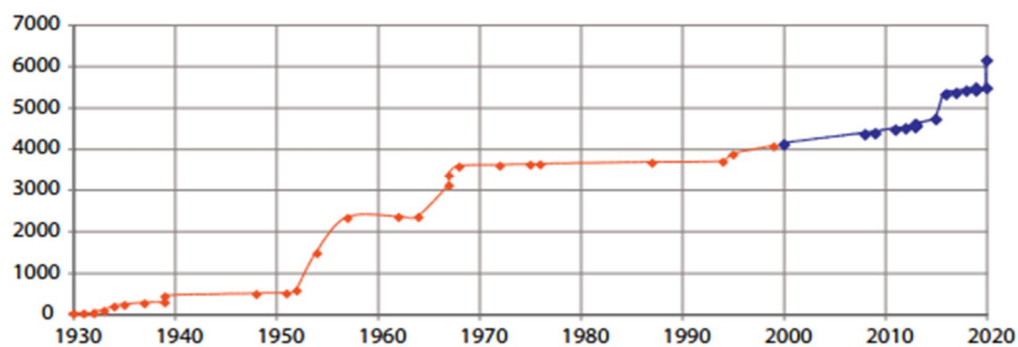
Aunque durante la estación estival la escorrentía muchas veces es inferior a la demanda de riego, esta diferencia es cubierta por el agua embalsada durante la estación invernal razón

por la cual el déficit no aparece en toda su magnitud. Existen diferencias importantes entre la capacidad de regulación de que dispone cada región en Chile. Biobío aparece como la región mejor dotada en esta materia, por cuanto su capacidad potencial de embalse corresponde a 5 años de consumo (en el supuesto de que toda el agua fuese usada para la agricultura, cual no es el caso). Luego, las regiones del norte (Atacama y Coquimbo). Valparaíso y O'Higgins son las más deficitarias, disponiendo de una capacidad de embalse largamente inferior a un año de consumo (Tabla 7)

Tabla 7. Relación entre la capacidad de embalse y las demandas de agua de riego

| | Superficie (has) | Capacidad embalses Hm ³ | Capacidad/ consumo N° años |
|---------------|---------------------|--|----------------------------------|
| Atacama | 19.533 | 201 | 1.72 |
| Coquimbo | 75.713 | 1.298 | 2.45 |
| Valparaíso | 86.157 | 95 | 0.15 |
| Metropolitana | 136.756 | 258 | 0.25 |
| O'Higgins | 210.692 | 237 | 0.15 |
| Maule | 299.102 | 1.722 | 0.77 |
| Biobío | 166.573 | 6.868 | 5.50 |

Infraestructura de almacenamiento de agua del país Hm³



Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas

Nota: La línea azul indica proyecciones sobre la base de embalses en construcción y estudio

Fuente: MOP, 2010

Figura 19. Evolución de la capacidad de los embalses en Chile

A principios de los 1900 no había más de 500 mil hectáreas regadas en Chile. Hacia 1970, habían más de un millón, como consecuencia de una fuerte inversión del Estado en

infraestructura (Salazar, 2003). En las últimas dos décadas el área regada creció apenas en 30.000 ha (3%), pues el esfuerzo privado y del Estado se focalizó en la tecnificación de los sistemas de regadío. Desde los años 90, el área con riego tecnificado (Tabla 8) pasó del 9 al 28% del área regada (INE, 2007). Desde 1985 la Comisión Nacional de Riego (CNR) ha fomentado la tecnificación a través de la Ley de Fomento al Riego, aportando subsidios para infraestructura y sistemas de riego tecnificado. (Banco Mundial, 2010).

A pesar de los grandes esfuerzos realizados por el país en materia de infraestructura hidráulica, en los próximos años se requerirá seguir intensificando la cobertura del riego tecnificado que aún es baja, hacer mejoras significativas en los sistemas de distribución de agua, incluyendo telemetría, revestimiento y entubado de canales, optimización de trazados de canales, sistemas de inyección de agua para recarga de napas, pequeñas y medianas obras de almacenamiento de agua. Se requiere buscar los medios de financiamiento de las 25 obras mayores de acumulación, cuyos proyectos ya superaron el diseño técnico y que obran en poder del MOP.

Tabla 8. Tasas de tecnificación de regadío en Chile

| Región | Cambio en la superficie regada | Variación área riego gravitacional | Variación área riego mecánico | Variación área riego presurizado |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Arica Parinacota, Tarapacá | 53 | 42 | 594 | 58 |
| Antofagasta | -22 | -23 | | -63 |
| Atacama | 38 | 9 | 5 | 64 |
| Coquimbo | 53 | 10 | 163 | 157 |
| Valparaíso | 25 | -28 | -20 | 205 |
| Metropolitana | -6 | -29 | -37 | 274 |
| O'Higgins | 2 | -41 | -8 | 754 |
| Maule | -6.5 | -18 | 68 | 913 |
| Biobío | -8 | -19 | 639 | 858 |
| Araucanía | -2 | -24 | 97 | 673 |
| Los Ríos y los Lagos | 79 | 10 | 62 | 231 |

Adaptado de Banco Mundial 2011

Hacia una gestión eficiente de los recursos hídricos

El agua y la energía son probablemente los dos recursos que jugarán el rol más estratégico en el desarrollo chileno dentro de este siglo. Paradójicamente, ambos recursos son, en cifras globales, relativamente abundantes en el territorio. Chile dispone de 32.814 m³/habitante, uno de los valores más alta de América Latina y el mundo, no obstante eso, las actividades económicas y la población se han concentrado en regiones áridas y semiáridas, habiendo comenzado a aparecer significativos cuadros de déficit hídrico para la minería, la agricultura desde la ciudad de Santiago al norte. A diferencia del agua, donde el problema surge de una ausencia de visión territorial del desarrollo, la energía plantea más bien un problema tecnológico, por cuanto los recursos renovables abundan, como la solar, la eólica, marina y geotérmica, ninguna de las cuales cuenta en la actualidad con clara viabilidad económica para ser aprovechada. La escasez y los elevados costos de estos recursos caracterizarán a este siglo, por lo que el país deberá iniciar una efectiva política de mejoramiento en la eficiencia de uso, en la generación de nuevas fuentes de agua a diferentes escalas, y, probablemente el diseño de una estrategia de desarrollo territorial que acerque a las actividades económicas a las importante fuentes de agua que el país tiene en latitudes australes.

