



Estudio: “Evaluación de los efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados para el sector silvoagropecuario en el marco del plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027” – Informe final.



Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

Estudio: “Evaluación de los efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados para el sector silvoagropecuario en el marco del plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027” – Informe final.

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

Artículo producido y editado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – Odepa. Ministerio de Agricultura

El presente documento es susceptible de ser reproducido total o parcialmente bajo condición de que sea citada su fuente. Se hace presente que, si bien el trabajo ha sido encargado por la Odepa, las conclusiones de que da cuenta no necesariamente representan la opinión de esta última.

Directora Nacional y Representante Legal: Andrea García Lizama

Informaciones:

Teatinos #40, piso 7, Santiago Chile.

Casilla 13.320 – correo 21

Código postal 8340700

Teléfono: 800 630 990

www.odepa.gob.cl e-mail: odepa@odepa.gob.cl



INFORME FINAL

“Evaluación de los efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados para el sector silvoagropecuario en el marco del plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027”

Para la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA

Elaborado por el Centro de Agricultura y Medio Ambiente – AGRIMed

Santiago, 5 de diciembre de 2023

Contenido	
1 CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS CONTENIDOS DEL PLAN NACIONAL OPERATIVO DE EMERGENCIA2	
1.2.1 Análisis del carácter operativo del plan.....	2
1.2.1.1 Síntesis de la Norma ISO 22320.....	2
1.2.1.2 Síntesis del Plan Nacional de Emergencia aprobado por Decreto Exento 1434/2017.	4
1.2.1.3 Análisis técnico del carácter operativo.....	6
1.2.2 Análisis del enfoque sectorial del plan	16
1.2.2.1 Síntesis de la estrategia climática de largo plazo de Chile	16
1.2.2.2 Análisis técnico del carácter sectorial.....	18
1.2.3 Análisis de alcance nacional del plan.....	20
1.2.3.1 Síntesis de Marco de Sendai 2015-2030.....	20
1.2.3.2 Síntesis de la Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres (PNDRRD)	24
1.2.3.3 Análisis técnico del alcance Nacional	26
1.3 Síntesis final de las brechas en el marco de la evaluación de los contenidos técnicos del Plan.	
27	
2 CAPÍTULO 2	30
2.1 INTRODUCCIÓN	30
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	32
2.2.1 Metodología del IPCC para evaluar riesgos climáticos.....	32
2.2.2 Vulnerabilidad del sector agrícola al cambio climático: el desarrollo de una evaluación de vulnerabilidad al riesgo climático pantropical para informar la toma de decisiones subnacionales .	36
2.2.3 Evaluación de riesgos y vulnerabilidad de la agricultura india al cambio climático.....	40
2.2.4 ARCLIM.....	49
2.2.5 Servicios de evaluación de riesgos climáticos para el sector agroalimentario	51
2.2.6 Síntesis y comparación de metodologías analizadas para evaluar riesgo y vulnerabilidad del sector silvoagropecuario.....	52
2.3 MODELOS DE POTENCIAL PRODUCTIVO DE CULTIVOS AGRICOLAS	54
2.3.1 Modelos de simulación dinámicos	55
2.3.1.1 CropSyst	55
2.3.1.2 Modelo Simple (SIMPLE).....	55
2.3.1.3 Modelo WOFOST	55

2.3.1.4	Modelo de productividad SIMPROC Y SIMFRUT	56
2.3.1.5	Modelación de riesgos y aptitud agroclimática mediante Índices bioclimáticos.....	58
2.3.2	Síntesis y comparación de los modelos de productividad de cultivos agrícolas	65
2.4	Comentarios sobre el capítulo 2.....	65
3	CAPÍTULO 3	67
3.1	Introducción.....	67
3.2	Metodología a utilizar para el cálculo riesgos actuales y proyectados para el sector silvoagropecuario en el marco del plan de adaptación nacional al cambio climático del sector	67
3.3	Ajustes a la metodología propuesta en ARClim para el cálculo de los indicadores de vulnerabilidad	68
3.4	Análisis del análisis de riesgos del sector silvoagropecuario frente a escenarios de cambio climático.....	84
3.4.1	Impactos sobre los rendimientos de los cultivos	84
3.4.2	Impacto sobre la productividad de frutales	85
3.4.3	Vulnerabilidad de los sistemas agrícolas e impactos de los cambios climáticos	86
3.5	Evaluación de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario	87
3.6	Evaluación conjunta de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario	93
3.7	Comentarios finales de la evaluación de las medidas de adaptación del PNACC SAP	110
4	CONCLUSIÓN FINAL	111
5	Revisión Bibliográfica.....	113
6	ANEXOS: Mapas de cambios en los rendimientos: MODELO SIMPROC	117

Índice de figuras

Figura 2.1. Componentes del riesgo climático definidos por el IPCC 2014 (AR5)	34
Figura 2.2. Comparación de los componentes de vulnerabilidad al cambio climático (AR4) y riesgo climático (AR5).....	35
Figura 2.3. Elementos que definen la vulnerabilidad. Fuente: GIZ, 2017.	36
Figura 2.4. Esquema para evaluar la vulnerabilidad de la agricultura y los medios de vida rurales ante el cambio climático proyectado en Parker et al., 2019.	40
Figura 2.5. Elementos que definen la vulnerabilidad AR4 y AR5. Fuente: GIZ, 2017.	49
Figura 2.6. Esquema resumen de los principales enfoques para modelar los impactos del cambio climático en los rendimientos agrícolas.	55
Figura 2.7. Índice aptitud agroclimática cerezo.....	64
Figura 2.8. Índice número de heladas en floración cerezo.	64
Figura 3.1. Distribución de los índices de sensibilidad para todas las comunas de Chile obtenidos de las bases de datos de ARCLIM.....	68
Figura 3.2 Distribución nacional de índices de sensibilidad corregidos aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).	69
Figura 3.3. Distribución nacional del índice de sensibilidad (base de datos ARCLIM).	69
Figura 3.4. Distribución nacional del índice de sensibilidad corregido, aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).	70
Figura 3.5. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARCLIM),.....	70
Figura 3.6. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos.	71
Figura 3.7. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARCLIM).	71
Figura 3.8. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos, aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).....	72
Figura 3.9. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices obtenidos de las bases de ARCLIM.....	72
Figura 3.10. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices corregidos usando la normalización en base a percentiles 10 y 90% para los valores mínimos y máximos. Se aprecia una mejor distribución de ambos índices a nivel nacional.	73
Figura 3.11. Escala propuesta para evaluar Vulnerabilidad comunal, la que combina los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 3.12. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona norte	94
Figura 3.13. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro norte.....	95
Figura 3.14. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3 y 4 de PANCC SPA	103
Figura 3.15. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4 y 5 de PANCC SPA	104
Figura 3.16. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4 , 5 y 6 de PANCC SPA.	105
Figura 3.17. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 y 7 de PANCC SPA	106

Figura 3.18. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 ,7 y 8 de PANCC SPA.....	107
Figura 3.19. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 ,7 ,8 y 9 de PANCC SPA.....	108
Figura 6.1. Índice de Aptitud agroclimática para el cerezo en la línea base y el 2050	118
Figura 6.2. Índice de Aptitud agroclimática para el avellano en la línea base y el 2050	119
Figura 6.3. Índice de Aptitud agroclimática para el arándano en la línea base y el 2050	120
Figura 6.4 Índice de Aptitud agroclimática para nogales en la línea base y el 2050	121
Figura 6.5 Índice de Aptitud agroclimática para palto en la línea base y el 2050	122
Figura 6.6 Índice de Aptitud agroclimática para cítricos en la línea base y el 2050	123
Figura 6.7 Rendimiento maíz en riego línea base y el 2050	124
Figura 6.8 Fechas óptimas de siembra y cambios en los requerimientos de riego para maíz línea base y el 2050	125
Figura 6.9 Rendimiento trigo en riego línea base y el 2050	126
Figura 6.19. Rendimiento pino zona sur de Chile para la línea base y el 2050.	136

Índice de tablas

Tabla 1.1.1. Comparación objetivo general Plan Nacional de Emergencia Ministerio de Interior/ Plan Nacional Operativo de Emergencia Ministerio de Agricultura.....	12
Tabla 2.1.1. Cultivos seleccionados en Parker et al., 2019 para cada país estudiado junto con su valor neto de producción, valor bruto de producción, contribución al producto interno bruto agrícola, contribución al PIB, suministro de alimento, área cosecha.	37
Tabla 2.2. Índice de sensibilidad usado en base a los cambios en el rendimiento entre escenario futuro y línea base en Parker et al., 2019.....	38
Tabla 2.3. Listado de indicadores de amenaza futura incluidos en el cálculo del índice de riesgo. por Rao et al., 2019.	41
Tabla 2.4. Indicadores de amenazas históricas incluidos en el cálculo del índice de riesgo por Rao et al., 2019.	43
Tabla 2.5. Indicadores de exposición incluidos en el cálculo del índice de riesgo por Rao et al., 2019.	44
Tabla 2.6. Indicadores de vulnerabilidad incluidos en el cálculo del riesgo por Rao et al., 2019.	46
Tabla 2.7. Síntesis y comparación de metodologías analizadas para evaluar riesgo y vulnerabilidad del sector silvoagropecuario.....	53
Tabla 2.8. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para arándano.	61
Tabla 2.9. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para avellano.	62
Tabla 2.10. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para cerezo	63
Tabla 2.11. Estado fenológico especies hoja caduca (Fuente: Ciren, 1989)	64
Tabla 2.12. Síntesis y comparación de los modelos de productividad de cultivos agrícolas	65
Tabla 3.1. Medidas del plan de adaptación e impacto directo que tienen sobre los indicadores de sensibilidad.	75
Tabla 3.2. Medidas del plan de adaptación e impacto directo que tendrían sobre los indicadores de capacidad adaptativa.....	76
Tabla 3.3. Acciones y medidas propuestas para la macrozona norte. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.	88
Tabla 3.4. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro norte. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.	89
Tabla 3.5. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.	89
Tabla 3.6. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.	90
Tabla 3.9. Parámetros de aditividad.....	93
Tabla 3.10. Medidas a implementar macrozona norte.	94
Tabla 3.11. Medidas a implementar macrozona centro norte.....	95
Tabla 3.12. Medidas a implementar macrozona centro.	96
Tabla 3.13. Medidas a implementar macrozona centro sur.	97
Tabla 3.14. Medidas a implementar macrozona sur.	98

1 CAPÍTULO 1

Objetivo 1.

Evaluar los contenidos técnicos del Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura (Aprobado por medio de la Resolución Exenta N° 309 del 31 de agosto del 2021, del Ministerio de Agricultura, modificada por la Resolución Exenta N°769, de 2022, de la misma cartera) y su pertinencia en relación a diversos compromisos nacionales e internacionales.

Objetivo 2.

Identificar las brechas/sinergias en el marco de la evaluación de los contenidos técnicos del Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura y su pertinencia en relación al cumplimiento de diversos compromisos nacionales e internacionales.

Objetivo 3.

Indicar aquellos aspectos que se debiera eliminar/agregar/modificar para potenciar coordinaciones o sinergias entre involucrados y dar cumplimiento de compromisos en materia de cambio climático y gestión para la reducción de riesgos de desastres.

1.1 INTRODUCCIÓN

Dada la diversa geografía y topografía de Chile, el país está altamente expuesto a una variedad de eventos climáticos extremos. La población chilena convive diariamente con la ocurrencia de riesgos tales como terremotos, tsunamis, sequías, erupciones volcánicas e incendios forestales, entre otros. Panorama que se intensifica producto de las consecuencias del efecto del cambio climático. Este escenario pone al país, como uno de los miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) más expuesto a desastres de origen natural, cumpliendo con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONEMI, 2020).

En este contexto, el sector silvoagropecuario chileno, a todos sus niveles, es altamente vulnerable a la variabilidad climática, siendo los eventos meteorológicos extremos los principales causantes de desastres en este ámbito. Sin embargo, existe en la actualidad una plena conciencia de que los desastres no son naturales, y de que el enfoque debe centrarse en mejorar la gestión y reducción del riesgo, mediante la implementación de políticas, planes, programas y presupuestos a todos los niveles.

Chile ha venido desarrollando políticas y planes de acción que buscan abordar los diferentes escenarios de riesgo que pueden afectar al país y al sector silvoagropecuario, en línea con los compromisos internacionales adquiridos por el país en esta materia. Uno de estos planes es el Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura, un plan sectorial operativo de alcance nacional en el sector silvoagropecuario, elaborado como instrumento para la implementación de la Política Nacional para la Reducción de Riesgos de Desastres 2020-2030, aprobado mediante la Resolución Exenta N°309 del año

2021, con la idea de responder a compromisos y lineamientos establecidos en la Ley Marco de Cambio Climático.

El enfoque sectorial de este plan aborda la gestión de riesgo de desastres con una orientación al sector silvoagropecuario del País desde la perspectiva de los efectos adversos proyectados del cambio climático, por lo que el desarrollo que se presenta en el presente informe esta enmarcada en una evaluación técnica y operacional del Plan Nacional Operativo de Emergencia y su vinculación con el Plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

Esta evaluación se abordará en los siguientes puntos, con base en tres objetivos:

1. Análisis técnico de los contenidos del Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura (Aprobado por medio de la Resolución Exenta N° 309 del 31 de agosto del 2021, del Ministerio de Agricultura, modificada por la Resolución Exenta N°769, de 2022, de la misma cartera) e Identificación de las brechas/sinergias y su pertinencia en relación con diversos compromisos nacionales e internacionales.
2. Análisis operativo de vinculación con el Plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

1.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS CONTENIDOS DEL PLAN NACIONAL OPERATIVO DE EMERGENCIA

La evaluación de este plan de emergencia se enmarca dentro de tres criterios principales: su carácter de operativo, lo que implica evaluar la estructura funcional; su enfoque sectorial, como se vincula en la respuesta a enfrentar las emergencias en el sector silvoagropecuario; y su alcance Nacional, que permita operativizar la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNDRD) y responder a acuerdos y compromisos internacionales en las materias que se involucran.

1.2.1 Análisis del carácter operativo del plan

La evaluación del carácter operativo del plan se realiza en base a los principales lineamientos que propone la Norma ISO 22320, norma internacional que entrega los lineamientos básicos y la información operacional que se requiere para una respuesta eficaz a eventos de emergencia. Asimismo, la estructura del plan, sin considerar la sectorialidad en este punto, se vincula al Plan Nacional de Emergencia aprobado por Decreto Exento 1434/2017.

1.2.1.1 *Síntesis de la Norma ISO 22320*

A continuación, se presenta una síntesis de los principales lineamientos que aborda la norma de Gestión de emergencias y requisitos para la respuesta ante incidentes (ISO 22320). Esta norma internacional de

sistemas de gestión de emergencias y respuesta ante incidentes permite a cualquier tipo de organización desarrollar e implementar ciertas capacidades de acción ante cualquier situación de emergencia y/o catástrofe. La norma establece tres pilares básicos de acción:

- A.- Establecer una estructura y un proceso de mando y control.
- B.- Definir los procesos para la gestión de la información operativa.
- C.- Definir requisitos para la cooperación y coordinación entre las distintas organizaciones implicadas.

A.- Proceso de mando y control

El sistema de mando y control debe ser elaborado con un diseño operativo que sea escalable para diferentes tipos de eventos y de instituciones u organizaciones implicadas. Además, debe ser adaptable a cualquier tipo de emergencia y flexible a la evolución del evento y a los resultados en la respuesta del plan.

Para ello este pilar debe considerar:

- a) Funciones y responsabilidades. Establecer de forma clara y precisa una organización con funciones, responsabilidades y vinculaciones que consideren los procesos de activación, de establecimiento de la escala de la emergencia y el término del evento. Esta estructura organizacional se debe dividir en diferentes niveles, que permita a cada nivel enfocarse a dar respuesta rápida y apropiada al o los eventos, afectados y sectores involucrados.
- b) Niveles de respuesta. La necesidad de establecer categorías a escala de niveles de severidad de la emergencia, es decir, una matriz en base a impactos que involucre todos los eventos de acción. Esta matriz permite accionar de forma ordenada y eficiente los diferentes niveles de la estructura organizacional, en todos los niveles de responsabilidad y respuesta.
- c) Toma de decisiones. Cada evento tiene un nivel de impacto, cada nivel tiene una respuesta y coordinación de funciones y responsabilidades que define la toma de decisiones para responder a la emergencia. Para que esta respuesta sea eficiente y eficaz la toma de decisiones debe ser lo más clara y transparente, incorporando a todos los involucrados y comunicada de forma oportuna e idónea.

B.- Gestión de la información operativa

En la respuesta a un evento de emergencia es necesario disponer de información operacional a fin de gestionar eficazmente las actividades de respuesta a la emergencia. Esta información debe ser generada previa, *in situ* y *post* evento con la finalidad de generar respuestas adecuadas a las necesidades de los involucrados.

Este punto proporciona las bases para evaluar la emergencia y responder de forma apropiada a las necesidades, siendo un elemento clave del proceso de mando y control.

La estructura organizacional y operativa del plan debe asegurar que la gestión de información cumpla con criterios básicos de calidad, perspectiva, sincronización con otros organismos involucrados, priorización y agilidad de respuesta, colaboración e integración, y predicción, entre otros.

C.- Cooperación y coordinación

Una respuesta eficaz de emergencia, tanto a nivel sectorial como nacional, considera a diversos actores involucrados. Por lo que establecer acuerdos, vínculos y redes de acción es clave para obtener los resultados esperados. Esta cooperación y coordinación debe establecerse de forma previa a la emergencia, basándose en los riesgos e impactos ante los posibles escenarios que se han proyectado.

La estructura organizacional y operativa del plan debe asegurar la cooperación de todos los involucrados y que la coordinación sea oportuna y acorde a cada nivel de impacto vinculado. Además, asegurar la pronta coordinación en los diferentes niveles de respuesta y temáticas de la emergencia, participación imparcial e integrativa, y la equidad, definiendo áreas de responsabilidad y lineamientos claros entre los diferentes organismos involucrados.

Este punto considera la cooperación y coordinación del intercambio de información técnica con expertos, hecho que resulta fundamental en este plan dado el enfoque silvoagropecuario, un ámbito que está en constante evolución de conocimientos.

Este punto también considera la necesidad de establecer el lenguaje, los términos y la simbología común para hablar el mismo lenguaje en un momento de crisis. Así como definir y determinar la información operacional a compartir, a qué nivel y los medios a utilizar.

1.2.1.2 Síntesis del Plan Nacional de Emergencia aprobado por Decreto Exento 1434/2017.

El año 2017, por Decreto Exento Nº 1434 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública se aprobó el Plan Nacional de Emergencia, elaborado por la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), ante la necesidad de contar con un instrumento de nivel nacional que establezca las acciones de respuesta, ante situaciones de emergencia, desastres y catástrofes.

