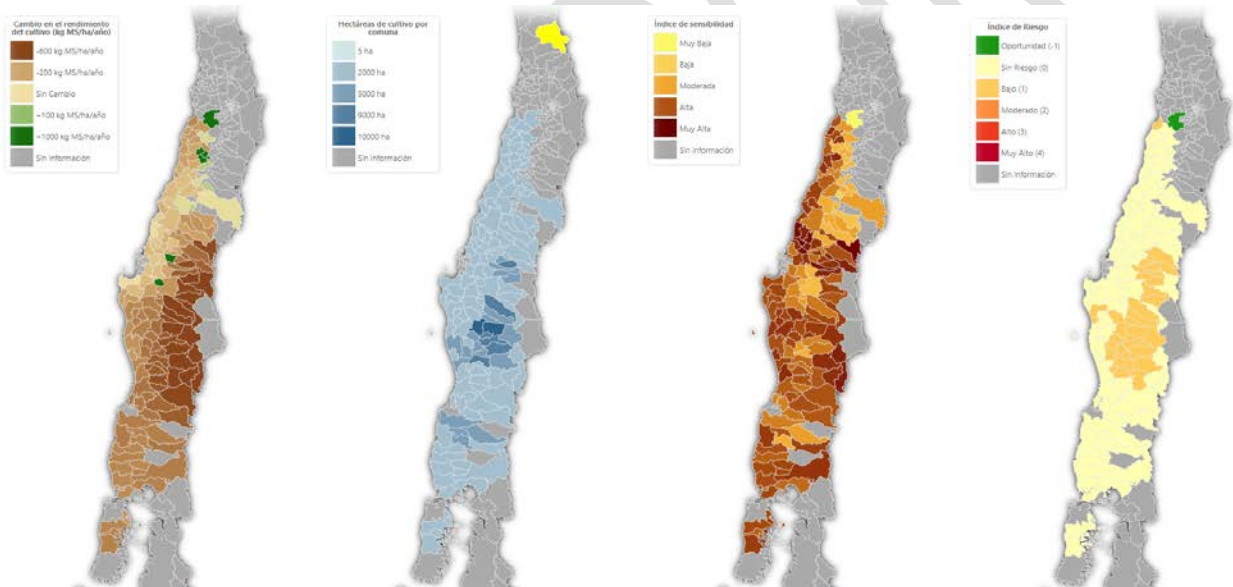


CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO Y LA VULNERABILIDAD

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario



Nota Informativa PANCC SAP N°XXX

18 de Julio, 2022



FONDO
VERDE
PARA EL
CLIMA



Documento elaborado en el marco del proceso de actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario, financiado por el Fondo Verde para el Clima y ejecutado por el Ministerio de Agricultura.

Autora:

Laura E. Meza
Ing. Ag. MSc. MA. Consultora FAO

Equipo revisor:

1. J. Angelina Espinoza, ODEPA
2. Constanza Saa, FAO
3. Felipe Traub, FAO

Diseño y diagramación:

Registro ISSN

Citar este documento: Meza, Laura (2022). Nota informativa N°XX: Caracterización de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario. Preparado para MINAGRI. Santiago, Chile.

CONTENIDO

SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	5
RESUMEN.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	9
3. EL CLIMA Y LA PRODUCCIÓN SILVOAGROPECUARIA EN CHILE	12
3.1. La variabilidad del clima y los escenarios de cambio climático.....	12
3.1.1. Tendencias históricas.....	12
3.1.2. Escenarios de Cambio Climático	15
3.2. Impacto de la variabilidad y el cambio climático en la producción.....	17
3.2.1. Impactos observados	21
3.2.2. Riesgos de impactos a futuro por Macrozona	23
Macrozona Norte (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)	24
Macrozona Centro Norte (regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso)	26
Macrozona Centro (regiones Metropolitana, del Libertador B. O'Higgins, y del Maule)	28
Macrozona Centro Sur (regiones del Ñuble, del Biobío y La Araucanía)	33
Macrozona Sur (regiones de Los Ríos y Los Lagos).....	35
Macrozona Austral (regiones de Aysén y Magallanes)	38
3.3. Temas Transversales	42
3.3.1. Efectos Económicos del Cambio Climático	42
3.3.2. La naturaleza y los ecosistemas.....	44

3.3.3.	Agricultura Familiar y Medios de Vida.....	47
3.3.4.	Mujeres Rurales	49
3.3.5.	Comunidades Indígenas.....	51
4.	REFLEXIONES FINALES.....	53
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
6.	ANEXOS.....	67
	Anexo 1. Glosario de términos sobre Cambio Climático	67
	Anexo 2. Criterios para la división del país en Macrozonas	69

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AGRIMED	Centro de Agricultura y Medio Ambiente – Universidad de Chile
AR4	Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por su sigla en inglés)
AR5	Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por su sigla en inglés)
AR6	Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por su sigla en inglés)
ARCLIM	Atlas de Riesgos Climáticos
CCG-UC	Centro de Cambio Global – Pontificia Universidad Católica de Chile
CDN	Contribución Determinada a Nivel Nacional
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Naciones Unidas
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNR	Comisión Nacional de Riego
FAO	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Agencia Alemana para la Cooperación Internacional
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
MCG	Modelos de Circulación General
MINAGRI	Ministerio de Agricultura de Chile
MMA	Ministerio del Medio Ambiente de Chile
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
OIM	Organización Internacional para las Migraciones
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PANCC-SAP	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario
PARCC	Plan de Acción Regional de Cambio Climático

RESUMEN

Diversos factores determinan que Chile sea altamente vulnerable a la variabilidad y el cambio climático, particularmente, en el sector silvoagropecuario (MMA, 2021). Se espera que la escasez de agua y el aumento de la aridez en gran parte del país (CCG-UC, 2022) continúen aumentando el riesgo de sequía y de pérdida de los rendimientos, y que sea imprescindible una mejora sustantiva en la gestión de los recursos (AGRIMED, 2008; 2014, Meza *et al.*, 2020).

Si bien la temperatura ha aumentado en el país, estas no han sido comparables a la magnitud ocurrida en otras partes del planeta (MMA, 2021a). Los cambios en la corriente de Humboldt, han provocado temperaturas más bajas en la superficie del mar, lo cual se tradujo en temperaturas más bajas y una reducción de la precipitación en las áreas costeras en el último siglo (Santibáñez, 2018). Las precipitaciones han mostrado un descenso en las zona norte y centro del país del orden del 50% y en la macrozona sur en torno a un 20% (MMA, 2021a). Diversos estudios dan cuenta de la reducción de la superficie glaciar y del aumento de la isoterma de cero grados en la mayor parte del país, afectando la disponibilidad de agua. El fenómeno agudo de déficit de precipitaciones en la macrozona central, denominado “megasequía”, ha sido influenciado por el cambio climático y seguirá presente hacia finales de siglo (Garreaud *et al.*, 2020).

Los escenarios futuros predicen una intensificación de la aridez, con énfasis desde la macrozona norte a la centro-sur (CCG-UC, 2022). El aumento de calor, la escasez hídrica y la mayor evapotranspiración podrían conllevar una reducción generalizada de los rendimientos del sector silvoagropecuario en gran parte del territorio. Se espera una reducción del riesgo de heladas, y menor acumulación de horas de frío, así como mayor incidencia de plagas y enfermedades.

Las nuevas condiciones agroclimáticas impulsarán una reconfiguración del mapa productivo. Se prevé una pérdida de idoneidad para ciertos tipos de producción convencional y el desplazamiento de los rubros de exportación hacia el sur del país, donde las condiciones de producción podrían mejorar para la fruticultura y vitivinicultura. Algunos estudios evidencian que el traslado de la producción hortofrutícola hacia el sur ya está en curso. La ganadería caprina será la más afectada, mientras que la bovina podría mejorar en la zona sur, a raíz de la condición de las praderas (AGRIMED, 2008; CEPAL, 2012; Meza, 2017; Meza *et al.*, 2020, Melo y Foster, 2021).

En el ámbito forestal, si bien no existen pruebas de un impacto observado en la productividad, se evidencia un aumento de los incendios en las últimas décadas (González *et al.*, 2020). Esta amenaza seguirá imperando en la medida que los cambios en el clima se acentúen. No obstante, las condiciones de producción podrían ser mejores en la macrozona sur, así como en ciertas zonas precordilleranas (MMA, 2021a). Se esperan impactos asociados a los ecosistemas naturales, incluido los servicios ecosistémicos que aportan al sector (Marquet *et al.*, 2019).

La degradación ambiental, la pérdida de biodiversidad, así como la mayor vulnerabilidad a los riesgos y amenazas naturales constituyen obstáculos al desarrollo (Universidad de Chile, 2019; Banco Mundial, 2021) reforzando la necesidad de diseñar medidas de adaptación y reforzar la resiliencia del sector con acciones de corto plazo, que al mismo tiempo atiendan las brechas de información y participación para la planificación de largo plazo.

El nivel de impactos causados por el cambio climático, así como las estrategias de afrontamiento de las poblaciones, dependen en gran medida del nivel socioeconómico, las normas socioculturales, el acceso a los recursos, la pobreza y el género (Banco Mundial, 2021). Por ello, entre los grupos vulnerables se encuentran la agricultura familiar campesina, las productoras mujeres, y los pueblos originarios, cuyos recursos normalmente son más restringidos, tienen más dificultad para hacer las inversiones requeridas para la adaptación al cambio climático, y cuya participación en los procesos de toma de decisiones es más limitada.

Las brechas de conocimiento para la adaptación en el sector se vinculan los efectos del cambio climático en el comportamiento de las plagas y enfermedades, el impacto sobre el bosque nativo y los servicios ecosistémicos de los que depende la agricultura, como la polinización. Asimismo, se requiere incluir a las macrozonas norte y austral en futuros estudios sobre el riesgo que impondrá el cambio climático en los rubros de producción en el país.

En este documento se recopila la información disponible sobre **“Riesgo y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario”**, sobre la base de una revisión documental. El documento se organiza en cuatro secciones. La introducción presenta el contexto de actualización del PANCC SAP donde se inserta este documento. Posteriormente, se presenta la metodología para la caracterización de la vulnerabilidad del sector silvoagropecuario al cambio climático. La sección 3, desarrolla una caracterización del riesgo proyectado por rubros y macrozonas. Finalmente, la sección 4 presenta algunas recomendaciones para futuros análisis.

1. INTRODUCCIÓN

El clima es determinante en la producción de alimentos. En Chile el cambio climático global está modificando las capacidades productivas del sector silvoagropecuario, los recursos naturales y los agroecosistemas. Esto tiene impactos más allá de la capacidad productiva exclusivamente, aparejando impactos económicos, sociales y ambientales. Los principales efectos del cambio climático incluyen el aumento de la temperatura, disminución de las precipitaciones y aumento de la frecuencia de eventos extremos (inundaciones, sequías), con consecuencias directas o indirectas sobre las actividades productivas y el desarrollo social y ambiental (IPCC, 2014). La OMM (2022) advierte que existe un 50 % de probabilidades de superar los 1,5°C en cinco años, por lo que la inacción es una condena.

El Estado de Chile inició una serie de tareas de planificación para preparar al país ante los desafíos del cambio del clima. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del año 2013, actualmente en revisión, generó los lineamientos para que los sectores claves de la economía iniciaran los procesos de ajuste necesarios. El sector Silvoagropecuario fue priorizado por su alto grado de vulnerabilidad, y ese mismo año se elaboró el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Ese Plan concluyó el año 2018, requiriéndose un nuevo proceso de planificación atañido a los últimos marcos estratégicos del país y a la información científica generada a la fecha, y que conlleve una participación de múltiples actores en la generación de medidas actualizadas para enfrentar el cambio climático.

Este documento se enmarca en el proceso de actualización del PANCC SAP y su objetivo es caracterizar el riesgo y la vulnerabilidad del sector Silvoagropecuario en el país.

La meta de la adaptación es poder introducir modificaciones en aquellos elementos que determinan una mayor probabilidad de afectación por el cambio climático, de modo de reducir el riesgo de impacto. El riesgo y la vulnerabilidad del sector silvoagropecuario presenta una base de conocimiento más fuerte respecto de otros sectores en el país (CR2, 2018). En 2008 se elaboró un primer análisis de carácter nacional que permitió proyectar la afectación de los patrones climáticos al 2040, usando los escenarios del IPCC 2007, y sus consecuentes impactos en el sector. El 2017, un estudio actualizó los mapas agroclimáticos en las diferentes regiones del país, dando cuenta de las variaciones de los parámetros agroclimáticos más importantes sucedidas en los últimos 30 años y las proyectadas para mitad de siglo. En 2020 el proyecto ARCLIM incluyó un análisis de los riesgos asociados al cambio climático para el sector al 2050, distinguiendo cadenas de impacto puntuales. Si bien estos estudios no son del todo comparables, son complementarios puesto que entregan una mirada de los riesgos y las oportunidades que se proyectan en el sector.

En los talleres regionales de discusión y definición de medidas de la actualización del PANCC SAP, se usó la información previamente expuesta en forma *ad hoc* respecto de la disponibilidad de información y pertinencia de ésta para cada región. Por ejemplo, los estudios de vulnerabilidad citados se centran en las regiones de mayor vocación agrícola, con lo cual las regiones extremas

del país no han sido incluidas en el análisis. En estas regiones fue necesario recurrir a fuentes adicionales de información, cuando se dispuso de la misma.

El proceso de actualización del Plan ha exigido atender la susceptibilidad de los sistemas de producción a los cambios en el clima, pero además caracterizar los aspectos ambientales y los elementos socioeconómicos de los grupos más vulnerables que inciden en una mayor predisposición a ser afectados. Las instancias de participación para la actualización del PANCC SAP han puesto una particular atención al enfoque de género y la participación de los pueblos originarios y comunidades locales, como a sus condiciones de vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático¹ (FAO, 2019).

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología para la caracterización de riesgo y vulnerabilidad del sector implicó revisar y evaluar el estado de situación en base a la información disponible (*stocktaking*) (FAO, 2017a). Esta se basó primordialmente en un análisis documental de literatura científica y gris existente en el país. Siguiendo las recomendaciones de FAO (2017) y CR2 (2018) se han compilado experiencias previas de las instituciones chilenas, bases de datos disponibles y la información de entrevistas, talleres y grupos de trabajo con informantes clave que se han realizado en el marco de la actualización del PANCC SAP. La discriminación de la relevancia de la información se hizo mediante criterio experto.

Los documentos oficiales generados por el Gobierno de Chile, denominados Comunicaciones Nacionales, reportan el progreso del país en el enfrentamiento del cambio climático ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y constituyen una primera recolección de la información disponible a nivel nacional. La cuarta comunicación nacional de 2021 es el documento que cita a su vez la información más reciente del país. Otros documentos de consulta fueron documentos de planificación para cambio climático regionales y sectoriales, así como los documentos de síntesis preparatorios de los talleres participativos regionales para la actualización del PANCC SAP. También se consultaron bases institucionales del MINAGRI, de ODEPA, el Observatorio para la innovación Agroalimentaria y Forestal, entre otras fuentes las que se listan en la sección de revisión bibliográfica.

En relación con la literatura científica, se realizaron pesquisas usando el motor de búsqueda de la base bibliográfica *SCOPUS* y *Science Direct*. Los ámbitos de búsqueda estuvieron delimitados por el país, el sector agropecuario y silvícola, y su vínculo con el cambio climático. Se consultó también el repositorio de publicaciones generado por el Centro de Ciencia del Clima y la

¹ Comunidades que enfrentan una serie de desafíos en el ámbito rural relacionados con la inclusión y la falta de oportunidades, la discriminación, el acceso limitado a la tierra y la baja participación en la toma de decisiones.

Resiliencia (CR2). Otras consultas puntuales revisaron los repositorios de *Scielo*, *Chilean Journal of Agricultural Research*, y del Observatorio para la innovación agraria, agroalimentaria y forestal (OPIA).

Se destaca el cambio de nomenclatura respecto de los análisis previos realizados en el país. Si bien éstos informes han seguido las referencias dictadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés), cada ciclo de evaluación del Panel supone una mejora tanto en la evidencia de cambios observados, en el análisis de vulnerabilidad y en las metodologías de prospección futura. Así el informe del IPCC 2007 (AR4 por su sigla en inglés) usó un grupo de escenarios basados en tipos de modelos de desarrollo, mientras que el informe 2014 (AR5) presentó una propuesta basada en la trayectoria de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los escenarios conllevan una serie de suposiciones socioeconómicas (IPCC, 2021). El último informe de evaluación del IPCC (AR6) propone un nuevo set de escenarios denominados de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas² (SSP por su sigla en inglés), los cuales, junto con los aspectos ambientales y su incidencia en el comportamiento de la atmósfera, consideran también aspectos socioeconómicos (cambios en la economía, migraciones, niveles de desigualdad, crecimiento demográfico, entre otros) que afectan las emisiones y por consiguiente el sistema climático (CCG-UC, 2022 p.5).

La adaptación al cambio climático en el sector Silvoagropecuario (SAP) implica ajustar procesos o prácticas de producción para atenuar el riesgo de consecuencias adversas del cambio climático o bien aprovechar las oportunidades cuando éstas se presenten. La planificación de la adaptación, así como su éxito, dependerá de determinar los elementos de la vulnerabilidad y los riesgos potenciales en los sistemas de producción frente al cambio climático, para implementar medidas atinentes. Dichos conceptos son definidos en la Ley Marco de Cambio Climático (véase glosario de términos en anexo 1).

Estas definiciones, si bien están en línea con los últimos enunciados del IPCC, difieren de los análisis realizados previamente donde la vulnerabilidad refería al impacto potencial a causa del cambio climático, es decir el riesgo; y, por lo tanto, pueden inducir a una confusión semántica. Lo cual se ha tratado de evitar en esta revisión ejecutando los ajustes correspondientes.

En la recopilación se dio preferencia a la última información disponible. En lo relativo a las proyecciones climáticas, así como evaluaciones de riesgo, se privilegiaron los escenarios más severos (A2 y RCP8.5) y el periodo cercano medio (2040, 2050 o 2035-2065) cuando la

² El AR6 definen cinco escenarios utilizados para las proyecciones: SSP1: Escenario de “Sustentabilidad”; SSP2: Escenario “A medio camino”. SSP3: Escenario de “Fragmentación”. SSP4: Escenario de “Desigualdad”. SSP5: Escenario de “Dependencia en combustibles fósiles”

información así lo permitió. Esto a la luz de la evolución acelerada de los cambios del clima a nivel global (IPCC, 2022; WMO, 2022).

Dado que los elementos del sistema climático no son factibles de modificar, la meta de la adaptación es poder modificar aquellos elementos que son dinámicos, y que permiten ajustarse a las condiciones climáticas actuales o futuras. Es decir, se trata de reducir la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa), o bien en bajar la exposición de los elementos sensibles a las amenazas climáticas, de modo de reducir el riesgo de impactos negativos.

Un objetivo de esta revisión fue incluir aspectos complementarios, que pudieran aportar a visualizar los elementos de la vulnerabilidad, en lo referente a la sensibilidad y capacidad adaptativa. Esto se realizó principalmente con los análisis desarrollados en el contexto de elaboración del Plan, como los análisis de brechas de género y brechas de capacidad institucional, correspondiente a información cualitativa recogida mediante procesos de consulta regionales. Se incluyeron aspectos de vulnerabilidad ambiental, ya que el estado de los recursos naturales influye en las posibilidades de adaptación al cambio climático; incorporando la información disponible del estado de los suelos y de los agroecosistemas y sus proyecciones.

La caracterización de riesgos potenciales y los elementos de vulnerabilidad para el sector silvoagropecuario se realizó considerando las macrozonas definidas por el PANCC SAP, las cuales se basan a su vez en la clasificación de ODEPA de zonas homogéneas.

No obstante, la división del país usada para la actualización del PANCC SAP ha seguido criterios operacionales. En este informe se trató de buscar un balance entre las necesidades del plan y la coherencia con los estudios de base climática del país. En el anexo 2 se presenta una ampliación sobre este particular. Este informe presenta sus resultados en base a una clasificación de macrozonas, compuestas por las siguientes regiones administrativas:

- Norte: regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta.
- Centro Norte: regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso.
- Centro: regiones Metropolitana, del Libertador Bernardo O'Higgins y Maule.
- Centro Sur: regiones de Ñuble, Biobío y de La Araucanía.
- Sur: regiones de Los Ríos y Los Lagos.
- Austral: regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y la Antártica Chilena.

La información sobre los riesgos potenciales y los elementos de vulnerabilidad para el sector silvoagropecuario se presenta en la sección 3 por macrozonas del país.

3. EL CLIMA Y LA PRODUCCIÓN SILVOAGROPECUARIA EN CHILE

Chile presenta gran variabilidad de climas y gradientes, determinadas por su configuración geográfica, la cercanía al mar, las elevaciones montañosas, así como la extensión latitudinal del país. Esto define variaciones importantes, que dan lugar a 17 regiones climáticas en el país con una gama de microclimas y circunstancias particulares para el desarrollo de múltiples actividades agrícolas, forestales y pecuarias (Uribe *et al.*, 2012; ODEPA, 2019).

La dependencia climática de la actividad agropecuaria y la variedad de microclimas hacen que el país y el sector silvoagropecuario posea elementos y zonas expuestas, siendo considerado altamente vulnerable al cambio climático (AGRIMED, 2008; Meza, 2017; MMA, 2021).

El más reciente informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático confirma que el calentamiento global se ha producido inequívocamente por acción humana con “un efecto de amplificación en varios de los componentes del sistema climático” (IPCC, 2021). Se observan cambios sin precedentes en décadas recientes (IPCC, 2018; IPCC, 2021; IPCC, 2022). El informe sobre “Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad” alerta sobre el riesgo en el suministro global de alimentos que un incremento de 2°C puede conllevar (IPCC, 2022).

En Chile se han conducido una serie de estudios sobre proyecciones climáticas bajo varios escenarios futuros de trayectorias de emisiones (Meza *et al.*, 2020; Sarricolea *et al.*, 2017; Hoegh *et al.*, 2018). Los gases de efecto invernadero actúan como un “impulsor” del cambio climático (Hoegh *et al.*, 2018). Sin embargo, también hay variaciones regulares en los factores naturales (geográficos y atmosféricos) que varían local y globalmente, conocidos como centros de acción climática y que influyen en el clima del país.

