

Capítulo 1

Cambio climático y sus efectos en la agricultura

Linda Sánchez P.

Ingeniera Agrónoma
INIA La Platina

Los cambios en el sistema climático global han ocurrido durante toda la historia del planeta. A partir de los primeros miles de millones de años de formación, dichas modificaciones se han presentado por causas naturales que incluyen: cambios en la órbita terrestre, alteraciones en la excentricidad del planeta, actividad volcánica intensa e impactos de meteoritos (Rivera, 1999). Desde hace 10.000 años el planeta ha experimentado una relativa estabilidad climática, sin embargo, hoy existe un amplio consenso científico en que el actual fenómeno del cambio climático es un hecho inequívoco, causado principalmente por la acción de la humanidad. “Desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado”. Estimaciones de las emisiones globales de gases de efecto invernadero indican que para el año 2030 la temperatura de la tierra aumentará 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2019).

De acuerdo con la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), se entiende por cambio climático a “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Por otra parte, el calentamiento global se refiere al aumento sostenido de la temperatura media de la atmósfera y los océanos en las últimas décadas, atribuido a las actividades humanas y, por tanto, a la generación de Gases

de Efecto Invernadero (GEI). La concientización del ser humano está aumentando, evidenciándose a través del interés por conocer las fuentes de emisiones y las consecuencias de éstas.

Los GEI casi en su totalidad son de origen natural y siempre han existido en la atmósfera actual, es más, sin su presencia no habría sido posible la vida en el planeta por las bajas temperaturas medias que habrían prevalecido. Los GEI impiden que parte de la radiación solar (ultravioleta) que recibe la Tierra desde el Sol sea devuelta y escape, como radiación infrarroja, al espacio exterior. La radiación que se acumula en la zona atmosférica en contacto con la superficie del planeta hace que se eleve la temperatura. Entonces, el punto en discusión no es la existencia de los GEI ni su efecto invernadero natural, sino el incremento descontrolado de la emisión de los GEI y su efecto invernadero adicional.

Los GEI más importantes son el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO₂). El vapor de agua es el GEI más abundante, siendo emitido por amplios sectores industriales, plantas nucleares y los hogares, aunque su origen principal es la evaporación desde la superficie sólida y las grandes masas de agua. En cambio, el CO₂ es emitido por la combustión de combustibles fósiles, como petróleo y gasolina, la quema de bosques y deforestación, y la disminución de biomasa. Otros GEI importantes son el metano (CH₄) y sus derivados, emitidos por la actividad agrícola, la industria forestal, la industria generadora de energía, la ganadería (digestión de rumiantes); los depósitos de residuos orgánicos de las ciudades y pantanos; los óxidos de nitrógeno (NO), emitidos por las industrias agroforestal y química, vehículos motorizados, combustión de carbón y otros procesos industriales. Un caso particular es el óxido nitroso (N₂O) que tiene alto potencial de calentamiento global y es mayoritariamente emitido desde suelos agrícolas fertilizados con nitrógeno; el ozono artificial (O₃), usado como desinfectante y los clorofluorocarburos (CFC) artificiales usados en refrigerantes, extintores, aerosoles y otros.

La concentración de los GEI en la atmósfera ha aumentado dramáticamente en los últimos 200 años, coincidiendo con el incremento de las actividades económicas impulsadas por la industrialización y la producción de bienes y servicios a gran escala.

La temperatura media del planeta se ha incrementado en 0,6°C en los últimos 150 años y si se consideran los últimos 20 años, el incremento es de 1°C. Por su parte, la década del 90 ha sido la más calurosa de los últimos 1.000 años. Para el 2050 se estima que el planeta tendrá una temperatura promedio superior en 2°C a la actual.

Este incremento puede no parecer muy “significativo” y al respecto, sólo un ejemplo que desmiente aquello: en la última glaciación, la temperatura media del planeta fue sólo 5°C menor que en la actualidad.

La evidencia científica advierte que tenemos unos cinco años por delante para evitar el peligroso cambio climático, que se generaría si la temperatura global promedio aumenta más de 2°C sobre los niveles preindustriales. Chile será una de las regiones más afectadas si superamos dicha barrera. Así, las proyecciones regionales indican que es probable que suba la frecuencia e intensidad de los incendios forestales (lo ocurrido en el verano de 2017, con más de 600.000 hectáreas quemadas, confirma dichas proyecciones), que disminuyan las precipitaciones (excepto en la zona austral), y se produzca un aumento de la incidencia de la sequía y de las temperaturas extremas.

En este contexto, la agricultura juega un papel fundamental, pero dual; ya que no sólo es responsable de una parte importante de las emisiones de Gases con Efecto Invernadero a la atmósfera (50% del metano y 70% del óxido nitroso), sino que también puede contribuir a su mitigación, a través del secuestro del carbono atmosférico y su retención como carbono orgánico de los suelos (COS). Una segunda razón es porque la capacidad de producir alimentos para nuestra población y de exportar en un contexto de cambio climático, dependerá fundamentalmente de nuestra capacidad de mantener o incrementar la productividad primaria de los suelos. El manejo sostenible de éstos, incorporando prácticas agronómicas que preserven o incrementen el contenido de materia orgánica es esencial para la adaptación al cambio climático y, por ende, para la viabilidad de la agricultura chilena.

Los efectos adversos del cambio climático son considerados como amenazas cuyos impactos pueden poner en riesgo el desarrollo de los países y la integridad ecosistémica a nivel mundial. Numerosas especies vegetales y animales debilitadas actualmente por la contaminación y la pérdida de hábitat, no sobrevivirán los próximos años.

Los análisis científicos también señalan una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años y se considera probable que las altas temperaturas, olas de calor, graves sequías, fuertes precipitaciones y grandes inundaciones, continuarán siendo más frecuentes en el futuro, lo que puede ser desastroso para la humanidad (IPCC, 2013).

En tanto, una publicación del Banco Mundial (2012) advierte la probabilidad de que la temperatura media global, podría aumentar en unos 4°C durante el siglo XXI, lo que causaría episodios de calor sin precedentes, graves sequías y grandes inundaciones en muchas regiones, con serias consecuencias para los ecosistemas y los servicios que otorgan, como por ejemplo servicios de suministro de alimentos y de agua, servicios de regulación de suelos, de enfermedades y plagas, servicios recreacionales, culturales, espirituales y religiosos entre otros.

En la publicación del IPCC (2013) se indica que, en ausencia de esfuerzos adicionales de mitigación, las emisiones de gases de efecto invernadero continuarán creciendo, y causarán un aumento de la temperatura media global en la superficie en 2100, de 3,7°C a 4,8°C en comparación con los niveles preindustriales. Se requerirán fuertes reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar los niveles de calentamiento a 2°C en relación con los niveles preindustriales, lo que supondrá un importante reto tecnológico, económico, institucional y de comportamiento. El hecho de que el planeta pueda llegar a alcanzar una temperatura media superior a los 2 °C, que es el umbral firmado y ratificado por casi todos los países del mundo a través del Acuerdo de París, no significa necesariamente el fin de la especie humana, sólo significa que se habrá llegado al Punto de No Retorno, concepto que sugiere que a partir de ese momento los escenarios de riesgo para la humanidad habrán de incrementarse, de forma no lineal y no equitativa para todos los países del orbe y para la humanidad.