Este plan se constituye como un instrumento de carácter indicativo, que establece la coordinación general del sistema nacional de protección civil (SNPC) frente a emergencias, desastres y catástrofes acontecidas a nivel nacional; estableciendo, indicando y orientando las acciones de respuestas en las fases operativas de alertamiento, respuesta y rehabilitación.

A continuación, se presentan los principales puntos que serán evaluados en el Plan operativo de emergencia en estudio, identificados de acuerdo con el índice que es presentado en el documento original.

A. Objetivos

El objetivo general de este plan es “*Establecer las acciones de respuesta en las distintas fases operativas, ante situaciones de emergencia, desastre o catástrofe, con el objetivo de brindar protección a las personas, sus bienes y medio ambiente, en el territorio nacional, a través de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil*”.

B. Relación con Otros Planes

En este punto, el plan es claro en mencionar que “*debido al carácter general del Plan Nacional de Emergencia su activación y ejecución implica necesariamente la activación y ejecución de planes complementarios y específicos en los niveles nacional, regional, provincial y comunal. Estos planes corresponden a los siguientes:*”, proporcionando una descripción concisa de cada plan. Los planes presentados son Planes de Emergencia, Planes Específicos de Emergencia por Variable de Riesgo, Planes de Contingencia y Planes de Emergencia Sectorial.

C. Marco Conceptual y Legal.

Se presenta un marco conceptual detallado contextualizando las temáticas que se abordan en el plan. Las diferentes fases de operación, y la definición de mandos en función de las competencias, capacidades y atribuciones técnicas y/o administrativas, que posean los organismos que participan en la respuesta.

D. Levantamiento de Capacidades

Seguido del punto anterior, se presenta la información donde se define cada rol, función y capacidades de los organismos pertenecientes al Sistema de Protección Civil. Así como la activación del plan, las sinergias nacionales e internacionales.

E. Activación del Plan y Sistema de Alertas

En este ítem se presentan los niveles de activación para la respuesta, los cuales están en base a una clasificación en función de los daños, magnitud y capacidad de respuesta. Se describen los niveles, los sistemas de alerta, la declaración de alerta y se vincula el nivel de activación de cada comité.

F. Comunicación e Información

El plan en este punto presenta los flujos de comunicación e información para los distintos niveles de impacto definidos como Emergencia I, II y III, desastre y/o catástrofe; la cobertura respecto al nivel comunal, provincial, regional y nacional. Los actores involucrados, los sistemas de telecomunicaciones, la información a la comunidad y los medios de comunicación son mencionados en este punto.

G. Coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil

Este punto describe y esquematiza la coordinación del sistema frente a la emergencia, definiendo los protocolos de activación, convocatoria/autoconvocatoria, el centro de operaciones físico, el diagrama de flujo de procesos, la coordinación para las diferentes fases operativas alertamiento, respuesta y rehabilitación.

[H. Sistema de Evaluación de Daños y Necesidades.](#)

Este punto destaca que el objetivo es normalizar el registro de información de emergencia en todo el país manejando documentos simples, de un formato único, que permitan dar respuesta a las interrogantes fundamentales que surgen al ocurrir un evento destructivo a nivel local y determinar el impacto de un evento destructivo en una comunidad. Además, se presentan los instrumentos de evaluación, el enfoque del informe y los responsables de realizarlo.

[I. Readecuación del Plan](#)

En este punto se describe el proceso a seguir para actualizar el plan nacional de emergencias, considerando la revisión periódica y la actualización en base a metodología para la planificación de gestión del riesgo de desastres que se describe en el punto 9.

Finalmente se destaca que dentro de los anexos se presenta la terminología utilizada, considerando una definición de los principales términos utilizados.

[1.2.1.3 Análisis técnico del carácter operativo](#)

Respecto al carácter operativo del Plan, se identifican diversos aspectos de mejora respecto a los lineamientos básicos que plantea la norma internacional. Directrices que han sido abordadas en el Plan de Emergencia Nacional, por lo que este documento constituye una excelente base operativa para el plan que se está analizando. El documento Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura Resolución Exenta N°309 del año 2021, el documento que modifica algunos puntos en Resolución Exenta 769 año 2022 y el Protocolo de Emergencia Agrícola Ordinario N°989 de 2011 de la Subsecretaría de Agricultura presentan la ruta de acción para declarar una emergencia agrícola, más requiere fortalecer ciertos puntos para consolidar su operatividad. Los cuales se pueden agrupar y puentean en los siguientes temas:

a) Reforzar estructura organizacional

Aunque se cuenta con una propuesta organizacional que establece funciones y responsabilidades en el Plan operativo del MINAGRI, este esquema no se vincula con niveles de respuesta, carece de responsabilidades específicas, y dentro del mismo documento se genera confusión en la estructura organizacional en los procesos de activación.

Lo anterior se puede observar en el punto 2.1.1. Estructura Interna (página 5), en el párrafo de la Comisión Asesora nacional de gestión integral de riesgos agropecuarios (CANGIR) se describe:

"se desempeñará como secretario ejecutivo de la Comisión, el jefe del departamento de gestión institucional"

Sin embargo, este departamento no está considerado como parte integrante de la comisión. Asimismo, se menciona que la CARGIR será integrada por:

"los directores regionales de los servicios del agro de la región y de las instituciones privadas relacionadas con esta Secretaría de Estado con presencia regional"

Dentro del documento no se menciona que instituciones privadas serán consideradas. Cabe mencionar que en otro documento, en la resolución Exenta 769, que modifica la resolución que aprueba el presente plan operativo, se establecen cambios en el nombramiento, conformación y funciones de la Comisión Asesora Nacional de Gestión Integral de Riesgos del Ministerio de Agricultura, sustituyéndola por la Comisión de riesgos y emergencias silvoagropecuarias. En esta resolución se especifica las instituciones públicas que serán parte, y la periodicidad de convocatorias, en forma ordinaria, que serán sesionadas por la comisión. Sin embargo, mantiene la incertidumbre respecto al secretario técnico, los comités de trabajo, entre otros.

Como se plantea en la síntesis de la norma internacional, en párrafos anteriores, este punto se debe dividir en diferentes niveles, que permita a cada nivel enfocarse a dar respuesta rápida y apropiada al o los eventos, afectados y sectores involucrados. Esta estructuración constituye un pilar clave para la operatividad del plan y debe ser elaborado bajo un diseño operativo que sea escalable para diferentes tipos de eventos, considerando todas las instituciones u organizaciones implicadas. Respondiendo dentro del documento a las vinculaciones y funciones de cada actor involucrado.

El plan operativo genera ciertas interrogantes que deben ser resueltas en este ítem, como:

¿Quién integra la Sección de Emergencia y Gestión de Riesgos Agrícolas?

¿Cuál es la función del Departamento de Gestión Institucional?

¿Cuáles son las comisiones regionales de emergencias agrícola y de gestión del riesgo climático?

¿Quiénes son los encargados de emergencia regionales? ¿Qué rol tienen dentro del Plan?

¿Quién elabora técnicamente el Plan de apoyo y/o acción?

¿Quién elabora los informes de situación parcial? ¿Cuántos informes de situación parcial? ¿A quién se evacuan estos informes?

¿Quién define la pertinencia de la Declaración de emergencia agrícola? ¿Cuáles son los criterios de pertinencia?

b) Elaborar una matriz en base a niveles de impactos en cada situación establecida como emergencia.

El Plan no presenta una matriz de niveles de impacto para cada evento, y carece de una descripción y categorización de los diversos eventos naturales y/o antrópicos generadores de emergencias que se vinculen a los diferentes escenarios de acción.

En el documento solo se enumeran algunas situaciones por la que podría ser activado el plan de emergencia. Uno de estos eventos es “heladas”, pero ¿qué grado de magnitud debe alcanzar la helada para activar una emergencia? Si bien en el punto 4. Cobertura y Alcance, se deja esta responsabilidad al Centro de Alerta Temprana de ONEMI (SENAPRED), donde se menciona:

“el carácter multiamenaza que es activado debido a la ocurrencia de fenómenos climáticos, geológicos, catástrofes y/o situaciones de emergencia o de daño productivo que afecten a productores agrícolas y/o habitantes rurales, determinados y declarados desde el Centro de Alerta Temprana de ONEMI”.

Para que la operatividad de un plan de emergencia sea efectiva es necesario definir ciertos parámetros que activen los protocolos de acción.

Por otro lado, el servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) define diversas alertas nacionales como un estado de atención frente a un evento adverso, considerando su probable y cercana ocurrencia. Estas alertas preventivas se declaran con el fin de tomar precauciones específicas y se categorizan según la gravedad e intensidad del evento pronosticado, designándole un color para cada nivel. Verde para Alerta Temprana Preventiva, Alerta Amarilla y Alerta Roja. El párrafo anterior vincula la activación del plan operativo de acuerdo con la declaración de estas alertas, sin embargo, operativamente

se desconoce ante qué tipo de alerta inicia la activación o convocatoria de las distintas comisiones o procedimientos.

Respecto a los eventos de sequía, en el documento se reduce a mencionar “*en lo que respecta a las emergencias declaradas por sequias existe un monitoreo constante y distintos indicadores con parámetros definidos para la evaluación de su estado de situación y así poder caracterizar de mejor forma el evento, el que es realizado por la SEGRA (actualmente, UGRA)*”, sin proporcionar descripciones detalladas ni información adicional sobre los protocolos y directrices a seguir.

c) Establecer una coordinación y convocatoria respecto a la matriz de impacto.

Dado su carácter operativo, el plan debe definir de manera clara y concreta el objeto de la convocatoria en cada situación. Del mismo modo, cada acción de convocatoria debe estar vinculada a un nivel de impacto, presentado anteriormente.

La operatividad de un plan resulta de directrices de acción definidas previamente respecto de cada escenario. Cada directriz debe estar descrita de forma clara y concisa en el documento. En el punto 7. Coordinación (página 10) se describe:

“Convocatoria Interna, que puede ser según el Ordinario N°989 de 2011 de la Subsecretaría de Agricultura Protocolo de Emergencia Agrícola”.

En este caso, la convocatoria interna no solo se plantea como una posibilidad (“puede ser”), sino que además se deja la operatividad a un documento que no se encuentra anexado al plan. Este documento elaborado por la Unidad nacional de emergencias agrícolas y gestión del riesgo agroclimático del Ministerio de agricultura complementa la información presentada en el plan evaluado, definiendo con mayor detalle conceptos y criterios que deben estar presentes en el Plan en estudio.

En este punto se menciona:

“la mesa operativa de emergencia (MOE) responde a la activación de las CANGIR y CARGIR, y además tiene características de autoconvocatoria, estando para esto cada uno de sus miembros facultados para su activación”.

Operativamente este plan plantea que la mesa operativa de emergencia responde a la activación de comisiones que son convocadas cuando el representante del MINAGRI es citado al COE, un comité de operaciones de emergencia que no se describe en este plan, así como tampoco se incluyen los criterios de autoconvocatoria. Por otro lado, con la resolución 769 que modifica la CANGIR, se genera mayor incertidumbre respecto a cómo se coordinan las comisiones desde el MINAGRI.

Dentro del plan no está definido de forma clara cuales son los protocolos de activación y/o los criterios de auto convocatoria. Respecto a este punto, se genera la incertidumbre respecto a si las personas que integran la mesa operativa cuentan con la información necesaria para autoconvocarse.

d) Disensión en el manejo de toma de decisiones

Uno de los objetivos intrínsecos de un plan operativo es establecer detalladamente cada acción, responsabilidad, escenarios y respuestas frente a una contingencia con carácter de emergencia. Esto es esencial no solo porque en este tipo de eventos se deben tomar decisiones informados y responder de forma oportuna y eficaz a las necesidades de los afectados, sino que además porque ante una situación de emergencia la toma de decisiones se dificulta y la improvisación aumenta el riesgo de cometer errores.

Dentro de este punto, el presente plan carece de niveles de análisis previos, diversos escenarios de planificación y dirección, canales de difusión e integración establecidos, acuerdos de cooperación constituidos.

De acuerdo con protocolos internacionales, la estructura y los procesos de un plan operativo debiesen permitir que las decisiones operacionales se tomen al nivel más bajo posible, y la coordinación y el apoyo se ofrezca desde el nivel más alto. Todo esto bajo lineamientos y protocolos establecidos dentro del plan, con directrices claras que definan objetivos, responsables, y métodos de seguimiento.

El plan en estudio deja sin resolver decisiones importantes que deben tomarse en situaciones de emergencia. Un ejemplo de ello es lo planteado en la página 6 del documento.

“La comisión podrá invitar a sus reuniones a personas vinculadas a los temas específicos de su ámbito de acción”

Más no se menciona a que se refiere con personas vinculadas. Se asume que podrían ser particulares, empresarios, investigadores, etc. Debe existir un registro de diversas “personas vinculadas” a los cuales se pueda llamar ante una emergencia. Al menos tener claridad respecto a ¿Cuál es el perfil de las “personas” que serían vinculadas?, ¿en qué instancia serán incluidas en la comisión? ¿Cuál será su rol?

e) Establecer directrices de comunicación

El plan operativo carece de un flujo comunicacional que permita establecer los lineamientos comunicacionales para los distintos niveles de alertamiento, estableciendo responsables y canales oficiales entre las distintas autoridades y partes interesadas o grupos de interés.

En la fase de alertamiento se puede apreciar como este ítem queda abierto e indefinido frente al actuar en emergencias de rápida ocurrencia. Dentro del documento se menciona (página 13):

“para emergencias de rápida ocurrencia las alertas del Centro de Alerta Temprana (CAT), como las alertas meteorológicas emanadas desde DMC, son inmediatamente informadas por todos los medios de comunicación a las unidades regionales posiblemente afectadas y a los gabinetes tanto del Ministerio como de subsecretaría, activándose la labor de la MOE”.

Esta coordinación carece de lineamientos de acción frente a la cobertura respecto al nivel comunal, provincial, regional y nacional; los actores involucrados, los sistemas de telecomunicaciones, la información a la comunidad y los medios de comunicación que son parte.

f) Elaborar una proyección de autoevaluación y actualización

El dinamismo de un plan operativo aumenta la eficacia de sus resultados. Si el plan se convierte en un documento estacionario pierde su finalidad y función. El presente documento carece de una proyección que lo retroalimente, que le permita actualizar su operatividad ante la contingencia.

Toda norma ISO recomienda tener una etapa de mejora continua. El plan no define quien es el responsable de revisarlo, actualizarlo y mantenerlo vigente en las organizaciones. Tampoco considera procesos de entrenamiento, capacitación, evaluaciones, ni establece plazos o criterios de actualización del documento.

En el documento existe un leve indicio de proyección a otras versiones. En el punto 6.1 Capacidades Ministeriales

“en esta primera versión no se especificará en mayor detalle las capacidades de esta institución las cuales se prepararán para una próxima entrega”

Sin embargo, queda la incertidumbre de cuando es la próxima entrega y a que corresponde, si a una actualización o complementación del plan, donde se detallaran ciertos puntos que quedaron inconclusos.

Cabe mencionar que, para responder a este criterio de autoevaluación, es esencial establecer y definir lineamientos claros de acción, desarrollando de forma óptima y eficiente cada aspecto del plan operativo.

g) Objetivos

Si se considera que la finalidad de un objetivo es establecer el marco hacia el cual se dirigen las acciones del proyecto, la creación de estos resulta clave para marcar la pauta del trabajo. Al evaluar el objetivo general del Plan nacional operativo se puede ver que el hecho de que este se plantee como *“Contribuir en la definición...”* es una muestra de que las acciones propuestas en este plan están orientadas a eso, es decir, a contribuir a algo... más no están enfocadas en *“Establecer...”* una acción concreta.

Es así como plantear un objetivo general concreto permite direccionar las acciones del plan, y los objetivos específicos contribuirán a marcar las pautas para lograr esa dirección. En este caso, los objetivos específicos del plan en estudio no solo no están enfocados en cumplir el objetivo general, sino que además no se desarrollan dentro del plan operativo.

En la siguiente tabla se presentan los objetivos generales y específicos del Plan Nacional de Emergencia, en paralelo a los del Plan en estudio, con la idea de visibilizar la relevancia del enfoque con que se plantea cada objetivo.

Tabla 1.1.1. Comparación objetivo general Plan Nacional de Emergencia Ministerio de Interior/ Plan Nacional Operativo de Emergencia Ministerio de Agricultura.

Plan Nacional de Emergencia Ministerio de Interior	Plan Nacional Operativo de Emergencia Ministerio de Agricultura
Objetivo General	
<i>Establecer las acciones de respuesta</i> en las distintas fases operativas, ante situaciones de emergencia, desastre o catástrofe, con el objetivo de brindar protección a las personas, sus bienes y medio ambiente, en el territorio nacional, a través de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil.	<i>Contribuir en la definición y coordinación</i> de las medidas de respuesta y recuperación que permitan al agricultor volver, en el menor tiempo posible, a su actividad económica luego de ocurrida una catástrofe.
Objetivos Específicos	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar la cobertura, amplitud y alcance del Plan. 2. Establecer el sistema de alertamiento y niveles de activación del plan. 3. Identificar los sistemas de comunicación e información a la comunidad y medios de comunicación. 4. Establecer la coordinación interinstitucional en función de la definición de los mandos, roles, funciones y fases operativas. 5. Identificar los roles, funciones y capacidades de organismos pertenecientes al Sistema Nacional de Protección Civil y de cooperación internacional, que responden en una emergencia, desastre o catástrofe. 6. Indicar el sistema de evaluación de daños y necesidades. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar y comprender las características del Plan Sectorial de Emergencia (PSE) del Ministerio de Agricultura, tanto en su marco legal, extensión, como los procedimientos que enmarcan su organización intra e interministerial. 2. Establecer planes de acción que contribuyan a realizar una rápida evaluación potencial de una emergencia y/o catástrofe mediante las herramientas tecnológicas e información geoespacial alojadas en la IDEMINAGRI y otras fuentes con las que cuenta el ministerio (Informe 1 de evaluación potencial de impacto) 3. Coordinar y gestionar la ejecución de catastros de situación en terreno para una evaluación real de las emergencias y / catástrofes. 4. Establecer así grados de afectación y la determinación de zonas prioritarias de

	<p>atención, basadas en la colecta de información georreferenciada.</p> <p>5. Contribuir en la definición de protocolos de acción para una rápida coordinación entre los diferentes actores dentro del Ministerio como otros actores externos a este, tanto a nivel Nacional como Regional, para aprovechar de mejor forma las capacidades de cada uno, y así potenciar la respuesta del ministerio frente a una emergencia y/o catástrofe. Con tal de asistir a los agricultores de la manera más eficiente y eficaz posible.</p>
--	---

Existe cierta avenencia entre el planteamiento de los objetivos específicos y como está estructurado el plan que responde a ellos.