Importantes progresos deberá hacer el país hacia una óptima articulación de la institucionalidad responsable de los recursos hídricos de Chile. La actual dispersión de atribuciones deberá tender a concentrarse en menos instituciones, las cuales deben ser dotadas de la capacidad operativa necesaria para implementar las políticas públicas y los programas de fomento que el país necesitará en un contexto de mayor estrechez hídrica. El cambio climático no era tan evidente cuando se diseñó el actual código de aguas, en la práctica este ha permitido asignar derechos de uso más allá de la real disponibilidad del recurso. Adicionalmente, cabe mencionar que este código de aguas abrió la posibilidad legal para acumular derechos, al límite de la especulación, lo que probablemente no fue previsto por el legislador. Todo esto hace necesaria su revisión, velando por el debido resguardo del acceso equitativo a un bien público consagrado así en la Constitución de la República, por el respeto a los derechos adquiridos y por la necesidad de flexibilizar la gestión del agua en áreas de futuro crecimiento de la actividad agrícola como consecuencia del cambio climático.

En muchos casos la capacidad de adaptación de la agricultura depende de la adopción de sistemas modernos y eficientes de riego, manejo altamente tecnificado de la fertilidad del suelo, de las

técnicas de cultivo, de los pesticidas, de los necesarios aumentos en la eficiencia energética e hídrica, de una adecuada gestión del riesgo, de la existencia de alertas tempranas y de una capacidad para reaccionar frente a las amenazas climáticas, la disponibilidad de nuevos recursos genéticos, ambientalmente más estables y resistentes a plagas, enfermedades y niveles de estrés abiótico. Todas estas transformaciones deberán ocurrir en un contexto de mercados agrícolas inestables y elevados precios de los insumos, especialmente de la energía. Muchos tipos de agricultura nunca lograrán adaptarse con la velocidad requerida, lo que podría llevar a importantes zonas a una marginalización progresiva, intensificando la pobreza rural.

El agua pasará a ocupar un rol extremadamente estratégico como resultado del aumento del consumo, el deterioro de la calidad, el aumento en la variabilidad del ciclo hidrológico y la disminución de su disponibilidad en la mayor parte de las cuencas.

En el extremo austral podría registrarse un aumento en la pluviometría, lo que, junto a un alza en las temperaturas, beneficiaría a las pampas magallánicas. Claro está, que el riesgo de erosión del suelo se vería incrementado en el probable caso de un aumento en la agresividad del régimen pluviométrico y eólico.

Los impactos económicos y sociales que podrían acarrear estos cambios dependen de la capacidad que tendrá la agricultura chilena para absorberlos y neutralizarlos. Esta capacidad estará asociada a características estructurales como tipo de tenencia de la tierra, acceso a la tecnología y capital, y a las opciones productivas que permitan un cambio en el uso del suelo en las regiones más afectadas.

Por su naturaleza, la desertificación es un proceso complejo que no puede ser abordado desde un punto de vista puramente tecnológico, social o ambiental. Normalmente este proceso tiene raíces que se extienden en estas tres dimensiones, requiriendo un abordaje transversal, multidisciplinario. Existen numerosos ejemplos de medidas de control de la desertificación, que han sido concebidas desde perspectivas puramente productivistas o puramente ambientalistas, las que sólo han durado mientras se mantiene el subsidio externo, sin llegar a una etapa de adopción sustentable por parte de las comunidades rurales. Para que esto ocurra, se hace necesario que las estrategias sean económicamente viables, es decir, tiendan al mejoramiento de las oportunidades y del ingreso de las comunidades, junto con agregar valor social, lo que será garantía de su rápida adopción y sustentación futura. En muchos casos las propuestas requieren de una validación cultural,

garantizando con ello, la ausencia de conflictos con la cultura local. A continuación mencionaremos algunas de las iniciativas que no debieran estar ausentes en una estrategia de mejora en la gestión hídrica del país.

Frente a la racionalización de los recursos hídricos, se requiere una rápida reacción, en las regiones del norte, por las urgencias que está generando la escasez de agua, en las regiones de Santiago al sur, porque se requiere aumentar las superficies regadas donde hay aguas sobrantes, particularmente del Maule al sur. Para lograr esto la estrategia nacional de agua propone mejoramientos en la institucionalidad, mejoramiento en la información, en la eficiencia de uso de los recursos. En la actualidad son muy buenas las señales con el nombramiento de un delegado presidencial para los recursos hídricos, lo que significa que se elevó el problema a la máxima importancia, con un mandato directo de la presidencia de la república.

Es probable que necesitemos programas de capacitación más intensivos. La población debe comprender la dimensión del problema que trae la modificación del clima, de modo de entender las reacciones del Estado en materia de regulaciones, prioridades, acciones de fomento, restricciones que implicara un proceso de adaptación de la agricultura frente a una nueva condición climática.

Poco a poco las personas van comprendiendo en todo el mundo, no sólo en Chile, que el cambio climático es en gran medida una consecuencia de la acción humana, por la que estamos comenzando a sufrir las consecuencias. Falta un poco más de acción educativa al respecto para que la población apoye las políticas públicas que será necesario implementar.

Es evidente que la agricultura de las regiones con mayor escasez de agua debiera ser mucho más cauta cuando se trazan planes de producción. El clima chileno es cíclico y pasamos por periodos de 10 a 15 años de bonanza, con Niños frecuentes que llenan los embalses. Entonces se hacen inversiones que luego, cuando viene el ciclo seco, quedan sin sustento. Importante es generar la información de largo plazo que permita más realismo en el crecimiento de la agricultura en zonas vulnerables al cambio climático. Se requiere más y mejor información sobre las tendencias de los recursos hídricos, mas capacitación en gestión eficiente del agua, sistemas de riego de alta tecnología, sistemas de embalses de pequeña y mediana escala, sistemas de alerta temprana que vayan informando al agricultor con varios meses de anticipación el estado de los recursos hídricos y sus proyecciones a mediano plazo.