3.1. La variabilidad del clima y los escenarios de cambio climático

3.1.1. Tendencias históricas

Tanto los aspectos geográficos como atmosféricos definen los centros de acción climática que influyen en el clima del país, como el Anticiclón Alto de Bolivia, el Anticiclón del Pacífico Sur, del Anticiclón Polar y su influencia en la Oscilación Antártica, y la corriente marina fría de Humboldt (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021 con referencia a varios autores; Uribe *et al.*, 2012). La temperatura desciende de norte a sur del país, y de costa a cordillera, influenciada por el mar y la altura. Las precipitaciones delimitan un extremo desértico en el norte y un extremo lluvioso en el sur (Uribe *et al.*, 2012; Orrego-Verdugo *et al.* 2021; MMA, 2021).

Tanto el fenómeno de la oscilación climática del sur (El Niño y la Niña -ENOS) como la oscilación decadal del pacífico inducen marcadas variaciones interanuales. El fenómeno ENOS provoca pronunciados periodos secos y húmedos en Chile central y el Altiplano. La zona más austral se ve modulada por su cercanía al continente Antártico (Valdés-Pineda *et al.*, 2018).

De acuerdo con los registros meteorológicos de la DGA el periodo 2009-2019 mostró un aumento de temperatura respecto del periodo 1961-1990 (MMA, 2021). Esto es más notorio en la macrozona central, mientras que en el norte no hay un patrón definido, y en el sur y zona austral el alza fue menor. Los cambios del régimen pluviométrico no han sido uniformes, siendo la zona central la que presenta el mayor y más marcado descenso de precipitaciones, desde la mitad de la década del 70. La zona central presenta una tasa de 14% de descenso por década; mientras que en el resto del territorio es de 7% (MMA, 2021).

En el periodo 2010 y 2018, entre las regiones de Valparaíso y el Biobío y en zonas costeras entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta ha predominado la sequía (déficit hídrico). Mientras que en el altiplano del Norte Grande y en zonas más australes del país se tuvo superávit hídrico en una mayor proporción de meses (MMA, 2021).

En la mayor parte del país la isoterma 0°C ha subido, con una menor acumulación de nieve. En la zona norte se observa un alza de 36 m por década, en la zona central es de 17 m/década y en el sur la isoterma ha subido 12 m/década. En la zona austral, en cambio, se presenta un descenso de -18 m/década. El aumento de la isoterma ha sido más marcado en el sur a partir del 2000 (MMA, 2021).

El retroceso de glaciares está bien documentado en el país, en parte debido al cambio climático (DGA, 2016; MMA, 2021; Robson *et al.*, 2022). Se proyecta que la tendencia continúe afectando la disponibilidad de agua en aquellas cuencas donde el aporte de los glaciares es relevante (CEPAL, 2012; DGA, 2016). Tal es el caso de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, cuyos glaciares son cada vez más vulnerables a procesos de pérdida de masa y poniendo en riesgo el suministro de agua durante la estación seca (Shaw *et al.*, 2020).

Desde 2010 a la fecha, la reducción observada de las precipitaciones se ha acentuado en Chile central por una secuencia ininterrumpida de años secos, con déficits anuales de precipitación entre el 25% y el 45% (Garreaud *et al.*, 2020). Este déficit de precipitaciones tan pronunciado, en duración y extensión espacial, se le ha denominado la Megasequía (CR2, 2015). Esta ha provocado una menor cobertura nival en los Andes, reducción de la cantidad de agua embalsada y de los niveles de agua subterránea; junto con menor disponibilidad de agua y más incendios forestales, y sus consecuentes impactos económicos y sociales (Garreaud *et al.*, 2017). El informe de la OMM (2022) señala que el 2021 fue otro año seco en Chile, con precipitaciones en la mayoría de los lugares al menos un 30% por debajo del promedio. Varios lugares al sur de Santiago tuvieron su año más seco registrado en 2021, con montos totales de 40% a 50% por debajo de lo normal. El cambio climático podría explicar una cuarta parte de la megasequía desde 2010 y, con cierta certeza, será una condición que persista en la zona central hacia fines de siglo (Garreaud *et al.*, 2020).

La disminución de las precipitaciones, que afecta prácticamente a todo el territorio chileno, viene intensificándose en forma paulatina pero sostenida desde hace unas tres décadas al menos. De

igual modo, los caudales muestran las mismas tendencias, salvo en el altiplano del norte, el río Copiapó y el río Biobío, todos los ríos presentan déficits que van desde el 82% (río Mapocho) al 27% (río Maule) en comparación al promedio histórico 1981-2010. Pero a partir del año 2010, en coincidencia con lo que se ha denominado la megasequía, se registran reducciones muy acentuadas de los caudales, en particular en aquellos ríos que incrementan su caudal a partir del inicio de la primavera alimentados por el derretimiento de las nieves de la alta cordillera. El alza de la isoterma cero por efectos del cambio climático sumado al aumento de las temperaturas registradas a fines del invierno ha impedido la acumulación de nieve a los niveles que normalmente se registraban durante los meses de invierno (Universidad de Chile, 2019).

La frecuencia de marejadas ha aumentado en todo el país mientras que el oleaje medio ha crecido hacia el sur, mientras el nivel medio del mar presenta variaciones no uniformes (MMA, 2021). Los cambios en las corrientes oceánicas, como la corriente de Humboldt, están provocando temperaturas más bajas en la superficie del mar, lo que redujo las precipitaciones en las zonas costeras entre un 15% y un 30% en el siglo pasado (Santibáñez, 2018).

Las variaciones de los índices agroclimáticos inciden en los cultivos y su rendimiento; por lo que su análisis apoya la selección del sistema de producción (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021). Los trabajos de AGRIMED (2017) y Orrego-Verdugo *et al.* (2021) dan cuenta del cambio de las variables agroclimáticas en el país para el periodo 1985-2015. El primer trabajo presenta los resultados en forma de atlas y el segundo hace un análisis sintético (véase cuadro 1), pero ambos coinciden en las tendencias previamente descritas.

Cuadro 1. Tendencia de cambio porcentual de las tendencias en las variables agroclimáticas.

Zona ³	Regiones abarcadas	% Cambio en las variables agroclimáticas (1985-2015)					
		Amplitud T°	Días Grado	Heladas (días)	T°máx	T°min	Precipitación
Norte Grande	Arica & Parinacota a Antofagasta	-12,04	-20,40	+16,02	+3,93	-30,14	+7,33
Norte Chico	Atacama y Coquimbo	+06,63	+13,58	+0,67	-0,01	+12,79	-61,84
Centro	Valparaíso a Biobío	-20,31	-13,91	+7,62	+2,28	+5,93	-7,71
Sur	La Araucanía a Los Lagos	+13,77	+17,36	+8,39	-0,09	+5,41	-10,72
Austral	Aysén y Magallanes	+26,29	+12,17	+2,90	-12,12	-4,48	+0,83

Valores con signo (-) indican disminución y con signo (+) aumento.

Fuente: Adaptado de Orrego-Verdugo *et al.*, 2021.

³ Esta división del país es usada desde 1950, actualmente el MINEDUC las refiere como zonas naturales de Chile.

Orrego-Verdugo *et al.* (2021) puntualizan que se ha registrado un aumento de temperatura máxima mayor en el norte grande (3,9%) y, contrariamente, ésta descende en la zona austral (12,2%). En cuanto a la temperatura mínima, se presenta un descenso en la zona norte (30%) y zona sur (4,5%) del país, y un aumento en el norte chico (12,8%), la zona centro (5,9%) y sur (5,4%). La amplitud térmica ha disminuido en el norte grande (12,04%) y zona centro (20,3%), mientras que ha aumentado en las zonas sur (13,7%) y austral. Las precipitaciones han aumentado en la zona norte (7,3%). El MMA (2021) concuerda en señalar que el número de días y el total de precipitación intensa se están incrementando en la zona norte del país, siendo Arica y Antofagasta donde se presentan los principales cambios. A la inversa, en las regiones de Atacama y Coquimbo las precipitaciones han caído drásticamente (62%), y más moderadamente en el centro y sur del país (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021). Aunque estas variables entregan más detalle respecto que sólo los promedios de temperatura, se debe resaltar las variaciones que existen en el gradiente de mar a cordillera y a raíz de los microclimas regionales.

Stolpe y Undurraga (2016) indagaron sobre el contenido de humedad del suelo en el período de 1985 a 2015, comprobando que el centro-sur del país tuvo menos días con suelo húmedo al año comparado con el período previo, sugiriendo que la producción agrícola y forestal actual tiene más limitaciones debido a las condiciones edáficas. Los autores previenen sobre la necesidad de monitoreo de las variables de temperatura y humedad del suelo, a fin de corregir los rangos en la clasificación de suelos del país, y de reflejar adecuadamente el riesgo real del clima en la producción.

En la mayor parte del país se presentan cambios en las temperaturas máxima y mínima, noches cálidas, noches frías, amplitud térmica y el máximo de temperatura mínima (MMA, 2021; Orrego-Verdugo *et al.*, 2021), así como la mayor incidencia de eventos extremos (MMA, 2021). Estas alteraciones tienen un efecto en los cultivos, por cuanto el cambio en la temperatura máxima y la amplitud térmica pueden conllevar estrés hídrico y reducir los rendimientos. La caída de las temperaturas mínimas se relaciona con daño en cultivos, lo cual es notorio en el altiplano del norte grande, con un aumento de 16% de días con heladas (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021). Aunque Piticar (2019) señala que, desde Coquimbo al sur, se ha retrasado y acortado el periodo de heladas, lo cual favorece a ciertos cultivos. La acumulación de días grado es una medida que tienen las plantas para alcanzar su madurez fisiológica y puede implicar un ajuste para ciertos cultivos (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021). Para cultivos sensibles a temperaturas superiores a 25 y 30°C, se registra un empeoramiento de las condiciones en la mayor parte del país (Piticar, 2019). Por su parte, las horas de frío son críticas para ciertos frutales, las cuales han venido registrando un descenso en Chile central desde 1970 (Fernández *et al.*, 2020).

3.1.2. Escenarios de Cambio Climático

El sexto ciclo de evaluación del cambio climático del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2021) señala que el cambio climático hace menos predecible y más inestable el clima (IPCC, 2021; CCG-UC, 2022), registrándose impactos en la producción agrícola global y en

América Latina (Porter *et al.*, 2022). Mientras que cambios fenológicos son más difíciles de confirmar, Wu *et al.* (2019) registran el adelanto de los ciclos fenológicos debido a los cambios en el clima.

El proyecto ARCLIM (2020) realizó la caracterización del clima histórico reciente y futuro mediante el promedio de entre 20 a 30 simulaciones en base a Modelos de Clima Global (GCM en inglés). Estos resultados fueron, además, escalados (downscaling) y corregidos con un método estadístico, para evitar el sesgo respecto al clima observado (Pica-Téllez *et al.*, 2020). El periodo actual o línea base considerada ha sido el periodo 1980-2010 y futuro (2035-2065), bajo el escenario RCP 8.5 del AR5. De acuerdo con MMA (2021), el proyecto ARCLIM constituye el ejercicio integral y multidisciplinario más reciente en el análisis de los riesgos climáticos, por medio de indicadores de amenazas, exposición y vulnerabilidad, y sus implicancias en diferentes sectores del país.

Más recientemente, el Centro de Cambio Global UC (2022) ha conducido una actualización en la prospección de los cambios en el clima que se avecinan en el país usando el último set de escenarios del IPCC (2021, SPP-5 8,5 del AR6), comparándolo con los resultados previos obtenidos por ARCLIM (Véase Figura 2).

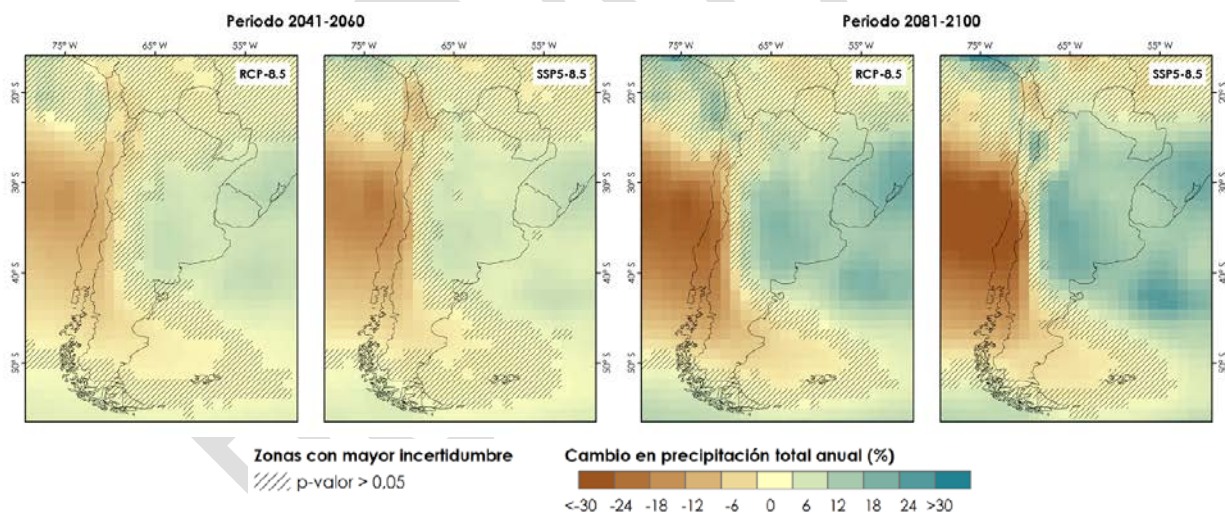


Figura 2. Cambios porcentuales en precipitación para el promedio de las proyecciones de modelos utilizados en CMIP5 y CMIP6 que consideran forzamiento radiativo de 8,5 W/m², en dos periodos mitad siglo y fin de siglo AR6. Fuente: CCG-UC, 2022.

El informe de CCG-UC (2022) confirma las tendencias y sentido de cambio entre los dos informes de evaluación para el caso de Chile, resumidas por macrozonas⁴ del país como sigue:

- La señal de reducción de **precipitaciones** es clara a partir de la macrozona centro norte hasta la macrozona sur, con mayor intensidad en las macrozonas centro y centro sur. En la macrozona austral las precipitaciones tienen cambios muy bajos con poca claridad respecto de la dirección de cambio. Las zonas bajo los 1.000 m.s.n.m. presentan mayor severidad en la disminución de las precipitaciones respecto las zonas sobre esta elevación. En la macrozona norte no es posible distinguir una señal clara de cambio.
- Hay un patrón de aumento de **temperatura** mayor en zonas altas y alejadas del océano (por ej. en macrozona norte), las cuales reportan incrementos mayores respecto de las zonas bajas. A medida que se avanza hacia el sur, la dispersión de los modelos disminuye.
- De manera muy consistente se proyecta un aumento en los niveles de **evapotranspiración** potencial para todos los escenarios, periodos y macrozonas estudiadas. El efecto es especialmente importante en las zonas altas en cordillera (CCG-UC, 2022; pág. II).

Se reafirman las predicciones previas (AGRIMED, 2008, Santibáñez *et al.*, 2017; y Stehr *et al.*, 2019) en cuanto a que amplias zonas del país se podrían volver más áridas. Stehr *et al.* (2021) calcularon que un 10% del territorio continental se volvería hiperárido, mientras que el CCG-UC (2022) estima que un 25% del territorio podría volverse más árido en el escenario más extremo (SSP5-8.5 y período 2081-2100). Los autores proyectan que la zona hiperárida se extendería latitudinal y altitudinalmente, y que las zonas árida y semiárida se amplía hacia el sur. Así la macrozona central del país pasaría de un clima semiárido a árido, y la macrozona centro sur (hasta Biobío) pasaría de un clima húmedo a subhúmedo seco y semiárido. Sólo en la macrozona norte podría haber una disminución en la categoría de aridez. Con cierta certeza se espera una aridificación del país en el futuro, siendo más acentuada en los escenarios de mayor nivel de emisiones y periodos de tiempo más lejanos (CCG-UC, 2022; p.40-41).

3.2. Impacto de la variabilidad y el cambio climático en la producción

Como se ha venido observando y en las proyecciones para la segunda mitad del siglo 21, Chile está siendo y será cada vez más caluroso y con menos precipitaciones (AGRIMED, 2008; MMA, 2021; CCG-UC, 2022). Bascopé (citado por Meza *et al.*, 2020) señala además que sería más propenso a eventos de tormenta y a días nublados. De este modo, la menor disponibilidad hídrica y el avance de las zonas áridas constituye la principal amenaza e impacto directo del cambio

⁴ Definidas DGA-DICTUC (2021), de acuerdo con las condiciones hidrometeorológicas promedio de las regiones administrativas que las componen (citado por CCG-UC, 2022).

climático, el cual deriva a su vez en un riesgo en la producción agrícola (Meza *et al.*, 2020) y en los agroecosistemas⁵.

El país ha desarrollado análisis de vulnerabilidad y predicción de los riesgos del cambio climático futuros para el sector silvoagropecuario. En 2008 el Centro AGRIMED elaboró un primer análisis proyectando los riesgos del sector usando dos escenarios, pesimista (A2) y optimista (B2), al 2040 y al 2070, de acuerdo a las directrices del cuarto informe de IPCC 2007 (AR4). La CEPAL (2009 y 2012) condujo una actualización para calcular el impacto económico, usando los mismos datos climáticos, pero se agregó un periodo más cercano e incluyó las restricciones de riego para estimar los rendimientos futuros. El 2017 AGRIMED actualizó los mapas agroclimáticos del país, dando cuenta de las variaciones más importantes en los últimos 30 años, y elaboró mapas agroclimáticos futuros al 2050 usando el escenario RCP8.5⁶ del IPCC 2014 (AR5). El proyecto ARCLIM en 2020, condujo un análisis de riesgo y vulnerabilidad nacional para el sector silvoagropecuario distinguiendo cadenas de impacto puntuales, para lo cual uso los escenarios de clima futuro del AR5. Estos estudios han constituido la base de información para el diseño de las medidas que propone la actualización del PANCC SAP y que reporta este informe. El Cuadro 1 resume las principales características de los estudios referidos.

Los enfoques desarrollados por AGRIMED (2008) y por el proyecto ARCLIM (2020), tratan de determinar las consecuencias potenciales del cambio climático en los rendimientos de los rubros agropecuarios analizados (riesgo). La cobertura geográfica es similar, desde la región de Coquimbo a Los Lagos y la unidad de análisis es la comuna. Para el sector forestal, los estudios difieren en enfocarse sobre la productividad de dos especies de plantaciones en el primero, versus la incidencia en el verdor y riesgo de incendios tanto para bosques y plantaciones en el segundo. En las variables de vulnerabilidad ambiental y socioeconómica también hay diferencias de tipos de indicadores utilizados. En cuanto a los datos de clima futuro, en el primer caso se derivaron de los Modelos de Circulación Global (MCG) usando los escenarios del AR4, y en el segundo caso usando una batería mayor de MCG con los escenarios del AR5 y una corrección estadística (Pica-Tellez *et al.*, 2020).

Los modelos de simulación para establecer el comportamiento productivo también fueron diferentes. AGRIMED (2008) se basó en el modelo SIMPROC, desarrollado por el mismo Centro, que "integra las respuestas ecofisiológicas de los cultivos frente a los estímulos climáticos, incorpora un módulo de balance hídrico, y cuenta con un amplio respaldo experimental desarrollado en Chile" (AGRIMED 2022). Mientras que el equipo del proyecto ARCLIM ocupó el modelo CropSyst "capaz de simular la humedad disponible en el suelo, la disponibilidad de nitrógeno, el crecimiento y desarrollo fenológico del cultivo, los rendimientos, residuos de

⁵ Incluido los ecosistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal.

⁶ El escenario RCP8.5 es pesimista ya que proyecta altas concentraciones de CO₂, con aumento de temperatura que llega hasta los 2 °C.

producción y descomposición, erosión hídrica del suelo, salinidad y trayectoria de pesticidas” (Jara citado por Meza *et al.*, 2020). Ambos modelos tienen ventajas y desventajas.

Por su parte, el Plan de Acción Regional de Cambio Climático (PARCC) de Los Ríos (MMA, 2021d) como el de Los Lagos (MMA, 2021e) analizaron el riesgo del cambio climático en el sector silvoagropecuario siguiendo una metodología similar⁷. Se utilizaron los datos del proyecto ARCLIM para el modelamiento regional futuro de las variables de temperatura, precipitación, acumulación de nieve, frecuencia de sequías y días de calor. Seguidamente, se desarrolló un proceso participativo para conceptualizar y definir los parámetros del riesgo en el sector SAP. Así en la Región de Los Ríos se buscó proyectar el efecto del cambio climático en la fragmentación de la tierra, mientras que en la región de Los Lagos el riesgo proyectado fue caracterizado por la demanda de agua por parte de los cultivos. En el sector forestal la Región de Los Ríos privilegió determinar como el cambio climático podría influir en la incidencia en los incendios, mientras que en Los Lagos se buscó proyectar el impacto sobre la superficie con bosques. Los análisis de riesgo del sector SAP de ámbito nacional estimaron la exposición en función de la superficie del rubro (o cadena de impacto) evaluado. Mientras que, en los análisis regionales de Los Ríos y Los Lagos, la exposición se estimó en base a la participación del sector SAP en el PIB regional.

Como se observa, la metodología de aproximación sobre riesgo y vulnerabilidad ha ido evolucionando en el país para responder a las propuestas conceptuales del IPCC. Además de las restricciones que imponen la disponibilidad de datos y la escala espacial analizada.

Una forma de diseñar estrategias adaptativas es mirar el pasado por medio de análisis retrospectivos que permitan, a partir de las adaptaciones previas, visualizar opciones de ajuste a futuro. Algunos estudios se han conducido en esa línea (véase el recuadro 2), pero se requiere una sistematización de estos trabajos a nivel nacional. De igual modo, es necesario compilar las investigaciones que den cuenta de los procesos de adaptación autónoma o proactiva en curso.