Desde el primero que se plantea como objetivo “*Presentar y comprender las características del Plan Sectorial de Emergencia (PSE)...*”, el cual más que aclarar cómo o cual es la finalidad, genera una serie de interrogantes del tipo ¿a quién se presenta? ¿Quién es el que tiene que comprender? ¿Cuál es el Plan Sectorial de Emergencia?

Es así como mientras más específico sea el planteamiento de los objetivos, más concretas y claras serán las acciones para ejecutar. Algo que no se visualiza en el Plan nacional operativo de emergencia del MINAGRI.

h) Relación con otros planes

En el Plan se presenta en el punto 5, el ítem Relación con otros planes, sin embargo, el desarrollo exiguo de este punto genera más incertidumbre que claridad. Dado que se relaciona con el plan nacional de protección civil aprobado por el Decreto N°156 del Ministerio del interior, sin entregar más información al respecto. Asimismo, ocurre en el siguiente párrafo del mismo punto, donde relaciona la coordinación de emergencia agrícola íntegramente con los planes de atención de los gobiernos regionales, sin ninguna descripción o vinculación con dichos planes.

El desarrollo de este punto dentro del documento responde, por una parte, a precisar la vinculación técnica que hay entre el Plan en estudio y otros planes a fines a este; y, por otro lado, a reducir la confusión que se puede generar frente a la aparición de otros planes dentro del escrito. Es decir, en este documento, la aparición de diversos planes que no han sido introducidos previamente genera el cuestionamiento de si se hace referencia al mismo Plan con otro nombre o, en efecto, es otro documento.

En el documento en estudio aparece una serie de planes que no están definidos ni su procedencia, ni su vinculación con el correspondiente Plan, como son:

-  Plan Nacional Sectorial de Agricultura para la Gestión de Riesgos
-  Planes regionales sobre riesgos agroclimáticos y emergencias agrícolas.
-  Planes regionales para el manejo integral de los riesgos agropecuarios.
-  Plan Sectorial de Emergencia.
-  Plan de Ayuda y Atención
-  Plan de Acción para la Emergencia
-  Plan Apoyo/Acción

Es importante destacar que dentro de las políticas nacionales en materias ambientales se han establecido una serie de compromisos en torno a la elaboración de planes de diversas índoles, como los planes sectoriales de mitigación y adaptación al cambio climático, planes de acción regional y comunal de la ley de Marco de cambio climático, entre otros, que aportan información relevante de diagnósticos sectoriales, caracterización de la vulnerabilidad, medidas de acción e indicadores de monitoreo, entre otra información.

Esta información puede ser de gran aporte al ser entrelazada y vinculada de forma adecuada con los protocolos planteados en el presente Plan.

i) Sistema de evaluación de daños y necesidades

En este ítem se debe establecer las líneas de acción, pertinentes a la contingencia, que subsiguen a los protocolos de respuesta del plan de acción. Las directrices deben estar establecidas y precisadas en el Plan, de forma vinculante a eventos y responsables, con plazos y compromisos definidos para conseguir la información relevante y oportuna.

Para este punto, se debe contar con información técnica previa, trabajar con documentos simples, de un formato único, y elaborar las sinergias pertinentes tanto de quienes entregan, recepcionan, sistematizan, analizan y elaboran los documentos técnicos para la toma de decisiones.

En el Plan este ítem se elabora de forma resumida y confusa en el punto 10 *Fase respuesta*. En este punto se describe brevemente las acciones del levantamiento de afectación y deja la responsabilidad de

formalizar “*la existencia aparente de afectación por la acción de emergencia*” al SEREMI. Se menciona que se iniciará un “*proceso de catastro de daños*” a través del formulario único, documento que de acuerdo a lo redactado se entiende que es un formulario establecido por el Departamento de gestión institucional de la subsecretaría de Agricultura. Más queda la incertidumbre respecto del escalamiento de la captación y análisis de la información obtenida.

Por otro lado, en este punto se plantea:

“Si el nivel de afectación, daños o la progresión de posibles pérdidas denotan la necesidad de levantar recursos para colaborar con el restablecimiento del funcionamiento productivo, el INIA regional levantará un informe técnico que será presentado a solicitud del SEREMI respectivo a su CARGIR”.

De este párrafo se generan las interrogantes ¿Existen parámetros establecidos de niveles de afectación y daños?, ¿Cuáles son los criterios que definen la necesidad de levantar recursos?, ¿Es el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) el organismo técnico idóneo para levantar información en esta materia?

A continuación, en el mismo ítem se plantea:

“La Comisión Regional de Emergencias Agrícolas y gestión de riesgo Agroclimático discute el informe técnico, junto con otros informes sobre las materias que pudiesen disponer para completar el análisis de la situación que afecta a un determinado territorio. El producto de esta instancia debe estar orientado a asesorar la toma de decisión relacionada con la declaración de emergencia agrícola que realiza el SEREMI, el cual admitirá o rechazará la solicitud. Elaboran una propuesta de un plan de acción para la Emergencia y su financiamiento, la que es presentada al intendente”.

Este párrafo resulta un breve extracto que refleja gran parte de los puntos de análisis abordados anteriormente, como son:

- La comisión Regional de Emergencias agrícolas y gestión de riesgo agroclimático aparece sin ser presentado o descrita con anterioridad, sin ser parte de la estructura organizacional dentro del Plan.
- Discute un informe técnico que en base a la redacción se asume que es el elaborado por INIA.
- Se relacionan otros informes técnicos que pudiesen disponer, dejando esta acción a criterios y decisiones espontáneas.
- “*El producto de esta instancia*” del cual se asume que es un informe, donde no se definen criterios ni plazos, solo que debe estar orientado a la toma de decisión relacionada con la declaración de emergencia agrícola, que realizará el SEREMI.
- En este párrafo se redacta que el Secretario regional ministerial admitirá o rechazará la solicitud, sin embargo, de lo redactado dentro del Plan se entiende que técnicamente la función del SEREMI es liderar y coordinar el proceso de DEA, admitiendo o rechazando la decisión de presentar la declaración al Delegado presidencial regional.

- Luego el párrafo continúa con “*Elaboran una propuesta de un plan de acción para la Emergencia y su financiamiento, la que es presentada al Intendente*”, sin designar responsables de la elaboración de este plan de acción, y el rol del Intendente, quien aparece hasta este punto y luego se desconoce su rol de acción y su subsiguiente vinculación.

1.2.2 Análisis del enfoque sectorial del plan

El Plan Nacional Operativo de Emergencia (Plan) responde a la necesidad de contar con un plan sectorial, enfocando las respuestas a enfrentar las emergencias en el sector silvoagropecuario. Esta implicancia apunta a considerar en el análisis la pertinencia de las materias y las sinergias con los actores involucrados desde un punto de vista técnico.

El sector silvoagropecuario, en todos sus niveles, es un campo altamente vulnerable a la variabilidad del clima. Los eventos extremos meteorológicos son los principales causantes de desastres en este ámbito. Es por ello, por lo que la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile (ECLP) ha considerado el sector silvoagropecuario como un sector priorizado, en el cual se adopta una serie de objetivos de adaptación, mitigación e integración.

1.2.2.1 Síntesis de la estrategia climática de largo plazo de Chile

Respecto al sector silvoagropecuario, el documento postula que este sector deberá ser capaz de adaptarse a las condiciones climáticas futuras, tales como la sequía y los eventos climáticos extremos, y en particular aumentar la capacidad de adaptación de las y los agricultores más vulnerables. Se identifica que una de las principales amenazas climáticas que afecta al sector es la disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas medias; esto, junto a eventos extremos más intensos y frecuentes, provocando severos impactos, tales como el aumento de la degradación de suelos, disminución de la productividad de cultivos agrícola, el estrés del ganado, aparición de nuevas plagas y enfermedades, y el aumento del riesgo de incendios forestales.

En este contexto, el sector juega un rol clave en la mitigación y adaptación al cambio climático, y en la gestión sostenible del suelo agrícola y forestal para la regulación de caudales y la seguridad hídrica.

La estrategia climática reconoce como el principal responsable en materia silvoagropecuaria al Ministerio de Agricultura (MINAGRI), que cuenta con diversos instrumentos y políticas relevantes para los objetivos de esta estrategia, entre los que se menciona la Política Nacional de Desarrollo Rural. Por su parte, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), dependiente de MINAGRI, administra la política forestal de Chile y ha trabajado desde 2013 en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV), que busca mediante una adecuada gestión de los recursos vegetacionales, evitar o disminuir las tasas históricas de deforestación, de vegetación y degradación de bosques nativos, formaciones

xerofíticas y otros recursos vegetacionales; así como también fomentar la recuperación, forestación, revegetación y manejo sustentable de estos recursos nativos de Chile.

Los objetivos planteados en la ECLP, para los distintos sectores incorporados en la estrategia, reflejan necesidades de respuestas similares, con especificidades que pueden resumirse en:

- Fortalecer la gobernanza sectorial a diferentes escalas del territorio, instalando capacidades en las instituciones públicas y en la diversidad de partes interesadas de cada sector, y profundizando la participación ciudadana en el desarrollo de las políticas de cambio climático sectoriales.
- Profundizar y ampliar el conocimiento científico, el desarrollo tecnológico en los distintos sectores, así como en las interacciones y sinergias entre ellos, para respaldar la toma de decisiones.
- Reducir el riesgo frente a los impactos del cambio climático, a través de un enfoque integrado en las políticas e instrumentos, que reduzcan la vulnerabilidad, la exposición y aumente la capacidad de adaptación, monitoreando la evolución del riesgo en función de las amenazas climáticas cambiantes.
- Integrar el cambio climático en los instrumentos de política sectorial a escala del territorio, reconociendo la diversidad de impactos y de realidades locales.
- Implementar acciones privilegiando las soluciones basadas en la naturaleza.
- Proteger, restaurar, evitar y reducir la degradación de los ecosistemas mediante la promoción del uso, producción y consumo sustentable de los recursos naturales.
- Fomentar competencias productivas sustentables en el sector pesquero y acuícola, agrícola, pecuario y forestal, considerando la adaptación al cambio climático de manera de contribuir a la seguridad alimentaria y a la sustentabilidad de los recursos naturales.
- Promover la seguridad hídrica para consumo humano y saneamiento, y provisión de agua para los ecosistemas y las actividades productivas, contribuyendo al uso eficiente de los recursos hídricos en los territorios. Este lineamiento es transversal y se observará en el cumplimiento de los demás objetivos, metas, lineamientos y directrices de la presente Estrategia.

A continuación, se presentan los principales objetivos de largo plazo, planteados para el sector silvoagropecuario:

- a) Crear y fortalecer las capacidades institucionales y en los territorios en el sector silvoagropecuario, en particular a productores y productoras más vulnerables, para enfrentar los desafíos del cambio climático.
- b) Fomentar I+D+i y extensión rural que aporten a la acción climática para desarrollar un sector silvoagropecuario resiliente y bajo en emisiones.

- c) Fomentar sistemas agroalimentarios bajos en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que a través del uso eficiente y sustentable de los recursos naturales asegure la producción de alimentos de origen agropecuario.
- d) Disminuir la vulnerabilidad y generar resiliencia en el sector silvoagropecuario, potenciando la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, para contribuir a la seguridad alimentaria.
- e) Fortalecer la institucionalidad en cambio climático del Ministerio de Agricultura.
- f) Fomentar iniciativas enfocadas a evitar y/o disminuir la deforestación y la degradación de los recursos vegetacionales, aportando en la mitigación y adaptación al cambio climático, reduciendo la ocurrencia y riesgo de incendios forestales para alcanzar un armónico crecimiento económico, social y ambiental.
- g) Fomentar el manejo y conservación de los recursos vegetacionales nativos (bosques y formaciones xerofíticas) y humedales, orientándolo hacia la producción de bienes y servicios ecosistémicos, conservación de la naturaleza y las necesidades de las comunidades locales.
- h) Potenciar iniciativas que aumenten la creación de bosques y la cobertura permanente de recursos vegetacionales en zonas prioritarias de restauración a escala de paisajes, aumentando la resiliencia y disminuyendo la vulnerabilidad de comunidades y territorios.
- i) Promover la participación en el diseño de las acciones y políticas con enfoque de género y con énfasis en las comunidades locales y pueblos originarios, considerando el respeto por los derechos de las personas y su acervo cultural.

Las metas y acciones propuestas para los distintos objetivos se enmarcan en la elaboración de planes, los más relevantes y de posible interés para el Plan Operativo de Emergencia son plan de extensión rural en cambio climático, plan de adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario 2023-2027; plan de acción de recursos hídricos de los servicios MINAGRI; plan de adaptación sectorial de carácter público-privado.

Además, la construcción de 16 Comités Técnicos Regionales de Cambio Climático (CTRCC); y la operatividad de los Comités regionales de Cambio Climático y La Mesa Asesora Silvoagropecuaria en cambio climático.

1.2.2.2 Análisis técnico del carácter sectorial

De la estrategia climática se pueden reconocer tres ejes principales, que requieren ser fortalecidos en el Plan para robustecer el enfoque sectorial de su operatividad frente a emergencias:

- Fortalecer la gobernanza sectorial, con un enfoque en sectores vinculados al campo silvoagropecuario, incorporando la participación de actores locales y productores dentro de la operatividad del plan, en los niveles de impacto y/o acción que sea oportuno.

El principal, por no decir el único enfoque de sectorialidad que se identifica en el Plan es la participación directa de organismos públicos vinculados al agro, como el Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP), la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA), El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), y se menciona que se consideraran actores locales, más no se identifican.

Solo en la modificación se mencionan nuevas incorporaciones locales como Asociación de Municipios Rurales (Amur), sin definir cuál es su rol y responsabilidad dentro de la operatividad del Plan.

Esta materia resulta esencial considerando la pertinencia de cada órgano técnico y el área de acción para definir sus responsabilidades y las posibles sinergias entre ellos, con la finalidad de que el trabajo de elaboración de información técnica sea eficaz y oportuna, así como en las acciones de respuesta, recuperación y rehabilitación.

- Profundizar y ampliar el conocimiento científico, el desarrollo tecnológico en los distintos sectores, así como las interacciones y sinergias para generar información previa, durante y post evento.

Este tema resulta relevante y esencial en el enfoque de las acciones de respuesta. Contar con información actualizada y adaptada a las condiciones de cada localidad afectada, promover el desarrollo de normas de calidad que permitan definir las zonas latentes y más vulnerables a los eventos, elaborar mapas de zonas de riesgo para cada nivel de impacto en cada evento. Esta acción anticipatoria aportaría en la perspectiva de gestionar del riesgo.

En la introducción del Plan se menciona que el Ministerio de Agricultura institucionalizó una sección de Emergencias y Gestión de Riesgos Agrícolas (SEGRA) con la tarea específica de liderar el Plan Nacional Sectorial de Agricultura para la Gestión de Riesgos (PNSAGR). Sin embargo, no se elabora un marco conceptual de esta sección, ni de este plan generando incertidumbre si corresponde al desarrollado en dicho documento o es uno distinto. El carácter de un plan vinculado a un sector técnico es este caso, el sector silvoagropecuario, introduce la necesidad de elaborar e introducir las materias técnicas que se vinculan en el documento, con la finalidad de que la información que debe ser transmitida sea en base a un lenguaje único.

En el Plan se usa el término “asesor”, quien será activado a requerimiento para algún tema en particular. Este planteamiento genera la pregunta ¿existe una lista de asesores, o se decidirá en el momento? ¿Quién decide? ¿Cuál es el criterio de decisión? .Tener un listado de posibles especialistas, productores involucrados que además de estar en conocimiento de la situación y los protocolos, conozcan y tengan pertinencia en la materia que se aborda. Esta lista debe estar

elaborada para la variedad de eventos pronosticados, debiendo ser evaluada y actualizada junto con el Plan.

- Integrar el cambio climático como uno de los factores determinantes de gestión de riesgos. El art 42 de la Ley de Marco de Cambio Climático plantea:

“Los instrumentos establecidos para la gestión de riesgos de desastres deberán incorporar criterios de adaptación al cambio climático, tanto en su fase de diseño, como en su elaboración, implementación y evaluación”.

Esta ley, entre otros puntos, establece la elaboración de una Plataforma de Adaptación Climática (ARCLIM) que contendrá mapas de vulnerabilidad del territorio nacional al cambio climático, incorporando proyecciones climáticas actuales y futuras para el país, además de diversos planes que aportarán con información de diagnósticos sectoriales, caracterización de la vulnerabilidad, medidas de acción e indicadores de monitoreo, la cual puede ser vinculada y conectada con la información necesaria para la toma de decisiones.

1.2.3 Análisis de alcance nacional del plan

Este análisis se enfoca en evaluar como el presente Plan responde a acuerdos internacionales y operativiza la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNDRRD).

1.2.3.1 *Síntesis de Marco de Sendai 2015-2030.*

En la tercera conferencia mundial de las Naciones Unidas sobre la reducción del riesgo de desastres del año 2015, se reiteró el compromiso de integrar como corresponda, tanto la reducción del riesgo de desastres como el aumento de la resiliencia, en las políticas, los planes, los programas y los presupuestos a todos los niveles, compromiso que Chile ha firmado y ratificado.

En esta conferencia se reafirmó y consolidó la necesidad de tener un enfoque preventivo del riesgo de desastres más amplio y centrado en las personas, y de interactuar con los actores pertinentes (sectores público y privado, organizaciones de la sociedad civil, comunidad académica y las instituciones científicas y de investigación). Así como, en la necesidad de promover la resiliencia a los desastres a todos los niveles y en asegurar que se cuente con los medios de aplicación adecuados.

El Marco se orienta a los riesgos de desastres de pequeña y gran escala, frecuentes y poco frecuentes, súbitos y de evolución lenta, debidos a amenazas naturales o de origen humano, así como a las amenazas y los riesgos ambientales, tecnológicos y biológicos conexos; y tiene por objeto orientar la gestión del riesgo de desastres en relación con amenazas múltiples en el desarrollo a todos los niveles, así como en todos los sectores y entre un sector y otro.

El objetivo principal de estas directrices es “*Prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan el grado de exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación y refuerzen de ese modo la resiliencia*”.

Para lograr este objetivo, el Marco de Sendai plantea que las medidas específicas que los Estados adopten deben considerar cuatro esferas principales. Asimismo, plantea diversas actividades claves que se deben poner en práctica en relación con cada Prioridad de acción.

A continuación, se presentan las cuatro prioridades de acción, y las actividades, a niveles nacional y local, que han sido identificadas como relevantes y vinculares al Plan Operativo de Emergencia en estudio.