La siembra de nubes es útil donde existen embalses con capacidad de acumular la escorrentía que provocan las lluvias. Hay mucha experiencia en USA, China e Israel, donde se ha logrado aumentar la precipitación entre un 10 y 15%. Esto no parece mucho pero lo importante es que se generan lluvias intensas que provocan gran escurrimiento hacia los embalses, luego mejoran la recuperación de la escorrentía.

- **Tecnificación del regadío**

El país tiene una larga tradición de riego, no obstante lo cual no hay una verdadera cultura del agua. Es así, como la mayor parte de la agricultura aun utiliza sistemas de riego altamente ineficientes, con cifras inferiores al 50% y en muchos casos, menores a 40%. Se requerirá en el futuro un plan de transferencia tecnológica, acompañado de subsidios a la tecnificación del riego, que eleve la tecnología de riego permitiendo disminuir los impactos de las sequias periódicas que podrían hacerse más frecuentes.

La pequeña agricultura por lo general tiene limitado acceso a los recursos hídricos, lo que la pone en situación de alta vulnerabilidad. Se requiere diseñar sistemas de riego y de conservación de agua acordes con las características económicas y tecnológicas de estos agricultores, a bajo costo, aplicable a pequeñas escalas. Mucho de estos sistemas pueden ser de autoconstrucción como los sistemas de cosecha de aguas lluvia, los sistemas de infiltración para recargar el agua del suelo, los sistemas de riego sub-superficial. Importante es realizar una recopilación de técnicas tradicionales, las cuales fueron abundantes en el periodo pre colonial en la región.

Junto con la tecnificación de las prácticas de riego a nivel predial, se requerirá de un esfuerzo sistemático por mejorar los sistemas de distribución del agua entre los diversos sectores de riego y al interior de cada sector. No sólo se deberá avanzar en el revestimiento o entubado de canales de riego, sino en el uso de la automatización y la telemetría que permitan una mejor, más segura y equitativa asignación de las aguas entre regantes. Al respecto ya existen experiencias exitosas en Chile.

- **Microsistemas de Cosecha de agua**

Debido a la falta de infraestructura de almacenamiento, una proporción importante de aguas de escorrentía de pequeñas quebradas y microcuencas van al cauce principal sin aprovechamiento alguno durante la estación de lluvias. Esta iniciativa busca fomentar el aprovechamiento de estos recursos mediante pequeñas obras que permitan retener y almacenar esta agua, para su uso posterior en el riego de micro perímetros. A través de pequeños diques se pueden crear pequeños tranques acumuladores, desde donde se deriva el agua, gravitacionalmente o por sistemas de bombeo, hacia pequeñas parcelas de riego. Donde estas técnicas son usadas (norte de África, España, Brasil), el agua se emplea para regar pequeñas parcelas plantadas con especies rústicas y altamente resistentes a la sequía (higueras, olivos, nopales, especies forrajeras), previniendo años en que la acumulación de agua pudiera ser escasa. Una variante de esta técnica consiste en la construcción de muros de piedra en las laderas, siguiendo la curva de nivel, de modo de retener el agua y los sedimentos provocados por la propia erosión. Con el tiempo, tras el muro se va acumulado una capa de sedimentos a la vez que una área de concentración de las aguas lluvias que conserva humedad por varios meses, lo que se aprovecha plantando especies resistentes a la sequía justo al lado superior del muro, de modo de aprovechar esta condición creada y que permite una producción de fruticultura de secano, la que en Chile podría ir acompañada de pequeñas agroindustrias de frutos secos (higos, damascos, ciruelos), constituyéndose en una opción de diversificación de ingresos en zonas costeras especialmente.

En una etapa inicial se requiere la implementación de experiencia piloto en predios demostrativos, para lo cual debiera existir un fondo especial. En la etapa de masificación los interesados debieran presentar proyectos tras cuya evaluación de viabilidad podrían acceder a subsidios para su implementación.

Las tecnologías de cosecha de agua en pequeña escala son prácticamente inexistentes en el país. Se hace necesario orientar algunos de los subsidios estatales a la construcción de estas estructuras, particularmente en regiones costeras y precordilleranas, con topografías complejas. En regiones costeras esto podría ser particularmente considerando las ventajas que ofrecerá la franja costera para la producción de especies cuyo potencial podría verse deteriorados algunos kilómetros más al interior del territorio. Cálculos preliminares muestran que la eficiencia productiva del agua de riego sería más elevada en una franja costera de unos 40 km desde el litoral, que en climas francamente interiores. Las técnicas de cosecha de agua pueden ser usadas tanto para generar agua

potable como para abastecer pequeñas áreas de riego, orientadas a la producción de alimentos de subsistencia e incluso, pequeñas producciones con fines de generación de ingreso.

El análisis de la situación nos lleva a pensar que cualesquiera sean las tendencias climáticas, necesitamos una estrategia que ajuste rigurosamente las demandas y ofertas de agua propias de cada región. Al parecer, el desarrollo de las regiones de más al norte, se ha hecho sobre la base de un recurso hídrico que no existe, habiéndose excedido largamente la demanda de la línea de lo sostenible. No podemos repetir esto en las regiones de Santiago al sur, se requiere establecer para cada cuenca la real disponibilidad sustentable, agregando las tendencias del cambio climático. Esto requiere de un minucioso estudio de la variabilidad y capacidad hidrológica de cada cuenca. Importante es decir que de Santiago al sur, en la medida que se hagan las inversiones, hay suficiente margen hidrológico para absorber una tendencia negativa en la precipitación. Haciendo bien la tarea Chile tiene una oportunidad única como exportador de alimentos, probablemente nunca llegue a ser un gran exportador si nos comparamos con países gigantes del vecindario, pero nuestra capacidad de exportar en relación al producto agrícola es sin igual, ya lo sabemos hacer, tenemos la experiencia y los conocimientos, sólo necesitamos sortear el problema hídrico, mas algunos cambios tecnológicos para atenuar el aumento de otros riesgos asociados al cambio climático. Haciendo bien y a tiempo lo que tenemos que hacer, saldremos airoso y quizás, hasta fortalecidos de esta situación que, en la mayor parte del mundo, creará complicaciones bastante mayores que las que está creando en Chile. Con todo, el cambio climático no nos tratara tan mal, es sólo una invitación a modernizar nuestra infraestructura productiva.