El diseño de política requiere entender los elementos estructurantes, incluidos los factores sociales y culturales, que promueven un comportamiento adaptativo proactivo por parte de los agricultoras y agricultores y que influyen su toma de decisión frente a las condiciones climáticas cambiantes (Hadarits *et al.*, 2010; Roco *et al.*, 2017; Egler *et al.*, 2021).

⁷ Elaborada por la empresa consultora Eridanus.

Cuadro 1. Síntesis de aspectos metodológicos de las evaluaciones nacionales del riesgo del Sector SAP al cambio climático.

	Análisis de Vulnerabilidad Silvoagropecuaria -AGRIMED 2008	Análisis de Riesgo Climático Silvoagropecuario - Proyecto ARCLIM 2020
Escenarios climáticos futuros	AR4 del IPCC (2007)	AR5 (RPC8.5)
Periodo futuro analizado	2040 y 2070	2035 a 2064
Análisis de Riesgo en el Sector	Pérdida de productividad, erosión de suelo y disponibilidad de agua	Riesgo de pérdida de rendimiento en cultivos. Además del riesgo de incendio en plantaciones y bosque.
Exposición	Superficie del rubro (ha) con datos del Censo Agropecuario 2007.	Superficie (ha) del rubro con datos del Censo Agropecuario 2007 y datos de ODEPA.
Vulnerabilidad sectorial	<p>En base a indicadores sociales, económicos y productivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice Balance riego/secano (IRS) • Uso de capital y tecnología de la agricultura (UCT) • Fragmentación de la tenencia de la tierra (FT) • Índice de ruralidad • Índice de Desarrollo Humano (IDH) • Índice de uso de capital y tecnología de la agricultura • Vinculación al mercado externo 	<p>La <u>Sensibilidad</u> promedia factores como: índice de ruralidad, índice de balance riego-secano, índice de diversificación, índice de embalses, índice de pequeñas y medianas explotaciones, índice INDAP e índice de infraestructura</p> <p><u>Capacidad adaptativa</u>, promedia los factores: acceso a internet, nivel de escolaridad, número de maquinaria, número de pozos, caminos urbanos y pavimentados, suelo cultivable, número de instituciones/sedes que imparten formación técnico-profesional agrícola por región y proporción de trabajadores agrícolas permanentes/temporales.</p> <p>La vulnerabilidad del sector forestal no fue evaluada.</p>
Subsectores Silvoagropecuarios	12 cultivos (maíz, trigo, papa, frejol, remolacha, duraznero, manzano, naranjo, vid, praderas naturales, eucaliptus y pino radiata)	11 cultivos (maíz, trigo, frijol, papa, vid vinífera, manzano, nogal, almendro, cerezo y praderas mejoradas) Las plantaciones forestales y bosque nativo se trataron conjuntamente
Cobertura y resolución geográfica	Desde la Región de Coquimbo a la Región de Los Lagos	<u>Cultivos anuales</u> , desde la Región de Coquimbo a la R. de Los Lagos <u>Frutales</u> desde Atacama a Aysén <u>Praderas mejoradas</u> Bío-Bío a Los Lagos. <u>Plantaciones y Bosques</u> desde Coquimbo a Magallanes

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Se ajustó la nomenclatura del estudio de AGRIMED (2008) a las definiciones vigentes, para poder realizar la comparación.

Recuadro2. Estudios sobre adaptaciones en curso en el sector SAP.

Baeza y Janssen (2018), revisan las estrategias colaborativas como forma adaptativa de las comunidades agrícolas⁸ expuestas a 50 años de lidiar con la desertificación en la macrozona centro norte. En particular, se analiza el comportamiento respecto a los compromisos de compartir trabajo agrícola en la cosecha del trigo, lo cual está asociado a la decisión de siembra en la temporada. Se encontró que en situaciones serias de escasez de agua y variabilidad climática se reduce el cumplimiento de los acuerdos de trabajo compartido, muchas veces por la necesidad de emigrar en busca de fuentes alternativas de ingreso. Los autores apuntan que así se soslaya la dinámica social de estas comunidades. La migración rural, temporal o permanente, ha sido una estrategia para enfrentar la sequía y escasez hídrica en la región de Coquimbo (FAO, 2010; OIM, 2017). No obstante, el fenómeno de migración interna no ha sido suficientemente elaborado y requiere un estudio como estrategia adaptativa (Arellano y Silva, 2020).

Egler *et al.* (2021) estudiaron estrategias adaptativas con productores y productoras de la región del Maule, para diferenciar aquellas de carácter proactivo versus las reactivas. Entre las estrategias proactivas, las más utilizadas fueron la diversificación de la producción, el uso de variedades mejoradas de plantas y semillas, y la adopción de tecnología de riego. Como adaptación reactiva se citan cambios en las épocas de cultivo (siembra y cosecha) y el uso de pesticidas y fertilizantes para evitar el impacto a corto plazo de la variabilidad climática. Los autores encontraron que, si bien las restricciones financieras pueden inhibir la adaptación proactiva, tampoco constituye un factor habilitante decisivo. Por el contrario, el acceso a la información y las conexiones sociales parecen ser factores clave de mejora.

Roco *et al.* (2017) evidencian adaptaciones en curso en cultivos anuales de Chile Central, analizando sus efectos en la productividad y eficiencia de los productores y productoras. Se encontró ineficiencia y un potencial para aumentar la producción mediante los insumos y tecnología disponibles actualmente. La mayor eficiencia técnica se correlaciona positivamente con una alta dependencia de los ingresos en la producción, alta especialización en la producción, el uso de la información meteorológica, el tamaño del predio y la adopción de riego. La distancia a una ciudad importante tiene una correlación negativa. Los resultados iluminan la conexión entre la productividad y la implementación de prácticas adaptativas.

3.2.1. Impactos observados

Desde 1950 se han observado cambios en índices agroclimáticos (Piticar, 2019; Orrego-Verdugo *et al.*, 2021; MMA, 2021). En las últimas décadas los cambios observados en las temperaturas

⁸ Las comunidades agrícolas son una forma colectiva de tenencia de la tierra predominantemente presente en la región de Coquimbo, aunque también lo están en Valparaíso y Atacama.

extremas, el granizo, las ondas de calor y frío, las heladas polares han amenazado la agricultura (AGRIMED, 2017). Un ejemplo de esos eventos han sido las lluvias extremas en la temporada 2020-2021 que se estima afectaron más del 50 % de las cosechas de frutas en Chile (World Bank, 2021). Pero sin duda la Megasequía que afecta a la zona centro y centro-sur del país ha conllevado altos impactos en la producción silvoagropecuaria dando lugar a la declaración de emergencia agrícola en forma recurrente. A inicio del 2022, gran parte del país (263 comunas de 11 regiones) se encontraba en emergencia agrícola por déficit hídrico (MINAGRI 2022). La sequía ha provocado la reducción de la superficie sembrada en cultivos y plantaciones, pérdidas de cosecha en frutales y de animales en la producción ganadera, también efectos en la apicultura, además de caída de precios en ciertos rubros, entre otros (CR2, 2015; Universidad de Chile, 2019; MINAGRI 2022).

Aunque el clima es una de las mayores fuentes de incertidumbre de la producción agrícola, el país carece de una sistematización de los daños y pérdidas, y de los impactos económicos que provoca la variabilidad del clima en la producción silvoagropecuaria. Las referencias de los impactos producidos remiten principalmente al gasto público en situación de emergencia (FAO, 2017). La CNR (citada por World Bank, 2021) cifró las pérdidas frutales ocurridas en 2013 con motivo del déficit hídrico en 171 millones de USD (tipo de cambio nominal), concentradas en los productores y productoras de paltos (77% del impacto) y cítricos (20%). El gasto total en respuesta a emergencias agrícolas, en el período 2008-2017, ascendió a 160 millones de USD; siendo la respuesta a la sequía la más costosas en la agricultura (FAO, 2021).

Si bien no existe evidencia de efecto directo de la megasequía en el rendimiento de plantaciones (Garreaud *et al.*, 2017); González *et al.* (2018, 2020) señalan que el déficit sostenido de precipitaciones en el centro y centro-sur de Chile sería el factor más crítico en la intensificación de la actividad de los incendios forestales, con más áreas quemadas y temporadas de incendios más largas. González *et al.* (2020) indican que el gradual aumento de temperaturas ha contribuido a cerca del 20% del área quemada en las últimas tres décadas. Los autores calculan que en los mega incendios del verano 2017, que afectaron a 570.000 hectáreas distribuidas en 12 regiones del país, sólo los costos de su extinción (sin incluir las pérdidas productivas y provisión de servicios ecosistémicos) alcanzaron más 360 millones de USD. Estos incendios produjeron 100 millones de toneladas de CO₂ equivalentes, lo que representó el 90% de las emisiones del 2016. Los impactos sociales incluyeron la vida de personas, pérdidas de vivienda, secuelas psicológicas y aumento de vulnerabilidad (González *et al.*, 2020).

El informe del IPCC (2021) advierte que el aumento de las temperaturas conduce a extremos compuestos, es decir en la concurrencia de múltiples amenazas climáticas en un mismo lugar, múltiples regiones al unísono o bien en una secuencia de eventos. La prevalencia de la Megasequía en la zona centro-sur de Chile da cuenta de años consecutivos de altas temperaturas y falta de precipitaciones, con su efecto en la acumulación de nieve y agua subterránea, que conduce a profundizar la sequía en los años sucesivos en un ciclo de retroalimentación progresivo (Alvarez-Garreton *et al.*, 2021).

Las exportaciones siguen siendo un motor económico importante del sector, particularmente la fruticultura que genera el 87% de las exportaciones agropecuarias (ODEPA. 2021). Se cuenta con indicios de ajustes autónomos en la producción frutícola, como inversiones en tecnología de riego y manejo de agua, cambio de variedades y el traslado de las zonas de producción, principalmente (Roco *et al.* 2015, Hadarits *et al.*, 2016, Engler *et al.*, 2021). Gambardella (2019) afirma que la zona de producción de frambuesas se está desplazando hacia el sur, y que se requiere desarrollar nuevos cultivares. La producción de nogales, que tradicionalmente se concentraba en la Región Metropolitana, actualmente se han extendido hasta el Biobío (Chilenut Team, 2021). Hadarits *et al.* (2016) describen las adaptaciones que la industria del vino ha puesto en marcha.

La falta de agua genera un grave problema para el consumo de la población y para la producción de los pequeños agricultores y agricultoras (OIM, 2017). Se evidencia una creciente presión social por la distribución del agua, que ha generado conflicto entre sus distintos usos, lo cual ha situado al sector en el debate nacional.

3.2.2. Riesgos de impactos a futuro por Macrozona

Con la disminución de las precipitaciones presentes y proyectadas, las regiones agrícolas del país sufrirán la aridificación e importantes impactos en el sector silvoagropecuario (AGRIMED, 2008; Santibáñez *et al.*, 2014; ARCLIM, 2020; CCG-UC, 2022). Se pronostica una **reconfiguración del mapa productivo**, con un desplazamiento de las actuales zonas agroclimáticas hacia el sur y en altura, especialmente para cultivos frutales y forestales, debido al ascenso de la temperatura en dichas latitudes (AGRIMED 2008, CEPAL, 2009; ARCLIM, 2020; MMA, 2021).

También se proyecta un cambio en la **estacionalidad de los cultivos**, particularmente en el Centro y Centro-Norte se adelantaría la fecha de siembra para aprovechar las lluvias de invierno en los cultivos anuales y así atenuar la sequía agrícola (AGRIMED, 2008). Se espera que el cambio climático no solo cambie las condiciones climáticas y la estacionalidad adecuada para la agricultura, sino que también aumente la ocurrencia de **eventos extremos**. Aunque los cambios de temperatura podrían también reducir los riesgos de heladas, muy probablemente el riesgo de sequía seguirá desafiando a los cultivos de riego y secano, así como el riesgo de incendios a las plantaciones forestales (AGRIMED, 2008; Meza *et al.*, 2020; MMA, 2021).

Se presentan los riesgos potenciales proyectados para el sector silvoagropecuario en las macrozonas definidas por el PACC SAP⁹. Para cada macrozona, se incluye sintéticamente: i) una

⁹ ODEPA ha definido siete zonas homogéneas con base a las características productivas promedio. El PANCC SAP ha redefinido esta clasificación en seis macrozonas, cada una de las cuales está compuesta por las siguientes regiones administrativas: **Norte**: regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. **Centro Norte**: regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso. **Centro**: regiones Metropolitana, del Libertador Bernardo O'Higgins y Maule. **Centro Sur**: regiones

caracterización productiva del sector, ii) las principales señales de cambio del clima observado y proyectado para periodo cercano medio (2035-2065, 2040 o 2050), salvo que se indique lo contrario, y centrado en los escenarios más severos donde la tendencia de cambio es más clara (A2 al 2040 o RCP8.5 2035-2065); iii) los principales riesgos previstos en la productividad del sector; y iv) los factores de vulnerabilidad más sobresalientes en base a la información disponible.

Macrozona Norte (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)

La macrozona genera un 1,5% del PIB silvoagropecuario nacional (ODEPA, 2022b). La pradera es la principal ocupación del territorio productivo en la macrozona (90% de la superficie silvoagropecuaria), primariamente desarrollado en pisos altitudinales altos. La horticultura tiene una alta relevancia económica, desarrollándose en los valles y zonas interiores altas. El sector forestal representa el 10% de la superficie silvoagropecuaria sólo en la región de Tarapacá. Las hortalizas incluyen el choclo, tomate de consumo fresco, las zanahorias, el poroto verde, los ajos y las especies forrajeras están representadas por la alfalfa. Los cultivos frutales más plantados son el olivo, el mango, el limón y cítricos (ODEPA, 2019).

Esta macrozona presenta una condición hiperárida en la costa y valle interior. En el periodo 1985-2016 ha presentado un leve aumento de la temperatura máxima (3,9%) y un marcado descenso de la temperatura mínima (30%). Las precipitaciones han aumentado (7.3%) excepto en el altiplano. Se confirma un enfriamiento tenue, particularmente a lo largo de las costas (Orrego-Verdugo *et al.*, 2021).

Para mitad de siglo se proyecta un alza de las temperaturas, especialmente en las zonas de altura, con incrementos sobre 2°C (ARCLIM, 2020). Se espera un incremento de las precipitaciones de la cordillera y zonas de serranía, que eventualmente podría revertir la condición de aridez (CCG-UC, 2022). Este leve aumento podría ser hasta un 10% por sobre el promedio entre 1985-2010 (ONU Mujeres, 2018).

A partir de los mapas agroclimáticos al 2050 (AGRIMED, 2017) y datos climáticos preparados por INFODEP (2016), se infiere que al 2050 existiría un incremento de las temperaturas en el mes más cálido y el más frío, así como un aumento leve en la precipitación anual en cordillera. La evapotranspiración potencial se elevaría de modo más pronunciado en el interior de la macrozona. Las horas de frío y el número de heladas disminuirían y la radiación solar aumentaría.

Riesgo Silvoagropecuario. Aunque incierto, el incremento de las precipitaciones podría ser una **oportunidad** para la producción de las **praderas** del altiplano, y con ello la disponibilidad de

de Ñuble, Biobío y de La Araucanía. **Sur:** regiones de Los Ríos y Los Lagos. **Austral:** regiones de Aysén y Magallanes y la Antártica Chilena.

alimento para el ganado local (auquénidos, ovinos, caprinos y conejos). Por otro lado, el incremento de la temperatura presume un aumento de la evapotranspiración en los cultivos y vegetación natural, y a un menor almacenamiento de agua en capas superficiales del suelo. En años calurosos el riego de bofedales ha resultado ser necesario para asegurar la provisión de alimento del ganado altiplánico (DMC, 2021), y ciertamente mejoras en el manejo de agua serán requeridas a futuro.

La CEPAL (2009) indica que el potencial productivo de **frutales** podría mejorar considerablemente, especialmente en los valles de la Región de Tarapacá (periodo 2070 en adelante). Aunque las temperaturas más cálidas, podrían aparejar mayor incidencia de plagas y enfermedades en las zonas de cultivo, tanto de hortalizas y frutales, haciendo necesario una mayor vigilancia y el uso de métodos de prevención y control.

Basado en eventos pasados, se pueden proyectar que un aumento de las precipitaciones en el altiplano conllevaría riesgo de crecidas de ríos y embalses, con aumentos de caudales, arrastre de sedimentos y materiales, y eventos de tipo aluvional (CEPAL, 2012; DMC, 2021).

Vulnerabilidad del sector. Aunque el proyecto ARCLIM no analizó el riesgo para las regiones extremas, si caracterizó algunos de los elementos de la vulnerabilidad del sector agropecuario¹⁰, demostrando que es alta cuando coincide una mayor sensibilidad (principalmente en altiplano de la Región de Arica y Parinacota) y una menor capacidad adaptativa (más acentuada en algunas comunas de la Región de Tarapacá). Esto puede deberse al aislamiento de ciertas zonas, la dependencia de las lluvias para la producción, la degradación de los suelos y aguas, además de factores socioeconómicos. Esta macrozona tiene los índices de pobreza rural más altos del país, sobresale la Región de Antofagasta (31%), seguida de Tarapacá (26%), y Arica y Parinacota (17,7%) (ODEPA, 2022b). También es una macrozona donde casi un 30% de la población se reconoce con un pueblo originario (ODEPA, 2022a). Los conflictos socioambientales se presentan en el altiplano, con el sector productivo de la minería (IDH citado por ODEPA, 2022a), en disputas por el agua con las comunidades.

Con énfasis en la perspectiva de género e indígena, ONU mujeres (2018) señala que entre los elementos de sensibilidad climática de las comunidades altiplánicas están la dependencia de la agricultura como forma de subsistencia e identidad, el empobrecimiento de los suelos, la contaminación de las aguas, y pocas oportunidades de acceso a mercados. Las estrategias de adaptación de las poblaciones parecen apuntar a un rescate de lo cultural, de lo identitario y lo local, ya sea iniciando nuevos emprendimientos, promoviendo iniciativas de educación y control territorial, y fortaleciendo su capacidad de autoorganización.

¹⁰ La vulnerabilidad del sector forestal no fue evaluada por el proyecto ARCLIM.

Macrozona Centro Norte (regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso)

La macrozona genera en su conjunto un 19% del PIB agrícola nacional, concentrado en las regiones de Valparaíso y Coquimbo (ODEPA, 2022b). La Región de Coquimbo tiene la mayor superficie dedicada a la actividad silvoagropecuaria (3,2 millones de ha), seguida de Valparaíso (500 mil ha) y Atacama (100 mil ha). Gran parte del uso de la tierra está dedicada a las praderas naturales y mejoradas (sobre 3 millones de ha). La ganadería incluye caprinos, los asnos y mulas que se concentran en esta macrozona debido a que están particularmente adaptadas a zonas áridas (ODEPA, 2019). Los frutales ocupan alrededor de 85 mil ha. Destacan la uva de mesa (23 mil ha), olivos (6,2 mil ha) y paltos (24 mil ha), junto con nogales y almendros. Los paltos se concentran en Valparaíso (20 mil ha de) mientras que las vides pisqueras (10 mil ha) en Coquimbo (ODEPA 2022 catastro frutícola). El riego es esencial para el desarrollo de los frutales, que generan ingresos por exportación, demandan mano de obra y son representativos de estas dos regiones. Las hortalizas tienen una mayor participación en Coquimbo y Valparaíso.

El desierto de Atacama tiene los promedios más bajos de precipitación en el planeta (2 mm/año). La macrozona es hiperárida hasta Coquimbo, posteriormente pasa a árida (Santibáñez *et al.*, 2014). Se caracteriza por sus valles transversales recorridos por los ríos Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa y Aconcagua, cuyos caudales medios varían de norte a sur desde 3 m³/s hasta 40 m³/s. El derretimiento de las nieves cordilleranas y las precipitaciones producen crecidas esporádicas en los ríos (ODEPA, 2022a).

Esta macrozona ha tenido un descenso más marcado de las precipitaciones en los últimos 30 años (Orrego Verdugo *et al.*, 2021). El CCG-UC (2022) visualiza una tendencia a la disminución de precipitaciones futura, con leves diferencias cuando se comparan los escenarios de los últimos informes del IPCC (RCP8.5 del AR5 vs SSP5-8.5 del AR6). Hacia 2100 el escenario SSP5-8,5 muestra una condición menos severa que otros escenarios. La zona bajo los mil metros tendría un impacto un poco más severo que aquellas zonas más elevadas, aunque con una alta dispersión. Existe un patrón creciente de incremento de las temperaturas en escenarios más severos y hacia fin de siglo. Sobre los 1.000 m.s.n.m. el incremento de temperatura sería mayor en zonas bajas, pero este aumento sería menor que el esperado en la macrozona Norte. La evapotranspiración potencial tendría un impacto más severo (CCG-UC, 2022). Es decir, habría un aumento de déficit hídrico anual y la aridez se expandiría hacia zonas precordilleranas.

Riesgo Silvoagropecuario. Si bien la **Región de Atacama** no ha sido integrada en los estudios nacionales para evaluar el riesgo que impone el cambio climático en el sector silvoagropecuario, el plan de acción regional de cambio climático ha recogido algunos elementos clave y concluye que la amenaza transversal para el sector es la disponibilidad de agua. Se avizora una reducción significativa de los caudales medios mensuales, al igual que una elevación de la isoterma 0°C reduciendo el almacenamiento de nieve y alterando la época en que los caudales manifiestan el aporte nival. El retroceso de glaciares podría afectar los aportes que realizan en los períodos secos (MMA, 2021b).

En el sector se presentarían cambios en la producción y en los ingresos netos a nivel comunal. El alza de temperaturas acortaría el periodo de fructificación de la uva, afectando su productividad en hasta un 53%. Con ello se podría reducir la superficie con viñas en la Región a casi la mitad al 2070. Esto implicaría una caída del ingreso neto del sector en esa región, y un impacto en la mano de obra, que podría conllevar hasta un 18% de pérdida de empleos agrícolas (ODEPA, 2010). Los olivos, si bien son más resistentes a la sequía, serían afectados por los extremos de temperatura y precipitación, con riesgos en el rendimiento por el ataque de plagas y enfermedades y cambios en la duración de la temporada de crecimiento (Ozdemir, citado por MMA, 2021b).