A. COMPRENDER EL RIESGO DE DESASTRES

- a) Fomentar la recopilación, el análisis, la gestión y el uso de datos pertinentes e información práctica y garantizar su difusión teniendo en cuenta las necesidades de las diferentes categorías de usuarios, como corresponda;
- b) Alentar el recurso a bases de referencia y su fortalecimiento y evaluar periódicamente los riesgos de desastres, la vulnerabilidad, la capacidad, el grado de exposición, las características de las amenazas y la posible secuencia de efectos en las escalas social y geográfica pertinentes sobre los ecosistemas, con arreglo a las circunstancias nacionales;
- c) Elaborar, actualizar periódicamente y difundir, como corresponda, información sobre el riesgo de desastres basada en la ubicación, incluidos mapas de riesgos, para los encargados de adoptar decisiones, el público en general y las comunidades con riesgo de exposición a los desastres, en un formato adecuado y utilizando, según proceda, tecnología de información geoespacial;
- d) Evaluar, registrar, compartir y dar a conocer al público, de manera sistemática, las pérdidas causadas por desastres y comprender el impacto económico, social, sanitario, educativo y ambiental y en el patrimonio cultural, como corresponda, en el contexto de la información sobre la vulnerabilidad y el grado de exposición a amenazas referida a sucesos específicos
- e) Asegurar que la información no confidencial desglosada por pérdidas sobre el grado de exposición a amenazas, la vulnerabilidad, los riesgos y los desastres esté disponible y accesible libremente, como corresponda;
- f) Promover el acceso en tiempo real a datos fiables, hacer uso de información espacial e in situ, incluidos los sistemas de información geográfica (SIG), y utilizar las innovaciones en materia de tecnología de la información y las comunicaciones para mejorar los instrumentos de medición y la recopilación, el análisis y la difusión de datos;
- g) Impartir conocimientos a los funcionarios públicos a todos los niveles, la sociedad civil, las comunidades y los voluntarios, así como el sector privado, mediante el intercambio de experiencias,

enseñanzas extraídas y buenas prácticas y mediante la capacitación y la educación sobre la reducción del riesgo de desastres, en particular usando los mecanismos existentes de capacitación y educación y de aprendizaje entre pares;

h) Promover y mejorar el diálogo y la cooperación entre las comunidades científica y tecnológica, otros actores pertinentes y los encargados de formular políticas a fin de facilitar la conexión entre la ciencia y las políticas para un proceso eficaz de adopción de decisiones en la gestión del riesgo de desastres;

i) Velar por que se aprovechen como corresponda los conocimientos y las prácticas tradicionales, indígenas y locales, para complementar los conocimientos científicos en la evaluación del riesgo de desastres y en la elaboración y aplicación de políticas, estrategias, planes y programas para sectores específicos, con un enfoque intersectorial, que deberían adaptarse a las localidades y al contexto;

j) Promover la incorporación de los conocimientos sobre el riesgo de desastres, incluida la prevención, mitigación, preparación, respuesta, recuperación y rehabilitación en casos de desastre, en la educación académica y no académica, en la educación cívica a todos los niveles y en la educación y formación profesional;

k) Reforzar la colaboración entre las personas a nivel local para difundir información sobre el riesgo de desastres mediante la implicación de organizaciones comunitarias y organizaciones no gubernamentales.

B. FORTALECER LA GOBERNANZA DEL RIESGO DE DESASTRES PARA GESTIONAR DICHO RIESGO.

a) Adoptar y aplicar estrategias y planes nacionales y locales de reducción del riesgo de desastres con diferentes calendarios de ejecución, con metas, indicadores y plazos, a fin de evitar la creación de riesgos, reducir los riesgos existentes y aumentar la resiliencia económica, social, sanitaria y ambiental.

b) Realizar una evaluación de la capacidad técnica, financiera y administrativa de gestión del riesgo de desastres para abordar los riesgos detectados a nivel local y nacional;

c) Promover el desarrollo de normas de calidad, como certificaciones y premios en materia de gestión del riesgo de desastres, con la participación del sector privado, la sociedad civil, las asociaciones profesionales, las organizaciones científicas y las Naciones Unidas;

C. INVERTIR EN LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LA RESILIENCIA

a) Asignar los recursos necesarios, incluidos recursos financieros y logísticos, como corresponda, a todos los niveles de la administración para desarrollar y poner en práctica estrategias, políticas, planes, leyes y reglamentos para la reducción del riesgo de desastres en todos los sectores pertinentes;

- b) Promover mecanismos para transferencia y seguros del riesgo de desastres, distribución y retención de riesgos y protección financiera, como corresponda, para las inversiones tanto públicas como privadas a fin de reducir las consecuencias financieras de los desastres para los gobiernos y las sociedades, en zonas urbanas y rurales;
- c) Promover la incorporación de las evaluaciones del riesgo de desastres en la elaboración y aplicación de políticas territoriales, incluidas la planificación urbana, las evaluaciones de la degradación de las tierras y las viviendas informales y no permanentes, y el uso de directrices y herramientas de seguimiento basadas en los cambios demográficos y ambientales previstos.
- d) Promover la incorporación de la evaluación, la representación cartográfica y la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión del desarrollo rural de, entre otras cosas, las montañas, los ríos, las llanuras costeras inundables, las tierras áridas, los humedales y todas las demás zonas propensas a sequías e inundaciones, incluso determinando las zonas que son seguras para los asentamientos humanos y preservando al mismo tiempo las funciones de los ecosistemas que contribuyen a reducir los riesgos;
- e) Reforzar la protección de los medios de vida y los bienes de producción, incluidos el ganado, los animales de labor, los aperos y las semillas.

D. AUMENTAR LA PREPARACIÓN PARA CASOS DE DESASTRE A FIN DE DAR UNA RESPUESTA EFICAZ Y PARA “RECONSTRUIR MEJOR” EN LOS ÁMBITOS DE LA RECUPERACIÓN, LA REHABILITACIÓN Y LA RECONSTRUCCIÓN.

- a) Preparar o examinar y actualizar periódicamente los planes, políticas y programas de preparación y contingencia para casos de desastre con la participación de las instituciones pertinentes, teniendo en cuenta las hipótesis de cambio climático y sus efectos en el riesgo de desastres, y facilitando como corresponda la participación de todos los sectores y de los actores pertinentes;
- b) Desarrollar, mantener y fortalecer sistemas de alerta temprana y de predicción de amenazas múltiples que sean multisectoriales y estén centrados en las personas, mecanismos de comunicación de emergencias y riesgos de desastres, tecnologías sociales y sistemas de telecomunicaciones para la supervisión de amenazas, e invertir en ellos; desarrollar esos sistemas mediante un proceso participativo; adaptarlos a las necesidades de los usuarios, teniendo en cuenta las particularidades sociales y culturales, en especial de género; promover el uso de equipo e instalaciones de alerta temprana sencillos y de bajo costo; y ampliar los canales de difusión de información de alerta temprana sobre desastres naturales;
- c) Asegurar la continuidad de las operaciones y la planificación, incluida la recuperación social y económica, y la prestación de servicios básicos en la fase posterior a los desastres;
- d) Promover la realización de ejercicios periódicos de preparación, respuesta y recuperación ante los desastres, incluidos simulacros de evacuación, la capacitación y el establecimiento de sistemas de apoyo por zonas, con el fin de asegurar una respuesta rápida y eficaz a los desastres

y los desplazamientos conexos, incluido el acceso a refugios y a suministros esenciales de socorro alimenticios y no alimenticios, según las necesidades locales;

e) Promover la cooperación de diversas instituciones, múltiples autoridades y actores pertinentes a todos los niveles, incluidas las comunidades y empresas afectadas, habida cuenta de la naturaleza compleja y costosa de la reconstrucción después de los desastres, bajo la coordinación de las autoridades nacionales;

f) Elaborar directrices para la preparación con miras a la reconstrucción después de los desastres, por ejemplo, en relación con la planificación territorial y la mejora de las normas estructurales, en particular basándose en las enseñanzas extraídas de los programas de recuperación y reconstrucción implementados durante el decenio transcurrido desde la adopción del Marco de Acción de Hyogo, e intercambiando experiencias, conocimientos y enseñanzas extraídas;

g) Reforzar la capacidad de las autoridades locales para evacuar a las personas que viven en zonas propensas a los desastres;

Establecer un mecanismo de registro de casos y una base de datos sobre la mortalidad causada por los desastres a fin de mejorar la prevención de la morbilidad y la mortalidad.

1.2.3.2 Síntesis de la Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres (PNRRD)

De acuerdo con lo planteado en el documento “*La Política Nacional y su respectivo Plan Estratégico Nacional 2020-2030 constituyen los instrumentos rectores en el país en materias de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)*”. Este documento define los objetivos, acciones, metas, plazos y actores nacionales involucrados, sirviendo de soporte para las iniciativas de planificación, gestión estratégicas y operativas que serán diseñadas y ejecutadas en el contexto de la reducción de desastres, en el marco del desarrollo sostenible al que Chile aspira.

La Política Nacional responde a los compromisos internacionales adquiridos por el país, en especial, los compromisos establecidos en el Marco de Sendai en materia de reducción de riesgos de desastres del año 2015. Así como la necesidad de establecer la hoja de ruta que fortalezca la gestión de riesgos, en el país y en los diversos sectores, al año 2030.

Los desastres no son naturales, y así lo entiende la PNRRD. La amenaza, exposición y vulnerabilidad frente a eventos, principalmente naturales, se tornan en factores determinantes en la configuración del riesgo de desastres, y es la comprensión integral del riesgo la que fortalece toda acción de respuesta, bajo el Marco de Sendai.

Comprender los factores condicionantes es clave para la toma de decisiones, es por eso que, de la mano de la investigación científica y la cooperación internacional, los organismos técnicos en alianza con la academia, y gracias al trabajo del Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres se ha realizado una caracterización de distintas amenazas presentes en el territorio nacional. Este trabajo es clave en un país altamente vulnerable.

La PNRRD considera diversas perspectivas que deben inspirar e impregnar todos los objetivos y acciones que se desprendan de esta Política. Estos enfoques transversales son Enfoque de derechos; de desarrollo humano; de reducción del riesgo de desastres; de transparencia, acceso a la información y rendición de cuentas; de participación; de inclusión, y de género.

Asimismo, establece seis principios rectores, que representan preceptos fundamentales extraídos de los marcos normativos nacionales vigentes, agendas internacionales y la experiencia que les precede. Los siguientes principios cumplen con el rol de inspirar, integrar e interpretar diversas iniciativas que se desprenden de estos instrumentos. Estos son Prevención; Sostenibilidad; Corresponsabilidad; Equidad; Seguridad; y Coordinación.

De la mano de la innovación, la ciencia y la tecnología, esta Política busca materializar lo que el Marco de Sendai propone en este ámbito: *"Promover y mejorar el diálogo y la cooperación entre las comunidades científica y tecnológica, otros actores pertinentes y los encargados de formular políticas a fin de facilitar la conexión entre la ciencia y las políticas para un proceso eficaz de adopción de decisiones en la gestión del riesgo de desastres"*.

Para lograr establecer las directrices en gestión de riesgos de desastres, e inspirados en el Marco de Sendai, la PNRRD contempla 5 ejes estratégicos prioritarios. A continuación, se presenta el eje y sus objetivos estratégicos:

1. COMPRENDER EL RIESGO DE DESASTRES

- 1.1. Promover la concientización y educación sobre la RRD en los distintos actores del territorio nacional.
- 1.2. Generar y gestionar el conocimiento científico - técnico sobre el riesgo de desastres, aplicado al territorio nacional para su consideración en la toma de decisiones.
- 1.3. Contar con herramientas sectoriales y territoriales para la toma de decisiones considerando escenarios de riesgo de desastres.

2. FORTALECER LA INSTITUCIONALIDAD PÚBLICA EN MATERIAS DE GRD

- 2.1. Fortalecer la institucionalidad pública en materias de GRD.
- 2.2. Fortalecer competencias y capacidades para la GRD en todos los niveles del Estado.
- 2.3. Incorporar en las políticas, planes y programas del Estado que corresponda, el enfoque de RRD.
- 2.4. Fomentar el rol de los distintos actores de la sociedad en la co-construcción de iniciativas para la GRD.
- 2.5. Potenciar mecanismos de transparencia, rendición de cuentas y probidad considerando la implementación de los acuerdos nacionales e internacionales vigentes y ratificados por Chile relacionados a la GRD.
- 2.6. Fortalecer la cooperación internacional mutua en materias de GRD.

3. PLANIFICAR E INVERTIR EN LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LA RESILENCIA

- 3.1. Implementar medidas estructurales para la RRD y el desarrollo de infraestructura resiliente ante desastres.

- 3.2. Implementar medidas no estructurales para la RRD, contando con mecanismos formales para que los distintos actores promuevan una cultura de resiliencia en sus territorios.
- 3.3. Desarrollar mecanismos alternativos y adecuados para el financiamiento de la reducción del riesgo de desastres.
- 3.4. Fortalecer el enfoque de la RRD en instrumentos de planificación y ordenamiento, en sus diversas escalas territoriales.
- 3.5. Proponer estrategias de adaptación al impacto del cambio climático vinculadas a la RRD.

4. PROPORCIONAR UNA RESPUESTA EFICIENTE Y EFICAZ

- 4.1. Fortalecer los sistemas de alerta temprana, de monitoreo, de evacuación y de comunicaciones.
- 4.2. Hay que asegurar que las acciones de las fases de respuesta incorporen en su diseño e implementación la participación ciudadana y los estándares humanitarios.
- 4.3. Desarrollar sistemas integrados para el levantamiento de daños, pérdidas y necesidades.
- 4.4. Desarrollar permanentemente capacidades, individuales y colectivas en el Sistema, para abordar la fase de respuesta.
- 4.5. Desarrollar criterios fundados en estándares nacionales e internacionales, e integrarlos en instrumentos que regulen la operación en fase de respuesta.
- 4.6. Desarrollar y difundir procedimientos y soluciones estandarizadas para un adecuado proceso de transición a la fase de recuperación en contextos de desastres y catástrofes.

5. FOMENTAR UNA RECUPERACIÓN SOSTENIBLE

- 5.1. Implementar metodologías estandarizadas para la evaluación de afectación, daños y pérdidas, directas e indirectas, producto de desastres y catástrofes, que apoyen a la institucionalidad en la toma de decisiones y planificación en base a información de calidad e intersectorial.
- 5.2. Definir líneas de acción estratégicas e instrumentos de gestión y financiamiento para una adecuada planificación e implementación del proceso de recuperación, que considere las etapas de rehabilitación y reconstrucción, en el marco de la visión integrada de todo el ciclo de GRD.
- 5.3. Considerar criterios medio ambiental, social y económicamente sostenibles para la fase de respuesta y recuperación, maximizando las oportunidades de generar escenarios de riesgo que integren el enfoque de sostenibilidad.
- 5.4. Elaborar mecanismos de seguimiento, cierre y evaluación de los procesos de recuperación.
- 5.5. Generar metodología de construcción de procesos de aprendizaje en todo el ciclo de GRD, para potenciar las oportunidades de mejora identificadas tras la evaluación multidimensional de los desastres, en todas las escalas territoriales y todos los sectores del Sistema.

1.2.3.3 Análisis técnico del alcance Nacional

Tanto el Marco de Sendai, como la Política Nacional, están estrechamente vinculadas y tienen un carácter primordialmente precautorio, con un enfoque en que las acciones de gestión deben estar orientadas a

reducir los riesgos y prevenir la aparición de futuros desastres. Desde esta perspectiva es que están planteadas las directrices estratégicas a seguir en cada caso.

El Plan Nacional Operativo de Emergencias integra de manera insuficiente estos lineamientos.

En los dos puntos anteriores, se ha podido apreciar que establecer y robustecer los criterios técnicos establecidos dentro del plan son claves para afinar su operatividad frente a las emergencias que afectan al sector silvoagropecuario. Sin embargo, en este punto, para que el Plan pueda vincularse y cumplir con la política nacional, además de responder a refinar el documento, debe incluir información y acciones que se orienten a comprender el o los riesgos de desastres que amenazan al sector silvoagropecuario, y fortalecer la respuesta en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

En el “análisis sectorial” se hace referencia a la falta de información técnica que se requiere dentro del plan para la toma de decisiones informadas y vinculadas al sector silvoagropecuario. Esta información es la base para establecer el nivel de amenaza, exposición y vulnerabilidad en la que se encuentran los diversos sectores, personas y recursos que se espera salvaguardar. Asimismo, se encuentra estrechamente relacionado con asegurar y fortalecer el conocimiento de los diversos eventos de riesgo.

El alcance nacional involucra contar con los fundamentos técnicos competentes y actualizados a escala local y nacional. En este punto se destaca la necesidad de consolidar un tema que esta mencionado someramente dentro del plan, y es darle más énfasis al diálogo y la cooperación entre las comunidades científica y tecnológica, a fin de facilitar la conexión entre la ciencia y las políticas para un proceso eficaz de adopción de decisiones en la gestión del riesgo de desastres.

Contar con la información adecuada permite elaborar las directrices optimas de acción, pero a la vez formular directrices de gestión que se orienten no solo a reaccionar frente a los desastres, sino a resguardar y recuperar las zonas más vulnerables. La ley Marco de Cambio climático, también presenta un enfoque respecto a que *“los instrumentos y las medidas de mitigación o adaptación para enfrentar los efectos adversos del cambio climático se adoptarán e implementarán sobre la base de la mejor información científica disponible”*, y estipula que es deber del Estado *“fortalecer la interfaz entre la ciencia y las políticas para ayudar de manera óptima a la toma de decisiones y la implementación de estrategias”*.

Como un punto anexo, más no menos importante se debe hacer mención que el documento en estudio no considera un lenguaje de género, criterios que se establecen en acuerdos internacionales. Específicamente en el Marco de Sendai donde se plantea que debiesen integrarse perspectiva de género en los planes y políticas, en este caso considerando un lenguaje adecuado.

1.3 Síntesis final de las brechas en el marco de la evaluación de los contenidos técnicos del Plan.

Respecto al análisis realizado en el punto anterior se puede observar la estrecha vinculación entre las propuestas y lineamientos de los distintos instrumentos de gestión estudiados. Al aunar los criterios

planteados se identifican ciertas brechas del Plan Nacional Operativo de Emergencia para el Sector Silvoagropecuario, las que fueron abordadas y vinculadas particularmente a cada instrumento evaluado.

La idea de esta síntesis es presentar tres enfoques principales que abordan las brechas respecto a la operatividad del plan, el enfoque técnico para abordar la emergencia, y su sentido precautorio en la reducción del riesgo.

1. El Plan, como se encuentra presentado en el documento aprobado por resolución 309, requiere un robustecimiento de las directrices que definen cada acción con sus respectivos encadenamientos funcionales y sinergias, para lograr la eficiencia y eficacia en la operatividad que se requiere para cada evento, y realizar el seguimiento y evaluación de los respectivos compromisos.

Para ello resulta clave trabajar en:

Establecer una matriz de asignación de responsabilidades, es una forma práctica y estructural de identificar los roles y responsabilidades de las personas, comisiones, instituciones y actores involucrados para cada tarea asignada, y poder dar seguimiento a los compromisos asumidos, dejando claro los reportes que se deben entregar y con quien se debe coordinar cada acción declarada.