Los impactos económicos y sociales que podrían acarrear estos cambios dependen de la capacidad que tendrá la sociedad chilena para absorberlos y neutralizarlos. Esta capacidad, en áreas rurales, estará asociada a características estructurales como tipo de tenencia de la tierra, acceso a la tecnología y capital, y a las opciones productivas que permitan un cambio en el uso del suelo en las regiones más afectadas. Las políticas públicas para enfrentar estas tendencias deberán apuntar en primer lugar a la modernización de los sistemas de gestión, distribución y acceso a los recursos hídricos, aceleración de la inversión en grandes obras y sistemas de distribución del agua, adopción masiva de sistemas de riego de alta eficiencia, obras menores de acumulación temporal de agua, facilitación del cambio de uso del suelo en las regiones agrícolas más afectadas. Un segundo bloque de políticas debieran ir en la dirección de facilitar las iniciativas publico privadas en materia de protección del patrimonio natural, fuertemente amenazado por la degradación, lo que crea impuestos silenciosos que recaen sobre los sectores más pobres en áreas rurales, acentuando la

marginalidad y la pobreza. Un tercer bloque debe buscar anclar a la educación, un cambio de percepción y compromiso de la ciudadanía con la protección de los recursos naturales que serán la herencia hacia las generaciones futuras de chilenos.

- **Cambiar la geografía de la agricultura regada de Chile: agua para la agricultura o agricultura para el agua**

El gran dilema de Chile es que dispone de un territorio generoso en recursos hídricos como pocos países. No obstante, hay dos problemas de origen natural que resultan estructurales en la relación agua/agricultura. El primero de ellos es que una gran proporción del flujo anual de escorrentía ocurre en invierno, cuando la agricultura no requiere de este recurso, lo que hace que la única forma de aumentar el aprovechamiento del agua de las cuencas sea por una mayor capacidad de regulación mediante embalses. El segundo, se refiere a la distribución territorial del agua. La zona norte y central que disponen de un clima privilegiado para la agricultura, tienen menos disponibilidad de agua. En la medida que el agua va siendo más abundante hacia el sur, el clima va presentando mayores limitaciones para la agricultura. Esto nos lleva al desafío de como reunir agua y clima pues donde el clima es generoso el agua es limitante, donde el agua es abundante el clima es restrictivo. Los cambios climáticos de alguna forma podrían ayudar a resolver este dilema, por cuanto las condiciones térmicas favorables de la zona central se desplazarían algunos cientos de kilómetros al sur, incursionando en regiones con mayor abundancia de agua. En dicho escenario subsiste el dilema que el país tendrá frente al aprovechamiento de las condiciones climáticas excepcionales que seguirá teniendo más al norte, probablemente en una franja costera más regulada por la influencia oceánica, y que seguirá teniendo limitaciones de agua, incluso más acentuadas si se mantiene la tendencia decreciente de la precipitación en dichas áreas. Por esto, aunque parte de la agricultura de la zona central se desplace hacia el sur, persistirá el interés por aprovechar un buen potencial productivo que mantendrá el corredor costero, por lo que la demanda de agua para estas regiones centrales persistirá.

Es decir, el dilema es llevar agua a la agricultura de la zona central o llevar la agricultura de la zona central al agua se mantendrá muy vigente durante este siglo. Probablemente ambas cosas van a ocurrir y veremos el surgimiento de importantes proyectos agrícolas en la zona sur, los que aprovecharán el alza de unos 2°C que ampliarán las opciones productivas del sur del país y, paralelamente, veremos proyectos de ingeniería para el transporte de agua desde

las regiones con abundancia hacia las regiones más secas, pero con elevado potencial agrícola. La capacidad que el país tenga para conducir ambos procesos será fuertemente determinante de su capacidad para seguir siendo potencia exportadora de alimentos, en un mundo que probablemente verá fuertemente amenazada la producción de alimentos en este siglo. **Si el país resuelve bien y a tiempo estas cuestiones, probablemente transforma el cambio climático en una oportunidad única gracias a su ubicación en el planeta y a las características de su territorio, que nos abren estas posibilidades.**

- **Hacia una agricultura hídricamente eficiente**

Además de las mejoras tecnológicas listada previamente, hay varias líneas transversales que no deben estar ausentes en un plan de adaptación. Una de ellas es la necesidad de mejorar la *gobernanza del agua*, es decir, la armonización estructural y funcional de las instituciones encargadas de llevar adelante las políticas de mejora en la gestión de agua. El agua es una de los varios recursos naturales que requieren de una mirada estratégica permanente que evite al Estado y a los privados, cometer errores cuya enmienda resulta onerosa. Especial mención cabe hacer a la necesidad de crear grupos de trabajo multidisciplinarios que modelen el sistema agrario nacional, provincial y local, en orden a desarrollar *una capacidad prospectiva agrícola* que le permita al país incorporar las proyecciones de mediano y largo plazo del cambio climático y de las necesidades de adecuación de la agricultura frente a cada una de las amenazas provenientes de los escenarios climáticos previstos. Igualmente importante es la evaluación de los *hotspots* de vulnerabilidad y exposición que podrían crear problemas de marginalización agrícola y social. Esta capacidad podría contribuir grandemente a encauzar el desarrollo hacia senderos sustentables. Un informe periódico sobre el “estado del futuro” sería fuertemente orientador para definir los énfasis y la focalización de las políticas públicas.

En el mundo hay numerosos centros de prospectiva que cumplen importantes roles para sus gobiernos, algunos de estos son: el Future Studies (Hawai), World Future Studies Federation (WFSF), grupo Futuribles de Francia, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el proyecto Milenio. Sólo mirando el futuro podemos juzgar si se está actuando bien en el presente.

Una herramienta con alto potencial para optimizar las políticas públicas es el desarrollo de la capacidad para evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas agrarios, incluido su contexto social y ambiental, en varias escalas. Se necesita para ello, crear las capacidades de trabajo multidisciplinario para abordar el problema desde las perspectivas sociales, culturales, económicas, tecnológicas, biológicas y ambientales (Barrow, 2006). De este análisis emanarán las rutas críticas para el éxito de las estrategias de adaptación, lo que es esencial para orientar las acciones hacia estas barreras, cuya superación darán más fortaleza a la agricultura local para enfrentar los nuevos escenarios climáticos.