Desde la región de Coquimbo al sur los riesgos del clima en la actividad agrícola han sido más estudiados y se proyectan como importantes a futuro (AGRIMED, 2008; CEPAL, 2012; Santibáñez *et al.*, 2014; ARCLIM, 2020).

Frutales. En uva, la CEPAL (2012) cita una reducción de los rendimientos en la producción de uva, con una consecuente reducción de mano de obra. Esto podría afectar significativamente la demanda de mano de obra temporal en toda la macrozona. Si bien al 2050 se proyecta un traslado de las condiciones de producción de uva al sur, Santibáñez *et al.* (2014) presumen que la producción se podría mantener en precordillera. Meza *et al.* (2020) cifran una mayor posibilidad de afectación para frutales en la comuna de Ovalle por la superficie dedicada a almendras respecto al resto del país. Este estudio otorga un mayor riesgo de caída de rendimientos en frutales en las zonas costeras y depresión intermedia en las regiones de Coquimbo y Valparaíso. La comuna de Cabildo muestra un alto riesgo de caída de rendimiento en manzana (Meza *et al.*, 2020). Fernández *et al.* (2020) advierten sobre los cambios en las unidades de frío y heladas que afectarán la producción frutal. En esta macrozona las heladas no representarían problema, no así la reducción de las unidades de frío que podría tener un alto impacto en el crecimiento y rendimiento de uva de mesa y almendras al 2050, pese a ser especies de bajo requerimiento de frío. Según Fernández *et al.* (2020) en Quillota ya se registra una disminución de un 25% de las unidades de frío desde 1967.

En **cultivos anuales**, Santibáñez *et al.* (2014) señalan que el momento óptimo de siembra se adelantaría a los meses de invierno (junio-julio) debido al aumento de las temperaturas. Incluso el **maíz** bajo riego podría aumentar productividad hasta un 25% en la costa y la precordillera, mediante el ajuste de fecha de siembra para reducir la demanda de riego. En el escenario más severo (RCP8.5) el aumento de temperatura impactará negativamente los rendimientos de **trigo**, principalmente en los valles interiores con reducciones de entre 20 y 30%. El rendimiento del cultivo de **papa** bajo riego en la costa se desplomaría un 20 a 30%, pero en el resto de la región el impacto sería menor. Meza *et al.* (2020) circunscriben a la comuna de Coquimbo como una de las con mayor riesgo de descenso del rendimiento para el cultivo de papa regada en el país.

En toda la macrozona se espera una caída en la productividad anual de las **praderas naturales** asociada a los periodos secos (AGRIMED 2008; MMA, 2021, Santibáñez *et al.*, 2014). La ganadería caprina es desarrollada por agricultoras y agricultores familiares con praderas en condiciones

degradadas, por lo cual se ha visto muy afectada por la megasequía. La ganadería caprina y los productores y productorasproductores y productoras y productoras de subsistencia serán los más afectados, los cuales ya han venido mostrado un retroceso importante en las últimas décadas (MMA, 2021).

En el rubro **forestal** los impactos proyectados son neutros a positivos, debido a que la participación del subsector en esta macrozona es reducida. Valparaíso posee un 11,5% de superficie dedicada a plantaciones forestales, principalmente eucaliptus. El estudio de AGRIMED (2008) pronosticó una leve mejora para la producción de eucaliptus en la Región de Coquimbo, no así para pino radiata. Mientras que para el proyecto ARCLIM, Miranda *et al* (2020) indican que los riesgos asociados a la disminución de precipitaciones se incrementarán tanto en plantaciones forestales como en el bosque nativo desde Coquimbo al sur del país.

Uso de la Tierra. Basados en las proyecciones de rendimiento al 2040, Ponce *et al.* (2014) calcularon un descenso de un 40% en el total de tierras dedicadas a la producción agrícola tanto en las regiones de Atacama y de Coquimbo. En Atacama los impactos están asociados a la disminución de la producción de olivo, papa, viña y palta, actividades que explican el 97% de la variación de la producción regional.

Vulnerabilidad del Sistema Socio-ecológico. El proyecto ARCLIM dedujo que los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa de esta macrozona son de carácter intermedio. La comuna de Casablanca (Región de Valparaíso) resulta con mayor sensibilidad y menor capacidad adaptativa. Mientras que Santibáñez *et al.* (2014) determinaron una vulnerabilidad alta a muy alta en amplias zonas de la Región de Coquimbo, donde coincide con un bajo índice de desarrollo humano, pobreza, alta fragmentación de la tierra, mayor fracción de cultivos de secano, y menor intensidad en el uso de capital y tecnología.

La degradación que caracteriza a gran parte de las praderas y suelos de la macrozona determina una mayor sensibilidad también, trasladándola a los ganaderos. Estos últimos han ido progresivamente abandonando la actividad, particularmente a causa de la megasequía (Universidad de Chile, 2019).

Implementando un análisis sobre brechas de género para la adaptación al cambio climático, QSV (2021) determinó que en esta macrozona el rubro de la ganadería caprina debe ser priorizado para atender las desigualdades. Los hombres han buscado nuevos empleos y las mujeres se han quedado en los predios con una doble carga; el trabajo reproductivo al interior del hogar y el productivo.

Macrozona Centro (regiones Metropolitana, del Libertador B. O'Higgins, y del Maule)

La Región Metropolitana concentra un tercio de la población del país de acuerdo con el censo de población 2017, por lo que la presión por el uso de la tierra es muy alta, aunque la actividad

silvoagropecuaria continúa siendo un eje importante de desarrollo. Y lo es aún más en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y la Región del Maule. Las tres regiones generan aunadamente cerca el 47,5% del PIB silvoagropecuario nacional y el 45% del empleo en el sector (ODEPA, 2022b).

Cerca de 330 mil ha en la Región Metropolitana están dedicadas a la producción silvoagropecuaria, mientras que en O'Higgins 775 mil ha y 1.753 mil ha en el Maule (ODEPA, 2019). De esas cifras la participación de praderas (naturales y mejoradas) es proporcionalmente mayor (50%, 47% y 53,2% del uso del suelo SAP respectivamente). Las plantaciones forestales aumentan a medida que se avanza al sur del país, con un 2,8%, un 18% y un 28% de la superficie SAP. La macrozona tiene vocación frutícola, con 54,6 mil ha, 95 mil ha y 76 mil ha respectivamente. Los nogales destacan en la Región Metropolitana con 16 mil ha de 32 mil ha totales en la macrozona. Las manzanas ocupan 26 mil ha, la uva de mesa 20 mil ha, ciruelos 16,4 mil ha, olivos 14 mil ha, diferentes cítricos 13 mil ha, además de otras especies frutales. En la temporada 2020/2021 96 mil ha estuvieron dedicadas a cereales (trigo, maíz y arroz), 10,5 mil ha con leguminosas (poroto y papa) y 10 mil ha con cultivos industriales (ODEPA, 2022). La producción de uva vinífera es relevante siendo el Maule la región con más superficie 55 mil ha (Hadarits *et al.*, 2016). La ganadería incluye cerdos, bovinos ovinos y caballares.

Los **cambios del clima** recientes y futuros presentan un comportamiento similar en la macrozona. En general al norte, en las regiones Metropolitana y O'Higgins, se tienen patrones más marcados de aumento de temperatura y descenso de precipitaciones, y a medida que se avanza al sur la condición se hace más moderada. El gradiente mar a cordillera es también considerable. Por ejemplo, Santibáñez *et al.* (2014) plantean que la temperatura media del mes de enero en San Antonio (en la Región de Valparaíso) podría subir en 1,3°C al 2050 respecto de la línea de base¹¹, mientras que en San José de Maipo (en la Región Metropolitana) este aumento sería de 2,6°C al 2050. El aumento de días grados en el valle central llegaría a 3000, mientras que en precordillera y costa los valores se estiman en 1800 y 2500 días grado. Las horas frío bajarían entre 60 y 70% en la Región Metropolitana. En O'Higgins se espera un aumento de hasta 1,5°C en cordillera para mitad de siglo, además de días con olas de calor en valle central, y con una frecuencia de sequía de hasta 45% (MMA, 2021c). Al sur de la macrozona Hadarits *et al.* (2016) comentan que los escenarios futuros proyectan aumentos de temperatura en todo el Maule en 2050, con un ascenso de entre 1°C y 2,5°C en la temperatura máxima del mes más cálido (enero) y la temperatura mínima en julio aumentaría entre 1°C y 3°C, con mayores aumentos en la cordillera. Las precipitaciones disminuirán en toda la macrozona, pero más pronunciadamente en la costa, donde las precipitaciones podrían reducirse en 19%, y el déficit hídrico podría llegar a un 30%.

¹¹ Periodo de comparación 1980-2010.

Las lluvias podrían aumentar hasta un 15% en la cordillera de O'Higgins, pero con un descenso de hasta 100% en la acumulación de nieve (MMA, 2021c).

CCG-UC (2022) señala que Chile central presenta una tendencia clara en la disminución de las precipitaciones en distintos escenarios, si se comparan los periodos de mitad y final de siglo sobre los 1.000 m.s.n.m. Las diferencias entre modelos son más acentuadas y tienden a mayores variaciones en precipitaciones a medida que se avanza hacia el sur. En cuanto a las temperaturas igualmente se esperan incrementos, pero menores que los reportados para las regiones de Atacama y Coquimbo. El incremento de la temperatura sería más pronunciado en altura, con una mediana de 0,5°C más alta en el escenario más severo y al 2100. En el caso de la evapotranspiración la señal de cambio es similar a las zonas más al norte pero con incrementos levemente inferiores.

Vicuña *et al.* (2020) analizaron el efecto del cambio climático en las cuencas del río Maipo y río Maule, concluyendo que el cambio climático reducirá el desempeño de los ríos para satisfacer las demandas de los sectores evaluados, incluido el sector SAP. Análisis previos señalaban una restricción de riego de 15% en el río Maipo (escenario A2 para mitad de siglo) y relativa seguridad en el abastecimiento de agua para riego más al sur (Cepal, 2012). MINAGRI (2013), citando un estudio de la Universidad de Chile, indica que un aumento entre 1 y 4°C conllevaría la reducción de precipitaciones y caudales de entre 20% y 40% en los sistemas hídricos de las cuencas de esta macrozona, además de cambios en la estacionalidad de los flujos. Por ejemplo, en el caso del río Teno (Región del Maule) se produciría un adelantamiento de los caudales máximos.

Riesgo Silvoagropecuario. El maíz en secano deja de ser viable. En las actuales zonas de producción la productividad del maíz regado podría caer entre un 10 a 20% por estrés térmico (AGRIMED, 2008). Pero se espera una expansión del cultivo en zonas costeras y de mayor altura, con incrementos de hasta un 25% en el potencial productivo. Los ajustes en las fechas de siembra permitirían paliar las demandas hídricas, sustituyendo las siembras primavera por otoño o adelantando la siembra, para aprovechar las precipitaciones de invierno y así reducir la demanda de riego entre un 10 y 30% (Santibáñez *et al.*, 2014). Meza *et al.* 2020 cifran las mayores reducciones de rendimiento en maíz regado en la Región del Maule, mientras que el riesgo más alto lo sitúan en la Región de O'Higgins (comunas de Pichidegua y Chépica). Este estudio no prevé mejoras de rendimiento de maíz en la macrozona.

Para trigo secano, se proyecta un descenso de rendimiento de 10 a 20% en la costa y en el valle central (AGRIMED, 2008). La reducción de rendimiento de **trigo** de riego sería menor al 10% en el peor escenario (RCP8.5) desde el río Aconcagua al sur. Un cultivo con un ciclo de vida más corto paliaría la mayor demanda de riego. No se prevén ajustes de fecha de siembra, excepto en la precordillera donde se podrían trasladar de otoño a invierno. En este caso el requerimiento de riego podría aumentar para mantener o acrecentar los rendimientos (Santibáñez *et al.*, 2014). Por su parte ARCLIM, si bien pronostica un descenso de rendimientos para la macrozona, determina que el riesgo es bajo a nulo debido a la baja superficie de producción expuesta.

En **papa de riego** el estudio de AGRIMED (2008) proyecta un descenso de la producción de hasta 30% en O'Higgins y en los valles centrales al sur de la macrozona. En la costa y precordillera la condición podría aumentar los rendimientos hasta un 50%. Meza *et al.* (2020) coinciden en indicar un mayor riesgo en las comunas del valle central de Ñuble (El Carmen y San Ignacio). El cultivo en secano mantendría su baja productividad actual (AGRIMED, 2008).

En esta macrozona la **remolacha en riego** (entre Valparaíso y Talca por el valle central), tendría la oportunidad de aumentar hasta un 50% el rendimiento en ciertas zonas. Por el contrario, en la costa y precordillera, el aumento térmico provocaría una aceleración del ciclo de vida, reduciendo el rendimiento, que se asemejaría a la productividad del valle central (AGRIMED, 2008).

Frutales. Las condiciones agroclimáticas para la producción de **vides** en escenario futuro (RPC8.5) se trasladan hacia el sur del país (AGRIMED, 2008, Santibáñez *et al.*, 2014), aunque la demanda de riego aumentaría en todo el país. En la macrozona central se espera un aumento de 20 a 30% de la producción de vid, aunque Fernández *et al.* (2020) advierten de las limitaciones en las unidades de frío. Las condiciones de producción de **naranjos** podrían mejorar en la precordillera en el límite norte de la macrozona con aumentos de riego (Santibáñez *et al.*, 2014). La producción de **cereza** se concentra en esta macrozona (44 mil ha). Este frutal es altamente sensible a los climas extremos en parte por su floración temprana, así en la temporada 2014/2015 la producción se redujo cerca de un 15% debido a lluvias durante la cosecha. González *et al.* (2021) proyectan impactos significativos, de no mediar tecnologías de protección de los huertos. Este estudio estimó que el riesgo de lluvia durante la cosecha podría estar entre un 5% y 20%, pero podría estar subestimado.

En escenarios RCP8.5 al 2050, Fernández *et al.* (2020) advierten que los valles de Rengo, Curicó, y Talca la disminución de las unidades de frío afectará la producción en kiwis, manzanas, peras, cerezas y nueces, obligando al uso de productos para romper la dormancia y otros ajustes productivos. Como medida adaptativa los autores recomiendan cambiar a variedades con menor requerimiento de frío, especialmente en árboles de hoja caduca y nueces. Fernández *et al.* (2021) confirman que el Valle Central de Chile (Coquimbo al Maule) sería altamente sensible a los impactos del calentamiento global en la acumulación de frío invernal, afectando a la fruticultura.

Hadarits *et al.* (2016) proyectan que el rendimiento para la producción de **uva vinífera** disminuya al norte y hacia la costa del valle central y aumente en el sur del Maule. Los autores señalan estrategias adaptativas que en forma autónoma los productores y productoras están llevando a cabo, que incluyen la mejora de riego, el cambio de variedades y traslado hacia otras zonas de producción. Por su parte, el MMA (2021c) menciona que la Región de O'Higgins es de vocación vitivinícola, y prevé que la presión por el agua redunde en afectaciones sobre la fenología de la vid y la calidad final del vino. Se presumen ajustes de varietales, vinificación y en la distribución del cultivo.

De acuerdo con el análisis del proyecto ARCLIM la comuna de Melipilla en la Región Metropolitana es la que muestra mayor índice de Riesgo de reducción de rendimientos en frutales debido a la superficie existente de nueces, cerezos y de almendros. Buin, María Pinto, San Bernardo y Paine son también comunas de esta región afectadas en el escenario futuro de cambio climático.

En el sector forestal, Miranda *et al.* (2020) avizoran para mitad de siglo un riesgo alto, tanto para las plantaciones forestales como los bosques, debido a la disminución de las precipitaciones y mayor temperatura, que se traduciría en menor biomasa y vigor, así como mayor riesgo de incendios forestales. Resultado que el MMA (2021c) prevé también para la Región de O'Higgins.

Respecto al **uso de la tierra**, ODEPA (2010) pronostica que la Región Metropolitana es la que presentaría la mayor pérdida proporcional de superficie asignada a los cultivos debido a los cambios en el clima. Ponce *et al.* (2014) avizoran para la macrozona Central una disminución más conservadora (7,4% de la superficie productiva). Los autores presumen que es posible hacer ciertos ajustes en las fechas de siembra y los rubros para mantener la producción.

Vulnerabilidad del Sistema Socio-ecológico. Los procesos erosivos en el suelo de magnitud se intensificarían a futuro en el secano, donde se cultivan trigo, praderas, papas, leguminosas y barbecho en rotación (AGRIMED 2008). Las lluvias más intensas en la costa y cordillera podrían apresurar la erosión de los suelos; así como los riesgos de escurrimiento y aluviones. La amenaza de erosión aumentará a medida que se traslade la frontera de producción hacia la costa y sur del país (Santibáñez *et al.*, 2014).

El MMA (2016) anuncia que el mayor cambio en la vegetación, en pérdida genética y de especies, ocurrirá en el ecosistema mediterráneo de la macrozona central de Chile, el cual es de alto valor para la biodiversidad pero que está actualmente muy amenazado. De hecho, este ecosistema se encuentra intacto en tan sólo un 5% de la zona central (Universidad de Chile, 2019).

Miranda *et al.* (2020) comprobaron un efecto negativo significativo de la sequía en un tercio de los bosques mediterráneos de las regiones de Valparaíso y Metropolitana, lo cual se manifiesta en pérdida de vigor o verdor. Los bosques nativos de la zona central, entre las regiones de Coquimbo y de O'Higgins, se encuentran en alto Riesgo de incendios por la disminución de la precipitación (Miranda *et al.*, 2020). En O'Higgins se estima que podrían afectarse los ecosistemas naturales y humedales costeros, y que un 61% del ecosistema mediterráneo está amenazado por el cambio climático (MMA, 2021c).

La pérdida de hábitats naturales y los cambios en el clima suponen un riesgo para los servicios ecosistémicos de polinización, de los cuales depende la agricultura. Existe un alto endemismo en las abejas nativas de Chile central, las cuales son vulnerables a la disminución regional de lluvias, y el cambio climático proyectado conducirá a un empobrecimiento de los recursos florales con impactos en la polinización (Vieli *et al.* 2021; Rodríguez *et al.* 2021). Vieli *et al.* (2021) estiman

que el uso de colmenas de abejas melíferas para la polinización de cultivos en el país ha aumentado un 500% desde 1960. Sin embargo, esto afecta negativamente a las abejas autóctonas por desplazamiento competitivo. Rodríguez *et al.* (2021) recomiendan un diseño de paisaje destinado a la integración funcional de los hábitats seminaturales con las prácticas agrícolas para la conservación de las comunidades de abejas nativas, mientras que Vieli *et al.* (2021) llaman a desarrollar un sistema de monitoreo de polinizadores robusto en el país.

El proyecto ARCLIM dedujo que los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa para la Región Metropolitana son de carácter intermedio, las comunas que presentaron un menor índice son Melipilla y Colina. En términos de brechas de género a ser abordadas para la adaptación, QSV (2021) definió como sectores priorizados la producción de hortalizas, alrededor de las grandes urbes como Santiago, así como el secano costero.

Para O'Higgins el Plan de Acción Regional de Cambio Climático (PARCC) identifica entre los riesgos de largo plazo, la falta sostenibilidad de la pequeña agricultura, el abandono y venta de sus tierras, la migración, aspectos que repercuten en la dimensión sociocultural. Asimismo, destaca la intensificación de conflictos entre usuarios de agua (MMA, 2021c). Estos impactos potenciales se pueden extrapolar al resto de la macrozona, particularmente en las zonas del secano costero de las regiones de O'Higgins y del Maule.

Macrozona Centro Sur (regiones del Ñuble, del Biobío y La Araucanía)

Las tres regiones de esta macrozona generan conjuntamente un quinto del PIB silvoagropecuario del país (20%) y un cuarto del empleo sectorial (25%) (ODEPA, 2022b). Es una zona de producción variada con cultivos anuales, vitivinicultura, cereales y ganadería bovina (engorda), además de actividad forestal. El río Itata en la Región de Ñuble marca la transición entre el clima mediterráneo de la zona centro y el templado del sur. Esta región concentra 42,7% de la superficie nacional destinada al cultivo de remolacha y el 43% del total país dedicado a la producción de frambuesas. La Región de Biobío es el centro forestal del país (79% del total) seguida de cultivo de cereales, forrajes y ganadería. Mientras que La Araucanía posee un 20,6% de la superficie nacional dedicada a cultivos, según datos 2007, principalmente dedicado a plantaciones forestales (64,3%), seguido por cereales 18,5% y plantas forrajes con 9,8%. La ganadería de doble propósito también tiene una participación importante en el sector (MINAGRI 2022).

A partir de la macrozona Centro Sur los modelos tienden a mostrar mayores variaciones de las proyecciones de precipitación. Hacia el período 2081-2100 se observa un patrón de disminución de las precipitaciones, en la medida que el escenario es más severo, lo que no se desprende con certeza en años previos. No se presenta un límite altitudinal marcado, pero se deducen reducciones marcadas en las zonas menos elevadas. Se confirma la tendencia al aumento en las temperaturas, especialmente a medida que el escenario es más severo y el período más lejano,

y que los incrementos son menores a medida que se avanza al sur. Las zonas más altas tendrían mayores calentamientos. Se confirma un aumento de evapotranspiración (CCG-UC, 2022).

Riesgo Silvoagropecuario. Al igual que en la macrozona central, en **maíz regado** se prevé que el rendimiento descenderá hasta un 20% en el valle, con aumentos potenciales de hasta 50% en costa y precordillera. A partir de la Región de la Araucanía, se presume que los rendimientos incluso podrían aumentar entre un 60 a 200% (AGRIMED, 2008). Por su parte, el proyecto ARCLIM cifra las mayores reducciones de rendimiento en maíz regado en las regiones del Maule y Bio Bío, mientras que el riesgo más alto lo sitúa en la Región del Biobío (Los Ángeles). Este estudio no prevé un aumento de rendimiento para el cultivo en esta macrozona (Meza *et al.*, 2020).