El clima mundial está cambiando rápidamente y los agricultores medianos y pequeños, en particular, son más vulnerables, pues viven en ambientes marginales y están menos preparados para enfrentar el cambio climático. En las zonas de secano mediterráneo de Chile central, el problema es aún más agudo por las fuertes sequías que cada vez son más frecuentes. Los episodios climáticos extremos, cada vez más frecuentes e intensos, provocan graves amenazas a la disponibilidad de alimentos, acceso a los mismos, su estabilidad y utilización, reduciéndose así la productividad agrícola. En efecto, la variabilidad climática es la principal causa de las fluctuaciones anuales de la producción, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. Por eso, los puntos importantes a considerar en el sector agrícola abarcan temáticas como la adaptabilidad de la tierra para diferentes tipos de cultivos, pérdida de la biodiversidad y del funcionamiento del ecosistema en los hábitats naturales, cambios en la distribución de agua de buena calidad para los cultivos, pérdida de tierras arables, disminución del agua subterránea y diferentes tipos de plagas y enfermedades.

Una práctica generalizada en la agricultura nacional y prácticamente obsoleta en países de Unión Europea, es la eliminación de los residuos vegetales de los cultivos, mediante el uso del fuego directo en el campo. Es lo que se conoce como la quema in-situ, para diferenciarla de la quema de residuos que pueda ocurrir fuera del campo (quema off-situ), generalmente para generación de calor a nivel de casas de campo.

Los cultivos que más contribuyen a las emisiones de gases invernadero, por quema de residuos, son los cereales; los residuos de los restantes cultivos tienden a no ser quemados en el campo, siendo mayoritariamente enterrados en los suelos o empleados para alimentación animal, ya sea por consumo directo como a través de forraje conservado. Respecto a las quemas de rastrojos se emiten altas cantidades de CO₂ al ambiente, considerando los rendimientos típicos chilenos, se emite el equivalente a 400 kg CO₂/ ha/año en la quema de cereales, y 800 kg CO₂/ha/año con quema de rastrojos de maíz (Ovalle, C. *et al.*, 2020).

También es un hecho muy bien reportado en Chile y el mundo, que la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas ha disminuido el carbono orgánico del suelo (COS), aumentando las concentraciones de CO₂ en el ambiente. Por tanto, la aplicación de medidas para disminuir las emisiones debe orientarse a mantener prácticas que promuevan la protección del suelo y aumenten los niveles de materia orgánica. La adopción de prácticas de manejo como la cero labranza, el establecimiento de praderas permanentes, la incorporación de materia orgánica estabilizada (compost), la supresión de las quemas agrícolas, entre otras, promueven la mantención y acumulación del carbono orgánico del suelo (COS).

Un requisito esencial para que los países logren un desarrollo agrícola sustentable, así como para adaptarse exitosamente a los nuevos escenarios climáticos hacia los que está transitando el planeta, es contar con una completa y confiable evaluación de los recursos naturales que sustentan la agricultura. Sin esto, difícilmente las políticas públicas encontrarán la mejor ruta hacia una agricultura sustentable y competitiva, que cumpla con los importantes roles que siempre ha tenido esta actividad: sustentar la ruralidad, proporcionar alimentos y mantener los equilibrios territoriales que todo país necesita. Conocer las ventajas competitivas, los riesgos y la potencialidad de los climas es un aspecto básico para orientar los planes y estrategias necesarios para un crecimiento sostenido de la agricultura, el uso eficiente del territorio, apoyar las inversiones públicas y privadas, asegurando la capacidad exportadora de alimentos, en un país como Chile, cuya disponibilidad de

tierras agrícolas es limitada. Se agregan a estos imperativos, la gran dinámica de cambio que están tomando los climas en todo el planeta, lo que hace necesario no sólo evaluar los cambios recientes que pudiera haber tenido la conducta climática, sino proyectar el curso que tomarán las variables climáticas en las décadas que vienen, de modo de visualizar con la debida anticipación, la emergencia de nuevos riesgos que habrá que neutralizar u oportunidades que se debieran aprovechar. En las últimas décadas, las temperaturas medias han aumentado en casi un grado en las regiones interiores del país, mientras que han disminuido en zonas costeras. Con respecto a las precipitaciones, éstas han venido disminuyendo en zonas costeras, manteniéndose más estables en sectores interiores. El régimen de lluvias estaría cambiando hacia precipitaciones menos numerosas, pero más intensas, con una ligera tendencia hacia un cambio de estacionalidad. Las temperaturas extremas, el granizo, las ondas de calor y frío, las heladas polares han dado igualmente señales de un cambio conductual amenazante para la agricultura. Todos estos cambios ya observables, se alinean perfectamente con lo que la ciencia climática espera, siguiendo la perfecta lógica termodinámica que regula a los procesos atmosféricos. El calentamiento global ha provocado una “aceleración” de estos fenómenos, haciendo a los climas más inestables y menos predecibles. El calentamiento global está forzando a la atmosfera a buscar nuevos equilibrios que se expresarían en cambios conductuales del clima, cambios latitudinales y altitudinales de las fronteras climáticas y cambios en la capacidad de acogida del clima para la actividad agrícola. Las constataciones antes mencionadas, sugieren la necesidad urgente de iniciar un proceso de adaptación de la agricultura, haciéndola menos vulnerable frente a las amenazas emergentes. Este proceso debe contener un equilibrio entre las acciones de política pública, de inversión en infraestructura productiva y de adopción de tecnologías de producción que le permitan a esta actividad mantener su competitividad. Diseñar una estrategia de adaptación no podría omitir la necesidad de tener una sólida respuesta a preguntas como: ¿Cuánto ya ha cambiado el clima en los últimos años?, ¿Cuánto podría cambiar en las próximas décadas?, ¿Cuál podría ser el impacto de las nuevas conductas del clima en las plantas cultivadas y en los ecosistemas naturales? (Santibáñez, F., 2017).

1.1. Cambio climático y sus impactos esperados en Chile

Chile forma parte de los países que se consideran especialmente vulnerables: cuenta con áreas de borde costero de baja altura; con zonas áridas, semiáridas; zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; es un país propenso a

desastres naturales; presenta zonas propensas a la sequía y la desertificación; presenta zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los sistemas montañosos. (2ª Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2011) Las proyecciones climáticas, dan cuenta de una gama de posibilidades para el clima futuro. Este dependerá de cómo evolucione la sociedad mundial, de las tecnologías presentes y futuras, de las fuentes de energía utilizadas, del crecimiento de la población y de las acciones y políticas que se lleven a cabo en temas de cambio climático, entre otros factores. En consecuencia, los impactos también se encuentran en función de estas variables.