La COP 21 enfatiza la necesidad de avanzar hacia una “agricultura climáticamente inteligente”, es decir, una actividad que entre en sintonía con los cambios globales, con mínima huella ambiental, altamente eficiente en el uso de insumos, altamente resiliente, productiva y sostenible. “Para hacer esto posible, será necesario conocer profundamente las singularidades sociales, ambientales y culturales de cada grupo humano, de sus necesidades y sus saberes. Agregar inteligencia a la agricultura es mucho más que agregar tecnología, es diseñar sistemas que aprovechen al máximo los recursos y las capacidades locales, evitando desequilibrios que a la larga son de alto costo de mantención” (Santibáñez 2015).

Para dotar a la agricultura de una capacidad de adaptación a un clima más extremo e inestable, necesitamos de información, métodos de diagnóstico, modelos de evaluación que aporten una visión sistémica de los problemas del desarrollo frente a las amenazas. En el caso chileno, el cambio climático pondrá a prueba nuestra capacidad para hacer una gestión más eficiente de los recursos hídricos. La mantención y ampliación de nuestra capacidad exportadora de alimentos dependerá fuertemente de cuanto nos adaptemos a un clima más variable, algo más extremo y a una hidrología menos favorable. El problema no pareciera estar en una reducción significativa de la cantidad del agua que aportan las cuencas, sino más bien en una dinámica hidrológica más desfavorable asociada a la aceleración del ciclo del agua en la mayor parte de nuestras cuencas. Por costoso que ello sea, la ampliación de la capacidad de regulación de las cuencas parece ser inevitable y urgente. Todo parece indicar que si solucionamos el problema del agua, habremos solucionado la mayor parte de la amenaza del cambio climático.

Conclusiones y recomendaciones

El cambio climático se ha venido manifestando desde hace un siglo en el territorio chileno, habiéndose producido una cierta aceleración en la aparición de los síntomas a partir de los años 80. La manifestación de este proceso es bastante coherente con lo que pronostican los modelos regionales disponibles: una disminución gradual de las precipitaciones totales anuales, un aumento sostenido de las temperaturas máximas y mínimas en regiones interiores, un refrescamiento de las temperaturas diurnas en zonas costeras, una elevación de las isotermas afectando a las reservas de nieves en la cordillera de Los Andes y un ligero cambio de estacionalidad de las precipitaciones. Se agregan a estos síntomas un aumento en la frecuencia de temperaturas elevada principalmente en verano, un aumento en la frecuencia del granizo y de las heladas de origen polar, un aumento en la intensidad de las precipitaciones.

Varios otros síntomas secundarios podrían aparecer en las próximas décadas, como un aumento de la persistencia y cobertura de la nubosidad costera, aumento del viento, de las tormentas convectivas y de la humedad del aire. Las consecuencias hidrológicas se reflejarán en un aumento en la escorrentía invernal, disminuyendo la estival. Todo esto va en la misma dirección, cual es la de instalarse un clima algo más amenazante para la agricultura, más inestable y estresante. En síntesis, el mayor desafío en materia de cambio climático para Chile lo representa la gestión de un recursos estratégico, como es el agua. La aridización de una parte importante del territorio será una consecuencia conjunta de una cierta disminución de las precipitaciones, la cual será más notable en zonas costeras, más atenuada en regiones interiores y probablemente imperceptible en zonas andinas, como lo han venido sugiriendo las tendencias recientes. De mantenerse esta tendencia, probablemente el volumen total de la escorrentía no debiera mostrar significativas bajas, sino más bien un cambio de régimen el que se requerirá manejar con mayores capacidades de regulación, mayor eficiencia en el uso del agua y cambios en las demandas territoriales de agua (DGA, 2007). Esto último implica un desplazamiento del consumo hacia regiones con mayor oferta de agua, particularmente de la agricultura que es el mayor demandante. Este desplazamiento en cierta forma ya comenzó de forma espontánea a partir de los años 90, cuando muchos proyectos agrícolas comenzaron a buscar asiento al sur del Biobío. Sin embargo, este proceso se encontrará con dos problemas mayores que requerirán de una acción bien planeada por parte del Estado.

El primero está relacionado con el acceso que los proyectos de expansión agropecuaria encontrarán al sur del Biobío, donde hasta ahora no ha habido tradición de regadío, razón que explica por qué los agricultores no solicitaron derechos de agua a su debido tiempo, dando lugar a que esta demanda haya sido copada por otros usuarios, donde los principales fueron las empresas generadoras eléctricas. Hoy la realidad está cambiando y el crecimiento de la agricultura al sur del Biobío es una realidad que se encontrará con un escaso acceso al agua de regadío. Esto puede complicar las metas del país de continuar siendo una potencia exportadora de alimentos en las próximas décadas.

El segundo problema es la falta de infraestructura de regadío con que cuenta el país al sur del Biobío. La solución de esto requerirá de importantes inversiones en infraestructura extrapredial tanto en materia de capacidad de almacenamiento, como en materia de sistemas de distribución, considerando el hecho de que se regarán territorios de topografía mucho más compleja que lo que se ha hecho en la zona central, donde la mayor parte del riego siempre se concentra en los suelos aluviales planos del valle central y ríos transversales. Tratándose de regiones claramente más lluviosas que la zona central, en muchos casos es probable que no se requieran grandes obras sino más bien obras pequeñas y medianas, replicables en gran número, capaces de proveer agua a pequeños perímetros que pueden resolver el problema particularmente de la pequeña agricultura. Nos estamos refiriendo a las obras de cosecha de agua, en pequeñas quebradas con escorrentía temporal, obras de almacenamiento de derrames y obras de recarga de acuíferos en casos particulares donde estos estén confinados por la topografía del subsuelo.