En cuanto a **trigo de secano** se señala un descenso del rendimiento, el cual podría mejorar a partir de la precordillera de la Región del Biobío que podría llegar a 30% y más (AGRIMED, 2008). Contrariamente, Meza *et al.* (2020) registran una mayor amenaza de descenso en el rendimiento hacia la precordillera de la Región del Biobío (Quilaco y Santa Barbara), así como en Victoria, Traiguén y Perquenco, en La Araucanía. Un estudio específico para la zona (INIA, 2009) señala que el potencial de rendimiento en el trigo en secano aumentará en torno a un 20%, pero que deberá cambiar hacia variedades de hábito invernal. Los efectos de escenarios de cambio en el rendimiento de **trigo con riego** tienen mayor variabilidad, pero en general la productividad sería más estable. El proyecto ARCLIM (2020) definió que para trigo, tanto con riego o en secano, el riesgo de descenso de rendimiento es bajo.

En **papa regada** desde el sur de la macrozona Centro (Talca) hasta Temuco habría un descenso de rendimientos en el valle central (hasta 30%), pero podrían aumentar en costa y precordillera hasta un 50%. En **papa secano** los rendimientos se mantendrían bajos y se podría adelantar la siembra en algunos sectores costeros (AGRIMED, 2008). La comuna de Carahue (Región de La Araucanía) tiene mayor índice de riesgo para papa de secano (Meza *et al.*, 2020).

Para el cultivo de **frijol**, tanto en riego como en secano, se prevén una mantención de los rendimientos. En la producción de secano podrían mejorar los bajos rendimiento actuales en costa con ajustes de fecha de siembra (AGRIMED, 2008). En el estudio de Meza *et al.* (2020) la macrozona muestra un riego variable, con situaciones de descenso moderados de rendimientos en Ñuble y oportunidades de mejora más al sur. La mejoría se produciría principalmente en la Región de La Araucanía, en las comunas de Carahue, Nueva Imperial y Padre de Las Casas

La **remolacha** muestra un aumento de aptitud de cultivo hacia el sur del país. En el cultivo de secano en la costa podría haber descenso de producción de hasta 50%, pero en el valle central habría mejoras de productividad. Los rendimientos en las zonas regadas podrían ascender del orden de un 50%, y se prevén ajustes en la fecha de siembra de otoño de la Araucanía al sur (AGRIMED, 2008).

Frutales. En general, Meza *et al.* (2020) auguran un empeoramiento de las condiciones de producción de frutales en el valle central y costa, pero mejores rendimientos en las zonas precordilleranas. AGRIMED (2008) presume que se podría extender el área de cultivo en algunas zonas de la Araucanía hacia el sur. Las frambuesas son producidas principalmente por pequeños productores y productoras en la región del Maule (Cárcamo y Cramon-Taubadel, 2016), y hasta la Araucanía. Los ensayos de Contreras *et al.* (2019) sugieren que la producción de frambuesas se podría adaptar en zonas costeras de La Araucanía mediante nuevos cultivares sin recurrir a ambiente controlado.

El estudio de ARCLIM (2020) en **praderas mejoradas** detectó una oportunidad en la precordillera de la Región de la Araucanía (comunas de Villarrica, Curacautín y Cunco), debido a un delta positivo en la producción de biomasa de entre 1.200 y 1.600 kg MS/ha/año, que abre oportunidades a su vez para la producción de bovinos de leche y carne. En praderas anuales, AGRIMED (2008) advierte de su sensibilidad a la falta de precipitaciones, por lo que se proyecta un descenso de productividad en la macrozona, la cual se haría más moderada hacia la Araucanía.

Miranda *et al.* (2020) señalan que en las **plantaciones forestales** aumentaría el riesgo de incendio, lo que es particularmente relevante para esta macrozona por su vocación forestal. Los bosques nativos de entre las regiones del Maule y de La Araucanía se encuentran en alto riesgo por la disminución de la precipitación (Miranda *et al.*, 2020).

Vulnerabilidad Socio-ecológica. AGRIMED (2008) proyectó el mayor riesgo de erosión pluvial, actual y futuro en la Cordillera de la Costa y la precordillera de Los Andes, siendo crítico en la Región del Biobío por la presión de uso silvoagropecuario y la degradación de los suelos existente.

La Araucanía da cuenta de conflictos socioambientales relacionados con el acceso al agua para los pequeños agricultores y agricultoras y a la presencia de la industria forestal que afecta principalmente a las comunidades indígenas (INDH citado por ODEPA, 2022a). En los escenarios de cambio climático, una menor disponibilidad de agua, aunque moderada, podría acrecentar dichos conflictos.

En esta macrozona las tres regiones tienen una incidencia de pobreza rural mayor al promedio nacional. Ñuble (16,6%), Biobío (19,1%) y La Araucanía (22,7%) (ODEPA, 2022b). También posee la población indígena y rural con menores índices de desarrollo humano, lo cual presume tanto una mayor sensibilidad a los efectos climáticos como una menor capacidad adaptativa. QSV (2021) señala que las brechas de género para la adaptación al cambio climático en la macrozona se concentran en los cultivos anuales.

Macrozona Sur (regiones de Los Ríos y Los Lagos)

Las regiones de Los Ríos y Los Lagos generan casi un 10% del PIB SAP y un 5,8% del empleo sectorial (ODEPA, 2022b). Se trata de una zona de clima templado oceánico, con ausencia de

período seco. La macrozona tiene una vocación ganadera y forestal (44% del área SAP) y forrajeras (34%). En ambas regiones la producción de leche es de gran importancia. Casi la mitad de la masa nacional de ganado de bovinos se encuentra en estas dos regiones (44,5%), mientras que juntas poseen el 30% de los jabalíes del país. Ambas regiones poseen una proporción de bosques nativos únicos (bosque lluvioso y selva Valdiviana), sólo la Región de Los Lagos posee el 20,3% de la superficie de bosque nativo del país (MINAGRI 2022).

En cuanto a los escenarios climáticos para mitad y fin de siglo, el CCG-UC (2022) señala que la dispersión de los modelos es más baja respecto de otras macrozonas. No obstante, el patrón en la tendencia de los cambios entre escenarios en el periodo cercano e intermedio es difuso, pero este es claro hacia el periodo lejano. Las zonas bajas sufrirán más con la disminución de las precipitaciones. El aumento de las temperaturas continúa a medida que el escenario es más severo y lejano, con cambios menores respecto de las macrozonas más al norte. La dispersión sigue siendo amplia y se prevé que los incrementos de temperatura sean más elevados en zonas sobre los 1.000 m.s.n.m.

Los Planes de Acción Regional de Cambio Climático de las regiones de Los Ríos y Los Lagos (MMA, 2021d; MMA, 2021e) usaron los datos del proyecto ARCLIM para el modelamiento regional de las variables de temperatura, precipitación, acumulación de nieve, frecuencia de sequías y días de calor futuras. Para el futuro medio (2036-2065) se estima en toda la macrozona un aumento de temperatura, siendo más marcado en la cordillera, y en la Isla Grande de Chiloé (1,4°C) y el menor incremento se dará cerca del Lago Llanquihue. Las precipitaciones en la macrozona se reducirían en un gradiente de norte a sur, desde un 13% al norte de Los Ríos, hasta un 5,8% en Chiloé. La acumulación de nieve podría caer en un rango de 60 a 100% en Los Ríos y en Los Lagos un 100%. Se incrementaría en 105 los días con temperaturas por sobre 25°C en la Región de Los Ríos (MMA, 2021d). Mientras que la lluvia máxima diaria podría incrementarse hasta un 10% en la Isla de Chiloé (MMA, 2021e).

Este análisis estimó la relación entre la señal climática y la frecuencia de los eventos de desastres recurrentes en las regiones. En toda la macrozona, se proyecta un aumento de ocurrencia de incendios forestales en concordancia con Miranda *et al* (2020). Debido a la tendencia de reducción de la precipitación, la probabilidad de ocurrencia futura de eventos de exceso hídrico (inundación, exceso de lluvias, aluviones y avenidas torrenciales) por sobre los registros históricos es baja en Los Lagos, pero en Los Ríos indica años con exceso hídrico marcado (MMA, 2021d). Se espera que a futuro será cada vez más frecuente tener precipitaciones anuales bajo el umbral empírico lo que, sumado al aumento de la demanda hídrica, resultaría en una mayor probabilidad de sequía. La frecuencia estimada de sequías aumentaría de norte a sur de la macrozona entre un 20% a un 3,3% (MMA, 2021d; MMA, 2021e).

Riesgo Silvoagropecuario. En esta macrozona predominan los impactos positivos (oportunidades) con el mejoramiento del potencial productivo, especialmente para ciertas especies frutales derivado de los cambios proyectados (AGRIMED, 2008; Meza *et al.*, 2020).

Para **papa en secano**, AGRIMED (2008) estima aumentos de producción de Los Ríos al sur. Mientras que el estudio de Meza *et al.* (2020) señala que el cultivo de papa en secano, en esta macrozona presenta el mayor riesgo del país en la comuna de Los Muermos (Región de Los Lagos). Los mayores rendimientos en **papa con riego** se producirían en la Región de Los Lagos. AGRIMED (2008) estima aumentos de producción entre 150% a 200% en esa región.

El estudio de ARCLIM se centró en las **praderas mejoradas**¹² porque en ellas se sustenta principalmente la producción bovina del país, 90% de las cuales se encuentran en esta macrozona (Meza *et al.*, 2020). La amenaza de pérdida de biomasa y de capacidad de carga se acota a la Región de Los Ríos, sin ser significativa (Meza *et al.*, 2020).

En **praderas anuales**, AGRIMED (2008) pronostica una caída de la productividad por la intensificación de los períodos secos. En la parte oriental de la cordillera de Los Andes de la macrozona, se esperan disminuciones moderadas (hasta un 15%), a consecuencia de la reducción de la radiación solar. 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, el sector agropecuario de la macrozona se verá favorecido por el cambio climático desde la perspectiva de crecimiento económico, pues tendrá condiciones agroclimáticas óptimas para una serie de cultivos que se verán desplazados desde la zona centro-norte, debido a la menor disponibilidad de agua y pérdida de suelos (MMA, 2021d). La macrozona podría ser favorecida por la expansión productiva, especialmente si los rubros son de mayor rentabilidad.

El PARCC de la Región de Los Ríos evaluó el riesgo para el sector agropecuario como de impacto intermedio, referido al aumento de la demanda de agua para cultivos. El indicador de riesgo variará al alza, pasando de un riesgo intermedio-bajo en el presente a un riesgo intermedio-alto en el futuro. El riesgo de incendios se incrementa, pasando de alto a muy alto, por la mayor frecuencia de eventos estimada (MMA, 2021d).

El PARCC de la Región de Los Lagos estimó el riesgo del sector agropecuario como el aumento de la demanda de agua en los suelos para cultivos. De este modo la proyección es que el riesgo varíe al alza, pasando de Intermedio-Bajo en el presente hacia un riesgo Intermedio-Alto en el futuro. El indicador de riesgo de incendios variará al alza, pasando de un riesgo intermedio hacia una mayor frecuencia de riesgo alto, y en algunos casos alcanzando valores muy altos (MMA, 2021e).

Vulnerabilidad del Sistema Socio-ecológico. En esta macrozona la disponibilidad hídrica ya ha descendido un 20%. Si bien se prevé una mejor distribución de las precipitaciones durante el

¹² La superficie de praderas mejoradas constituye una fracción menor (1 millón ha) comparadas con las praderas anuales en el país (10 millones ha).

año, su descenso junto con la mayor evapotranspiración proyectada, reducirían la escorrentía (MMA, 2021a).

La pérdida de suelos en esta macrozona será baja en la costa, por la mayor cobertura boscosa que se presenta a partir de Valdivia. En áreas de precordillera, con menor protección por bosque, las pérdidas serían más 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 (AGRIMED, 2008).

En esta macrozona se proyecta un alto riesgo de reducción de biodiversidad debido al cambio climático (Pliscoff y Uribe, 2020). El PARCC de la Región de Los Ríos proyecta que esta pérdida afectaría al turismo regional. Aunque no existen estudios sistemáticos en el país, se puede presumir también un riesgo en términos de pérdidas de servicios ecosistémicos que aportan al sector SAP.

Las brechas de género para la adaptación al cambio climático en esta macrozona se concentran en los productos forestales no madereros (hongos, bayas silvestres, y otros) ya que es un rubro exclusivamente desarrollado por mujeres, altamente susceptible a las condiciones climáticas (QSV, 2021).

Macrozona Austral (regiones de Aysén y Magallanes)

En esta macrozona las dos regiones aportan el 0,8% del PIB silvoagropecuario del país y 1,6% del empleo sectorial (ODEPA, 2022). Si bien ambas regiones constituyen una amplia porción del territorio continental (31,8%), las condiciones climáticas fuertemente influenciadas por el sistema polar limitan la producción. Mientras en Aysén el uso del suelo en el sector SAP está concentrado en uso forestal (68,3%) y forrajeras (30%), en Magallanes predominan las praderas naturales (96,1%), las cuales soportan el desarrollo de la ganadería ovina equivalente a un 56% de la producción nacional (MINAGRI 2022). En esta región, la ganadería se desarrolla en los climas estepario y de estepa fría, con bajos montos de precipitación distribuidos a lo largo del año.

Las últimas proyecciones del clima futuro indican que en la macrozona Austral no existe un patrón claro de cambio entre escenarios y períodos (CCG-UC, 2022). Trabajos previos auguraban incrementos en las precipitaciones. Con el último set de escenarios del IPCC solo en el período 2081-2100 se aprecia una tendencia en la disminución de las lluvias en el escenario más severo, aunque no es tan evidente como en otras macrozonas (CCG-UC, 2022). Respecto de las temperaturas, el patrón de incremento es menos disperso, con aumentos en zonas sobre los 1.000 m.s.n.m. Aunque los cambios en temperatura son menores al resto del país, también implica un aumento en la evapotranspiración potencial, especialmente en las zonas altas de la macrozona (CCG-UC, 2022).

De acuerdo con la Universidad de Chile (2019) las simulaciones hacia fines de siglo (RCP8.5) indican un calentamiento más moderado en la zona austral, de entre 1 a 1.5°C, debido a que los

fuertes vientos del oeste ventilan permanentemente el continente con aire del Pacífico sur. Este trabajo cita un leve aumento de las precipitaciones en la Región de Magallanes. Proyecciones climáticas más cercanas (2022–2044) predicen tres tendencias: i) un aumento de la precipitación de hasta 3–4% durante el invierno austral, ii) un aumento de la temperatura media anual entre 0,5 °C y 0,7 °C, y (iii) un aumento de la velocidad del viento entre 0,07 y 1,1 ms⁻¹ (CR2 citado por Soto-Rogel *et al.* 2020).

Respecto a los datos observados, Soto-Rogel *et al.* (2020) demostraron una tendencia a condiciones más áridas durante los últimos 8 años, junto con un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos en Magallanes. En el mismo sentido, Pérez *et al.* (2018) señalan una menor cobertura nival en el periodo 2010-2016, respecto de los años previos, así como un registro positivo de temperatura para Aysén.

Soto-Rogel *et al.* (2020) caracterizaron la variabilidad climática de la Región de Magallanes, durante los últimos 34 años, estudiando sus asociaciones con la producción ovina. Los autores concluyen que las fuertes precipitaciones y la velocidad del viento afectan negativamente la supervivencia de los corderos, mientras que la temperatura y la productividad primaria neta aérea de las praderas se correlacionan positivamente. El impacto de los eventos climáticos extremos mencionados ha sido significativamente negativo en la mayoría de los casos. Los autores destacan que se requiere con urgencia el estudio de estas relaciones, dada la actual aceleración de las tendencias ambientales detectadas.

El trabajo de Helman (2015) sobre percepciones de cambio climático en Aysén da cuenta de una alta conciencia de los ganaderos de la reducción de la precipitación en forma de nieve. La mayoría de los entrevistados reconocieron cambios en precipitaciones y en una mayor intensidad del viento, que se traduce en un paisaje más seco. En Magallanes, el análisis de percepciones conducido por FAO (2014) demostró que los productores y productoras detectan como amenazas más importantes el alza en las temperaturas y en la frecuencia de los vientos, lo que podría derivar en más sequías.

Riesgo en la producción Silvoagropecuaria. Las evaluaciones previas de riesgo sectoriales a causa del cambio climático han excluido a estas regiones por considerarlas regiones con baja vocación agrícola y con baja afectación en los escenarios de cambio evaluados. Sin embargo, si bien se ha avanzado en mejorar la cobertura de información climática regional, esta posee brechas de datos temporales que limitan el nivel de certeza en las proyecciones futuras, y representan una barrera para la adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario en esas regiones (FAO, 2014; Orrego-Verdugo *et al.*, 2021).

Desde la colonización de la Patagonia, casi un siglo atrás, la estepa ha estado sujeta a severos procesos de sobrepastoreo, con cargas ganaderas que superan de tres a cuatro veces la capacidad óptima. En la región de Aysén esto ha conducido a la erosión del suelo y la degradación de la pradera natural. Los procesos de forestación han conducido al reemplazo de especies

nativas por foráneas y al incremento de especies invasoras (Helman, 2015). Por su parte, Magallanes posee alrededor de un 28% de su territorio con algún grado de erosión, concentrado en la zona ganadera (CIREN citado por FAO, 2014). El sobrepastoreo tiene también un impacto negativo sobre otros aspectos ambientales, como la biodiversidad y la riqueza de los ecosistemas (Helman, 2015).

El sector agropecuario de Magallanes se califica como vulnerable (FAO, 2014; Soto-Roger *et al.*, 2020). A pesar de que algunos factores climáticos pudieran favorecer la producción, la degradación que caracteriza a las praderas y los recursos edáficos de ambas regiones, así como los procesos de alteración y pérdida ecosistémica, serán limitantes de la adaptación y podrán acelerarse con el cambio climático.

El proyecto ARCLIM incorporó la zona austral para evaluar el efecto en el bosque nativo. Se señala que esta macrozona ha sufrido intensos cambios de uso y cobertura del suelo, particularmente la pérdida de bosques nativos en reemplazo por matorrales y plantaciones forestales, creando paisajes altamente homogéneos (Miranda *et al.*, 2015) e inflamables (González *et al.*, 2020).

Praderas. De Chiloé continental hacia el sur, en la franja oeste, la productividad de las praderas naturales responde positivamente frente al mejoramiento de las condiciones térmicas invernales (por incrementos en las temperaturas, la pluviometría y en los niveles de radiación solar), mientras que en los sectores áridos transandinos la respuesta es negativa (AGRIMED, 2008). En praderas anuales 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. El aumento en los rendimientos podría ser de hasta un 20% (AGRIMED, 2008). Esto concuerda con los datos observados por Soto-Rogel *et al.* (2020) que explica una variación positiva de la productividad por altas precipitaciones, temperaturas moderadas, y baja evapotranspiración.

Se presume riesgos y oportunidades para el rubro **ganadero** en la macrozona. Un aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones en verano aumentaría el riesgo de sequía, reduciría la disponibilidad de agua y el crecimiento de praderas, con consecuencias en las utilidades y oferta de trabajo. Pero las mayores temperaturas en invierno podrían favorecer la producción de forraje para el ganado. La incidencia de eventos extremos es más difícil de prever, podría implicar una reducción de daños y mortalidad por frío y nieve, aunque los episodios pueden ser más erráticos (FAO, 2014).

En el ámbito **forestal**, el aumento de precipitaciones y temperaturas en invierno puede afectar las formaciones vegetales típicas en Aysén y en la zona norte de Magallanes. La mayor temperatura y menores lluvias en verano aumentan el riesgo de sequías e incendios (Miranda *et al.*, 2020); así como la aparición de plagas, enfermedades y especies invasoras (FAO, 2014).

La producción de **hortalizas** es muy acotada en Magallanes, y se realiza bajo invernadero. El aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones en verano aumentan las demandas de riego, así como la posibilidad de sequía. Se prevé aparición de plagas y enfermedades en invierno cuando aumentan las precipitaciones. Una mayor intensidad de vientos podría aumentar las pérdidas de infraestructura productiva. Con repercusiones negativas en la economía familiar y seguridad alimentaria. El aumento de precipitación en invierno permitiría acumular más agua para riego, lo cual constituiría una oportunidad. Las mayores temperaturas en invierno podrían favorecer el rendimiento de cultivos, adelantar y ampliar el período de siembra de cultivos de verano (FAO, 2014).

Vulnerabilidad del Sistema Socio-ecológico. Hebel *et al.* (2010) señala que los cambios ambientales experimentados han provocado la pérdida de hábitats de ciertas especies y han afectado la biodiversidad en Magallanes. El cambio climático podría ser un factor adicional para incrementar la pérdida de ecosistemas (FAO, 2014).

Las turberas son un tipo de humedal, rico en materia orgánica, que proveen importantes servicios ecosistémicos a escala global. En Chile las turberas se distribuyen entre la región de la Araucanía y Magallanes, pero esta última posee la mayor superficie. Aunque gran parte se encuentra en áreas protegidas, están sometidas a procesos de degradación causado por especies invasoras, el drenaje y cambios de uso de suelo, y la extracción con fines productivos (combustible, sustratos para viveros, filtros, entre otros). Su degradación conlleva importantes impactos sociales y ambientales, incluida la liberación de carbono a la atmósfera (Domínguez y Vega, 2015). El cambio climático podría acelerar los procesos de degradación de las turberas, liberando importantes cantidades de carbono a la atmósfera. Desde la perspectiva de la adaptación la conservación de este recurso es importante dada su función reguladora del ciclo del agua, la conservación de la biodiversidad, el secuestro y el almacenamiento de carbono.

Las turberas de la zona Sur y Austral de Chile hacen parte de la Contribución Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN) como Solución basada en la Naturaleza (SbN) para la mitigación y adaptación al cambio climático. Sin embargo, en 2019 se exportaron 5000 toneladas de musgo de turberas, convirtiendo a la turba en el producto forestal no maderable de exportación más importante de Chile (Hoyos-Santillán *et al.*, 2021).