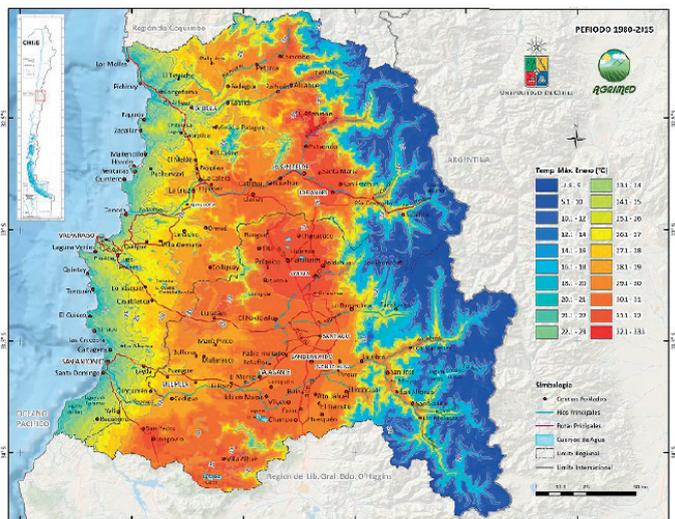
La ciencia del cambio climático es dinámica, por lo que constantemente se deben revisar y actualizar las proyecciones. En Chile, se han realizado estudios de impactos del cambio climático (U. de Chile, 2017; CEPAL, 2012), con proyecciones del modelo de clima global. A continuación, se describen los impactos en la temperatura, las precipitaciones, en los eventos extremos y los impactos a nivel sectoriales, sin embargo, es necesario indicar que en términos generales cualquier fenómeno climático que pone en peligro componentes del medio ambiente en que habita una comunidad, representa también un impacto sobre su tejido socio-económico, las redes de relaciones interpersonales, las conductas colectivas, etc.

Temperatura

Se proyecta un aumento de temperatura en todo el territorio nacional, con un gradiente de mayor a menor, de norte a sur y de Cordillera a Océano. Cabe destacar que el calentamiento promedio en Chile es menor al calentamiento promedio global. Para el período cercano, entre 2011 y 2030, los aumentos de temperatura fluctúan entre los 0.5 °C para la zona sur y 1.5 °C para la zona norte grande y altiplánica. Para el periodo entre 2031 y 2050, se mantiene el patrón de calentamiento, pero con valores mayores.

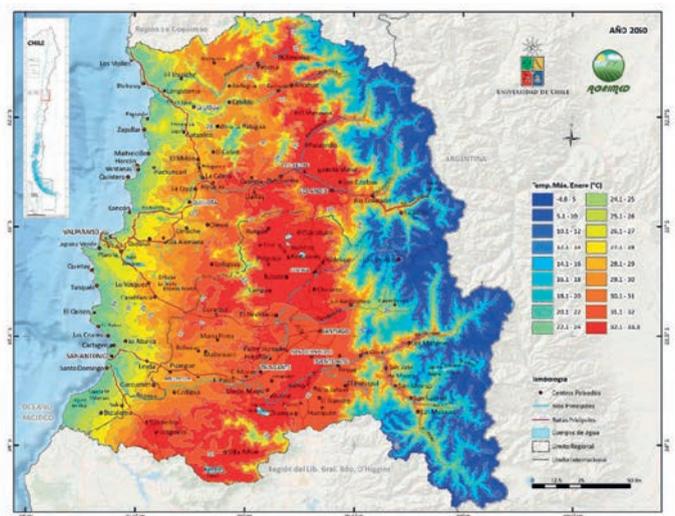
En la figura 1, se muestran las temperaturas máximas en el mes más cálido (enero) en la Región Metropolitana, para el período comprendido entre los años 1980 y 2015, luego en la figura 2, podemos observar la proyección para el año 2050, donde se observa un aumento de las temperaturas máximas del orden de 0,5 a 1,5 °C. Por otra parte, en la figura 3, se muestran las temperaturas mínimas en el mes más frío (julio), para el período comprendido entre los años 1980 y 2015 y en la figura 4, se visualiza la proyección para el año 2050 de la misma, donde se muestra un aumento de las temperaturas máximas del orden de 0,5 a 3,5 °C (MMA, 2014).

Figura 1.
 Temperatura máxima en el mes más cálido (enero)
 en la Región Metropolitana y Valparaíso, período 1980-2015.



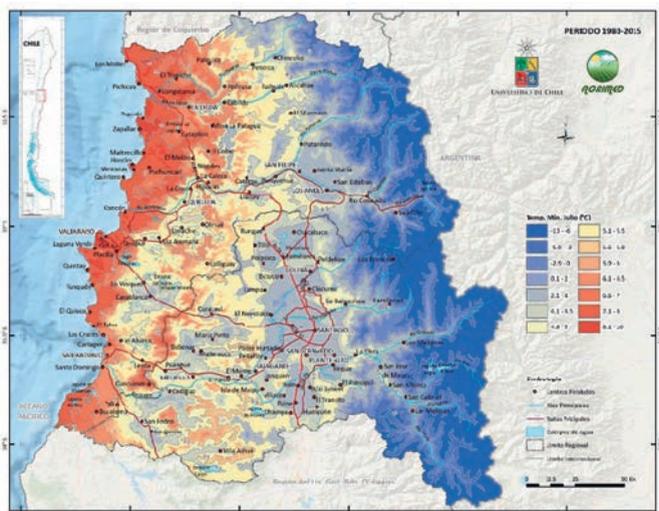
Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

Figura 2.
 Temperatura máxima en el mes más cálido (enero)
 en la Región Metropolitana y Valparaíso, período 2050.



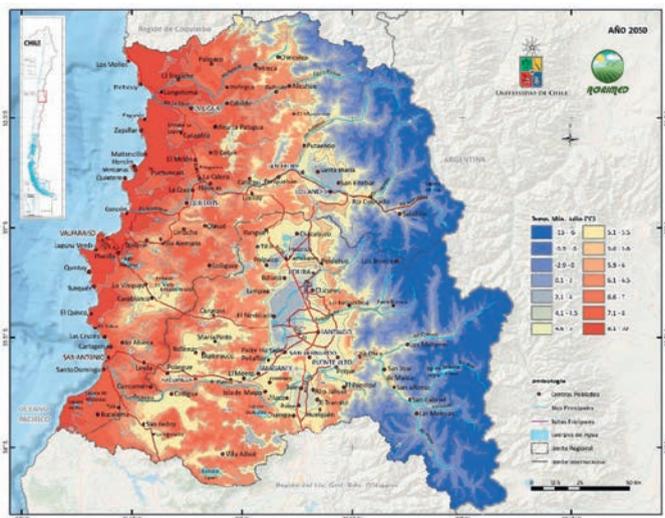
Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

Figura 3.
Temperatura mínima en el mes más frío (julio)
en la Región Metropolitana y Valparaíso, período 1980-2015.



Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

Figura 4.
Temperatura mínima en el mes más frío (julio)
en la Región Metropolitana y Valparaíso, período 2050.