Lo que es claro a la luz de la experiencia, es que el otorgamiento de derechos de agua en el futuro deberá basarse en acuciosos estudios que dimensionen realísticamente el recurso disponible, incluida su variación interanual de modo de trabajar con niveles de seguridad en el abastecimiento compatibles con lo que es la actividad agrícola. Desde esta perspectiva será necesario seguir profundizando el concepto de gestión de cuencas, considerando que a futuro el uso de agua por la agricultura será cada vez más consuntivo debido al aumento de la eficiencia de riego que se producirá con los sistemas de alta eficiencia que deberán masificarse. Esto hará que las recuperaciones de aguas en las partes bajas de la cuenca irán menguando, manteniéndose sólo aquella asociada a los usuarios no consuntivos como la

industria y la ciudad. Estricto control de los vertidos contaminantes serán necesarios por cuanto el factor dilución será cada vez menor, lo que podría afectar fuertemente a la agricultura de las partes bajas de los valles (Brown y Saldivia, 2000). Es una realidad que muchos de los ríos están muy cerca de los límites de tolerancia para algunos contaminantes. Varios están por encima de ellos en la zona norte del país, limitando los posibles usos del agua. En el futuro el país no podrá darse este lujo, especialmente si consideramos que posiblemente la demanda de agua podría aumentar fuertemente en las partes bajas de las cuencas, en el caso de que la regulación climática del océano opere favorablemente creando condiciones adecuadas para la agricultura en un no depreciable corredor de 50 a 60 kilómetros de ancho por unos 1.000 kilómetros de largo entre Elqui y la Araucanía.

Por grande que sea el esfuerzo que el país deba hacer para salir airoso en el salvataje de su agricultura frente al cambio climático, todo indica de que se trata de una acción estratégica ineludible si se considera que las exportaciones silvoagropecuarias serán un pilar fundamental del desarrollo de la economía chilena en un futuro donde el comercio de commodities no renovables es incierto debido a los avances tecnológicos que podrían bajar la demanda de estos.

Cualquiera sea el escenario para los alimentos, la demanda de éstos sólo puede crecer a futuro, en un mundo en el que cada vez será más difícil producir alimentos, especialmente en el hemisferio norte, donde el cambio climático se expresará con mayor rigor.

Bibliografía

Ayala, L. 2010. Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico”. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago, Chile.

Banco Mundial 2011 CHILE Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. 92 pp

Barrow C.J., 2006 Environmental management for Sustainable Development (Second Ed.), Routledge, London, New York, 454 p.

Brown E y JE Saldivia 2000 Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Chile, Agua para el siglo XXI para América de Sur (Global Water Partnership) 117 pp.

CEC 2011 Variaciones recientes de los glaciares en Chile, según principales zonas glaciológicas 132 pp

DGA. 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y región Metropolitana. Ministerio de Obras Públicas. 986 p.

DGA 2015 Atlas del agua 2016. Serie de Estudios Básicos DGA SEB N°6

FAO. 2000. (en línea). Sistema de Información sobre el Uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. Chile. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/chile/indexesp.stm. Visto octubre de 2013

Givovich W 2006. Derretimiento de las nieves y recursos hídricos de la zona Centro-Norte de Chile. Revista *Ambiente y Desarrollo* 22(1): 58-67, Santiago Chile

INE 2015 Medio Ambiente Informe anual 2015. 204 pp

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2007. Censo Agrícola. Santiago, Chile

Ministerio del Interior 2015, Política Nacional para los Recursos Hídricos, Delegación presidencial para los Recursos Hídricos, 104 pp

MOP 2010 Chile 2020 Obras Públicas para el Desarrollo. Gobierno de Chile, MOP, 237 pp

MOP 2013 Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (2012-2025). Gobierno de Chile. 40 pp

Orrego J.P 2002, El estado de las aguas terrestres en Chile. Fundación Terram, 69 pp

Pizarro R y Cabrera C 2001 Variación temporal de las precipitaciones y caudales en la

cuenca del Maipo, y la potencial influencia glaciaria en la producción de agua (1963-2006) *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería hidráulica en México*, vol. II, núm. 3, julio-septiembre de 2011, pp. 5-19

PIZARRO J, P. VERGARA. J. A. Rodríguez and A. M: Valenzuela (2010). Heavy metal in northern Chilean rivers: spatial variation and temporal trends. *Journal Hazardous of Materials*, 181(1-3).

Santibáñez F, P. Santibáñez, C. Caroca, P. González, F. Huiza, C. Melillan 2014 Atlas del Cambio Climático de las regiones áridas y semiáridas de Chile. Universidad de Chile, 136 pp

Santibáñez F 2015 *Impacto cambio climático y variabilidad climática en producción alimentaria y agricultura*. Proceso de Pensamiento Estratégico a Nivel Regional, FAO Oficina Regional para América Latina, Santiago

Universidad de Chile 2012, Informe País: estado del medio ambiente, Instituto de Asuntos Públicos, 296 pp.

ANEXO

Cambios esperados en la precipitación hacia 2050 en las comunas de Chile

Adaptado de:

Ministerio del Medio Ambiente Departamento de Cambio Climático

*Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al
año 2050*

Elaborado por INFODEP

PPA : precipitación anual 1980-2010

PPA 50 : proyección para el año 2050

| COMUNA | | | COMUNA | | | COMUNA | | |
|----------------------|-----|--------|---------------|-----|--------|-------------------|-----|--------|
| | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 |
| Arica | 43 | 40 | Combarbalá | 208 | 180 | Viña del Mar | 429 | 358 |
| Camarones | 51 | 49 | Monte Patria | 213 | 186 | Colina | 402 | 345 |
| General Lagos | 267 | 254 | Ovalle | 144 | 123 | Lampa | 392 | 333 |
| Putre | 163 | 155 | Punitaqui | 167 | 142 | Tiltil | 373 | 318 |
| Alto Hospicio | 2 | 2 | Río Hurtado | 156 | 137 | Pirque | 548 | 471 |
| Iquique | 3 | 2 | Calle Larga | 424 | 365 | Puente Alto | 466 | 400 |
| Camíña | 48 | 46 | Los Andes | 527 | 460 | San José de Maipo | 811 | 711 |
| Colchane | 185 | 182 | Rinconada | 393 | 337 | Buín | 476 | 407 |
| Huara | 41 | 40 | San Esteban | 441 | 383 | Calera de Tango | 402 | 342 |
| Pica | 61 | 60 | Limache | 408 | 343 | Paine | 553 | 474 |
| Pozo Almonte | 35 | 34 | Olmué | 388 | 328 | San Bernardo | 396 | 338 |
| Antofagasta | 18 | 16 | Quilpué | 429 | 361 | Alhué | 554 | 469 |
| Mejillones | 2 | 2 | Villa Alemana | 415 | 348 | Curacaví | 433 | 366 |
| Sierra Gorda | 15 | 14 | Cabildo | 290 | 249 | María Pinto | 472 | 397 |
| Taltal | 16 | 15 | La Ligua | 291 | 245 | Melipilla | 464 | 390 |
| Calama | 51 | 49 | Papudo | 312 | 262 | San Pedro | 496 | 416 |
| Ollagüe | 112 | 111 | Petorca | 258 | 221 | Cerrillos | 339 | 290 |
| San Pedro de Atacama | 61 | 58 | Zapallar | 326 | 274 | Cerro Navia | 324 | 277 |
| María Elena | 15 | 15 | Calera | 370 | 313 | Conchalí | 330 | 282 |
| Tocopilla | 2 | 2 | Hijuelas | 382 | 323 | El Bosque | 339 | 289 |
| Chañaral | 5 | 5 | La Cruz | 396 | 333 | Huechuraba | 423 | 362 |
| Diego de Almagro | 42 | 38 | Nogales | 384 | 324 | Independencia | 362 | 310 |
| Caldera | 9 | 8 | Quillota | 388 | 327 | La Cisterna | 337 | 288 |
| Copiapó | 43 | 40 | Algarrobo | 479 | 400 | La Florida | 446 | 384 |
| Tierra Amarilla | 48 | 45 | Cartagena | 493 | 412 | La Granja | 350 | 300 |
| Alto del Carmen | 84 | 77 | El Quisco | 479 | 399 | La Pintana | 388 | 333 |
| Freirina | 40 | 35 | El Tabo | 490 | 409 | La Reina | 437 | 377 |
| Huasco | 30 | 26 | San Antonio | 495 | 414 | Las Condes | 463 | 398 |
| Vallenar | 58 | 53 | Santo Domingo | 505 | 422 | Lo Barnechea | 549 | 474 |
| Canela | 198 | 167 | Catemu | 349 | 297 | Lo Espejo | 336 | 287 |
| Illapel | 229 | 196 | Llaillay | 357 | 305 | Lo Prado | 342 | 292 |
| Los Vilos | 247 | 209 | Panquehue | 334 | 285 | Macul | 350 | 300 |
| Salamanca | 263 | 226 | Putaendo | 330 | 284 | Maipú | 405 | 345 |
| Andacollo | 88 | 76 | San Felipe | 315 | 270 | Ñuñoa | 353 | 303 |
| Coquimbo | 90 | 77 | Santa María | 356 | 306 | Pedro Aguirre Ce | 340 | 291 |
| La Higuera | 61 | 54 | Casablanca | 466 | 390 | Peñalolén | 458 | 394 |
| La Serena | 71 | 62 | Concón | 407 | 341 | Providencia | 402 | 345 |
| Paihuano | 142 | 127 | Puchuncaví | 376 | 316 | Pudahuel | 414 | 351 |
| Vicuña | 104 | 92 | Quintero | 377 | 316 | Quilicura | 349 | 298 |
| | | | Valparaíso | 456 | 381 | Quinta Normal | 345 | 295 |

| COMUNA | | | COMUNA | | | COMUNA | | |
|-------------------|-----|--------|-----------------|------|--------|-------------------|------|--------|
| | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 |
| Recoleta | 398 | 342 | Peralillo | 616 | 517 | Los Álamos | 1526 | 1300 |
| Renca | 342 | 292 | Placilla | 669 | 566 | Tirúa | 1469 | 1252 |
| San Joaquín | 346 | 297 | Pumanque | 659 | 554 | Alto Biobío | 2493 | 2142 |
| San Miguel | 342 | 293 | San Fernando | 927 | 792 | Antuco | 2358 | 2014 |
| San Ramón | 342 | 293 | Santa Cruz | 669 | 563 | Cabrero | 1097 | 932 |
| Santiago | 348 | 298 | Cauquenes | 912 | 771 | Laja | 1128 | 962 |
| Vitacura | 412 | 354 | Chanco | 845 | 715 | Los Ángeles | 1213 | 1031 |
| El Monte | 442 | 374 | Pelluhue | 879 | 745 | Mulchén | 2222 | 1901 |
| Isla de Maipo | 450 | 381 | Curicó | 1197 | 1018 | Nacimiento | 1736 | 1484 |
| Padre Hurtado | 426 | 362 | Hualañé | 707 | 594 | Negrete | 1126 | 965 |
| Peñaflor | 428 | 364 | Licantén | 759 | 640 | Quilaco | 2356 | 2018 |
| Talagante | 419 | 357 | Molina | 1265 | 1076 | Quilleco | 2200 | 1876 |
| Codegua | 600 | 517 | Rauco | 704 | 593 | San Rosendo | 1151 | 983 |
| Coinco | 599 | 508 | Romeral | 1155 | 984 | Santa Bárbara | 2283 | 1950 |
| Coltauco | 603 | 510 | Sagrada Familia | 719 | 605 | Tucapel | 2179 | 1853 |
| Doñihue | 589 | 500 | Teno | 963 | 817 | Yumbel | 1163 | 991 |
| Graneros | 559 | 478 | Vichuquén | 749 | 630 | Chiguayante | 1183 | 1004 |
| Las Cabras | 555 | 466 | Colbún | 1697 | 1442 | Concepción | 1115 | 947 |
| Machalí | 792 | 684 | Linares | 1656 | 1403 | Coronel | 1209 | 1029 |
| Malloa | 732 | 623 | Longaví | 1628 | 1379 | Florida | 1446 | 1228 |
| Mostazal | 584 | 502 | Parral | 1742 | 1478 | Hualpén | 1012 | 859 |
| Olivar | 584 | 497 | Retiro | 860 | 725 | Hualqui | 1186 | 1010 |
| Peumo | 609 | 513 | San Javier | 832 | 701 | Lota | 1357 | 1154 |
| Pichidegua | 591 | 497 | Villa Alegre | 810 | 680 | Penco | 1152 | 977 |
| Quinta de Tilcoco | 597 | 506 | Yerbas Buenas | 953 | 800 | San Pedro de la P | 1185 | 1006 |
| Rancagua | 579 | 493 | Constitución | 809 | 685 | Santa Juana | 1714 | 1461 |
| Rengo | 760 | 649 | Curepto | 743 | 627 | Talcahuano | 1035 | 879 |
| Requínoa | 697 | 596 | Empedrado | 827 | 700 | Tomé | 1122 | 953 |
| San Vicente | 650 | 549 | Maule | 737 | 620 | Bulnes | 976 | 826 |
| La Estrella | 540 | 452 | Pelarco | 1148 | 968 | Chillán | 1088 | 920 |
| Litueche | 605 | 505 | Pencahue | 752 | 634 | Chillán Viejo | 1019 | 862 |
| Marchigüe | 583 | 489 | Río Claro | 1099 | 928 | Cobquecura | 935 | 793 |
| Navidad | 593 | 496 | San Clemente | 1602 | 1363 | Coelemu | 979 | 830 |
| Paredones | 702 | 588 | San Rafael | 733 | 616 | Coihueco | 1978 | 1678 |
| Pichilemu | 689 | 577 | Talca | 739 | 620 | El Carmen | 1920 | 1627 |
| Chépica | 698 | 588 | Arauco | 1330 | 1131 | Ninhue | 957 | 810 |
| Chimbarongo | 901 | 764 | Cañete | 1577 | 1345 | Ñiquén | 1089 | 920 |
| Lolol | 679 | 571 | Contulmo | 1793 | 1532 | Pemuco | 1898 | 1610 |
| Nancagua | 673 | 568 | Curanilahue | 1776 | 1515 | Pinto | 2080 | 1767 |
| Palmilla | 620 | 521 | Lebu | 1308 | 1115 | Portezuelo | 1036 | 877 |