En las zonas extremas el aislamiento, tanto geográfico como digital, tiene mayor incidencia en las desigualdades socioeconómicas y en las brechas de género relevantes de subsanar para la adaptación al cambio climático (QSV, 2021). En Magallanes y Aysén la producción ganadera ovina es un rubro dominado por hombres. En Aysén las recolectoras de productos forestales no madereros tienen una presencia destacada (QSV, 2021). Por su parte, en Magallanes la horticultura se desarrolla bajo invernadero por mujeres casi exclusivamente. La actividad sufre frecuentes pérdidas de infraestructura debido a los vientos imperantes (FAO, 2014).

3.3. Temas Transversales

3.3.1. Efectos Económicos del Cambio Climático

El efecto de largo plazo de los cambios climáticos ha sido cuantificado por varios estudios, que indican reducciones moderadas en el PIB silvoagropecuario entre 2 a 5% (CEPAL, 2009, 2012; ODEPA, 2010; Ponce *et al.*, 2014; Melo *et al.*, 2021). No obstante, este efecto puede ser mucho mayor cuando el análisis se centra en una región o comuna (Ponce *et al.* 2014; Melo y Foster, 2021).

La CEPAL (2012) hizo una primera estimación sugiriendo que los ingresos netos del sector aumentarían desde la Región del Biobío hacia el sur, mientras que en el norte los ingresos netos disminuirán. En el peor de los escenarios evaluado (A2), el sector agropecuario perdería el 15% de sus ingresos, mientras que en el escenario optimista (B2) los ingresos aumentarían en un 1%.

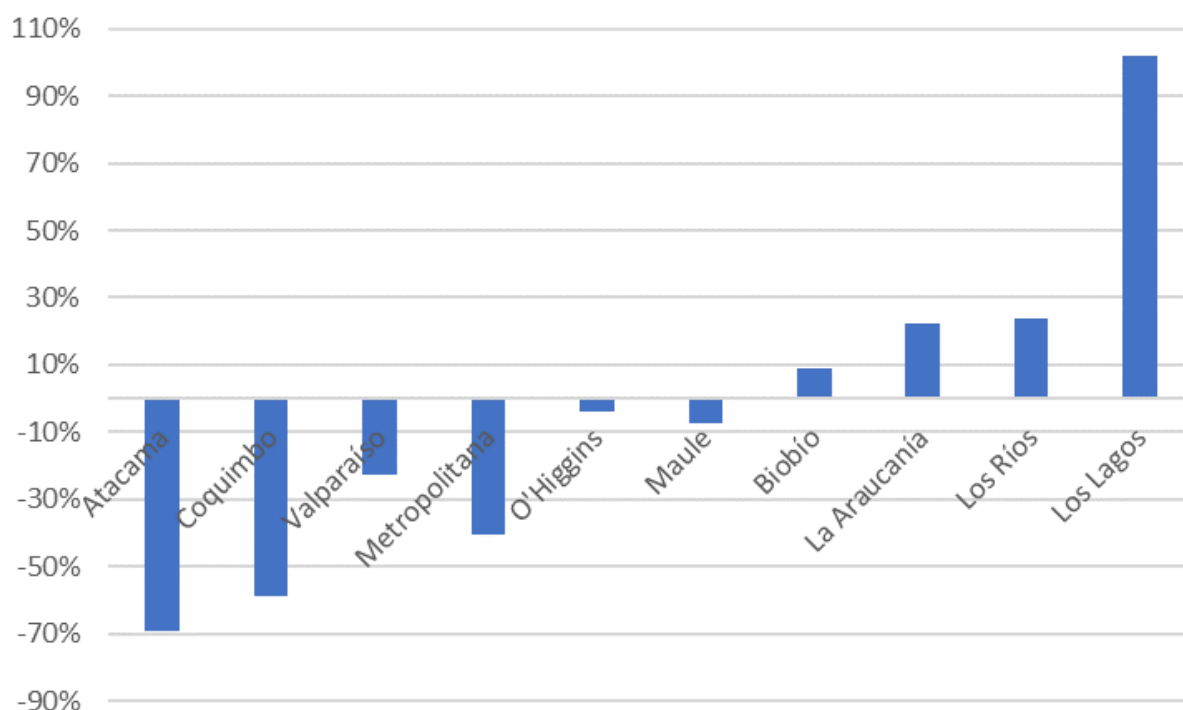
Los trabajos de Ponce *et al.* (2014) y de Melo y Foster (2021) apuntan a entender cómo se reasigna el uso de la tierra productiva¹³ debido a los cambios del clima futuro. Los resultados por región y rubro muestran que no existe una relación directa entre el cambio esperado en los rendimientos agrícolas y el cambio final en la redistribución de las tierras (Ponce *et al.*, 2014; Melo y Foster, 2021). Si bien ambos estudios usaron datos similares para el clima y los rendimientos (AGRIMED, 2008), el trabajo de Melo y Foster (2021) consideró la reducción del riego¹⁴ (elaborado en CEPAL 2012). De este modo, Ponce *et al.* (2014) detectaron una reducción general del 2,7 % en los ingresos netos (60 millones de USD) a nivel nacional en el escenario climático severo (A2) para 2040, mientras que Melo y Foster (2021) estiman una caída de 5% (125 millones de USD) en igual escenario.

Estos cambios distinguen impactos regionales de norte a sur. Las reducciones más notorias se dan en las macrozonas norte, centro-norte, y centro del país, en coincidencia con los mayores cambios proyectados (CEPAL, 2012; Ponce *et al.*, 2014; Melo y Foster, 2021). Ponce *et al.* (2014) señalan que los cambios esperados en los rendimientos agrícolas tienen un impacto menor en la asignación total de tierras, con una disminución de 46 600 ha de tierras agrícolas totales. Sin embargo, los impactos estimados entre regiones son desiguales. En la región de Atacama como la región de Coquimbo las tierras dedicadas a la agricultura disminuyen en un 40%, mientras que para la región Central la disminución es solo del 7,4% en promedio (14.825 ha). En cambio, desde la región del Biobío hacia el sur, la disminución de las tierras agrícolas es insignificante.

¹³ Referida a las modificaciones del uso futuro de la tierra ocasionadas por los cambios proyectados en el clima.

¹⁴ Elaborado con la información de CEPAL (2012) que a su vez utilizó los datos de clima futuro de AGRIMED, usando una base histórica de clima 1960-2000.

Gráfico 2. Cambio porcentual en los Ingresos Netos Agrícolas respecto a línea base por región. Escenario severo cercano medio (A2 al 2040).



Fuente. Elaboración propia a partir de Ponce *et al.* (2014).

Ponce *et al.* (2014) enfatizan consecuencias económicas considerables en todas las regiones, debido a una redistribución sustantiva en el uso de la tierra, afectando principalmente a la zona norte del país (véase gráfico 2). Los autores destacan que, si bien dicho traslado no comprometería la producción agrícola nacional en términos absolutos, producirá afectaciones importantes especialmente en la fruticultura que representan el 31% del total de alimentos exportados; señalando una posible agudización de la inequidad a causa de la redistribución de rentas.

En la misma línea, Melo y Foster (2021) concluyen que los impactos del cambio climático serán atenuados por la adaptación del uso de la tierra, con los principales cultivos de exportación trasladándose hacia el sur. No obstante, el empleo agrícola disminuirá en todos los escenarios de cambio climático; la silvicultura y la agricultura probablemente sufrirían una pérdida en la generación de ingresos netos en escenarios de cambio climático severo (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Cambios en uso de suelo, ingresos netos y empleos en un escenario medio cercano (A240) respecto de la línea de base por actividad productiva.

	Uso de suelo (ha)	Ingreso Neto (millones de USD)	N° Empleados por año (miles empleados)
Cultivos anuales	-37.891	40,7	-0,3
Frutales y viñas	-25.780	-251,5	19,5
Pasturas y forraje	2.867	18,4	16,2
Plantaciones forestales	82.912	67,1	-0,8

Fuente. Melo y Foster (2021). Con datos de proyecciones al 2040 de CEPAL (2012).

Melo *et al.* (2021) sugieren que la adaptación requiere entender los efectos del cambio climático y construir estrategias para los efectos climáticos a corto plazo y el proceso de adaptación autónoma que debiera ocurrir en el largo plazo.

3.3.2. La naturaleza y los ecosistemas

La base productiva del sector depende de la naturaleza y sus servicios ecosistémicos, por lo que la adaptación al cambio climático necesita proyectar cómo estos recursos se pueden modificar a futuro. El deterioro a nivel de ecosistemas presume una disminución de la capacidad adaptativa del sector, en una retroalimentación positiva. No obstante, en general los pronósticos y modelos que proyectan los efectos del cambio climático a futuro consideran los recursos naturales como constantes, omitiendo el deterioro de los ecosistemas (Universidad de Chile, 2019).

Recursos edáficos. En relación con los recursos edáficos, el cambio climático conllevaría un alza de magnitud y extensión de los procesos erosivos. La Cordillera de la Costa y la precordillera de Los Andes son las zonas con mayor riesgo de erosión pluvial, actual y futura, particularmente en la Región del Biobío por la degradación de los suelos que la afectan actualmente. La reducción de la producción de praderas naturales, proyectada al 2040 y en adelante, agudizaría los procesos erosivos, haciendo mayor el riesgo pérdida de suelo en las zonas de la cordillera de la costa y precordillera (AGRIMED 2008).

Gran parte de Chile sufre de problemas de degradación de suelos, se calcula que esta podría ser un 50% del territorio (CEPAL, 2012). La manifestación más importante de la degradación es la erosión, pero también se incluyen el sellado y la compactación de suelo, pérdida de materia orgánica, fertilidad y biodiversidad, acidificación y contaminación, entre otras. Todas ellas relacionadas con prácticas silvoagropecuarias inadecuadas tales como cultivo en laderas, sobrepastoreo, uso excesivo de agroquímicos, laboreo excesivo, y prácticas de riego inadecuadas (Universidad de Chile, 2019). La ampliación de la frontera agropecuaria hacia el sur y la costa debido a los cambios en el clima, pondrán presión sobre el recurso haciendo que el riesgo de erosión crezca. Se recomienda la protección de las cabeceras de las cuencas, donde la pérdida de

suelos podría ser mayor debido al aumento de la escorrentía invernal, a su desprotección y a la posible intensificación de la agricultura (Santibáñez, 2018).

Recursos Hídricos. Los ríos de Chile tienen un régimen predominantemente nival en el norte y centro, pasan por uno de tipo mixto, entre las regiones de Maule y Ñuble, para perfilarse como pluvial desde Biobío al sur. Se observan signos de estrés desde el río Aconcagua al norte, mientras que al sur de la región de O'Higgins la demanda está por debajo de la oferta. En las últimas décadas, en verano han comenzado a aparecer signos de deficiencia hídrica hasta la región de Los Ríos y, los caudales de los principales ríos han sido más erráticos (Santibáñez, 2018). Vicuña *et al.* (2020) proyectan una disminución de caudales anuales en casi todos los escenarios climáticos futuros, afectando la disponibilidad de los recursos hídricos. Santibáñez (2018) señala que las aguas subterráneas son particularmente importantes para la agricultura del norte y centro-norte del país. Sin embargo, "la mayor parte de los acuíferos se encuentran sobre exigidos debido a la inexistencia de modelos hidrogeológicos operacionales que ayuden a racionalizar la gestión de las aguas subterráneas". Esto se suma a las limitaciones aparejadas a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, una parte de la cual es responsable la agricultura.

Gran parte de la zona de producción frutícola actual se verá impactada por una menor disponibilidad del recurso hídrico, un 60% de la cual se concentra entre las regiones de Coquimbo al Maule. Para el periodo 2000-2019, se registra un aumento de la superficie de producción frutal, con arándano, avellano, ciruelo, nogal, olivo, palto, manzano rojo y vid de mesa, con un consecuente incremento en el consumo de agua para dicha producción. A partir del año 2015, la sequía ha provocado una reducción de la superficie dedicada a la fruticultura, sin que haya aparejado una reducción del consumo de agua en las plantaciones (Universidad de Chile, 2019). En el país se riega casi la mitad de las tierras con potencial de riego (entre 1,1 a 1,3 millones de hectáreas) (Universidad de Chile, 2019), por lo cual los temas de eficiencia de uso del recurso hídrico y la protección de este, con medidas concretas para cuidar la calidad del recurso y promover la recarga de los acuíferos, serán claves en la adaptación al cambio climático.

Ecosistemas. Los hábitats naturales esclerófilos en los agroecosistemas semiáridos mediterráneos de Chile central se han ido perdiendo por la agricultura intensiva y, el aumento de las áreas urbanas (Pliscoff y Uribe, 2020; Rodríguez *et al.*, 2021). También, en las últimas décadas, el paisaje de la zona centro-sur de Chile ha sufrido una rápida transformación. Cerca de un 20% del bosque nativo ha sido reemplazado por matorrales y pastizales degradados, zonas agrícolas y plantaciones forestales de especies exóticas (Gonzales *et al.*, 2020). Si bien estos cambios no pueden ser atribuidos únicamente al cambio climático, la degradación ecosistémica determina a su vez una mayor sensibilidad climática y reduce la capacidad adaptativa.

Los servicios ecosistémicos han ido decayendo debido a la alteración de los sistemas naturales globalmente, esto incluye la declinación de los insectos polinizadores y la pérdida de especies nativas (Marquet *et al.*, 2019). El cambio climático afectará la contribución que la naturaleza hace

a las personas y servicios ecosistémicos socavando, entre otros, las bases que sustentan la agricultura y la economía.

Los polinizadores son afectados por el cambio climático mediante varios mecanismos: i) cambios en la distribución de las plantas con las que interactúan y el subsiguiente desajuste espacial, ii) desajustes temporales entre la floración de las plantas y la actividad de los polinizadores; iii) pérdida y fragmentación del hábitat; iv) incremento de las invasiones biológicas (Rodríguez *et al.*, 2021; Vieli *et al.*, 2021).

En Chile los polinizadores naturales incluyen 424 especies de abejas nativas con endemismo del 70%, cerca de 170 especies de mariposas diurnas, 8 especies de colibríes y muchos dípteros (Ruz y Montalva, Peña y Ugarte citados por Marquet *et al.*, 2019). Pero hay datos de polinización solo para alrededor de 260 especies de plantas, lo que corresponde a menos del 10% de la flora nativa total de Chile Central, hay una notoria falta de estudios en el país pese a su relevancia ecosistémica (Medel *et al.*, 2018 citado por Marquet *et al.*, 2019).

La producción de almendros, manzanas, perales, frutales de carozo, paltas, y semillas de hortalizas y raps, requieren el servicio de polinización (Marquet *et al.*, 2019). Rodríguez *et al.* (2021) señalan que la agricultura convencional se ha basado en el uso de polinizadores exóticos comerciales, como abejas y abejorros. Los autores llaman a promover su coexistencia con el conjunto de abejas nativas en escenarios de cambio climático, con particularidad en las macrozonas centro y centro-norte (correspondiente al semiárido de Chile Central). Los autores recomiendan minimizar las interacciones negativas manteniendo o restaurando hábitats seminaturales que actúan como reservorios de especies de abejas nativas. Marquet *et al.* (2019) reconocen experiencias para el establecimiento de parches de vegetación nativa¹⁵ en los cultivos favoreciendo el servicio de los polinizadores nativos, pero enfatizan en la necesidad de profundizar su estudio en el país.

De acuerdo con el informe país sobre medio ambiente, los problemas de gestión ambiental de la industria forestal permanecen, no sólo por la destrucción ambiental causada por los efluentes de las plantas de celulosa en el pasado, sino también por la presión que la expansión de las plantaciones ejerce en la suplantación del bosque nativo. Aun cuando se reconocen mejoras mediante la certificación forestal (Universidad de Chile, 2019). Hoyos-Santillán *et al.* (2021) mencionan que las plantaciones forestales (3,1 millones de ha) pasaron de ser un sumidero de carbono a una fuente neta de carbono. Esto debido a la cosecha que se produce periódicamente (12-18 años), las prácticas de corte y quema, y los incendios forestales extensos y severos que han impactado grandes áreas de plantaciones industriales. En los escenarios climáticos de aumento de sequía y riesgo de incendio, los autores conminan a promover soluciones basadas

¹⁵ Mediante plantación con especies nativas arbóreas u otras, y más comúnmente dejando remanentes de bosque nativo y favoreciendo su recuperación.

en la naturaleza como sumidero de carbono, propendiendo a desarrollar paisajes resilientes, capaces de garantizar el secuestro de carbono a largo plazo sin comprometer la funcionalidad ecológica de diversos hábitats y ecosistemas de bosques nativos. Todo lo cual define la capacidad de adaptación de los ecosistemas y de la producción silvoagropecuaria que depende de ellos.

3.3.3. Agricultura Familiar y Medios de Vida

El cambio climático afectará desproporcionadamente a las agricultoras y agricultores pequeños, en particular a los situados en zonas de áridas y de secano (desde la macrozona norte a la macrozona centro) que dependen de las lluvias para su producción; provocando que la agricultura deje de constituir el medio de vida principal para muchos productores y productoras familiares (FAO, 2014b). La variabilidad climática es una fuente importante de riesgo, la evidencia es creciente en señalar el vínculo entre riesgo climático con el alcance y la persistencia de la pobreza, particularmente en zonas áridas (Hansen *et al.*, 2019). Por eso las políticas enfocadas superar la pobreza y manejar los riesgos climáticos son complementarias (FAO, 2014b; Hallegate *et al.*, 2017).

La CEPAL (2012) pronosticó en Chile una contracción de la demanda de mano de obra (5%) y procesos migratorios del norte-centro al sur del país, debido al impacto económico del cambio climático en el sector silvoagropecuario. Los productores y productoras de subsistencia, las pequeñas agricultoras y agricultores sin riego, las comunidades indígenas, las mujeres agricultoras y temporeras, así como los jóvenes rurales son probablemente los más vulnerables. La adaptación del sector SAP, requiere diseñar medidas atinentes a los grupos más vulnerables del país.

Esta mayor vulnerabilidad de la agricultura familiar (AF¹⁶) deriva de las limitaciones de capital de trabajo, estar situados en ecosistemas más frágiles y su mayor dependencia de la producción; por lo que requiere de políticas diferenciadas. Desde la perspectiva de la resiliencia, la agricultura familiar puede aportar a la adaptación mediante los conocimientos que ha desarrollado para la conservación de la agrobiodiversidad, las técnicas de bajo consumo de insumos que aportan a la mitigación y sus estrategias colaborativas para lidiar con los eventos climáticos (FAO, 2014b).

En los hogares rurales ha disminuido el ingreso agrícola y aumentado el no agrícola. Si bien esto ha mejorado la condición de las zonas rurales, todavía un 25,5% de los chilenos rurales tienen brechas de pobreza, infraestructura, acceso a educación y salud de calidad, respecto a las comunas urbanas. Del millón de personas que trabajan en actividades agrícolas, subsiste el desafío de contar con un marco laboral moderno (ODEPA, 2019), que aborde el aumento de la

¹⁶ De acuerdo con la FAO la Agricultura Familiar se caracteriza principalmente por el predominante uso de la fuerza de trabajo familiar, el acceso limitado a los recursos tierra, agua y capital, la estrategia de supervivencia de ingresos múltiples y por su heterogeneidad.

edad y escolaridad de la fuerza laboral, la mayor participación de las mujeres y el incremento de trabajadores migrantes (Valdés *et al.*, 2022).

La Agricultura Familiar Campesina (AFC) en Chile es un grupo heterogéneo, que comprende un rango de productores y productoras que van desde la subsistencia hasta medianos empresarios (Berdegú y López, 2018). El Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) del MINAGRI, es la organización que vela por el desarrollo de la AFC¹⁷. Valdés *et al.* (2022) comentan la reconfiguración del ámbito rural, que conlleva a una cada vez menor participación de la agricultura campesina en la economía rural y una creciente fuente de ingresos no-agrícolas para los hogares rurales, incluido gran parte de los usuarios de INDAP. Así se reconocen nuevos requisitos para el desarrollo de los territorios rurales, entre ellas la conectividad digital y los aspectos de sostenibilidad ambiental.

La AFC de subsistencia es la más compleja por su vínculo con la pobreza (Valdés *et al.*, 2022). Aunque el país ha avanzado en reducir este indicador, hay regiones cuyos niveles de pobreza rural están muy por encima del promedio nacional (13,8%) (ODEPA con datos CASEN 2020). Este es el caso de la macrozona norte, donde sobresalen la región de Antofagasta (31%) y de Tarapacá (26%). Más al sur la región de la Araucanía (23%) y las de Biobío (19,1%) y Ñuble (16,6%). Tanto en la macrozona norte, como en Biobío y la Araucanía, los pueblos indígenas presentan una mayor vulnerabilidad social (ver gráfico 2).

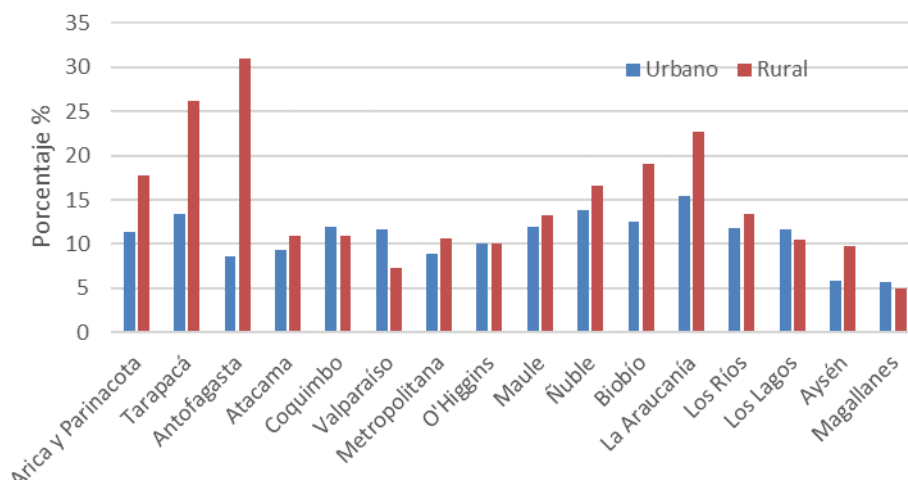
La inequidad del país en la distribución de la tierra y el tamaño de sus predios es una de las más altas (0,91), lo que quiere decir que una gran cantidad de predios pequeños concentran una proporción muy menor de la tierra productiva (Escobar *et al.*, 2016 citado por Universidad de Chile, 2019). Entre 1997 y 2007, las explotaciones menores se han reducido principalmente en zonas de secano y zona central de Chile, lo cual se explica por ventas de tierra hacia explotaciones mayores como por la expansión urbana (Universidad de Chile, 2019).