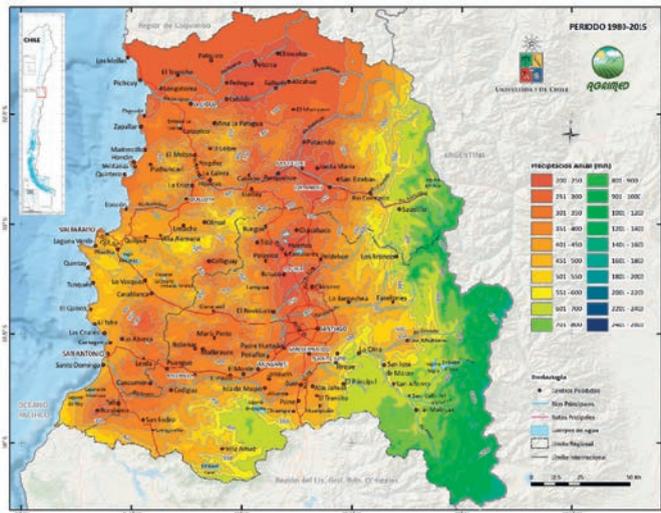
Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

Precipitación

Para el periodo cercano, entre los años 2011 y 2030, se proyectan disminuciones de precipitación entre 5 y 15%, luego para el período 2031 a 2050, se mantiene e intensifica la disminución de las precipitaciones. Se observa que la zona ubicada en la Región Metropolitana evidencia una señal bastante robusta de disminución de las precipitaciones.

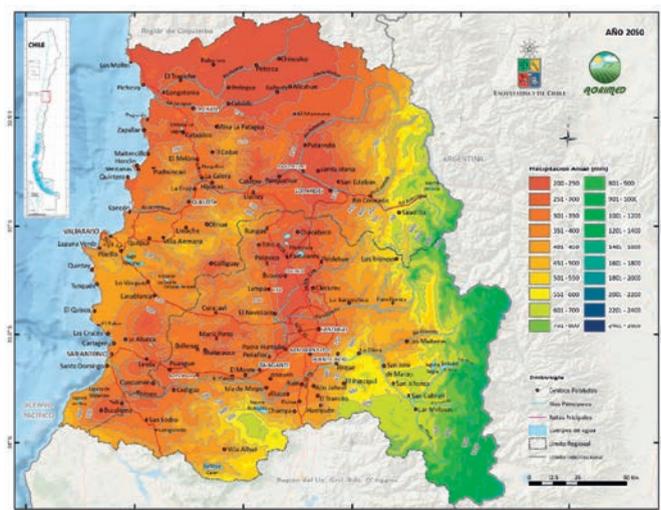
La Figura 6, muestra los cambios de precipitaciones para cada zona, se observa una disminución de las precipitaciones en un rango de 50 a 100 mm para el período 2050, respecto al período 1980–2015 (Figura 5). Los tonos cafés indican una disminución de la precipitación y los tonos verdes, un aumento.

Figura 5.
Precipitación anual (mm) en la Región Metropolitana y Valparaíso, período 1980–2015.



Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

Figura 6.
Precipitación anual (mm) en la Región Metropolitana y Valparaíso,
período 2050.



Fuente: Atlas agroclimático de Chile (AGRIMED, 2017).

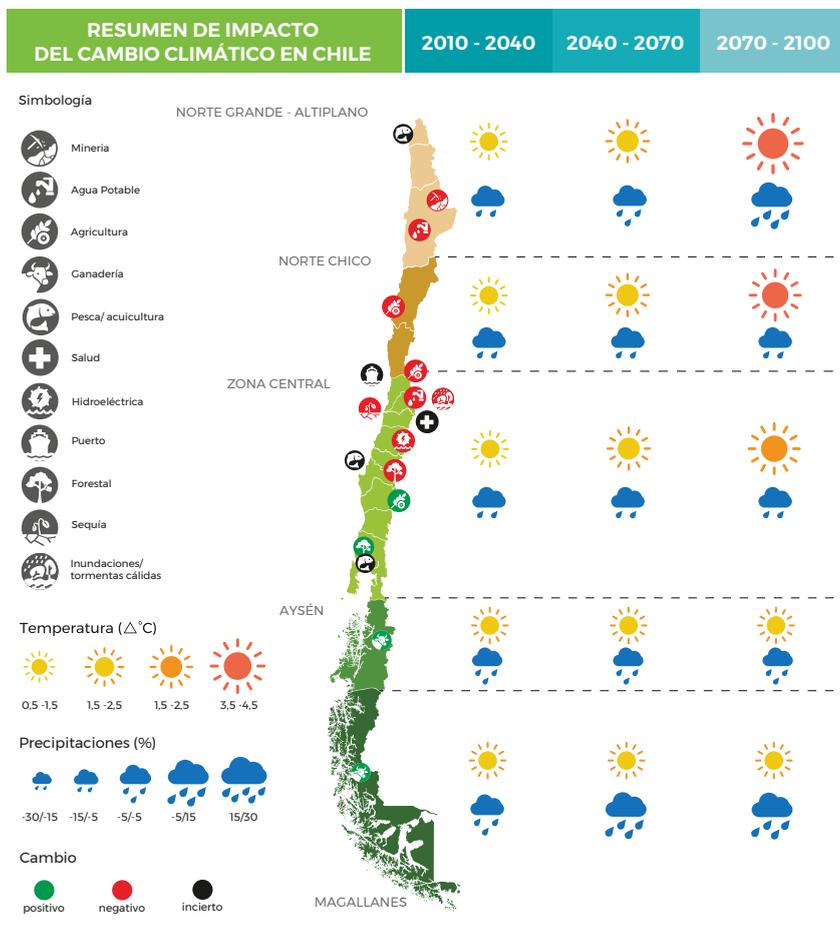
Eventos climáticos extremos

La variabilidad climática ha sido analizada en relación a los eventos extremos (CEPAL, 2012),

encontrándose un marcado aumento en la probabilidad de eventos de sequía, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI. En este análisis, un 70% de los modelos proyectaron que, para fines del siglo XXI, este tipo de eventos ocurriría más de 10 veces en 30 años. Se considera como sequía dos años consecutivos con precipitaciones anuales menores al percentil 20 de la línea base.

Por otra parte, pese a que el número de eventos de precipitación extrema tiende a decrecer en gran parte del país, la ocurrencia de eventos de alta precipitación, en días con temperaturas elevadas, aumenta con respecto a la situación base. Esto tiene implicancias importantes, ya que el incremento de la altura de la isoterma cero, durante las llamadas tormentas cálidas, tiene el efecto de aumentar considerablemente el caudal de los ríos. Ello genera grandes catástrofes debido a inundaciones, crecidas y aluviones. Estos eventos pueden provocar la pérdida de vidas humanas e impactar negativamente la provisión y calidad del agua potable para la población. Estos mismos eventos generan además, serios impactos sobre

Figura 7.
Impactos del cambio climático en Chile (CEPAL, 2012).



la infraestructura de riego y afectan la calidad de las aguas, debido al arrastre de materiales, los que pueden alterar la composición química y organoléptica de las aguas, como también afectar las obras de riego.