Establecer una matriz de impactos y niveles de alerta vinculados a cada tipo de evento posible de generar emergencias y cada sector de interés, con indicadores locales y nacionales, si es necesario. En base a esta matriz, definir las respuestas escaladas para cada nivel de impacto.

Ajustar la redacción del documento a eliminar cualquier interrogante o incertidumbre que se genere para la operatividad, reduciendo los “*puede ser*”. Unificando términos y elaborar un ítem de definiciones y otro de acrónimos para dejar claro todas las siglas que se ocupen, y anexar la información que complemente las decisiones, y que no se describan en el plan.

Elaborar una estrategia de difusión que permita gestionar el flujo de la toma y comunicación de decisiones interna y externamente de forma adecuada, segura y transparente.

2. El Plan requiere incorporar la información técnica de calidad, para así establecer las acciones idóneas para cada nivel de impacto, la toma de decisiones de respuestas oportunas y eficaces que respondan a las necesidades del sector silvoagropecuario.

Para ello resulta clave trabajar en:

Elaborar la información base vinculada al área de interés, que fusione los diversos planes técnicos, estudios científicos, catastros, entre otros. Mapas de riesgo, Niveles y criterios de impacto para cada evento, Descripción y categorización de los eventos, Zonas vulnerables y amenazadas, Normas de calidad, Zonas latentes y saturadas, entre otras.

Promover la interacción y sinergia entre la ciencia y las políticas, involucrar a asesores científicos y productores, actores locales. Contar con una lista, con investigadores, profesionales, actores locales para cada campo, territorio, materia, y otros, que sea abierta y actualizada periódicamente junto con el Plan.

Realizar una evaluación de la capacidad técnica de cada órgano y responsable involucrado, y asignar funciones y responsabilidades en base a sus competencias y especialidades en la materia que se aborda y/o el sector involucrado.

Establecer conexiones técnicas y normativas con otros planes, sistemas de información y documentos técnicos que estén disponibles y que puedan ser utilizados para las diferentes materias que se abordan.

3. El Plan requiere incorporar a sus lineamientos un enfoque precautorio y de gestión de riesgos, si espera cumplir los diversos compromisos nacionales e internacionales en esta materia.

Para ello resulta clave trabajar en:

El documento presenta un operativo de acción frente a desastres más carece de lineamientos que se orienten a reducir los riesgos y evitar los posibles desastres. La elaboración de directrices previo, durante y post emergencia es clave para responder a este eje estratégico.

Establecer una hoja de ruta que fortalezca la gestión de riesgos. Establecer un mecanismo de registro, examinar y actualizar periódicamente los protocolos establecidos y su idoneidad frente a las contingencias. Evaluar la efectividad del plan en cada evento.

Elaborar directrices para la preparación con miras a la reconstrucción después de los desastres, para ello es necesario reforzar la capacidad de las autoridades locales y los actores involucrados.

Impartir conocimientos a todos los involucrados dentro del Plan, incluido a los posibles afectados. a todos los niveles. Es crucial asegurarse de que cualquier cambio en los protocolos sea comunicado y entendido por todas las partes involucradas, y que se realice la capacitación necesaria para implementar el nuevo protocolo de manera efectiva.

4. Desde el análisis técnico presentado en este informe se ha identificado que este plan no se vincula técnicamente con el Plan de adaptación nacional al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027, por lo que no es posible realizar observaciones pertinentes.

2 CAPÍTULO 2

Objetivo 4.

Identificar, analizar y priorizar metodologías disponibles, nacional e internacionalmente, para la evaluación de efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados, en base a las medidas propuestas en el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

2.1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los desafíos actuales más complejos que enfrenta la sociedad a nivel global, debido a la interconexión de factores ambientales, sociales y económicos que lo impulsan (IPCC, 2021). Este fenómeno ejerce una influencia directa en el sector silvoagropecuario, dada su alta sensibilidad a las variaciones en los patrones climáticos (Kerr et al., 2022). La disminución de la disponibilidad de agua, esencial para la agricultura, se traduce en una menor capacidad para irrigar cultivos y para abastecer a los animales. La intensificación de eventos extremos, como sequías prolongadas y precipitaciones intensas, están alterando significativamente la estabilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos. Estos cambios comprometen la disponibilidad de agua, recursos esenciales para la producción y la productividad misma de los cultivos y ganado. Asimismo, la variabilidad climática impredecible dificulta la planificación de siembras y cosechas presentando un desafío adicional para los agricultores y ganaderos en la planificación y gestión de sus operaciones. La seguridad alimentaria también se ve amenazada, ya que los rendimientos agrícolas pueden disminuir y la disponibilidad de alimentos básicos puede verse perjudicada (Devot et al., 2023; Holleman et al., 2012; FAO, 2015). Por tanto, es necesario implementar estrategias de adaptación y mitigación en el sector silvoagropecuario para asegurar su resiliencia y sostenibilidad a largo plazo en un contexto de cambio climático.

Predecir eventos climáticos extremos a nivel específico y detallado para las próximas décadas es extremadamente difícil debido a la complejidad inherente de los sistemas climáticos (Seneviratne et al., 2021). Sin embargo, para abordar esta complejidad, se utilizan modelos climáticos que permiten realizar proyecciones y estimaciones sobre posibles tendencias futuras. Estos modelos se basan en datos observados del pasado y en nuestra comprensión de los procesos climáticos para simular cómo podrían evolucionar las condiciones en el futuro. Es importante destacar que estas proyecciones no son predicciones precisas de eventos individuales, sino que proporcionan un panorama general de posibles tendencias. Por ejemplo, pueden indicar un aumento en la frecuencia o intensidad de eventos como sequías, inundaciones, tormentas u olas de calor en ciertas regiones.

Aunque no se puede predecir un evento climático extremo específico en un lugar y momento determinados, las proyecciones a largo plazo permiten una planificación más informada para la adaptación y la mitigación de los riesgos asociados al cambio climático. Estas proyecciones son herramientas esenciales para guiar políticas y prácticas destinadas a reducir la vulnerabilidad de comunidades y sectores económicos, incluido el sector silvoagropecuario.

La Cuarta Comunicación sobre Cambio Climático para Chile (MMA, 2021) establece que el país enfrenta una notable vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, destacando la sequía como una de las principales amenazas para el sector silvoagropecuario. La evidencia indica una clara tendencia a la disminución de las precipitaciones y al aumento de las temperaturas en la zona centro-sur de Chile en las últimas décadas. Las proyecciones climáticas para el año 2050 sugieren que estas tendencias persistirán, lo que conllevará a un incremento de la aridez y la escasez de agua, así como a un aumento de los impactos relacionados con el estrés hídrico, principalmente en las áreas de mayor producción agrícola del país.

De manera general, se anticipa una reconfiguración del mapa productivo, con una migración de ciertos cultivos hacia el sur y una disminución de los rendimientos de algunos cultivos debido a los efectos combinados de los cambios en temperaturas y precipitaciones. También se prevén impactos en la fruticultura de clima templado debido a la reducción del frío invernal necesario para la floración y maduración. En cuanto a la aptitud vitivinícola de los valles, se estima que para el año 2050, el área propicia para el cultivo de la vid podría reducirse en un 47% respecto a su extensión actual, concentrándose principalmente en los valles del Maipo, Colchagua y Cachapoal. Asimismo, se espera un aumento en la extensión y la intensidad de las plagas y enfermedades.

En cuanto a la ganadería, se prevé una mayor frecuencia de olas de calor y de estrés térmico asociado a alta humedad, lo que tendría un impacto significativo en la producción de ganado de carne, leche y lana. Por otro lado, la productividad de las plantaciones forestales podría experimentar mejoras en algunas zonas del país, especialmente aquellas que presentan limitaciones por bajas temperaturas y heladas, como en la pre-cordillera andina. En escenarios futuros la productividad disminuiría en la zona norte como consecuencia del aumento del déficit hídrico. Las mayores productividades estarían en las regiones de La Araucanía y Los Lagos, debido al incremento del periodo de crecimiento. No obstante, es importante destacar que los incendios forestales representan la principal amenaza para las plantaciones, ya que una gran proporción de la superficie quemada anualmente corresponde a este tipo de cultivo.

El objetivo de este informe es identificar, analizar y priorizar metodologías disponibles, nacional e internacionalmente, para la evaluación de efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados, en base a las medidas propuestas en el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

Para evaluar los impactos del cambio climático en la agricultura, se utilizan diversas metodologías y herramientas, muchas de las cuales están fundamentadas en el enfoque desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2007 y 2014). Estos métodos facilitan la evaluación de los efectos potenciales que el cambio climático podría tener sobre los rendimientos de los cultivos, las prácticas agrícolas y la seguridad alimentaria, ayudando a diseñar estrategias adaptativas para afrontar los desafíos emergentes del cambio climático.

Existen dos enfoques principales en los que se ha aplicado la metodología del IPCC para evaluar los riesgos del cambio climático en el sector silvoagropecuario. El principal enfoque se centra en facilitar una comunicación efectiva de los riesgos del cambio climático a agricultores y actores políticos, buscando promover una comprensión clara y precisa de los riesgos, y fomentando la toma de decisiones informadas para una adaptación y mitigación exitosa frente a estos desafíos climáticos. Este enfoque es el que se utiliza para informar los procesos de Planes Nacionales de Adaptación al Cambio Climático. Por otro lado, existe otro enfoque que involucra el uso de esta metodología para asesorar a la industria agroalimentaria, buscando reducir los impactos negativos de futuros proyectos agrícolas. Este enfoque está orientado a la planificación y ejecución de proyectos más sostenibles y resilientes ante el cambio climático.

La diversidad de estudios realizados globalmente para evaluar el riesgo climático, basados en la metodología del IPCC en el sector silvoagropecuario, manifiestan diferencias importantes, principalmente atribuibles a dos factores clave. En primer lugar, las variaciones se notan en los modelos de rendimiento de cultivos empleados; distintos estudios utilizan diferentes enfoques y modelos para predecir y evaluar los rendimientos bajo escenarios climáticos.

En segundo lugar, las diferencias también residen en los indicadores seleccionados para evaluar la capacidad de adaptación (CA) y sensibilidad (S) de los sistemas agropecuarios frente al cambio climático. La elección de estos indicadores suele estar influenciada por la escala de análisis: ya sea local, regional o nacional, y también por la disponibilidad y calidad de la información existente en cada contexto geográfico y socioeconómico específico.

Estas diferencias subrayan la diversidad de enfoques y la adaptabilidad de las metodologías utilizadas para entender y gestionar los riesgos climáticos en el ámbito silvoagropecuario

2.2.1 Metodología del IPCC para evaluar riesgos climáticos

El Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) propone una metodología para evaluar el riesgo climático basada en una comprensión integrada de la vulnerabilidad, la exposición y las amenazas asociadas con el cambio climático. La evaluación del riesgo se aborda en el AR5 siguiendo las siguientes etapas:

a) Identificación de amenazas (A):

Corresponde a los diferentes peligros climáticos, como el aumento de las temperaturas, la variabilidad de las precipitaciones, las tormentas extremas, etc. En esta etapa se utilizan modelos climáticos de

circulación general de la atmósfera (GCM) para proyectar cómo podrían cambiar estas amenazas en escenarios futuros.

b) Exposición (E):

Corresponde a las áreas, poblaciones y sistemas están expuestos a las diferentes amenazas identificadas. Se debe identificar qué áreas y sistemas dentro del sector silvoagropecuario están más expuestos a las amenazas climáticas

c) Sensibilidad (S):

Está determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático. Lo anterior incluye atributos físicos (como, por ejemplo, el material de construcción de las viviendas, el tipo de suelo agrícola); y sociales, económicos y culturales (como la estructura demográfica) del sistema.

d) Capacidad Adaptativa (CA):

Es la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles.

e) Evaluación de Vulnerabilidad (V):

Evalúa cuan sensible o susceptibles son las poblaciones, sistemas y sectores identificados a los peligros climáticos. Se debe analizar cómo las prácticas agrícolas, forestales y ganaderas son susceptibles a las amenazas identificadas y cuál es su capacidad para adaptarse.

f) Evaluación del riesgo (R):

El riesgo climático representa un indicador de la magnitud del daño que se podría esperar frente a un cambio en las condiciones climáticas.

El riesgo se evalúa considerando la interacción entre la amenaza (A), la exposición (E) y la vulnerabilidad (V) como se muestra en la figura 2.1.

Se consideran tanto los riesgos actuales como futuros, teniendo en cuenta diferentes escenarios de emisión y adaptación. Esta etapa implica el uso de modelos para proyectar impactos futuros bajo diferentes escenarios de cambio climático.

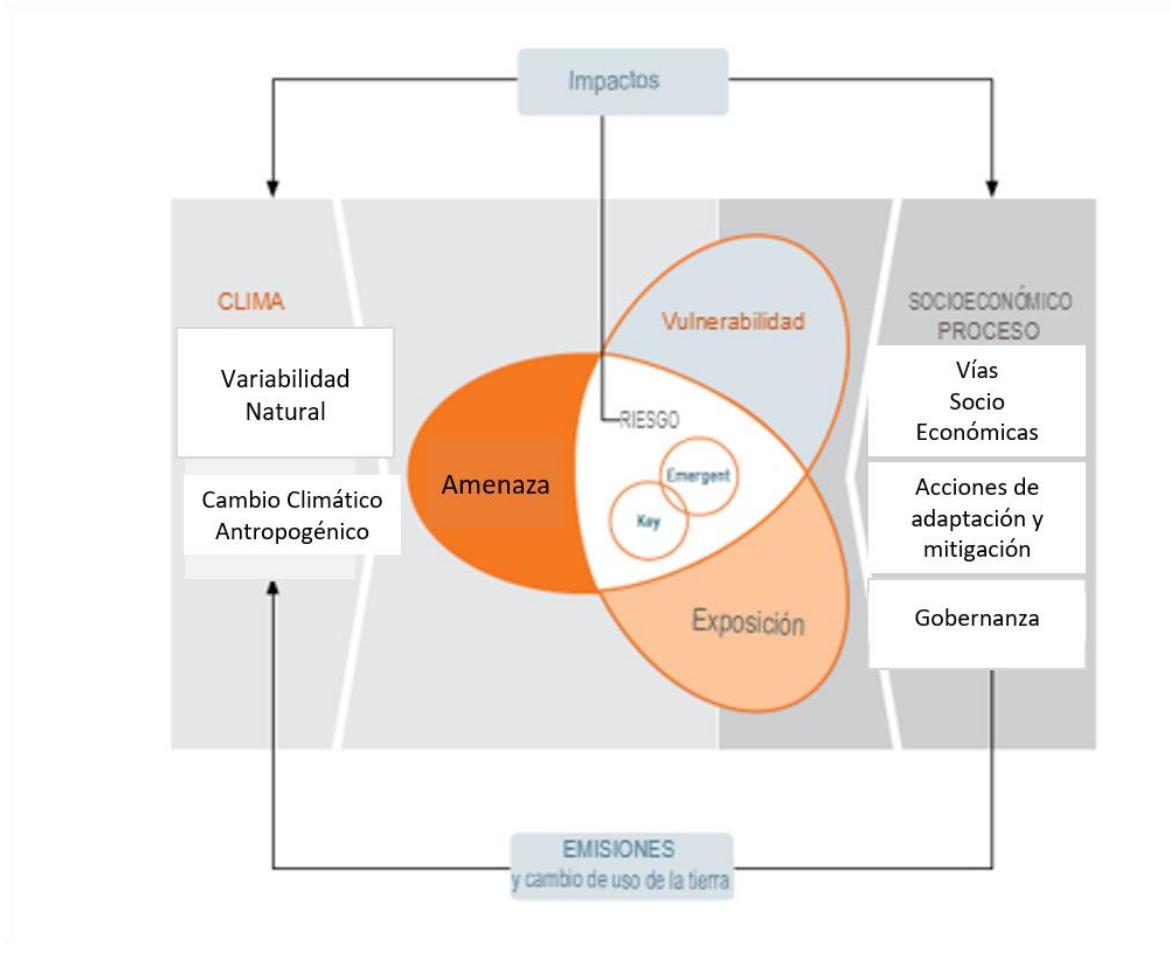


Figura 2.1. Componentes del riesgo climático definidos por el IPCC 2014 (AR5)

El riesgo normalmente queda determinado a través de la siguiente expresión:

$$\text{Índice de Riesgo} = f(E, V, A)$$

donde f es una función definida para integrar E, V y A, como puede ser la suma o el promedio de estos componentes

A su vez la Vulnerabilidad, está determinada por la Sensibilidad (S) y la Capacidad Adaptativa (CA):

$$\text{Vulnerabilidad} = \frac{\text{Exposición} \times \text{Sensibilidad}}{\text{Capacidad de Adaptación}}$$

Para realizar la integración de estos componentes es común normalizarlos para obtener valores entre 0 y 1. Los más común es utilizar la siguiente función de normalización:

$$Indice_{si} = \frac{Si - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}$$

Donde S_i corresponde al valor real de un componente para una unidad espacial, y S_{max} y S_{min} son los valores máximos y mínimos de un país o región analizada. De esta manera, se obtiene indicadores, que provienen de variables que son medidas en distintas escalas, normalizados en un rango que varía entre 0 y 1, siendo 0 el caso más desfavorable y 1 el escenario más favorable.

Enfoques metodológicos para evaluar riesgo en el sector silvoagropecuario:

Las metodologías que se han aplicado diferentes partes del mundo para evaluar riesgo climático en el sector silvoagropecuario se basan en el enfoque general del IPCC. Algunas metodologías se siguen basando en la integración de componentes definidos en el cuarto informe del IPCC (AR4), donde La Vulnerabilidad se define como “el grado en el cual un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos” (IPCC, 2007).

La Figura 2.2 proporciona una visión comparativa simplificada de los marcos de riesgo climático descritos en AR4 y AR5. Con el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC, la vulnerabilidad al cambio climático se integró en un marco conceptual centrado en el riesgo climático. Este término se refiere al riesgo de impactos relacionados con el clima que resultan de la interacción de peligros relacionados con el clima (incluidos eventos amenazantes y tendencias) con la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales (Oppenheimer et al., 2014). Bajo este marco, las amenazas se refieren a cambios en el clima y sus efectos sobre sistemas geofísicos tales como inundaciones, sequías, aumento del nivel del mar y aumento de las temperaturas, mientras que la vulnerabilidad se refiere a las características de los sistemas humanos o socioecológicos expuestos a eventos y tendencias

Varias evaluaciones que se utilizan para informar los procesos de Planes Nacionales de Adaptación usan los elementos conceptuales de los marcos AR4 y AR5 y ambos enfoques pueden proporcionar percepciones útiles para apoyar la planificación de la adaptación.