La agricultura de secano ha quedado rezagada, ya sea por la concentración de los esfuerzos en favor de una agricultura de alta productividad y competitiva, como por el impacto negativo que ha tenido la agudizada sequía de los últimos años. En el secano la agricultura está siendo abandonada y la ganadería ha ido progresivamente deteriorando el suelo (Universidad de Chile, 2019). El deterioro de los recursos naturales, así como los eventos climáticos extremos, como la sequía y otros, reducen la subsistencia a largo plazo de las pequeñas agricultoras y agricultores; por la pérdida de activos productivos y afectación de sus medios de vida (FAO, 2010; Hansen *et*

¹⁷ La misión de INDAP es “contribuir al desarrollo económico sostenible y a la valorización de la Agricultura Familiar Campesina y sus organizaciones, mediante una acción de fomento tendiente a fortalecer el capital humano, social, productivo, natural y cultural, de hombres, mujeres, jóvenes y pueblos originarios en los territorios”.

al., 2019). La incertidumbre se convierte en un desincentivo para invertir en adaptación por parte de las agricultoras y agricultores y también por los gobiernos (Hansen *et al.*, 2019).

Gráfico 2. Nivel de pobreza como porcentaje de la población urbana y rural por región.



Fuente. Elaboración propia con datos CASEN 2020 (en ODEPA 2022).

El INDAP condujo instancias de consultas sobre la adaptación al cambio climático en la AFC, donde se evidenciaron cambios observados por los productores y las productoras, y que sus impactos potenciales así como su gestión son temas de preocupación y prioridad por parte de estos. En la actualidad el efecto del clima en la disponibilidad de agua y su impacto en la producción es un aspecto observado en gran parte del país. Hay también un reconocimiento que, en un escenario de mayor aridificación, aumento de la variabilidad climática y de los eventos climáticos extremos (como sequía, granizadas, lluvias de gran intensidad, tormentas, olas de calor, entre otros), casi todos los rubros de producción y zonas del país se afectarán, pero que las características de los productores y las productoras familiares los hace más vulnerables. Transversalmente, la gestión del agua y del riesgo asociado a la variabilidad climática se reconocen como problemas. Aunque la ponderación por parte de los productores y las productoras varía entre regiones, demostrando riesgos locales diferenciados (INDAP, 2021).

3.3.4. Mujeres Rurales

Desde una perspectiva de vulnerabilidad social, se constata que en Chile se ha incrementado el índice de feminidad de la pobreza. Es decir, aunque hay menos hogares pobres en el país, éstos concentran una mayor proporción de mujeres que de hombres (CEPAL 2019 citado por QSV, 2021).

La CEPAL (2012) indica que la caída de la demanda de mano de obra incide mayormente en las mujeres. En frutales el requerimiento de trabajadoras cae un 24% en el escenario severo medio

(A2 al 2070). En las praderas y forrajeras, el requerimiento de trabajo femenino cae en todos los escenarios, y en el rubro forestal, el requerimiento se incrementa en todos los escenarios.

De acuerdo con QSV (2021) en el ámbito rural, las más vulnerables al cambio climático son las “agricultoras del secano interior y del secano costero, entre las regiones de Valparaíso y Biobío; las personas agricultoras de los valles transversales y las personas ganaderas de la zona de secano. La amenaza transversal principal para estos grupos está vinculada con los recursos hídricos, su disponibilidad y el grado de eficiencia en su uso y manejo”. Un factor de sensibilidad es que las mujeres tienen limitado acceso a la tenencia de la tierra y a su gestión, ellas controlan sólo el 26% del total de predios silvoagropecuarios del país (QVS, 2021, datos Censo 2007).

El estudio de brechas de género para la adaptación al cambio climático constató la urgencia de tomar medidas de adaptación a nivel país en el sector silvoagropecuario y en específico, en la agricultura familiar campesina (AFC), donde las mujeres son las protagonistas. Todos los territorios y rubros silvoagropecuarios priorizados y estudiados informan efectos negativos del cambio climático. En este escenario, los hombres han buscado nuevos empleos y las mujeres se han quedado en los predios con una doble carga: el trabajo reproductivo al interior del hogar y el trabajo productivo que antes era compartido (QVS, 2021).

El estudio concluye que las situaciones más críticas corresponden a la macrozona Centro-Norte con la ganadería caprina; el secano costero del Centro-Norte y Centro, principalmente los territorios alrededor de las grandes urbes (alrededores de Santiago) que afecta a la producción de hortalizas; Centro-Sur con cultivos anuales (QVS, 2021).

Interesantemente, un estudio comparativo entre los Censos Agropecuarios de 1997 y 2007 resaltó que el número de propiedades productivas en manos de mujeres habría aumentado en un 31%, como consecuencia de la aplicación de programas de empoderamiento de la mujer en el sector (Echeñique y Romero citado por Universidad de Chile, 2019).

Por otro lado, las mujeres lideran el camino hacia soluciones más equitativas y sostenibles para el cambio climático, las innovaciones y la experiencia de las mujeres han transformado vidas y medios de vida, aumentando la resiliencia climática y el bienestar general. Las iniciativas ambientales de Chile dan cuenta de ese liderazgo femenino (MMA, 2022). Las mujeres, sin embargo, poseen brechas importantes de acceso y la propiedad de los recursos naturales, que afectan su subsistencia. La baja posesión de derechos de agua por las mujeres (17%) da cuenta de su mayor vulnerabilidad en las zonas rurales (MMA, 2022).

3.3.5. Comunidades Indígenas

Chile posee una diversidad cultural, con diez pueblos originarios y un pueblo tribal afrodescendiente reconocido¹⁸, los cuales presentan desigualdades estructurales en términos socioeconómicos y de género lo que, a su vez, determina una mayor vulnerabilidad climática (QVS, 2021). El país ha implementado una serie de acciones afirmativas en favor de los pueblos indígenas, a raíz de la ratificación del Convenio de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) 169.

Parraguéz *et al.* (2016) estudiaron los municipios andinos de la Región de la Araucanía, entre 1990 hasta 2015, concluyendo que las comunidades mapuches poseen mayor vulnerabilidad climática. Se comprueban tendencias de escasez hídrica, menor producción agrícola, invasión de plantas, colonización de plantas y desplazamientos en altitud, mayor presión sobre los ecosistemas andinos y pérdidas de conocimientos y prácticas tradicionales mapuches; lo cual cambia el contexto de los medios de vida de las comunidades. Los autores solicitan un reconocimiento de las vulnerabilidades específicas de los pueblos indígenas a nivel nacional para enfrentar el cambio climático.

ONU Mujeres (2018) analizó la vulnerabilidad de las mujeres indígenas del norte frente al cambio climático, encontrando que la disminución de recursos hídricos es percibida como la principal amenaza para las actividades agrícolas, ganaderas y conexas (turismo, artesanías). Lo que representa un doble impacto, económico y cultural, por cuando dichas actividades son valoradas tanto en términos económicos y productivos como identitarios. Se percibe una dificultad creciente de acceso a mercados, debido a los cambios ambientales, la pérdida de competitividad y a las regulaciones. Asimismo, las mujeres indígenas se ven forzadas a tomar roles que antaño no tenían y actuar fuera de su repertorio tradicional. Este estudio concluye que las mujeres indígenas rurales tienen más riesgo de impactos negativos que las mujeres indígenas urbanas y las mujeres no indígenas. ONU Mujeres llama a subsanar las brechas de conocimiento para visibilizar las realidades específicas de las mujeres indígenas en la adaptación al cambio climático.

El proceso de actualización del Plan ha exigido atender la susceptibilidad de los sistemas de producción a los cambios en el clima, caracterizar los aspectos ambientales y los elementos socioeconómicos de los grupos más vulnerables que inciden en una mayor predisposición a ser afectado. Las instancias de participación para la actualización del PANCC SAP han puesto una particular atención al enfoque de género y la participación de los pueblos originarios y

¹⁸ Mediante la Ley Indígena (N° 19.253) y su modificación (Ley N° 21.273), se reconoce como principales etnias indígenas de Chile a: la Mapuche, Aimara, Rapa Nui o Pascuenses, la de las comunidades Atacameñas, Quechuas, Collas, Diaguitas y Changos del norte del país, las comunidades Kawashkar o Alacalufe y Yámana o Yagán de los canales australes.

comunidades locales, como a sus condiciones de vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático (MINAGRI, 2022).

BORRADOR

4. REFLEXIONES FINALES

En Chile se anticipan una serie de cambios en el sector SAP tanto en rendimientos, patrones fenológicos de los cultivos, pérdida de idoneidad para ciertos tipos de producción convencional y desplazamiento de los rubros de exportación. La ganadería caprina será la más afectada, mientras que la bovina podría mejorar en la zona sur, a raíz de la condición de las praderas (AGRIMED, 2008; CEPAL, 2012; Meza, 2017; Meza *et al.*, 2020, Melo y Foster, 2021). Los incendios afectarán a las plantaciones forestales más notoriamente (Miranda *et al.*, 2020). Se esperan impactos asociados a los ecosistemas naturales, incluido los servicios ecosistémicos que aportan al sector (Marquet *et al.*, 2019).

Si bien los rendimientos en general son decrecientes, esto podrá compensarse a escala macroeconómica con ajustes y traslado de zonas de producción. Sin embargo, esto podría conllevar altos costos sociales para los grupos más vulnerables, como agricultoras y agricultores familiares, pueblos indígenas y mujeres.

La adaptación del sector requiere subsanar ciertas brechas de conocimiento, particularmente el comportamiento de las plagas y enfermedades es un ámbito que cuenta con pocos trabajos científicos y técnicos (MMA, 2021a). Si bien hay avances sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad, estos se concentran en especies individuales, y en menor medida a nivel de ecosistemas y sus servicios (Marquet *et al.*, 2019; MMA, 2021) de los que depende la agricultura, como la polinización. Asimismo, se requiere de incluir a las macrozonas norte y austral en futuros estudios sobre el riesgo que impondrá el cambio climático en los rubros de producción.

La revisión de los riesgos y vulnerabilidad para el sector se hizo en base a las macrozonas definidas por el PANCC SAP. Es importante notar que las agrupaciones usadas para los escenarios climáticos y previos análisis no coinciden con esta división del país, por lo que se recomienda revisar estas clasificaciones para asegurar la inter-operatividad y comparación entre estudios e instrumentos de planificación.

Como se ha revisado la metodología de aproximación de riesgo y de vulnerabilidad no está zanjada en el país, aunque el proyecto ARCLIM ha sido un excelente ejercicio para establecer una metodología común y comparable aún se necesita seguir desarrollándola. A nivel internacional, esta es también una discusión en curso. Si bien hay una tendencia a usar la nomenclatura del IPCC, se dan diferentes interpretaciones a los componentes del riesgo, generando heterogeneidad metodológica (Crane *et al.*, 2017). Además, los análisis normalmente están sujetos a la disponibilidad de datos, la cual puede ser limitada en algunas regiones del país.

Lo ideal es involucrar a los actores incluso en la definición de los criterios de riesgo y vulnerabilidad a ser evaluados (Kissinger, 2014). En el sector se requiere avanzar en encontrar

indicadores de sensibilidad y la capacidad adaptativa que permitan hacer distinciones entre tipos de producción, las personas dedicadas a la producción y los territorios.

Igualmente, el país requiere contar con herramientas de simulación del comportamiento productivo del sector SAP ajustadas a la realidad nacional, que sean públicas y de acceso abierto para los investigadores que requieran utilizarlas. En opinión de la autora, el país necesita invertir en la formación y atracción de profesionales con las capacidades requeridas, particularmente en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) por su misión y presencia regional, además de fortalecer la base de conocimiento con socios de investigación, incluida la academia, en las regiones.

Con respecto al informe de brechas institucionales, este no permite hacer distinciones sobre las capacidades institucionales para la adaptación. Si bien se diagnostican las necesidades capacitación, esto está acotado al CTR-CC, con lo cual no se pueden hacer inferencias.

La adaptación al cambio climático consiste esencialmente en imaginar y tratar de diseñar opciones para un futuro más resiliente y adaptado. Nalau y Cobb (2022) analizaron diferentes estudios sobre el uso de ejercicios de visión futura y escenarios para la planificación encontrando que, en general, se da por sentado un alto nivel de experiencia en los participantes para poder interpretar escenarios climáticos, visualizar diferentes futuros y luego emitir juicios sobre las estrategias de adaptación deseables. Aspecto que se recomienda considerar en futuros ejercicios de planificación, de modo de conducir una actualización apropiada entre los participantes.

Se reconocen procesos de adaptación en curso en el país, pero se requiere estudiar y profundizar sobre los hallazgos más notales. Particularmente, con el fin de evidenciar los procesos de adaptación transformacional que han generado sistemas agrícolas más resilientes y mejorado la gobernanza para el accionar climático. Esto puede dar luces de cómo la política pública puede apoyar a escalar procesos adaptativos que están ocurriendo localmente con éxito, o bien cómo evitar consecuencias indeseadas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIMED (s.f.) Sistema de gestión de riesgos agroclimáticos para la adaptación a nuevos escenarios climáticos. Recuperado 12 junio 2022 de <http://www.fondefriesgos.agrimed.cl/contenido.asp?Id=1&Titulo=Informaci%F3n%20del%20Proyecto>

AGRIMED. (2008). Análisis de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a escenarios de Cambio Climático. <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/An%C3%A1lisis-de-Vulnerabilidad-Silvoagropecuario-cap%C3%Adulo-4-Informe-y-resumen-ej.pdf>

AGRIMED. (2017). Atlas Agroclimático de Chile. <http://www.agrimed.cl/contenido.asp?Id=9&Titulo=Atlas%20Agroclimatico%20de%20Chile>

Altamirano, A., Miranda, A., Aplin, P., Carrasco, J., Catalán, G., Cayuela, L., Fuentes-Castillo, T., Hernández, A., Martínez-Harms, M. J., Peluso, F., Prado, M., Reyes-Riveros, R., Van Holt, T., Vergara, C., Zamorano-Elgueta, C., & Di Bella, C. (2020). Natural forests loss and tree plantations: Large-scale tree cover loss differentiation in a threatened biodiversity hotspot. *Environmental Research Letters*, 15(12), 124055. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abca64>

Alvarez-Garretón, C., Boisier, J. P., Garreaud, R., Seibert, J., & Vis, M. (2021). Progressive water deficits during multiyear droughts in basins with long hydrological memory in Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(1), 429–446. <https://doi.org/10.5194/hess-25-429-2021>

Arellano, G., y Silva, C. (2020). Personas vinculadas al sector agrícola en zonas rurales: Migrantes climáticos inminentes. *Revista de Derecho Ambiental*, 14, 229–256. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2020.54155>

Baeza, A., & Janssen, M. A. (2018). Modeling the decline of labor-sharing in the semi-desert region of Chile. *Regional Environmental Change*, 18(4), 1161–1172. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1243-0>

Bennett, N. J., Blythe, J., Tyler, S., & Ban, N. C. (2016). Communities and change in the anthropocene: Understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change*, 16(4), 907–926. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0839-5>

Berdegú, J. A., & López, D. (2018). Mediana agricultura y agricultura familiar en Chile hacia el año 2030. En *Agricultura Chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030* (p. 24). ODEPA.

Birkmann, J., Feldmeyer, D., McMillan, J. M., Solecki, W., Totin, E., Roberts, D., Trisos, C., Jamshed, A., Boyd, E., & Wrathall, D. (2021). Regional clusters of vulnerability show the need for transboundary cooperation. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094052. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1f43>

Birkmann, J., Jamshed, A., McMillan, J. M., Feldmeyer, D., Totin, E., Solecki, W., Ibrahim, Z. Z., Roberts, D., Kerr, R. B., Poertner, H.-O., Pelling, M., Djalante, R., Garschagen, M., Leal Filho, W., Guha-Sapir, D., & Alegría, A. (2022). Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning. *Science of The Total Environment*, 803, 150065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150065>

Bofill, P. (2022). Aumento de la ambición en la adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe: Necesidad de métricas comunes (p. 99) [Documento de Proyecto]. CEPAL.

Bopp, C., Engler, A., Poortvliet, P. M., & Jara-Rojas, R. (2019). The role of farmers' intrinsic motivation in the effectiveness of policy incentives to promote sustainable agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 244, 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.107>

Bravo-Ureta, B. E., Jara-Rojas, R., Moreira López, V. H., Riveros-Villegas, P., Bravo-Ureta, B. E., Jara-Rojas, R., Moreira López, V. H., & Riveros-Villegas, P. (2021). Data challenges in the measurement of agricultural productivity: Lessons from Chile. *International journal of agriculture and natural resources*, 48(3), 126–148. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i3.2318>

Cai, W., Cowan, T., & Thatcher, M. (2012). Rainfall reductions over Southern Hemisphere semi-arid regions: The role of subtropical dry zone expansion. *Scientific Reports*, 2(1), 702. <https://doi.org/10.1038/srep00702>

Cárcamo, J., & Cramon-Taubadel, S. von. (2016). Assessing small-scale raspberry producers' risk and ambiguity preferences: Evidence from field-experiment data in rural Chile. 37.

CCG-UC. (2022). Escenarios climáticos para Chile: Evidencia desde el Sexto Informe del IPCC.

Censo Agropecuario. (s. f.). Default. Recuperado 22 de marzo de 2022, de <http://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s. f.). Observatorio del Principio 10 [Text]. Observatorio del Principio 10. Recuperado 26 de abril de 2021, de <https://observatoriop10.cepal.org/es>

CEPAL. (2012). La economía del cambio climático en Chile. Santiago, Chile.

CONAF. (2015). Chile Land Degradation Report. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/ldn_targets/chile-ldn-country-report.pdf

Contreras, E., Grez, J., Sánchez, S., Alcalde, J. A., Neri, D., & Gambardella, M. (2019). Low night temperatures during the early growth phase enhance flowering in primocane shoots of red raspberries (*Rubus idaeus* L.). *Journal of Berry Research*, 9(3), 499–514. <https://doi.org/10.3233/JBR-190388>

CR2. (2015a). El impacto agrícola de la sequía en el sur (Revista del Campo) | Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia—CR2. <https://www.cr2.cl/el-impacto-agricola-de-la-sequia-en-el-sur/>

CR2. (2015b). Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015, una lección para el futuro | (CR)2 | Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. <https://www.cr2.cl/informe-a-la-nacion-la-megasequia-2010-2015-una-leccion-para-el-futuro/>

CR2. (2018). Marco de evaluación de vulnerabilidad. Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas.

Crane, T. A., Delaney, A., Tamás, P. A., Chesterman, S., & Ericksen, P. (2017). A systematic review of local vulnerability to climate change in developing country agriculture. *WIREs Climate Change*, 8(4). <https://doi.org/10.1002/wcc.464>

del Pozo, A., Brunel-Saldías, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. A., Jara-Rojas, R., & Molina-Montenegro, M. A. (2019). Climate Change Impacts and Adaptation Strategies of Agriculture in Mediterranean-Climate Regions (MCRs). *Sustainability*, 11(10), 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>

del Pozo, A., Engler, A., Meza, F., del Pozo, A., Engler, A., & Meza, F. (2021). Agricultural sciences in Chile: Institutions, human resources, investment and scientific productivity. *Chilean journal of agricultural research*, 81(4), 664–673. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000400664>

Domínguez D., E., & Vega V., D. (eds). (2015). Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/3576>

Donoso, G. (Ed.). (2018). *Water Policy in Chile* (Vol. 21). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76702-4>

Engler, A., Rotman, M. L., & Poortvliet, P. M. (2021). Farmers' Perceived Vulnerability and Proactive versus Reactive Climate Change Adaptation in Chile's Maule Region. *Sustainability*, 13(17), 9907. <https://doi.org/10.3390/su13179907>

Environment, U. N. (2021, octubre 31). Informe sobre la Brecha de Adaptación 2021. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-adaptacion-2021>

FAO. (2014). Adaptación del sector silvoagropecuario a la variabilidad y el cambio climático en la región de Magallanes y de la Antártica Chilena: Experiencia de cooperación en la planificación regional. Por Laura E. Meza.

FAO. (2017a). Abordar la agricultura, la silvicultura y la pesca en los Planes Nacionales de Adaptación—Directrices complementarias. 134.

FAO. (2017b). Gestión integral del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria en países del CAS: Capacidades técnicas e institucionales—Chile. Por Laura E. Meza. Publicación FAO e IICA.

FAO. (2021). Chile—Generando resiliencia agrícola ante los riesgos climáticos. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7062es>

Fedele, G., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Hannah, L., & Hole, D. G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science & Policy*, 101, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>

Fernandez, E., Caspersen, L., Illert, I., & Luedeling, E. (2021). Warm winters challenge the cultivation of temperate species in South America—A spatial analysis of chill accumulation. *Climatic Change*, 169(3), 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03276-w>

Fernandez, E., Whitney, C., Cuneo, I. F., & Luedeling, E. (2020). Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century. *Climatic Change*, 159(3), 423–439. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02608-1>

Fernández, F. J., Blanco, M., Ponce, R. D., Vásquez-Lavín, F., & Roco, L. (2019). Implications of climate change for semi-arid dualistic agriculture: A case study in Central Chile. *Regional Environmental Change*, 19(1), 89–100. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1380-0>

Gambardella, M., Bañados, P., Sánchez, S., Grez, J., Contreras, E., & Sagredo, B. (2016). New raspberry cultivars for Chile: First releases from the local breeding program. *Acta Horticulturae*, 1117, 19–24. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1117.4>

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2020). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421–439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>

GIZ, & EURAC. (2017). Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. <https://www.adaptationcommunity.net/publications/risk-supplement-to-the-vulnerability-sourcebook/>

GIZ. (2017). Vulnerability Source Book. https://www.adaptationcommunity.net/download/va/vulnerability-guides-manuals-reports/vuln_source_2017_EN.pdf

Gobierno de Chile. (2020). Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile. Actualización 2020. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Espanol-21-julio.pdf>

González U, J., & Velasco H, R. (2008). Evaluation of the Impact of Climatic Change on the Economic Value of Land in Agricultural Systems in Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 68(1), 56–68. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392008000100006>

González, M. E. (2020). Incendios forestales en Chile: Causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.