De acuerdo a lo señalado por el IPCC (2012), los patrones de la población, la urbanización y los cambios en las condiciones socioeconómicas, han influido en las tendencias observadas en la exposición y vulnerabilidad a los fenómenos climáticos extremos. La rápida urbanización y el crecimiento de las mega ciudades, especialmente en países en desarrollo, han propiciado la aparición de comunidades

urbanas sumamente vulnerables, en particular debido a asentamientos informales y a una gestión de tierras poco adecuadas. Chile no se encuentra ajeno a esta realidad. Las medidas de adaptación deben reducir la exposición en este sentido.

Es muy probable que la duración, la frecuencia y/o la intensidad de los períodos cálidos o las olas de calor aumenten en casi todas las zonas continentales. Teniendo en cuenta los escenarios de emisiones, es probable que, si en un período de 20 años se da un día muy caluroso, a finales del siglo XXI esto ocurra cada 2 años en la mayoría de las regiones (IPCC, 2012).

Impactos sectoriales

El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANC) 2008–2012 identificó siete sectores prioritarios que requieren planes de adaptación al cambio climático y en el transcurso de los nuevos acontecimientos futuros posibles, se agregaron dos sectores más: ciudades y turismo. Uno de los primeros pasos en la elaboración de estos planes sectoriales es la identificación de los impactos potenciales sobre los componentes a través de un análisis de su vulnerabilidad al cambio climático.

En la figura 7, se presenta en forma esquemática los impactos potenciales del cambio climático en Chile, para distintos sectores.

En los suelos

De acuerdo a un estudio desarrollado por AGRIMED de la Universidad de Chile (2008), que cubrió desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Los Lagos, con un horizonte temporal al año 2040 bajo el escenario A2 (hace referencia a no realizar implementación de medidas de mitigación de emisiones de gases invernadero, es decir, el peor escenario posible), el cambio de las condiciones climáticas generaría un importante aumento en la magnitud y extensión de los procesos erosivos en el país, con toda su secuela de efectos ambientales, productivos y sociales.

Los resultados de este estudio indican que las zonas con mayores riesgos de erosión pluvial, tanto hoy como en escenarios de cambio climático, corresponden a las zonas ubicadas en la Cordillera de la Costa y la precordillera de Los Andes, encontrándose las zonas más críticas en la Región del Bío-Bío, donde existe una notoria degradación de los suelos debido a fuertes presiones por el uso agrícola y forestal (Ministerio de Medio Ambiente (MMA) & Ministerio de agricultura, 2013).

Esta situación se verá incrementada producto de la disminución proyectada en

la producción de biomasa de praderas naturales hacia el año 2040 y continuaría en descenso hacia el 2070. Una combinación entre lluvias erosivas, falta o menor cobertura vegetal en zonas con relieve complejo y usos del suelo no consistentes con su fragilidad, permiten identificar a la cordillera de la costa y precordillera como las zonas de mayor riesgo, con pérdidas de suelo significativamente mayores a las del valle central.

También en la zona del secano costero entre las Regiones de Valparaíso y del Bío Bío, ocupada principalmente por cultivos con rotaciones de trigo, praderas, papas, leguminosas y barbecho, ya afectada por un proceso erosivo de gran magnitud, debería ver intensificado el proceso erosivo.

A partir de la Región del Bío-Bío al sur, la pérdida de suelos declinaría hasta ser muy baja en la costa de la Región de Los Lagos, por la mayor cobertura boscosa que se presenta a partir de Valdivia. En la precordillera, menos protegida por bosque, las pérdidas serían muy altas hasta la Región de Los Lagos, lo que sugiere un riesgo mayor para la sedimentación de lagos, humedales, embalses y cursos de agua superficiales.

Por las características del territorio nacional, la erosión de los suelos continuará siendo una amenaza creciente, en la medida que se amplíe la frontera agropecuaria hacia el sur y la costa como consecuencia de los nuevos escenarios climáticos que aumentarán el potencial agrícola de estos sectores. Por lo anterior, será recomendable normar el uso del suelo, así como las prácticas de cultivo que se utilizarán en las potenciales nuevas áreas agrícolas que emergerán durante el presente siglo.

Especial atención debería ponerse a las cabeceras de las cuencas, donde la pérdida de suelos podría verse incrementada debido al aumento de la escorrentía invernal, a su desprotección y a la posible intensificación de la agricultura.

Sector Silvoagropecuario

Los efectos del cambio climático sobre las temperaturas y las precipitaciones, sumados a la erosión de los suelos, producto de las lluvias y la desertificación, tendrán impactos diversos sobre la productividad del sector silvoagropecuario. La CEPAL (2012) distingue en este contexto tres tipos principales de impactos: impactos en la calidad de los suelos, impacto en la productividad e impacto en ocurrencia de plagas y enfermedades.

Referente a los suelos y bajo el escenario climático A2, el cambio de las condiciones climáticas generaría un importante aumento en la magnitud y extensión de los procesos erosivos en el país, desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Los Lagos, con toda su secuela de efectos ambientales, productivos y sociales (AGRIMED (2008), AGRIMED y ASAGRIN (2011)).

En el caso de los impactos sobre la productividad, se espera que la agricultura de secano se vea afectada por los cambios en temperatura y precipitación, mientras que la agricultura de riego solo se verá afectada por el alza en la temperatura en aquellos lugares donde no se proyecten cambios en la disponibilidad del agua. En términos generales, se aprecian mejoras en la productividad en el sur del país y en determinadas zonas del valle central, y pérdidas de productividad en el resto del país, especialmente en aquellas regiones que presenten restricciones de riego.

Con respecto al posible impacto en ocurrencia de plagas y enfermedades, solo es posible plantear algunas hipótesis que requieren confirmación empírica (CEPAL 2012). Entre ellas se espera que se reduzca la incidencia de enfermedades que surgen en ambientes de alta humedad, como la *Botrytis* de la vid. Referente al problema de plagas existe la hipótesis de que un aumento de la temperatura tiende a favorecer tanto el número de generaciones de insectos, como la ampliación del tamaño de su área de distribución.

Desde una perspectiva socioproductiva, existen variados análisis que dan cuenta de la exposición o vulnerabilidad al cambio climático de comunidades rurales en Chile. Uno de ellos (AGRIMED y ASAGRIN (2011)) caracteriza dicha fragilidad para 20 diferentes grupos de agricultores, desde la población Aymara Atacameña en el norte de Chile, hasta los ganaderos en la pampa patagónica en el sur.

Los grupos más vulnerables a las posibles amenazas del cambio climático, son los agricultores del secano interior y del secano costero, entre Valparaíso y BíoBío y los agricultores de los valles transversales y los ganaderos de la zona de secano. La amenaza transversal principal para estos grupos, tiene que ver con los recursos hídricos, su disponibilidad y el grado de eficiencia en su uso y manejo.