| COMUNA | | | COMUNA | | | COMUNA | | |
|-----------------|------|--------|-----------------|------|--------|-------------------|------|--------|
| | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 | | PPA | PPA 50 |
| Quillón | 1319 | 1119 | Victoria | 1919 | 1637 | Río Negro | 1637 | 1433 |
| Quirihue | 965 | 817 | Futrono | 2394 | 2085 | San Juan de la Co | 1647 | 1441 |
| Ranquil | 1278 | 1084 | La Unión | 1577 | 1380 | San Pablo | 1410 | 1235 |
| San Carlos | 1313 | 1110 | Lago Ranco | 2449 | 2135 | Aysén | 2232 | 2094 |
| San Fabián | 1962 | 1667 | Lanco | 2054 | 1785 | Cisnes | 2587 | 2378 |
| San Ignacio | 1573 | 1331 | Paillaco | 1617 | 1417 | Guaitecas | 2902 | 2772 |
| San Nicolás | 989 | 837 | Río Bueno | 2178 | 1900 | Cochrane | 1133 | 1080 |
| Treguaco | 916 | 776 | Corral | 1871 | 1632 | O'Higgins | 1515 | 1475 |
| Yungay | 1990 | 1689 | Los Lagos | 1991 | 1736 | Tortel | 2579 | 2518 |
| Carahue | 1620 | 1385 | Máfil | 1852 | 1616 | Coyhaique | 1444 | 1323 |
| Cholchol | 1535 | 1314 | Mariquina | 1976 | 1715 | Lago Verde | 1751 | 1588 |
| Cunco | 2478 | 2130 | Panguipulli | 2450 | 2129 | Chile Chico | 1038 | 981 |
| Curarrehue | 3685 | 3198 | Valdivia | 1823 | 1592 | Río Ibáñez | 1438 | 1346 |
| Freire | 1915 | 1642 | Ancud | 2163 | 1927 | Cabo de Hornos | 1884 | 1953 |
| Galvarino | 1524 | 1303 | Castro | 2337 | 2110 | Laguna Blanca | 678 | 692 |
| Gorbea | 2051 | 1768 | Chonchi | 2395 | 2161 | Punta Arenas | 2422 | 2524 |
| Lautaro | 1984 | 1696 | Curaco de Vélez | 1844 | 1662 | Río Verde | 2385 | 2476 |
| Loncoche | 2196 | 1903 | Dalcahue | 2407 | 2161 | San Gregorio | 275 | 275 |
| Melipeuco | 2878 | 2479 | Puqueldón | 1855 | 1687 | Porvenir | 1065 | 1085 |
| Nueva Imperial | 1521 | 1302 | Queilén | 1789 | 1619 | Primavera | 379 | 378 |
| Padre Las Casas | 1358 | 1159 | Quellón | 2388 | 2164 | Timaukel | 2059 | 2141 |
| Perquenco | 1546 | 1317 | Quemchi | 1782 | 1596 | Natales | 2553 | 2586 |
| Pitrufquén | 1954 | 1681 | Quinchao | 1770 | 1608 | Torres del Paine | 747 | 765 |
| Pucón | 3084 | 2664 | Calbuco | 1877 | 1671 | | | |
| Saavedra | 1335 | 1144 | Cochamó | 2818 | 2503 | | | |
| Teodoro Schmidt | 1527 | 1309 | Fresia | 1891 | 1658 | | | |
| Temuco | 1523 | 1300 | Frutillar | 1577 | 1376 | | | |
| Toltén | 1969 | 1698 | Llanquihue | 1640 | 1431 | | | |
| Vilcún | 2109 | 1805 | Los Muermos | 1898 | 1665 | | | |
| Villarrica | 2512 | 2170 | Mauñín | 1890 | 1666 | | | |
| Angol | 1717 | 1470 | Puerto Montt | 2148 | 1885 | | | |
| Collipulli | 1965 | 1679 | Puerto Varas | 2399 | 2101 | | | |
| Curacautín | 2135 | 1827 | Chaitén | 3083 | 2785 | | | |
| Ercilla | 1773 | 1513 | Futaleufú | 3544 | 3190 | | | |
| Lonquimay | 2636 | 2278 | Hualaihué | 2799 | 2517 | | | |
| Los Sauces | 1654 | 1415 | Palena | 2389 | 2157 | | | |
| Lumaco | 1650 | 1412 | Osorno | 1453 | 1272 | | | |
| Purén | 1632 | 1396 | Puerto Octay | 2242 | 1960 | | | |
| Renaico | 1472 | 1260 | Purranque | 1771 | 1551 | | | |
| Traiguén | 1573 | 1344 | Puyehue | 2409 | 2103 | | | |