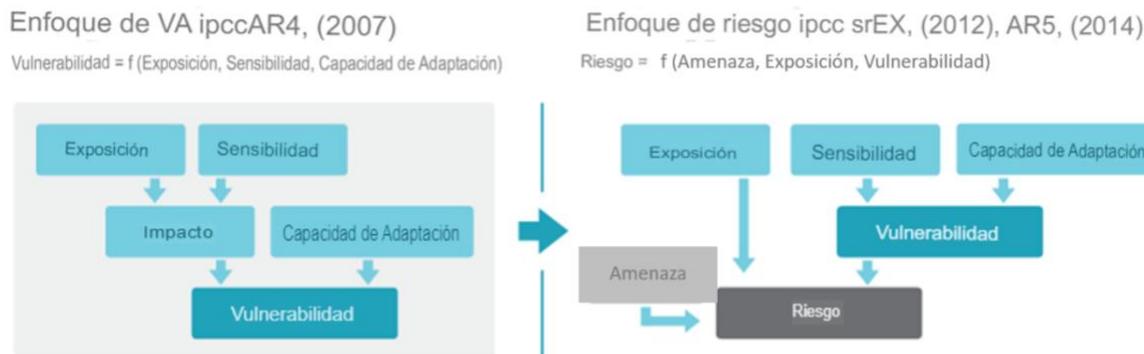


Figura 2.2. Comparación de los componentes de vulnerabilidad al cambio climático (AR4) y riesgo climático (AR5).

2.2.2 Vulnerabilidad del sector agrícola al cambio climático: el desarrollo de una evaluación de vulnerabilidad al riesgo climático pantropical para informar la toma de decisiones subnacionales

Metodología de Evaluación de Vulnerabilidad al Riesgo Climático (CRVA):

Este estudio desarrollado por Parker et al., 2019¹ tuvo el propósito de disponer de una metodología robusta y replicable que sea flexible ante las limitaciones de datos y que priorice espacialmente la vulnerabilidad de la agricultura y los medios de vida rurales ante el cambio climático. Este estudio usa el enfoque empleado previamente por el WGII-IPCC (en especial en el AR4) que se centraba en el concepto de Vulnerabilidad climática, como muestra la figura 2.3:

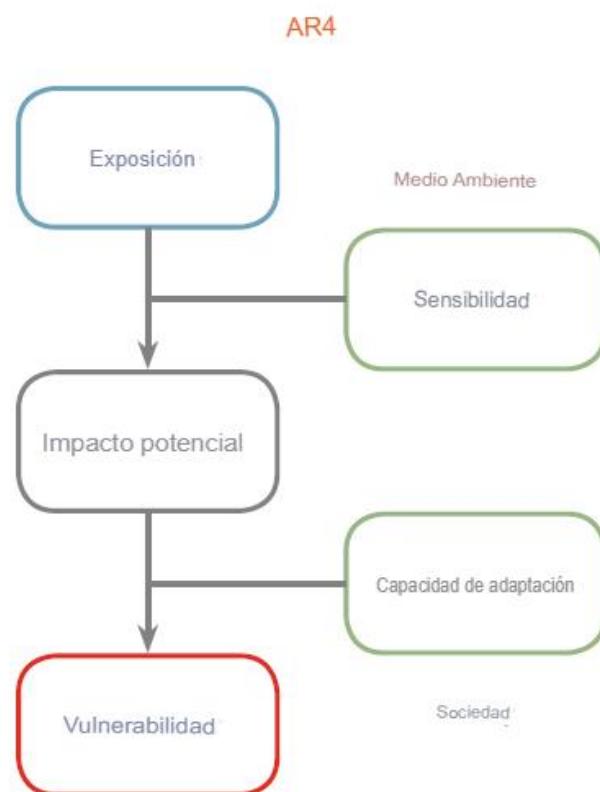


Figura 2.3. Elementos que definen la vulnerabilidad. Fuente: GIZ, 2017.

La metodología ha sido aplicada en Vietnam, Uganda y Nicaragua, tres países en desarrollo contrastantes que están particularmente amenazados por el cambio climático. La vulnerabilidad al cambio climático se

¹ <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0213641>

conceptualizó siguiendo la combinación ampliamente adoptada de sensibilidad, exposición y capacidad adaptativa. Se utilizaron los modelos de cultivo Ecocrop bajo un escenario climático de altas emisiones para evaluar la sensibilidad de los principales cultivos ante el cambio climático. Utilizando un enfoque participativo, se identificó la exposición a riesgos naturales y los principales indicadores de capacidad adaptativa. Finalmente, se combinaron los componentes de vulnerabilidad usando una ponderación igual para producir un índice de vulnerabilidad específico para cada cultivo y una puntuación acumulativa final.

Por ejemplo, en Vietnam, se encontró que el delta del Mekong es una de las regiones vulnerables debido a una disminución en la aptitud climática del arroz y el maíz, combinada con una alta exposición a inundaciones, aumento del nivel del mar y sequía. Sin embargo, la región está marcada por una capacidad adaptativa relativamente alta debido a una infraestructura desarrollada y niveles de educación comparativamente altos.

Tabla 2.1.1. Cultivos seleccionados en Parker et al., 2019 para cada país estudiado junto con su valor neto de producción, valor bruto de producción, contribución al producto interno bruto agrícola, contribución al PIB, suministro de alimento, área cosecha.

País	Cultivo	Valor Neto de Producción (USD millones, 2001-2006 constantes)	Valor Bruto de Producción (USD millones, 2001-2006 constantes)	Sistema de producción contribución al PIB agrícola (%)	Sistema de producción contribución al PIB nacional (%)	Suministro de alimentos (Kcal/capita/día)	Área Cosechada (Ha)
Nicaragua	Café Arábica	96	96	3.68	1.09	0.66	116,129
	Frijol	126	132	4.93	1.48	178	202,565
	Arroz	111	111	4.20	1.25	405	92,832
	Maíz	63	71	2.71	0.80	629	271,514
	Cacao	2	2	0.067	0.02	5	6,177
Uganda	Plátano	1,449	2	33.32	9.24	327	1,689,270
	Mandioca	530	530	9.12	2.53	275	590,830
	Maíz	321	362	6.18	1.71	332	1,046,400
	Frijol	239	270	4.66	1.30	97	840,292
	Camote	202	202	3.49	0.97	179	532,958
Vietnam	Arroz	10,000	12	NA	NA	1388	7,647,602
	Café Robusta	1,389	1,389	NA	NA	-	544,033
	Maíz	NA	703	NA	NA	90	1,125,078
	Mandioca	1,007	1,007	NA	NA	22	531,778
	Anacardo	744	744	NA	NA	19	326,768

Evaluación de la exposición:

Se dividió la exposición en dos componentes: la **exposición 1** se refiere a los cambios en temperatura y precipitación entre las condiciones actuales y la proyección futura (2050). Para estimar las condiciones actuales se utilizaron datos de Worldclim (<https://worldclim.org/data/index.html>).

La **exposición 2** incluye riesgos naturales (aumento del nivel del mar, inundaciones, sequías y ciclones tropicales) y procesos amenazantes (erosión del suelo y degradación del terreno) que se consideran que presentan un riesgo significativo para el sector agrícola y han sido utilizados en estudios previos para desarrollar índices de riesgo y vulnerabilidad ante desastres.

Algunos de los elementos incluidos se adquieren de la Plataforma Global de Datos de Riesgo (UNEP, 2013)², la cual proporciona datos de riesgo georreferenciados con una alta resolución y amplia cobertura. En cuanto a las inundaciones y sequías, los riesgos climáticos se derivan de registros históricos y modelado estadístico. Se usó además la ecuación de pérdida de suelo RUSLE para determinar el riesgo de erosión del suelo.

Los índices fueron normalizados para obtener valores entre 0 y 1 para que los valores puedan ser integrados.

Evaluación de la sensibilidad:

Para este estudio, la sensibilidad se entiende como el cambio en la aptitud climática de un área para un cultivo. Se estimó este cambio restando la aptitud climática actual de la futura.

Finalmente se calculó el cambio entre la aptitud actual y la proyectada, para cada unidad administrativa y se clasificó en un índice de sensibilidad.

Tabla 2.2. Índice de sensibilidad usado en base a los cambios en el rendimiento entre escenario futuro y línea base en Parker et al., 2019.

Clasificación	Cambios (%)	Índice de Sensibilidad
Negativo	-50 a -100	1
	-25 a -49	0.5
	-5 a -24	0.25
No cambio / sin presencia de cultivo	-5 a +5	0
Positivo	5 a 24	-0.25
	26 a 49	-0.5

² [WESR: Risk \(unepgrid.ch\)](https://wesr.unepgrid.ch/)

Clasificación	Cambios (%)	Índice de Sensibilidad
	50 a 100	-1

Evaluación de la capacidad adaptativa:

Para el componente de capacidad adaptativa, se compilaron datos de indicadores de: educación, pobreza, capacidad organizativa, atención médica, accesibilidad/infraestructura, y se normalizaron todos los valores de 0 a 1. En el caso de la pobreza, se usó el índice de coeficiente de Gini de manera que los valores de 1 significaran total igualdad, mientras que un valor de 0 indicaba máxima desigualdad.

En cuanto al indicador de salud, se creó un promedio de los conjuntos de datos ingresados y luego normalizamos de 0 a 1, posteriormente se invirtieron los datos de manera que valores cercanos a 1 indicaran una provisión positiva de atención médica, mientras que un valor cercano a 0 sugería una baja provisión de atención médica.

Los indicadores fueron normalizados con valores linealmente a un intervalo de 0-1 basado en sus valores mínimos y máximos en cada distrito.

Evaluación del índice final de vulnerabilidad:

Finalmente, se usó la combinación de los riesgos naturales normalizados, la capacidad adaptativa y la sensibilidad (específica del cultivo) para calcular la vulnerabilidad general por unidad espacial (similar a una comuna). Cuando están disponibles los datos del área cosechada para cada cultivo, es posible ponderar el componente de sensibilidad por la proporción del área cosechada de ese cultivo particular al área total cosechada del sistema de cultivo.

La vulnerabilidad general está determinada por la contribución ponderada del impacto potencial ($S_i + E_i$) y la Capacidad Adaptativa (CA)

$$\text{Vulnerabilidad general} = \sum_{i=1}^5 \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \frac{\text{Área cosechada}_i * (S_i + E_i)}{\text{Área cosechada total}} \right) + AC$$

Donde: i = Cada uno de los cultivos, Área cosechada_i = Área cosechada por cultivo, $\text{Área cosechada total}$ = Área total cosechada para los 5 cultivos, S_i = Sensibilidad del cultivo i , E_i = Exposición del cultivo i , AC = Capacidad Adaptativa.

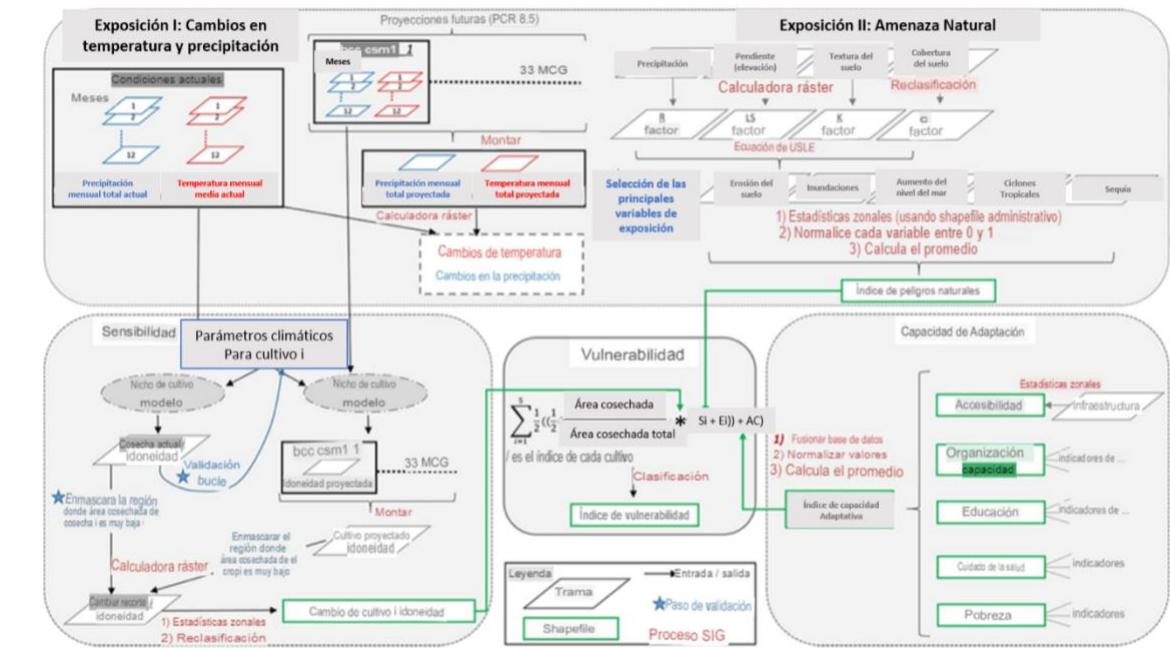


Figura 2.4. Esquema para evaluar la vulnerabilidad de la agricultura y los medios de vida rurales ante el cambio climático proyectado en Parker et al., 2019.

En la figura anterior se puede observar que el marco está dividido en cuatro principales cajas grises en las que se combinan los resultados en el índice de vulnerabilidad final. Las flechas negras indican la dirección de la entrada a la salida para el proceso GIS etiquetado en rojo. Los rectángulos verdes indican el resultado del proceso GIS, que se formatean en conjuntos de datos de shapefile. Los datos espaciales raster se muestran mediante paralelogramos grises, excepto para los rasters climáticos donde los colores azul y rojo se refieren respectivamente a las condiciones actuales y futuras. Finalmente, las estrellas azules se refieren a la necesidad de validación de expertos o aportes de la literatura científica.

2.2.3 Evaluación de riesgos y vulnerabilidad de la agricultura india al cambio climático

Estudio desarrollado por Rao et al., 2019. Adoptando la definición de vulnerabilidad dada por el IPCC en su enfoque AR5, se evaluó la vulnerabilidad de 572 distritos rurales de India. Se eligieron 38 indicadores que reflejan la sensibilidad, capacidad adaptativa y exposición para construir el índice de vulnerabilidad compuesto. Los indicadores se seleccionaron siguiendo la metodología de UNDP. Los datos sobre estos indicadores se normalizaron basándose en la naturaleza de la relación.

Tabla 2.3. Listado de indicadores de amenaza futura incluidos en el cálculo del índice de riesgo. por Rao et al., 2019.

S. No.	Indicador	Medición (unidad)	Justificación	Relación con la amenaza futura
1	Cambio en la lluvia anual	Cambio (%) en la lluvia anual durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la lluvia es favorable para la productividad agrícola	Inversa
2	Cambio en la lluvia de junio	Cambio (%) en la lluvia de junio durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la lluvia permite la siembra de cultivos en la noche	Inversa
3	Cambio en la lluvia de julio	Cambio (%) en la lluvia de julio durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la lluvia de julio permite la siembra de cultivos en la noche y un mejor establecimiento del cultivo	Inversa
4	Cambio en el número de días lluviosos	Cambio (%) en el número de días lluviosos durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en el número de días lluviosos implica una mejor distribución de la lluvia	Inversa
5	Cambio en la temperatura máxima	Cambio en la temperatura máxima (°C) durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la temperatura máxima implica efectos adversos en los rendimientos de los cultivos	Directa
6	Cambio en la temperatura mínima	Cambio en la temperatura mínima (°C) durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la temperatura mínima implica efectos adversos en los rendimientos, especialmente para cultivos rabi como el trigo	Directa
7	Cambio en la incidencia de días inusualmente cálidos	Cambio en la frecuencia de días durante marzo a mayo cuando la temperatura máxima supera la normal en al menos 4°C durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la frecuencia implicará efectos adversos en los rendimientos	Directa

8	Cambio en la incidencia de días inusualmente fríos	Cambio en la frecuencia de días durante diciembre a febrero cuando la temperatura mínima cae por debajo de la normal en al menos 4°C durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la frecuencia implicará efectos adversos en los rendimientos	Directa
9	Cambio en la frecuencia de aparición de heladas	Cambio en la frecuencia de aparición de heladas durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la frecuencia implicará efectos adversos en el rendimiento	Directa
10	Cambio en la propensión a la sequía	Cambio en la propensión a la sequía durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento en la propensión a la sequía implica un mayor riesgo para el rendimiento	Directa
11	Cambio en la incidencia de períodos secos de >= 14 días	Cambio en el score* calculado para períodos secos durante junio a octubre durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Cuanto mayor es el número de períodos secos, menor es la productividad	Directa
12	Cambio en el percentil 99 de la precipitación diaria	Cambio durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento indica la posibilidad de que la productividad de los cultivos se vea afectada. Un aumento en la intensidad de dicho evento extremo de precipitación también significa una mayor probabilidad de inundaciones con todos los problemas asociados.	Directa
13	Cambio en el número de eventos con >100 mm en 3 días	Cambio en el número de eventos durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Estos eventos afectarán negativamente la posición y la productividad del cultivo. Un aumento en la incidencia de estos eventos también significa una mayor probabilidad de inundaciones con todos los problemas asociados.	Directa

14	Cambio en la máxima precipitación promedio en un día como % del promedio anual	Cambio durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Un aumento indica la posibilidad de que la productividad de los cultivos se vea afectada. Un aumento en la intensidad de dicho evento extremo de precipitación también significa una mayor probabilidad de inundaciones con todos los problemas asociados. También es un indicador de la distribución desigual de la precipitación.	Directa
15	Cambio en la máxima lluvia promedio en 3 días consecutivos como % del normal anual	Cambio durante 2020-49 en relación con la línea de base (1976-2005)	Estos eventos afectarán negativamente el cultivo y la productividad. Un aumento en la incidencia de estos eventos también implica una mayor probabilidad de inundaciones con todos los problemas asociados.	Directa

*El score de período seco se calcula de la siguiente manera: Puntuación = $\Sigma[\text{Exp}\{(\text{Duración del período seco}/14)-1\}]$ para períodos secos de ≥ 14 días. Se espera que un período seco de menos de 14 días no afecte adversamente al cultivo en general y un período seco de más de 42 días no permitirá que el cultivo produzca nada significativo. Por lo tanto, los valores fueron truncados en estos dos puntos.

Tabla 2.4. Indicadores de amenazas históricas incluidos en el cálculo del índice de riesgo por Rao et al., 2019.