Un estudio realizado por AGRIMED, a fines de 2008, parte de la base que - en mayor grado en el escenario A2 y en menor medida en el B2 - todos los modelos globales plantean una aridización en la zona central y una disminución de las precipitaciones en la zona sur del país con aumento de la pluviometría en el extremo austral. Asimismo, la temperatura tendería a aumentar en todo el territorio nacional, tanto terrestre como marítimo.

Esta mayor temperatura, junto a una menor caída pluviométrica, haría desplazar las actuales zonas climáticas hacia el sur. La isoterma de 0°C podría subir varias centenas de metros en la cordillera de los Andes, lo que reduciría la precipitación sólida en las cuencas, favoreciendo un aumento del escurrimiento invernal en perjuicio del estival.

* A2 se refiere a no realizar implementación de medidas de mitigación de emisiones de gases invernadero (severo, el peor escenario).

** B2 escenario con implementación masiva de opciones de mitigación, (Protocolo de Kyoto y otros posteriores) (moderado).

Cultivos anuales

La fecha de siembra de la mayor parte de los cultivos anuales debería cambiar, de modo de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Este hecho se debe a que la atenuación del régimen de heladas permitiría adelantar en varios meses la fecha de siembra de los cultivos de verano, permitiendo aprovechar mejor las precipitaciones invernales. Trigo, bajo riego y el aumento de las temperaturas provocaría una aceleración del ciclo de vida, con reducción del rendimiento, lo que afectará más a la costa y precordillera, zonas que perderían sus potenciales actuales, homogeneizándose con el valle central. En seco, el rendimiento disminuiría en el norte y centro del país, debido a la mayor incidencia de sequías; en la costa y valle central de la zona central, habría disminución de rendimiento entre 10% y 20%, en tanto que, de la precordillera del Bío-Bío hacia el sur, habría un aumento gradual de los rendimientos, entre 30 y 100% respecto de los actuales.

Maíz: dado que es un cultivo exigente en temperatura, el potencial de producción se expandiría considerablemente en el escenario A2, para el año 2040, con respecto a lo actual. Desde Coquimbo al Bío-Bío, se estima una disminución productiva entre 10 y 20% en el valle central. Inversamente en la costa y precordillera, aumentaría el rendimiento hasta un 50%. En la zona sur los rendimientos aumentarían entre un 60% y 200%.

Papa: cultivo de climas suaves, sin temperaturas diurnas muy elevadas y con noches frescas que estimulan la formación de los tubérculos; por ello, en el escenario actual las mejores condiciones de producción se sitúan en la costa y en la precordillera entre las regiones de O'Higgins y de la Araucanía. A futuro, la zona norte presentaría una reducción entre 10 y 20% del rendimiento, mientras que en la zona centro-norte, el

rendimiento disminuiría hasta un 30%; más al sur, entre Talca y Temuco, la disminución se presenta sólo en el valle central, ya que en la costa y precordillera habría aumentos de hasta un 50%. Desde la Región de la Araucanía al sur, los rendimientos aumentan hasta llegar a 150% y 200% en la Región de los Lagos. En secano, los aumentos se producirían en la costa del Bío-Bío y desde Valdivia hasta Coyhaique.

Frejol: para la zona norte y centro, se espera que el rendimiento se mantenga bajo la condición de clima futuro, lo que se debe al corto ciclo del cultivo (3 a 4 meses). De la Región de la Araucanía al sur, aumentaría la productividad entre 10% y 20%, llegando hasta 100% en la Región de Los Lagos. En general, la productividad tendería a mantenerse sin mayores cambios en la zona central y sur del país.

Remolacha en riego: entre Valparaíso y Talca, por el valle central, habría aumento de rendimiento de hasta un 50% en algunos lugares. Por el contrario, en la costa y precordillera, debido a que el aumento térmico provocaría una aceleración del ciclo de vida, reduciendo el rendimiento, lo que se traduciría en una homogeneización con el valle central. Desde la Región de la Araucanía al sur, el aumento térmico invernal incrementaría el potencial productivo, factor que domina sobre cualquier efecto negativo que pudiere provenir de los cambios en el régimen pluviométrico.

Cultivos permanentes (frutales)

El área de cultivo se extendería hacia el sur, comprendiendo las regiones de la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. En este caso, no existe la posibilidad de mover las fechas de inicio del ciclo de vida, lo que los hace más vulnerable al cambio climático. Se estima que habría impactos sobre los rendimientos (los más fáciles de proyectar), sobre la calidad de la producción (los más difíciles de proyectar) y sobre la sanidad (plagas y enfermedades).

Un hecho común para las especies frutales será la aceleración de la fructificación, con reducción del tiempo de desarrollo de los frutos; con ello, se afectará la producción y aumentará la precocidad de la madurez. Dado que las propiedades organolépticas de los frutos son altamente dependientes de elevados requerimientos climáticos, hay una alta probabilidad que una nueva combinatoria de las variables climáticas que las determinan, haga caer la calidad de la producción.

En las especies de clima templado (hoja caduca), el aumento de las temperaturas mínimas es desfavorable para la obtención de color y, en ciertos casos, para su contenido de azúcar. Por otra parte, el aumento de las temperaturas invernales

puede tener un importante efecto positivo sobre las poblaciones de insectos, afectando con ello la sanidad de los frutales: una primera generación apareciendo más temprano en primavera y una última generación, más tarde en otoño. Las nuevas condiciones climáticas podrían favorecer una proliferación de las enfermedades provocadas por hongos y bacterias, lo que estaría asociado a temperaturas mínimas y máximas más elevadas.

Las especies subtropicales podrían mejorar su potencial productivo. En los naranjos, el aumento de las temperaturas invernales, junto a una reducción de las heladas invernales y primaverales, mejoraría las condiciones de producción en todo el territorio, salvo en una franja costera que se mantiene térmicamente deficiente y algo limitante para la obtención de buenos rendimientos.

Es altamente probable que las nuevas condiciones climáticas mejoren la calidad de los frutos, pues el alza en las temperaturas mínimas podría reducir su acidez en un escenario de óptimo productivo. En la zona norte, el potencial mejoraría considerablemente, especialmente en los valles de la Región de Tarapacá. En la precordillera central, las condiciones mejorarían al punto de hacer económicamente viable el cultivo, especialmente en laderas abrigadas de las heladas.

Praderas

Actualmente, las praderas anuales comienzan a ser importantes desde la Región de Coquimbo al sur. La productividad crece gradualmente a medida que las precipitaciones aumentan, llegando a su máximo en la Región de Aysén, donde se optimiza la combinación entre disponibilidad de agua y temperatura. En general, la producción de las praderas anuales es muy sensible a la precipitación, por tanto, la condición de mayor aridización estimada para gran parte del territorio nacional se traduciría en una baja de productividad entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.

En algunos sectores del valle central, en la zona centro-norte, la disminución de las heladas invernales, el alza de las temperaturas y los importantes aumentos en la radiación solar, compensarían el efecto negativo de la menor pluviometría, trayendo como consecuencia leves aumentos en la productividad, en torno al 10%, bajo un escenario con riego suficiente.