González, M. E., Gómez-González, S., Lara, A., Garreaud, R., & Díaz-Hormazábal, I. (2018). The 2010–2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south-central Chile. *Ecosphere*, 9(8), e02300. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2300>

Hadarits, M., Santibañez, P., & Pittman, J. (Eds.). (2016). Drought risks and opportunities in the Chilean grape and wine industry: A case study of the Maule Region. En *Vulnerability and Adaptation to Drought on the Canadian Prairies* (1a ed.). University of Calgary Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv6gqww1>

Hadarits, M., Smit, B., & Diaz, H. (2010). Adaptation in Viticulture: A Case Study of Producers in the Maule Region of Chile. *Journal of Wine Research*, 21(2–3), 167–178. <https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530109>

Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C. C., Min, A., Renaud, F. G., Walz, Y., Siebert, S., & Sebesvari, Z. (2019). Drought vulnerability and risk assessments: State of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*, 14(8), 083002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab225d>

Hasegawa, T., Wakatsuki, H., Ju, H., Vyas, S., Nelson, G. C., Farrell, A., Deryng, D., Meza, F., & Makowski, D. (2022). A global dataset for the projected impacts of climate change on four major crops. *Scientific Data*, 9(1), 58. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01150-7>

Helman, M. (2015). Perceptions of climate change and water governance vulnerability in the Aysén region of Chile. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers. <https://scholarworks.umt.edu/etd/4567>

Hoyos-Santillan, J., Miranda, A., Lara, A., Sepulveda-Jauregui, A., Zamorano-Elgueta, C., Gómez-González, S., Vásquez-Lavín, F., Garreaud, R. D., & Rojas, M. (2021). Diversifying Chile's climate action away from industrial plantations. *Environmental Science & Policy*, 124, 85–89. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.06.013>

IADB. (2021). Options to achieve carbon neutrality in Chile: An assessment under uncertainty.

INDAP. (2021). Informe Taller “Modernización del Agro: Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura Familiar Campesina”. INDAP.

Jara-Rojas, R., Canales, R., Gil, J. M., Engler, A., Bravo-Ureta, B., & Bopp, C. (2020). Technology adoption and extension strategies in mediterranean agriculture: The case of family farms in Chile. *Agronomy*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy10050692>

Joint Research Centre (European Commission), Hagenlocher, M., Vogt, J. V., Meza, I., Naumann, G., & Frischen, J. (2019). Drought vulnerability indicators for global-scale drought risk assessments: Global expert survey results report. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/73844>

Jordan, C., Donoso, G., & Speelman, S. (2021). Measuring the effect of improved irrigation technologies on irrigated agriculture. A study case in Central Chile. *Agricultural Water Management*, 257, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107160>

Jurgilevich, A., Räsänen, A., Groundstroem, F., & Juhola, S. (2017). A systematic review of dynamics in climate risk and vulnerability assessments. *Environmental Research Letters*, 12(1), 013002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5508>

Kissinger, G., Sova, C., Allassane, B., Maïga, I., Benefor, D., Nutsukpo, D., Ky-Zerbo, A., Roth-Liehoun, C., King'uyu, S., Orindi, V., Rojas, E., Rivera, J., Mishra, J., Singh, R., Joshi, P., Kinyangi, J., Aggarwal, P., Zougmore, R., Sebastian, L., ... Jarvis, A. (2014). Climate adaptation and agriculture: 8.

Ley Marco de Cambio Climático No 21.455, Pub. L. No. 21.455, Diario Oficial Núm. 43.277 31 (2022).

Medel, R., González-Browne, C., & Fontúrbel, F. e. (2018). Pollination in the Chilean Mediterranean-type ecosystem: A review of current advances and pending tasks. *Plant Biology*, 20(S1), 89–99. <https://doi.org/10.1111/plb.12644>

Melo, O., & Foster, W. (2021). Agricultural and Forestry Land and Labor Use under Long-Term Climate Change in Chile. *Atmosphere*, 12(3), 305. <https://doi.org/10.3390/atmos12030305>

Melo, O., Báez, N., & Acuña, D. (2021). Towards Sustainable Agriculture in Chile, Reflections on the Role of Public Policy. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 48(3), 186–209. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i3.2359>

Meza F., Morales D., Gonzalez A., Duarte L., & Saldaña M. (2020). Informe Proyecto ARCLIM: Agricultura. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/03_AGRICULTURA.pdf

Meza, F. (2017). Estimación de costos asociados a la seguridad hídrica en la agricultura como medida de adaptación al cambio climático en Chile (Estudios del cambio climático en América Latina) [Documento de Proyecto]. CEPAL.

Meza, L. E. (2014). La Agricultura Familiar y el Cambio Climático. En *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*. Salcedo y Guzman (Eds.), pp. 79–100). FAO.

Mills-Novoa, M., Pszczółkowski, P., & Meza, F. (2016). The Impact of Climate Change on the Viticultural Suitability of Maipo Valley, Chile. *The Professional Geographer*, 68(4), 561–573. <https://doi.org/10.1080/00330124.2015.1124788>

MINAGRI- Ministerio de Agricultura. (2022). Actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario. ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://www.odepa.gob.cl/temas-transversales/plan-de-adaptacion-nacional-al-cambio-climatico-sector-silvoagropecuario>

MINAGRI, & MMA. (2013). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Gobierno de Chile.

Miranda, A., Carrasco, A., González, M., & Mentler, R. (s. f.). Informe Proyecto ARCLim: Bosques Nativos y Plantaciones Forestales.

MMA - Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Sexto reporte del Estado del Medio Ambiente 2021.

MMA (2011). Segunda comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Maval Chile.

MMA. (2021a). Cuarta comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4NC_Chile_Spanish.pdf

MMA. (2021b). Propuesta Plan de Acción Regional de Cambio Climático: Región de Atacama. Gobierno de Chile. <https://consultasciudadanas.mma.gob.cl/storage/consultation/W8td0dMWo1zQS3JBIAupl2IH45pgkvMy1ycLpcf.pdf>

MMA. (2021c). Propuesta Plan de Acción Regional de Cambio Climático: Región de O'Higgins.

MMA. (2021e). Propuesta Plan de Acción Regional de Cambio Climático: Región de Los Lagos.

MMA. (2022d). Propuesta Plan de Acción Regional de Cambio Climático: Región de Los Ríos.

MMA. (s.f.). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y Planes Sectoriales. Recuperado 16 de marzo de 2022, de <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/plan-nacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico-y-plan-es-sectoriales/>

Muñoz-Sáez, A., Choe, H., Boynton, R. M., Elsen, P. R., & Thorne, J. H. (2021). Climate exposure shows high risk and few climate refugia for Chilean native vegetation. *Science of The Total Environment*, 785, 147399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147399>

Nalau, J., & Cobb, G. (2022). The strengths and weaknesses of future visioning approaches for climate change adaptation: A review. *Global Environmental Change*, 74, 102527. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102527>

Nutfruit. (s. f.). The Chilean Walnut Industry's Adaptation to Climate Change. Recuperado 20 de junio de 2022, de <https://www.nutfruit.org/industry/publications/inc-magazine/articles/detail/the-chilean-walnut-industry-s-adaptation-to-climate-change>

ODEPA. (2010). Estimación del impacto socioeconómico del cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile [Estudio]. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/documentos-e-informes/estudio-estimacion-del-impacto-socioeconomico-del-cambio-climatico-en-el-sector-silvoagropecuario-de-chile>

ODEPA. (2022a). Atlas Rural de Chile—Revisa los 34 tipos de territorios a lo largo del país. Más vida rural. <https://www.masvidarural.gob.cl/atlas-rural/>

ODEPA. (2022b). Ficha Nacional Estadística: Actualización abril 2022.

OIM -Organización Internacional para las Migraciones. (2017). Migraciones, Ambiente y Cambio Climático: Estudios de Caso en América del Sur. Cuadernos Migratorios No 8 (Cuadernos Migratorios).

ONU Mujeres. (2018). Vulnerabilidad de las Mujeres Indígenas del norte de Chile frente al Cambio Climático.

Orrego-Verdugo, R., Abarca-del-Rio, R., Lara-Urbe, C., Orrego-Verdugo, R., Abarca-del-Rio, R., & Lara-Urbe, C. (2021). Spatial dynamics and consistency of agroclimatic trends in Chile during 1985-2015 to the Köppen- Geiger climate classification. *Chilean journal of agricultural research*, 81(4), 618–629. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000400618>

Parraguez-Vergara, E., Barton, J. R., & Raposo-Quintana, G. (2016). Impacts of Climate Change in the Andean Foothills of Chile: Economic and Cultural Vulnerability of Indigenous Mapuche Livelihoods. *Journal of Developing Societies*, 32(4), 454–483. <https://doi.org/10.1177/0169796X16667874>

Peña-Guerrero, M. D., Nauditt, A., Muñoz-Robles, C., Ribbe, L., & Meza, F. (2020). Drought impacts on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 65(6), 1005–1021. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1711911>

Pérez, T., Mattar, C., & Fuster, R. (2018). Decrease in Snow Cover over the Aysén River Catchment in Patagonia, Chile. *Water*, 10(5), 619. <https://doi.org/10.3390/w10050619>

Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, L., Bustos, & Falvey, M. (2020). Informe Proyecto ARCLIM: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile. CR2 & Cambio Global.

Piticar, A. (2019). Changes in agro-climatic indices related to temperature in Central Chile. *International Journal of Biometeorology*, 63(4), 499–510. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01681-6>

Ponce Oliva, R. D., Montevechio, E. A., Jorquera, F. F., Vásquez-Lavin, F., & Stehr, A. (2021). Water Use and Climate Stressors in a Multiuser River Basin Setting: Who Benefits from Adaptation? *Water Resources Management*, 35(3), 897–915. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02753-8>

Ponce, R., Blanco, M., & Giupponi, C. (2014). The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector: A non-linear agricultural supply model. *Chilean journal of agricultural research*, 74(4), 404–412. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000400005>

Pörter, H., Roberts, E.S., Poloczanska, K., Mintenbeck, M. T, & Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds. (2022). AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability — IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

Prager, S., Rios, A. R., Schiek, B., Almeida, J. S., & Gonzalez, C. E. (2020). Vulnerabilidad al cambio climático e impactos económicos (Nota Técnica IADB, p. 161).

QSV Gestión y Política. (2021). Diagnóstico Brechas de género para la adaptación al cambio climático en rubros productivos priorizados del sector silvoagropecuario de Chile. (p. 176). MINAGRI - CGIAR - CCAFS.

Robson, B. A., MacDonell, S., Ayala, Á., Bolch, T., Nielsen, P. R., & Vivero, S. (2022). Glacier and rock glacier changes since the 1950s in the La Laguna catchment, Chile. *The Cryosphere*, 16(2), 647–665. <https://doi.org/10.5194/tc-16-647-2022>

Roco, L., Bravo-Ureta, B., Engler, A., & Jara-Rojas, R. (2017). The Impact of Climatic Change Adaptation on Agricultural Productivity in Central Chile: A Stochastic Production Frontier Approach. *Sustainability*, 9(9), 1648. <https://doi.org/10.3390/su9091648>

Roco, L., Engler, A., Bravo-Ureta, B. E., & Jara-Rojas, R. (2015). Farmers' perception of climate change in mediterranean Chile. *Regional Environmental Change*, 15(5), 867–879. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0669-x>

Roco, L., Poblete, D., Meza, F., & Kerrigan, G. (2016). Farmers' Options to Address Water Scarcity in a Changing Climate: Case Studies from two Basins in Mediterranean Chile. *Environmental Management*, 58(6), 958–971. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0759-2>

Rodríguez S, S., Pérez-Giraldo, L. C., Vergara, P. M., Carvajal, M. A., & Alaniz, A. J. (2021). Native bees in Mediterranean semi-arid agroecosystems: Unravelling the effects of biophysical habitat, floral resource, and honeybees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 307, 107188. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107188>

Rojas, G., Fernandez, E., Whitney, C., Luedeling, E., & Cuneo, I. F. (2021). Adapting sweet cherry orchards to extreme weather events – Decision Analysis in support of farmers' investments in Central Chile. *Agricultural Systems*, 187, 103031. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103031>

Sánchez-Monje, M., Olave, J., Sánchez-Monje, M., & Olave, J. (2019). Revisión: ¿Puede el cambio climático afectar la producción de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) en el Altiplano chileno? *Idesia (Arica)*, 37(1), 19–23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000202>

Santibañez, F. (2018). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. En *Agricultura Chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030* (p. 283). ODEPA. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf

Schipper, E. L. F. (2020). Maladaptation: When Adaptation to Climate Change Goes Very Wrong. *One Earth*, 3(4), 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.014>

Shames, S., & Scherr, S. J. (s. f.). *Achieving Climate Change Adaptation through Integrated Landscape Management*. 28.

- Shaw, T. E., Ulloa, G., Farías-Barahona, D., Fernandez, R., Lattus, J. M., & McPhee, J. (2021). Glacier albedo reduction and drought effects in the extratropical Andes, 1986–2020. *Journal of Glaciology*, 67(261), 158–169. <https://doi.org/10.1017/jog.2020.102>
- Soto-Rogel, P., Aravena, J.-C., Meier, W. J.-H., Gross, P., Pérez, C., González-Reyes, Á., & Griessinger, J. (2020). Impact of Extreme Weather Events on Aboveground Net Primary Productivity and Sheep Production in the Magellan Region, Southernmost Chilean Patagonia. *Geosciences*, 10(8), 318. <https://doi.org/10.3390/geosciences10080318>
- Souvignet, D. M., Wieneke, D. F., Mueller, L., & Bresch, D. D. N. (s. f.). *Economics of Climate Adaptation (ECA)—Guidebook for Practitioners*. 100.
- Stolpe, N., & Undurraga, P. (2016). Long term climatic trends in Chile and effects on soil moisture and temperature regimes. *Chilean journal of agricultural research*, 76(4), 487–496. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000400013>
- Torres-Díaz, C., Cavieres, L. A., Muñoz-Ramírez, C., & K. Arroyo, M. T. (2007). Consecuencias de las variaciones microclimáticas sobre la visita de insectos polinizadores en dos especies de *Chaetanthera* (Asteraceae) en los Andes de Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 80(4), 455–468. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2007000400007>
- Úbeda, X., & Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.004>
- Universidad de Chile. (2019). Informe País. Estado del Medio Ambiente en Chile 2018. Recuperado 20 de mayo de 2022, de <http://www.uchile.cl/publicaciones/159662/informe-pais-estado-del-medio-ambiente-en-chile-2018>
- Uribe, J. M., Cabrera, J., Fuentes, R., & Paneque, M. (2012). *Atlas Bioclimático de Chile*.
- Valdés, A., Foster, W., Ortega, J., Pérez, R., & Vargas, G. (2022). Desafíos de la agricultura y desarrollo rural en Chile. ODEPA, 173.
- Vásquez-Ibarra, L., Iriarte, A., Rebolledo-Leiva, R., Vásquez, M., Angulo-Meza, L., & González-Araya, M. C. (2021). Considering the influence of the variability in management practices on the environmental impacts of fruit production: A case study on raspberry production in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127609>
- Vermeulen, S. J., Dinesh, D., Howden, S. M., Cramer, L., & Thornton, P. K. (2018). Transformation in Practice: A Review of Empirical Cases of Transformational Adaptation in Agriculture Under Climate Change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2018.00065>

Vicuña, S.; Bustos, E.; Calvo, C.; Tesen, K.; Gironás, J. & Suárez, F. (2020). Informe Proyecto ARClím: Recursos Hídricos. CCG-UC coordinado por CR2 y CCG-PUC para el MMA, a través de GIZ.

Vieli, L., Murúa, M. M., Flores-Prado, L., Carvallo, G. O., Valdivia, C. E., Muschett, G., López-Aliste, M., Andía, C., Jofré-Pérez, C., & Fontúrbel, F. E. (2021). Local Actions to Tackle a Global Problem: A Multidimensional Assessment of the Pollination Crisis in Chile. *Diversity*, 13(11), 571. <https://doi.org/10.3390/d13110571>

Vulnerability. (2006). *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>

Vyas, S., Khatri-Chhetri, A., Aggarwal, P., Thornton, P., & Campbell, B. M. (2022). Perspective: The gap between intent and climate action in agriculture. *Global Food Security*, 32, 100612. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100612>

Welz, J., & Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE (Santiago)*, 42(125), 251–272. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612016000100011>

Wieneke, D. F., & Bresch, D. D. N. (s. f.). *Economics of Adaptation (ECA) in Development Cooperation: A Climate Risk Assessment Approach*. 20.

World Bank. (2021). *Chile Risk Profile: Chile*. The World Bank Group.

World Meteorological Organization (WMO). (2022). *State of the Global Climate 2021* (WMO-No. 1290). WMO.

Zúñiga, F., Jaime, M., & Salazar, C. (2021). Crop farming adaptation to droughts in small-scale dryland agriculture in Chile. *Water Resources and Economics*, 34, 100176. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2021.100176>

6. ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos sobre Cambio Climático

La Ley Marco de Cambio Climático de Chile (21.455), promulgada el 13 junio de 2022, define los conceptos más importantes vinculados a la adaptación al cambio climático, los más importantes se presentan en esta sección.

Adaptación al cambio climático: acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Cambio climático: cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Efectos adversos del cambio climático: los cambios en el medio ambiente, provocados por el cambio climático, que tienen consecuencias nocivas en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas, en la salud y el bienestar humano, o en los sistemas socioeconómicos.

Gas de Efecto Invernadero: componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera o por las nubes, considerados por la Convención y por la Enmienda de Kigali o las que las reemplacen.

Gestión del cambio climático: conjunto de políticas, planes, programas, regulaciones, normas, actos administrativos, instrumentos, medidas o actividades relacionadas con la mitigación o adaptación al cambio climático, a nivel nacional, regional y local. La gestión del cambio climático comprenderá, entre otras, las medidas que tengan por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del cambio climático, prevenir los riesgos asociados a éste, así como aprovechar las oportunidades beneficiosas y aumentar la resiliencia climática.

Resiliencia climática: capacidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función esencial, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Riesgos vinculados al cambio climático: aquellas consecuencias potencialmente adversas para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas. En el contexto del cambio climático, pueden surgir riesgos de los impactos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al mismo.

Seguridad hídrica: posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas, considerando las particularidades naturales de cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo para consumo humano, la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico, conservación y preservación de los ecosistemas, promoviendo la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías y crecidas y la prevención de la contaminación.

Soluciones basadas en la naturaleza: acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que proporcionan beneficios para el desarrollo sustentable y la biodiversidad.

Vulnerabilidad al cambio climático: “la propensión o predisposición a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación de los ecosistemas, comunidades, territorios o sectores”.

Grupos vulnerables: “segmentos de la población que presentan alto riesgo vinculado a los efectos adversos del cambio climático, por tratarse de grupos ya marginados o en condiciones previas de vulnerabilidad”.

Anexo 2. Criterios para la división del país en Macrozonas

Dada su extensión latitudinal, Chile posee una variedad de geográfica y climática, así como productiva que varía de norte a sur y de este a oeste. Corfo en año 1950 propuso una clasificación en cinco (5) zonas naturales (Norte grande, Norte Chico, Centro, Sur, y Austral) la cual es de uso común en el país. De hecho, el Ministerio de Educación en su currículo enseña el uso de regiones naturales del país. En la literatura científica, varios autores presentan información bajo esta nomenclatura (véase Orrego-Verdugo *et al.* 2021, a modo de ejemplo).

Según informantes del MINAGRI, las zonas homogéneas propuestas por ODEPA (s/f), ha sido desarrolladas con criterios geográficos y productivos. En el desarrollo de esta consultoría no se encontró un documento formal que explique dichos criterios. Recientemente, el MINAGRI ha desarrollado una propuesta de tipología de territorios rurales, con el fin de representar mejor la variedad de personas, ámbitos productivos y condiciones ambientales de los territorios rurales. El Atlas Rural (ODEPA, 2022a) define 34 territorios en el país.

En el último informe de proyecciones de cambio realizado por CCG-UC (2022) se ha usado la propuesta de división del país de la DGA-DICTUC (2021), la cual se basa en las condiciones hidrometeorológicas promedio de las regiones administrativas que las componen.

Como se ha visto y se resume el cuadro a continuación, no existe un único criterio de agrupación de regiones administrativas en el país. Pese a lo anterior hay cierta concordancia en los límites en los estudios referidos al clima.

Cuadro 4. Regiones administrativas que componen las macrozonas del país, de acuerdo a distintas clasificaciones y estudios.

Macrozona	ODEPA zonas homogéneas	AGRIMED (2017)	DGA-DICTUS (2021)	PANCC SAP
Norte	Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta
Centro Norte	Atacama, Coquimbo	Atacama y Coquimbo	Atacama y Coquimbo	Atacama, Coquimbo y Valparaíso
Centro	Valparaíso Metropolitana, O'Higgins	Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule	Valparaíso y Metropolitana	Metropolitana, O'Higgins y Maule
Centro Sur	Maule, Ñuble, Biobío	Biobío y La Araucanía	Libertador Bernardo O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío	Ñuble, Biobío y La Araucanía
Sur	Sur Frontera- La Araucanía Sur- Los Lagos Los Ríos, Los Lagos	Los Ríos, Los Lagos	La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos	Los Ríos, Los Lagos + Magallanes

Austral	Aysén y Magallanes y la Antártica Chilena.	Aysén y Magallanes y la Antártica Chilena.	Aysén y Magallanes y la Antártica Chilena.	Aysén se analiza por separado como piloto
---------	--	--	--	---

Fuente. Propuestas de PARCC de Los Ríos (MMA, 2021d) y Los Lagos (MMA, 2021e)

BORRADOR