No.	Indicador	Medición (unidad)	Justificación	Relación con la amenaza	Fuente de datos
1	Propensión a la sequía	Índice calculado combinando la probabilidad de ocurrencia de sequías severas y moderadas con pesos respectivos de 2:1 y expresado en %	La incidencia de sequías más frecuentes implica más riesgos para la agricultura y, por lo tanto, más peligros	Directa	Derivado de datos de lluvia para 1976-2005 del IMD a nivel de grilla ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$)
2	Propensión a inundaciones	Área geográfica propensa a la incidencia de inundaciones (%)	Un área más grande susceptible a la incidencia de inundaciones implica más área propensa al peligro	Directa	Asesor Sísmico Nacional, Gol-UNDP

3	Propensión a ciclones	Índice compuesto construido combinando el número de ciclones que cruzan el distrito, número de ciclones severos que cruzan el distrito, máxima precipitación probable en un día, máximos vientos probables en nudo, máxima oleada de tormenta	Un índice más alto de propensión a ciclones significa una incidencia más frecuente e intensa de ciclones y los problemas y peligros asociados	Directa	Sitio web de NDMA http://ndma.
---	-----------------------	---	---	---------	--

Tabla 2.5. Indicadores de exposición incluidos en el cálculo del índice de riesgo por Rao et al., 2019.

No	Indicador	Medida	Justificación	Relación con la amenaza	Fuente de datos
1	Área sembrada neta	Área sembrada neta en relación al área geográfica (%)	Un área mayor bajo cultivo implica una mayor importancia de la agricultura en el distrito y que más áreas son afectadas.	Directa	DES, DACFW, Gol; Censo Agrícola 2010-11 DACFW, Gol (Datos de 2014-15, 2015-16, 2016-17)
2	Densidad de población rural	Número de personas rurales por km cuadrado	Una mayor densidad indica más personas en riesgo. Implica alta presión poblacional sobre recursos terrestres y, debido a que los medios de vida de la población rural dependen de la agricultura, significa mayor exposición.	Directa	Gol, Censo, 2011

3	Agricultores pequeños y marginales	Número de agricultores pequeños y marginales en relación al total de agricultores (%)	Un número mayor implica que más personas están expuestas. Un tamaño de granja más pequeño limita el excedente vendible y también la oportunidad de diversificar el patrón de cultivo. La baja capacidad de inversión hace que la agricultura sea más riesgosa.	Directa	Censo Agrícola 2010-11 (DACFW, Gol)
4	Población SC/ST	Proporción de la población que pertenece a SC/ ST (%)	La población SC/ST, además de ser relativamente pobre, también es menos educada, está mal integrada con la economía principal y depende en gran medida de los recursos naturales para sus medios de vida. Un número mayor implica una mayor exposición.	Directa	Gol - Censo, 2011
5	Razas de ganado mejorado	Porcentaje de ganado cruzado en relación al total de rumiantes grandes, expresado en Unidades de Ganado Adulto (ACU)	El ganado cruzado es más productivo, requiere más inversión en alimentación y manejo y es más sensible al cambio climático. Cuanto mayor es el número, mayor es la exposición.	Directa	Censo de Ganado, 2012

Tabla 2.6. Indicadores de vulnerabilidad incluidos en el cálculo del riesgo por Rao et al., 2019.

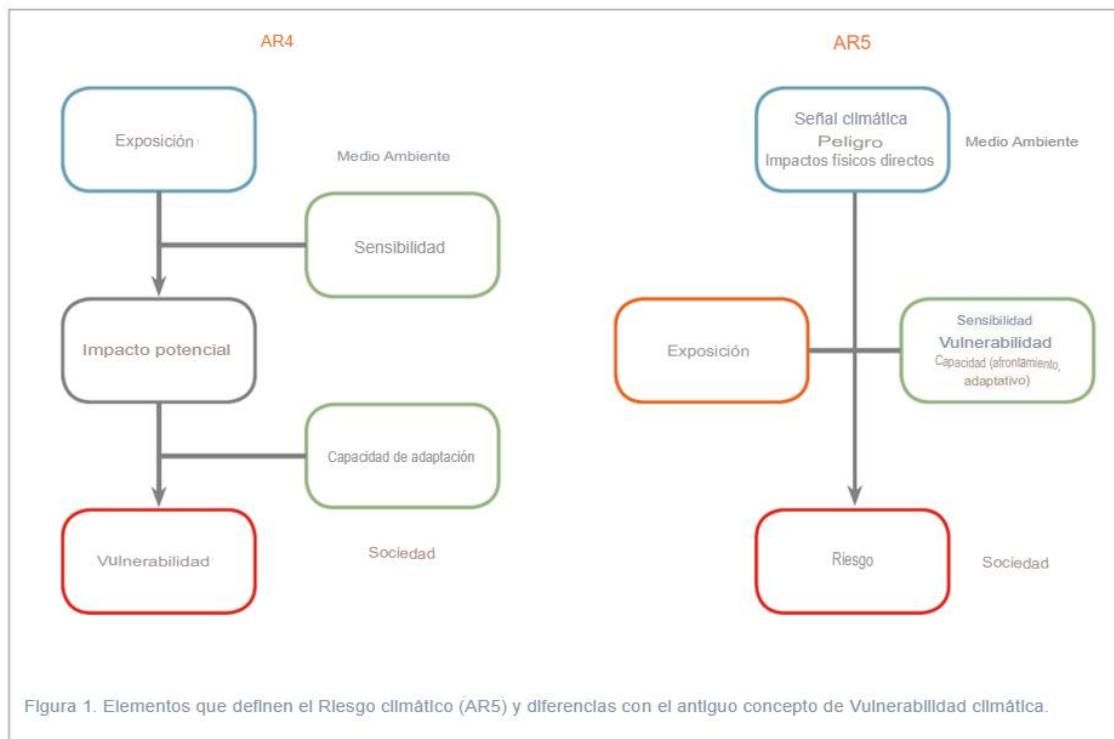
No.	Dimensión/Indicador	Medida	Justificación	Relación con la vulnerabilidad	Fuente de datos
1	Capital natural	Promedio anual de lluvia (mm)	Cuenta más lluvia, mejor es para el crecimiento de los cultivos (excepto en niveles extremadamente altos). Un límite superior de 1500 mm de lluvia (Mandal et al., 1999) se consideró como punto de corte ya que la demanda para satisfacer la evaporación potencial durante la temporada de cultivo está bien dentro de los 1500 mm para el 99.8% del área geográfica total (NRAA, 2012).	Inversa	Promedio de 1976-2005 obtenido de datos de lluvia del IMD a nivel de cuadrícula (0.5° x 0).
2	Tierra degradada y residual	Extensión de tierra degradada y residual en relación al área geográfica (%)	Los niveles de productividad serían bajos y altamente riesgosos si los cultivos se cultivan en tierras degradadas y residuales.	Directo	ICAR (2010)
3	Capacidad de retención de agua del suelo	Cantidad de agua que el suelo puede retener (mm)	La capacidad del suelo para retener una mayor cantidad de agua puede salvar los cultivos durante períodos secos.	Inverso	Calculado considerando la textura y profundidad del suelo tomado de NBSSLUP y Dunne y Wilmott (2000).
4	Disponibilidad de agua subterránea	Disponibilidad de agua subterránea (ha/mkm ²)	La disponibilidad de agua subterránea refleja el alcance para explotar los recursos hídricos subterráneos para riego.	Inverso	CGWB (2011)
5	Densidad de ganado	Número de ganado (pequeños y grandes rumiantes) expresado en términos de ACU por km ² de área geográfica	Es un indicador de la diversificación de la agricultura y los medios de vida y, por lo tanto, mejora la capacidad de afrontamiento.	Inverso	Censo de ganado, 2012

6	Capital humano	Alfabetización	Porcentaje de personas que saben leer y escribir	Una mayor alfabetización permite a las personas adaptarse mejor y también mejora su capacidad para diversificar medios de vida.	Inverso
7	Capital social	Brecha de género	Diferencia entre alfabetización total y alfabetización femenina	Una menor brecha indica una mejor equidad de género.	Directo
8	Grupos de autoayuda	Porcentaje de aldeas en el distrito con grupos de autoayuda	Un mayor porcentaje indica la prevalencia de organizaciones de agricultores y, por lo tanto, ayuda a una mayor capacidad de adaptación.	Inverso	Gol Census, 2011
9	Capital físico	Área neta irrigada	Porcentaje del área neta sembrada que tiene acceso a irrigación	La irrigación es un importante facilitador de adaptación ya que permite a los agricultores cultivar durante sequías o períodos de sequía. También está fuertemente relacionado con la adopción de tecnología.	
10	Conectividad vial	Pueblos que tienen carreteras para todo clima (%)	Este es un indicador del acceso al mercado y de una mejor integración con la economía y la difusión asociada de los efectos del desarrollo.	Inverso	Gol, Censo, 2011
11	Electrificación rural	Número de hogares que tienen electricidad como fuente de iluminación en relación con el total de hogares en áreas rurales (%)	Es un indicador del desarrollo general que influye positivamente en la capacidad de adaptación.	Inverso	Gol, Censo 2011

12	Acceso al mercado	Número de mercados agrícolas regulados por cada cien mil explotaciones agrícolas	Un mejor acceso a los mercados ayuda a los agricultores a obtener mejores precios y, por lo tanto, tiene mayores ingresos. El acceso al mercado también ha demostrado estar relacionado positivamente con la adopción de tecnología.	Inverso	Para mercados: Dirección de Mercadotecnia e Inspección, DACFW, Gol; Para explotaciones: Censo Agrícola 2010-11, DACFW, Gol
13	Uso de fertilizantes	Consumo de nutrientes fertilizantes (N+P+K) por ha de área sembrada	El mayor uso de fertilizantes es un indicador de la adopción de tecnologías mejoradas.	Inverso	Para el uso de fertilizantes: FAI; para el área sembrada: DES y Censo Agropecuario 2010-11, DACFW, Gol
14	Capital financiero	Ingreso per cápita en el distrito, Rs/año	Un mayor ingreso per cápita implica una mejor capacidad adaptativa.	Inverso	Computado a partir de datos a nivel estatal (TE 2015-16) del RBI y datos a nivel de distrito del sitio web de la Comisión de Planificación
15	Desigualdad de ingresos	Diferencia entre el porcentaje de fuerza laboral dependiente de la agricultura y la participación de la agricultura en el producto doméstico distrital	Una mayor desigualdad de ingresos implica una menor productividad.	Directo	Censo, 2011 para la fuerza laboral y RBI y el sitio web de la Comisión de Planificación para el PDD agrícola

2.2.4 ARCLIM

El Atlas de Riesgos Climáticos (ARCLIM) fue impulsada en 2019 por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile y financiada por la Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ). El proyecto se abordó en base al Quinto Reporte (AR5) del Grupo de Trabajo II del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (WGII-IPCC), el cual emplea el concepto de **Riesgo de Impacto del Cambio Climático** (Figura 2.5). Este elemento fundamental, originalmente empleado por las comunidades en torno a la reducción de Riesgo frente a desastres, cambia el foco empleado previamente por el WGII-IPCC (en especial en el AR4) que se centraba en el concepto de Vulnerabilidad climática.



Fuente: GIZ y EURAC (2017).

Figura 2.5. Elementos que definen la vulnerabilidad AR4 y AR5. Fuente: GIZ, 2017.

Particularmente, la estimación del riesgo para el sector agrícola (Meza et al, 2020) se definió a partir de una cadena de impacto que se compone de los cuatro elementos básicos que deben evaluarse (figura 2.5): Amenaza, Sensibilidad, Capacidad adaptativa y Exposición.

a) **Amenaza:** Se utilizó el modelo CropSyst para definir la Amenaza de los subsistemas anuales y praderas y el modelo simple para el cultivo de frutales (Descripción de cada modelo en el punto 3 de este informe). Cada modelo utilizó información de suelo, climática y de manejo agronómico para estimar cambios en el rendimiento potencial presente versus 2050 de sistemas agrícolas como resultado de alteraciones de largo plazo en las características de las variables meteorológicas (presente

b) Sensibilidad: El índice de Sensibilidad se construyó para todas las cadenas de impacto que se priorizaron en el estudio. Se define como *Sensibilidad* a la media aritmética de los índices descritos a continuación (consultar en Meza et al., 2020 por las referencias utilizadas para cada índice):

Índice PYMEX: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de explotaciones de menor tamaño. Los datos se encuentran a nivel regional; para obtener el dato a nivel comunal se calculó una proporción en base a la superficie que ocupa cada comuna dentro de la región. Valores cercanos al 0 corresponden a comunas con menor número de productores PYMEX, mientras que valores cercanos al 1 corresponden a las comunas con mayor número de productores PYMEX.

Índice IRU: Representa a la proporción de la población rural con respecto a la población urbana. Los valores van de 0 a 1, en donde 0 corresponde a una comuna sin población rural y 1 corresponde a una comuna sin población urbana.

Índice Diversificación: Índice que va de 0 a 1 y representa la diversidad de cultivos que hay por comuna. Se consideraron frutales, hortalizas, cereales, leguminosas, tubérculos y cultivos industriales. Valores cercanos al 0 indican una comuna muy diversa, mientras que valores cercanos a 1 indican poca diversidad de cultivos.

Índice Embalses: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de embalses por comuna. Se consideraron los embalses cuyo uso incluyera: agua potable, generación energía y riego. Valores cercanos al 0 indican que la comuna posee mayor número de embalses, mientras que valores cercanos a 1 corresponden a las comunas con menor número de embalses.

Índice INDAP: Índice que va de 0 a 1 y representa la proporción entre el número usuarios INDAP y el número de funcionarios INDAP, a nivel regional. Valores cercanos al 0 indican que en la región el número de usuarios por funcionario es menor, mientras que valores cercanos al 1 indican que existe un alto número de usuarios por funcionario.

Índice Infraestructura: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de infraestructuras totales por comuna. Dentro del cálculo se consideró bodegas, cámaras de frío, invernaderos, establos, galpones, gallineros, pabellones, pozos, salas de ordeña, silos, terneras, tranques, oficinas y otros. Valores cercanos al 0 indican que existe un mayor número de infraestructuras totales, mientras que valores cercanos al 1 indican un menor número de infraestructuras.

Índice Balance riego-secano: Representa la proporción de superficie cultivada en secano respecto de la superficie cultivada con riego. Los valores cercanos a 0 indican que la superficie cultivada es mayormente con riego, mientras que valores cercanos al 1 indican que la superficie cultivada es mayormente en secano.

c) Capacidad Adaptativa: Se define como la capacidad de los sistemas agrícolas de adaptarse, aprovechar las oportunidades o hacer frente a los cambios en el clima, en base a sus recursos naturales y a las condiciones económicas, sociales, culturales y de políticas públicas. La capacidad de adaptación variará entre una agricultura industrial, intensiva y de gran escala, y una agricultura pequeña, baja en insumos y en capital. Por eso, las estrategias que se implementen deben ser acorde al tipo de agricultura a la cual esté dirigida. La capacidad adaptativa se define como la media aritmética de los índices descritos a continuación (consultar en Meza et al., 2020 por las referencias utilizadas para cada índice):

Índice Acceso a internet: Índice que va de 0 a 1 y representa la cantidad de hogares por comuna que cuentan con acceso a internet. Los valores cercanos al 0 indican que la comuna cuenta con pocos hogares con acceso a internet, mientras que valores cercanos a 1 indican que la comuna cuenta con mayor número de hogares con acceso a internet.

Índice Escolaridad: Índice que va de 0 a 1 y representa la proporción entre habitantes sin estudios y la población total, a nivel comunal. Valores cercanos a 0 indican que la comuna cuenta con una alta proporción de población sin estudios, mientras que valores cercanos a 1 indican que existe una baja proporción de población sin estudios.

Índice Maquinaria: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de maquinaria agrícola presente por comuna. Valores cercanos a 0 indican que la comuna cuenta con menor cantidad de maquinaria, mientras que valores cercanos al 1 indican que la comuna tiene mayor número de maquinaria disponible.

Índice Pozos: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de pozos a nivel comunal. Valores cercanos al 0 indican que la comuna cuenta con pocos pozos, mientras que valores cercanos a 1 indican que la comuna cuenta con mayor número de pozos.

Índice Caminos urbanos y pavimentados: Índice que va de 0 a 1 y representa el nivel y calidad de conexión vial a nivel comunal, usando como indicador la longitud de los caminos que se encuentran catalogados como urbanos y pavimentados. Valores cercanos a 0 indican que la comuna cuenta con menor longitud de caminos, mientras que valores cercanos a 1 indican que la comuna cuenta con mayor longitud de caminos.

Índice Suelo cultivable: Índice que va de 0 a 1 y representa la proporción entre el suelo con aptitud agronómica (clases de I a IV, de acuerdo a CIREN) y la superficie comunal. Valores cercanos a 0 indican una baja proporción de suelo cultivable, mientras que valores cercanos a 1 indican una alta proporción de suelo cultivable.

Índice Instituciones/Sedes agrícolas: Índice que va de 0 a 1 y representa el número de Instituciones/Sedes que imparten formación técnica-profesional en el área agrícola, por región. Valores cercanos al 0 indican que hay un bajo número de Instituciones/Sedes, mientras que valores cercanos a 1 indican un alto número de Instituciones/Sedes de formación en el área agrícola a nivel regional.

Índice Trabajadores permanentes/temporales: Índice que va de 0 a 1 y representa la proporción entre trabajadores agrícolas permanentes respecto de los trabajadores agrícolas temporales. Valores cercanos al 0 indican una baja proporción de trabajadores agrícolas permanentes, mientras que valores cercanos a 1 indican una alta proporción de trabajadores agrícolas permanentes.

d) Exposición: Comuna. Superficie del cultivo por comuna.

2.2.5 Servicios de evaluación de riesgos climáticos para el sector agroalimentario

Esta metodología describe un conjunto de servicios que WEnR – Wageningen Environmental Research (www.wur.nl) puede ofrecer para asistir a países interesados para evaluar los riesgos climáticos y las posibles estrategias de adaptación para mitigar estos riesgos en una cadena agroalimentaria. Incluye el desarrollo de proyecciones del cambio climático regionalizadas, evaluaciones del impacto del cambio climático, evaluación de los riesgos relacionados con el clima y evaluación de posibles casos de negocio (medidas de adaptación) que mitiguen los riesgos climáticos. Estos servicios, es decir, la evaluación de riesgos climáticos, actualmente se están entregando en el proyecto Agricultura Inteligente ante el Clima - Este de África y Asia pero también tienen oportunidades de aplicación más amplias a otros continentes. La metodología base de este proyecto se fundamenta en el enfoque del IPCC AR5:

Actualmente los servicios de evaluación relacionados con el clima utilizados por los investigadores de WEnR, muestra diferentes enfoques, métodos y herramientas que abordan diferentes escalas.