Otros efectos

Riego: las necesidades de riego, en el caso de los cultivos anuales, muestran aumentos o disminuciones dependiendo de la zona del país. En general, desde la

Región de la Araucanía al sur, los incrementos en las necesidades de riego se hacen más notables debido a un aumento en la evapotranspiración, producto de las alzas en los niveles de radiación solar. Por otra parte, todos los frutales analizados (vides, manzanos, naranjos y durazneros), presentan aumentos en los requerimientos de riego en todo el país, lo que indica claramente la necesidad de crear y mejorar la infraestructura de riego y de optimizar técnicas de riego según especies y regiones.

Riesgo de sequías: en general, aumentarían en la zona central. En la zona sur, para las siembras de invierno, el riesgo de sequía tiende a mantenerse constante o a disminuir levemente, debido a que en esta zona sólo disminuirán las precipitaciones de primavera y verano. Además, producto del alza en las temperaturas, se acortarían los ciclos de vida de los cultivos, completándose antes de los meses de primavera y verano.

En los nuevos escenarios, el cultivo de trigo en la zona central se verá afectado, ya que como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y del aumento de la evapotranspiración, los riesgos de sequía aumentarán gradualmente. A partir de la Región de la Araucanía, en algunos sectores, se aprecia una leve disminución de estos riesgos para las siembras de otoño-invierno, como consecuencia del acortamiento del ciclo vegetativo.

En el maíz, los riesgos de sequía se mantienen extremadamente altos en toda la zona central del país. A pesar de que se proyecta una disminución de la precipitación de hasta un 25% en la zona central en el escenario A2 para el año 2040, se aprecia sólo un leve aumento en los riesgos de sequía en las siembras invernales, debido al acortamiento del ciclo vegetativo, con la consecuente reducción de la exposición a este riesgo. En las regiones de Los Ríos y de Los Lagos, los riesgos se mantienen en el mismo orden de magnitud que en la actualidad.

Riesgo de heladas: se proyecta una disminución de este riesgo en todas las fechas de siembra, la cual se va atenuando hacia el sur. Como consecuencia de la disminución del número e intensidad de las heladas, el trigo y las papas registrarían disminuciones considerables de riesgo de exponerse a este fenómeno, aún en la zona sur. En muchas localidades el riesgo de heladas para estas especies tiende a desaparecer para todas las fechas de siembra en el escenario A2 al año 2070. En el caso del maíz, cultivo más sensible a este fenómeno, se atenuarían igualmente los niveles de riesgo a heladas.

Riesgo de lluvias dañinas: este riesgo está referido a precipitaciones superiores a 10 milímetros por día en períodos críticos (siembra, floración y cosecha). En general,

el riesgo es bajo en Chile, especialmente en las siembras de primavera-verano. En los nuevos escenarios climáticos, habría una disminución como consecuencia de la declinación pluviométrica, lo que es más notable en la zona centro-norte, y se atenúa en cierto grado hacia el sur. Las siembras de otoño son las que exhiben los mayores riesgos de lluvias dañinas debido a que la floración tiende a ocurrir dentro del período de lluvias. En el centro-norte, este riesgo se mantiene por debajo de 0,15 de probabilidad y tiende a duplicarse en el sur del país. En todos los casos, existe un riesgo próximo o igual a cero para las siembras de primavera.

En síntesis, los impactos de los nuevos escenarios climáticos en la producción varían de acuerdo a los cultivos, especies y regiones de Chile. Por la complejidad de las interacciones atmósfera-continente-oceano, en una misma región se esperan cambios diferentes dependiendo de la dominancia de la continentalidad y del efecto oceánico. La mayor interrogante surge de los cambios negativos de la hidrología de la Cordillera de Los Andes, lo que requeriría de una fuerte acción de mejoramiento y ampliación de la infraestructura de regulación hidrológica para compensar los cambios en la estacionalidad de la escorrentía.

Biodiversidad

La velocidad de adaptación de las comunidades de plantas y animales, no es compatible con la rapidez con que se prevé seguirán ocurriendo los cambios climáticos. El territorio chileno posee condiciones particularmente favorables, para atenuar la magnitud de los cambios en las temperaturas, no así en el caso de las precipitaciones, las que se espera, sigan disminuyendo durante varias décadas más, amenazando seriamente los recursos hídricos y a la vegetación natural, la que debería adaptarse, en una importante extensión del territorio, a una condición más árida.

La región central del país es la más afectada por la disminución de las precipitaciones, mientras que el aumento de la temperatura se hará sentir con fuerza en las regiones altas, por sobre los 2000 m. El cambio climático representa una amenaza para los equilibrios eco-sistémicos, en toda la extensión territorial chilena.

El cambio climático representa una amenaza para los equilibrios ecosistémicos en toda la extensión territorial chilena. Las mayores amenazas aparecen en la zona central de clima mediterráneo, sin embargo, los ecosistemas australes, de altura o desérticos no están fuera de riesgo. Particular atención requerirán los ecosistemas de altura, no sólo por la amenaza climática, sino por el importante rol regulador hídrico que ejercen en las partes altas de las cuencas.

En general los bioclimas que sustentan a la mayor parte de los ecosistemas, parecen desconfigurarse sin que se reconfiguren en otro lugar del territorio, lo que deja poco lugar a los posibles desplazamientos latitudinales o longitudinales de los ecosistemas. Lo más probable es que esto provoque la emergencia de nuevas combinaciones de especies, las que tardarán centenas de años en alcanzar un nuevo equilibrio.

Recursos Hídricos

Siendo este un recurso transversal, los impactos sobre su disponibilidad, afectarán directamente a los sectores que dependen de ellos, tales como el sector sanitario, el riego, la generación hidroeléctrica, la industria, la minería, los ecosistemas, entre otros.

De acuerdo a los estudios de vulnerabilidad desarrollados en el país (AGRIMED, 2008; U. de Chile, 2010; CEPAL, 2012c), considerando los efectos del aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, esperados para gran parte de la zona centro-sur del país, se estima una reducción de los caudales medios mensuales para las cuencas ubicadas entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (paralelos 30°S y 42°S). Los estudios dan cuenta de una reducción significativa de caudales, en los ríos Elqui, Illapel, Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Teno, Cautín y otros.

La elevación en la isoterma 0°C, producto del aumento en las temperaturas, reduciría la capacidad de almacenar nieve a lo largo del año, además de alterar la fecha en que los caudales se manifiestan en las cuencas, especialmente aquellas de influencia nival, tales como las de los ríos Limarí e Illapel, en las cuales se afectará de manera significativa esta componente, reduciendo los caudales disponibles en época estival.

Uno de los impactos directos sobre los recursos hídricos previsible del cambio climático que ha sido poco estudiado a la fecha es el impacto del retroceso de glaciares. Este, podría llegar a ser significativo, especialmente en aquellas cuencas con altos porcentajes de cobertura de glaciares y altas demanda de recursos hídricos (CCG, 2013). Cuencas, como aquellas ubicadas entre los ríos Aconcagua y Cachapoal, se verán afectadas, al disminuir los aportes que estos cuerpos realizan en los períodos secos.

En el extremo austral del país (paralelos 50°S y 55°S), se espera un leve aumento de los caudales disponibles. En el caso del extremo norte, disminuirían los caudales de las cuencas en la primera mitad del siglo XXI. En la segunda mitad, las proyecciones que se han realizado cuentan con un grado importante de incertidumbre, por lo que no es posible inferir con certeza su comportamiento futuro.

1.2. Adaptación al cambio climático

Existen dos grandes áreas o estrategias para atenuar el impacto del cambio climático, ellas son: la Mitigación que persigue reducir las causas que motivan el calentamiento global, eliminando las fuentes de emisión de GEI, y la Adaptación, que propone reducir la magnitud de los daños y perjuicios provocados o esperados por causa del cambio climático. La adaptación tradicionalmente ha sido subestimada en la formulación de políticas, no obstante, a medida que se ha incrementado el conocimiento, la disponibilidad de tecnología y mejores normas de manejo de recursos, hay mayor consenso de los beneficios y factibilidad de implementar medidas de adaptación eficaces. El principal sustento de la estrategia de adaptación es que los agricultores no permanecerán pasivos frente a cambios en las condiciones climáticas, sino que, al menos, intentarán adecuar sus actividades productivas y adoptar nuevas tecnologías, tal como lo hacen por otros motivos. La naturaleza gradual del calentamiento global contribuye a facilitar esta resiliencia. La toma de decisiones respecto la definición de objetivos, estrategias y acciones de adaptación tiene lugar a escala internacional, nacional, territorial y predial.

Sin embargo, la gran amenaza es la ocurrencia “anormal” de eventos climáticos extremos como sequías, desertificación acelerada, inundaciones, heladas y agotamiento de acuíferos. Está demostrado que en los sistemas agrícolas de Chile existe una fuerte relación entre variables climáticas y resultado económico.

Los agricultores son particularmente vulnerables al cambio climático y por esta razón, ajustarse a este cambio es fundamental para que su nivel de producción y sus medios de vida permanezcan. Hay varias maneras de adaptarse al cambio climático, sin embargo, la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) provee una opción viable y con beneficios adicionales para los pequeños productores. Estas son algunas de las ideas claves:

Las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas usan la biodiversidad y servicios ecosistémicos para ayudar a las familias y sus predios a adaptarse al cambio climático. Se refieren a prácticas de conservación, restauración y manejo sostenible de los agroecosistemas. Muchas se pueden usar en la producción agropecuaria para ayudar a los agroecosistemas, los productores y sus familias a ser más resilientes a impactos futuros.

Muchas de las prácticas de Adaptación que son aptas para pequeños productores proporcionan múltiples beneficios: proveen bienes para el ingreso y consumo familiar, ayudan en la seguridad alimentaria, protegen a los cultivos de eventos extremos (vientos, huracanes), mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen a mitigar el cambio climático a través del secuestro de carbono.

Algunos ejemplos incluyen el uso de barreras vivas para evitar la erosión durante lluvias fuertes o eventos extremos, el uso de cortinas rompevientos para amortiguar los impactos de fuertes vientos o lluvias extremas sobre los cultivos; uso de sombra diversificada en los cultivos para amortiguar los impactos de altas temperaturas y fluctuaciones en la precipitación; la conservación de bosques y áreas boscosas para asegurar la provisión de agua en épocas de mayor variabilidad climática y el uso de prácticas de conservación de suelos para evitar los efectos de eventos extremos sobre la erosión, pérdida de fertilidad y disponibilidad de agua, entre otros.

Las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas pueden tener un efecto importante a nivel de paisaje: si estas prácticas se implementaran en todos los predios en una región, su impacto sería más rápido y notorio, beneficioso para muchas comunidades al mismo tiempo, más allá de solo el predio de un productor.

El uso de las prácticas de Adaptación puede ayudar a los pequeños productores a adaptarse al cambio climático y deber formar parte de sus estrategias de adaptación. Otras actividades que pueden ser importante para su adaptación incluyen el acceso a apoyo técnico, el uso de nuevas variedades de plantas más resistentes a altas temperaturas o a sequía, y el acceso a crédito y recursos financieros para implementar cambios en sus predios, entre otras.

Es razonable asumir que no hay o habrá un patrón único de impacto en nuestra agricultura, ello dependerá de las características geográficas, socioeconómicas y agropecuarias específicas. No obstante, las estimaciones apuntan a un predominio de impactos económicos negativos asociados a menor precipitación media y más eventos extremos. Sin embargo, el país tiene una institucionalidad y dispositivos de instrumentos de política importante, por tanto, para hacer frente al fenómeno no es necesario “partir de cero”. Pese a lo anterior, la revisión, ajustes y focalización de recursos y prioridades a propósito del cambio climático es recomendable y necesaria. La generación de nuevo conocimiento e información propia, nacional y regional, es vital para actuar eficaz y eficientemente.

Referencias Bibliográficas

AGRIMED, 2008. Impactos productivos en el sector silvoagropecuario de Chile frente a escenarios de cambio climático. Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático, Santiago, Chile.

AGRIMED, ASAGRIN, 2011. Portafolio de propuestas para el programa de adaptación del sector silvoagropecuario al cambio climático en Chile. Santiago, Chile.

Banco Mundial, 2012. Turn down the heat, why a 4°C warmer world must be avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics.

Centro de Cambio Global (CCG), 2013. Propuesta Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

CEPAL, 2012. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. Documento preparado por James McPhee con el apoyo de Eduardo Rubio, Rodrigo Meza y Álvaro Ayala. Naciones Unidas, Santiago, Chile.

CEPAL, 2012. Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile. Documento preparado por Ximena Vargas con colaboración de Álvaro Ayala, Rodrigo Meza y Eduardo Rubio. Naciones Unidas, Santiago, Chile.

IPCC (2013). "Resumen para responsables políticos». En Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley, ed. Cambio climático 2013: La base física científica. Quinto Informe de Evaluación del IPCC (en inglés).

IPCC, 2019. Cambio climático y tierra: un informe especial del IPCC sobre cambio climático, desertificación, degradación de la tierra, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [PR Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, DC Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Ministerio del Medio Ambiente, 2011. Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Santiago, Chile.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2014. Plan nacional de adaptación al cambio climático [en línea]. Disponible en: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/03/Acuerdo-CMS_21-14-Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico.pdf

Ministerio de Medio Ambiente (MMA) & Ministerio de agricultura, 2013. Plan de adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario. [en línea]. Disponible en: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/02/Plan_Adaptacion_CC_S_Silvoagropecuario.pdf

Naciones Unidas (ONU), 2015. Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC).

Ovalle, C. *et al.*, 2020. Una Nama Agrícola para Chile mediante el secuestro de carbono orgánico en el suelo.

Rivera-Ávila, M. A. 1999. El cambio climático. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D. F.

Santibáñez, F., 2017. Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule [en línea]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/62376>

Universidad de Chile, 2010. Análisis de vulnerabilidad de recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático para las cuencas Cautín, Aconcagua, Teno e Illapel. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.