El objetivo es asegurar que los usuarios adopten información climática relevante y de alto impacto a nivel mundial, abordando sectores como la salud, seguridad, seguridad hídrica, transporte, biodiversidad, turismo, agricultura y producción de alimentos. El proyecto proporciona:

- Acceso fácil y orientación al usuario para datos científicos avanzados sobre el impacto del cambio climático.
- Personalización de la información basada en solicitudes de los usuarios y co-diseño con expertos en clima.
- Mapas, gráficos y descargas de indicadores de impacto climático disponibles a nivel mundial.
- Ejemplos de la producción de indicadores específicos del sitio, fusionando datos globales con datos/herramientas locales.
- Adaptación al cambio climático como oportunidad de negocio: En diferentes proyectos y programas, las estrategias de adaptación se analizan y desarrollan desde una perspectiva empresarial. Por ejemplo: en el Impulsor de Agricultura Climáticamente Inteligente (CSA Booster): un proyecto emblemático de Climate KIC para desarrollar servicios que apoyen la transición en la agricultura y el sector alimentario al cambio climático en Europa y en 'escalado de CSA': un proyecto financiado por CCAFS que analiza modelos de negocios de PYMES como mecanismos para escalar CSA.

2.2.6 Síntesis y comparación de metodologías analizadas para evaluar riesgo y vulnerabilidad del sector silvoagropecuario

La mayor parte de las metodologías internacionales y nacionales para evaluar riesgo y vulnerabilidad se basan en el enfoque del IPCC ya que este está diseñado para obtener resultados que permitan diseñar estrategias de adaptación a cambio climático. En este estudio se usará este mismo enfoque. Para la construcción de los índices de vulnerabilidad se usarán los indicadores usados en ARClim (2020) ya que estos cuentan con indicadores que se ajustan a las condiciones y realidad de la agricultura en Chile.

La siguiente tabla muestra una priorización de las metodologías que pueden ser aplicadas en Chile. Cada una de ellas requiere ajustes para que represente de mejor manera la vulnerabilidad nacional.

En el capítulo 3 se aborda los ajustes realizados a la metodología definida en Arclim para evaluar vulnerabilidad y riesgo.

Tabla 2.7. Síntesis y comparación de metodologías analizadas para evaluar riesgo y vulnerabilidad del sector silvoagropecuario.

Metodología	Enfoque	Ventajas	Desventajas
Arclim	AR5	* Cuenta con indicadores de sensibilidad y adaptabilidad, diseñados específicamente para ajustarse a las condiciones y realidades de Chile. * Evalúa las amenazas a los rendimientos agrícolas originadas por las variaciones en temperatura y precipitación, utilizando modelos de rendimiento de cultivos	No mide amenaza debido a eventos climáticos extremos, como mayor frecuencia de sequías, aumento de riesgo de erosión del suelo debido a precipitaciones más intensas. No integra los indicadores de cap de adaptación con sensibilidad, utilizando solo sensibilidad para determinar la vulnerabilidad.
Parker et al., 2019	AR4	Evaluá las amenazas combinando dos índices distintos. El primero se basa en modelos de cultivos, utilizados para determinar las variaciones en los rendimientos agrícolas, mientras que el segundo índice está diseñado para evaluar la vulnerabilidad de una región específica a eventos climáticos extremos. Este segundo índice incorpora diversos factores de riesgo, como las inundaciones, la erosión del suelo, los incendios, entre otros eventos climáticos extremos. Estos factores son difíciles de integrar de manera efectiva dentro de los modelos de rendimiento de cultivos tradicionales. Al combinar estos dos índices, este enfoque permite una evaluación más comprensiva de los riesgos y amenazas agroclimáticas, facilitando una interpretación más holística de cómo los eventos climáticos extremos y las variaciones en el clima pueden afectar la productividad agrícola en diferentes territorios	Los indicadores de adaptabilidad son de naturaleza general (como nivel de educación, pobreza, acceso a la salud), creados para facilitar la comparación de la vulnerabilidad entre diversos países en desarrollo que carecen de bases de datos más extensas y detalladas.
WenR	AR5	El centro encargado de desarrollar estas metodologías las adapta según las necesidades específicas de cada usuario, ofreciendo flexibilidad. Dispone de datos a nivel global para utilizar por defecto en ausencia de información nacional específica, pero también puede integrar bases de datos proporcionadas para territorios particulares.	No existe actualmente un desarrollo de indicadores que se puedan usar que sean aplicables en Chile, que presentan ventajas con respecto a los que propone Arclim
Rao et al., 2019	AR5	Los índices utilizados permiten evaluar el riesgo del sector silvoagropecuario frente al cambio en las temperaturas y precipitaciones medias, pero también frente al aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos.	No se utilizaron modelos de rendimiento de cultivos que evalúen los impactos del cambio climático, lo que no permite evaluar los potenciales impactos positivos del cambio climático (aumento del rendimiento para algunas especies)

Tras comparar las ventajas y desventajas de las metodologías analizadas, se seleccionaron dos: Arclim y la propuesta por Parker et al., 2019. De Arclim, se seleccionaron los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación, aplicando algunas mejoras en ellos, ya que están diseñados para caracterizar la

vulnerabilidad del sector silvoagropecuario en Chile. Por otro lado, de la metodología de Parker se escogió la escala de evaluación del impacto, positivo y negativo, del cambio climático en los rendimientos (tabla 2.2). Esto permite una estimación más precisa de los potenciales beneficios que el cambio climático podría tener en ciertas especies. En contraste, Arclim asigna un valor uniforme a todos los incrementos de rendimiento, lo cual limita la capacidad de diferenciar la magnitud del aumento o el impacto positivo del cambio climático. Esto es particularmente relevante en el sur de Chile, donde se prevén aumentos significativos en el rendimiento de especies frutales.

2.3 MODELOS DE POTENCIAL PRODUCTIVO DE CULTIVOS AGRICOLAS

Los modelos de cultivos son herramientas importantes para simular el crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como para evaluaciones del impacto climático. Hasta ahora, se han desarrollado múltiples modelos de simulación de cultivos agrícolas principalmente para trigo, maíz y papa. Sin embargo, hay sólo unos pocos modelos para otros cultivos importantes, como los cultivos de hortalizas y frutales. Estos otros cultivos a menudo son parte de sistemas agrícolas de un territorio y son necesarios en la evaluación de futuros sistemas de cultivo bajo escenarios de cambio climático.

Los modelos pueden ser simples o complejos. Los modelos complejos son menos utilizados y aplicados en la generación de políticas públicas debido a su complejidad y a la gran cantidad de datos que requieren. Los modelos de simulación basados en procesos dinámicos normalmente requieren de una gran cantidad de datos para el desarrollo del modelo, calibración y evaluación. Por ejemplo, DSSAT, uno de los modelos de cultivos más utilizados, tiene muchos parámetros específicos de genotipo que se requieren para definir un nuevo cultivo, y estos parámetros a menudo no están fácilmente disponibles.

También se han desarrollado modelos más simples basados en funciones de crecimiento como EPIC (Williams et al., 1989), el modelo AquaCrop (Steduto et al., 2009) y el modelo LINTUL (Haverkort et al., 2015). Sin embargo, estos modelos requieren igualmente una gran cantidad de parámetros (29 para EPIC y 22 para AquaCrop).

Una opción alternativa a los modelos dinámicos de cultivos pueden ser los modelos estadísticos basados en análisis de regresiones (Lobell y Asner, 2003). Estos han sido utilizados para evaluar el impacto del cambio climático en cultivos para los cuales actualmente no hay modelos dinámicos disponibles (Lobell y Asseng, 2017). Durante los últimos años, se han desarrollado varios modelos estadísticos y se han utilizado para evaluar el impacto del cambio climático (Ansarifar et al., 2021; Tack et al., 2015; Schlenker y Roberts, 2009). Sin embargo, los modelos estadísticos carecen del mecanismo intrínseco de los procesos fisiológicos de los cultivos ya que no integran factores climáticos con la genética y el manejo de cultivos. Por lo tanto, los modelos estadísticos son útiles para evaluar el impacto del cambio climático para un periodo histórico, pero no para escenarios futuros.

Hay un tercer enfoque para evaluar los efectos del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas, que corresponde al uso de índices simples. Este método ha sido empleado como una alternativa para realizar tales evaluaciones de manera más sencilla y directa. Estos índices por lo general están basados en no más de tres variables: temperaturas, precipitación y radiación solar (Pearson et al., 2008; Meyer et al 1993). El siguiente esquema resume los principales enfoques usados para modelar los impactos del cambio climático.

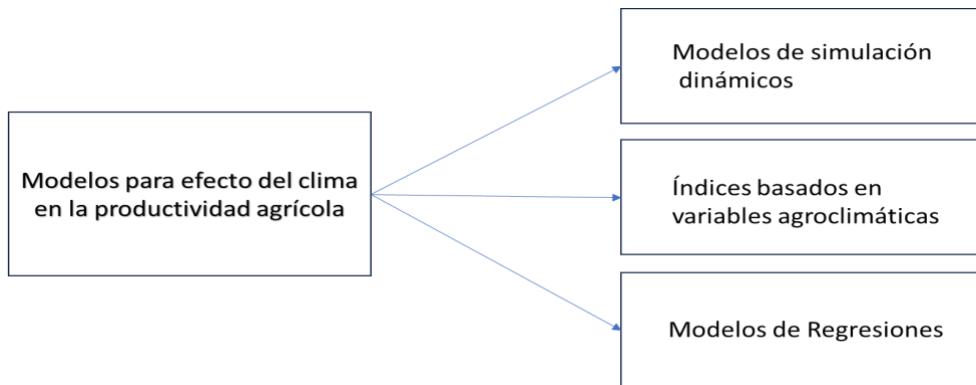


Figura 2.6. Esquema resumen de los principales enfoques para modelar los impactos del cambio climático en los rendimientos agrícolas.

2.3.1 Modelos de simulación dinámicos

2.3.1.1 *CropSyst*

CropSyst es un modelo de simulación de sistemas de cultivo multi-anual, multi-cultivo y con pasos de tiempo diarios, desarrollado para servir como una herramienta analítica para estudiar el efecto del clima, los suelos y la gestión en la productividad de los sistemas de cultivo (Stockle et al., 2003). *CropSyst* simula los balances de agua y nitrógeno del suelo, el crecimiento y desarrollo del cultivo, el rendimiento del cultivo, la producción y descomposición de residuos, la erosión del suelo por agua y la salinidad. Una característica clave de *CropSyst* es la implementación de un simulador de cultivo que permite la simulación tanto de cultivos anuales como multi anuales y rotaciones de cultivos mediante un único conjunto de parámetros. El modelo ha sido evaluado en muchos lugares del mundo comparando las estimaciones del modelo con los datos recolectados en experimentos de campo.

En Chile, el modelo ha sido utilizado para evaluar el comportamiento de trigo, papa, maíz y frijol para el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim).

2.3.1.2 *Modelo Simple (SIMPLE)*

Corresponde a un modelo de simulación dinámico de cultivos genérico, simple, que utiliza procesos conocidos con pocos parámetros y requisitos de datos (Zhao et al., 2019). El modelo utiliza como variable de entrada la temperatura media diaria, una función para evaluar el CO₂ y un índice de sequía. La principal limitación de este modelo es que no evalúa el efecto de las temperaturas extremas ya que solo la temperatura media, es decir no considera el efecto de las heladas o de ondas de calor sobre la productividad de los cultivos. El modelo fue calibrado para trigo, arroz, maíz, soja, poroto, papa, yuca, tomate, zanahoria, algodón y plátano.

En Chile, el modelo ha sido utilizado para evaluar el comportamiento de vid, manzano, cerezo nogal y almendro para el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim).

2.3.1.3 *Modelo WOFOST*

WOFOST simula el crecimiento diario de un cultivo específico, teniendo en cuenta los datos meteorológicos y de suelo seleccionados. Cada simulación se lleva a cabo para condiciones límite específicas seleccionadas, que comprenden el calendario de cultivos y el estado hídrico y de nutrientes del suelo. Una ventaja del modelo es que dispone de un sitio web³ donde se pueden hacer simulaciones para distintas partes del mundo, sitio que además provee datos climáticos y de producción que puede ser usado por defecto en caso de no contar con datos locales.

WOFOST sigue la distinción jerárquica entre producción potencial y limitada. La interceptación de la luz y la asimilación de CO₂ son los procesos que impulsan el crecimiento, y el desarrollo fenológico del cultivo es el proceso que controla el crecimiento. Se puede utilizar para estimar la producción de cultivos, indicar la variabilidad del rendimiento, evaluar los efectos de los cambios climáticos o los cambios en la fertilidad del suelo y determinar factores biofísicos limitantes. Están disponibles los siguientes modelos de cultivo: trigo, maíz en grano, cebada, arroz, remolacha azucarera, patata, haba, soja, colza y girasol.

WOFOST es uno de los modelos implementados en el Sistema de Monitoreo del Crecimiento de Cultivos de la UE que se utiliza operativamente para monitorear los cultivos herbáceos en Europa y hacer pronósticos de rendimiento de los cultivos para la temporada de crecimiento actual.

2.3.1.4 Modelo de productividad SIMPROC Y SIMFRUT

El modelo de productividad SIMPROC (Simulador de Productividad de Cultivos) y SIMFRUT (Simulador de Productividad de Frutales) ha sido desarrollado desde los años 90 y evaluados en diferentes países en América (Santibáñez, 2001; AGRIMED, 2008). Estos modelos han sido utilizados en la Primera y Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (CONAMA, 2008). El modelo ha sido calibrado para: Nogales, Duraznero, manzano, paltos, cítricos, cerezos, vid vinífera y uva de mesa. Para cultivos agrícolas ha sido calibrado para: maíz, papa, trigo, tomate, quinua, frejol y remolacha. Además, ha sido calibrado para praderas y plantaciones forestales de pino y eucaliptus.

Ha sido evaluado en diversas partes de América a través de los siguientes proyectos nacionales e internacionales:

- Sistema de gestión de riesgos agroclimáticos para la adaptación a nuevos escenarios climáticos. Proyecto ejecutado por Universidad de Chile, Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED). Proyecto Fondef. (IT14I10086). 2015-2016.
- Vulnerability and adaptation to climatic extremes of the agriculture of the Americas (VACEA). International Grant of the IDRC. Consortium Canadá-Chile-Argentina-Colombia-Brazil. Proyecto ejecutado por Universidad de Chile, Centro de Agricultura y Medio Ambiente. 2011-2015.
- Desarrollo y valoración de recursos genéticos de *Lycopersicon* spp. para su utilización en mejoramiento genético de Solanaceas frente a estrés biótico y abiótico. Proyecto ejecutado por Universidad de Chile, Centro de Agricultura y Medio Ambiente. 2013. FONTAGRO SOLSIL.

³ <https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/environmental-research/facilities-tools/software-models-and-databases/wofost.htm>

El modelo SIMPROC integra en el tiempo las respuestas ecofisiológicas de los cultivos a los estímulos climáticos. El crecimiento se simula entre la emergencia y la cosecha. A partir de la interceptación de la radiación solar y de la superficie foliar, simula la producción fotosintética bruta en cada instante. Una vez considerados los costes respiratorios, se establece el potencial de producción de materia seca, proceso en el que influyen las temperaturas y la disponibilidad de agua en el suelo. Mediante un balance hídrico del suelo se establece el grado de satisfacción de las demandas hídricas del cultivo, que a su vez regula la tasa de crecimiento. El modelo simula la fenología del cultivo a partir de la acumulación de grados-día, variable básica para establecer la edad fisiológica del cultivo en cada momento. A partir de ella, se modula el coeficiente de distribución del crecimiento entre los distintos órganos de la planta, así como la sensibilidad de ésta a eventos catastróficos como heladas, estrés térmico y sequía (figura 2.11).

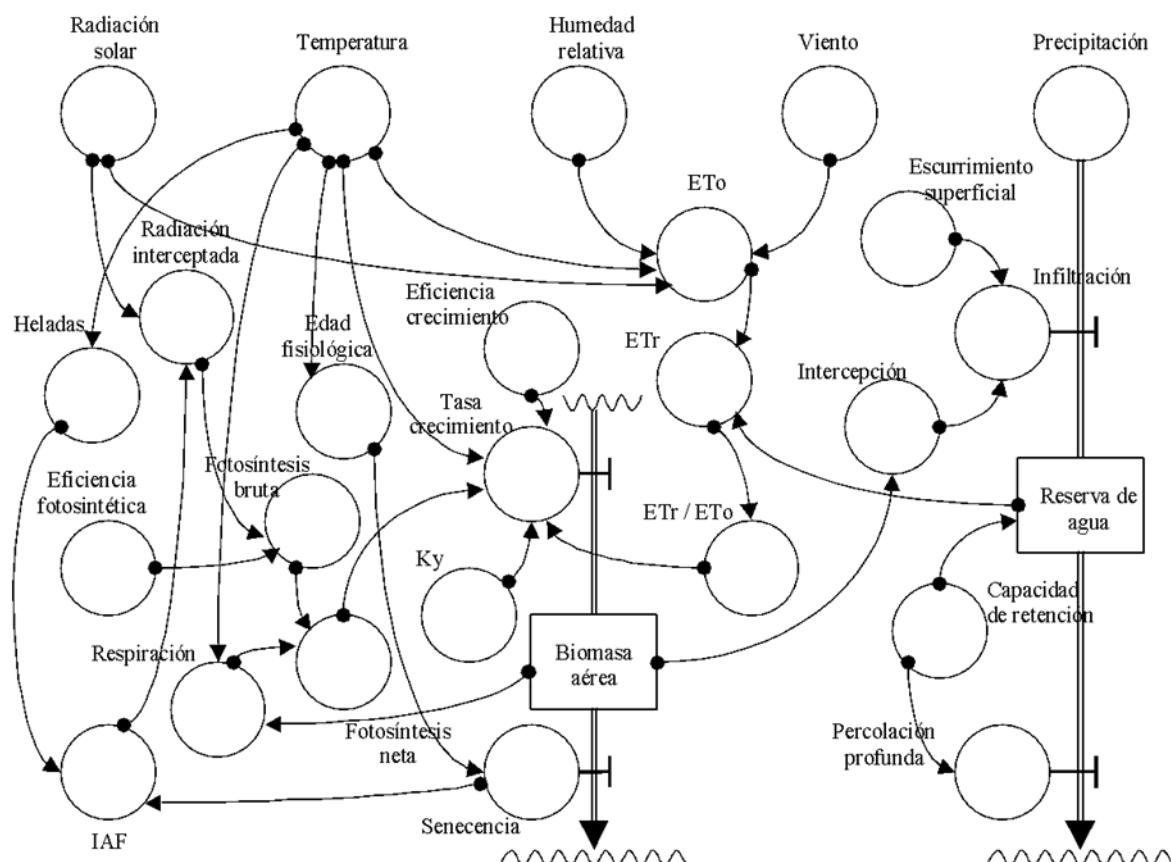


Figura 2.7. Diagrama de flujo base de los modelos SIMPROC y SIMFRUT.

2.3.1.5 Modelación de riesgos y aptitud agroclimática mediante Índices bioclimáticos

A continuación, se describe una subrutina del modelo SIMPROC, que utiliza índices bioclimáticos, que ha sido desarrollado por nuestro equipo ejecutor a lo largo de los últimos 20 años. Este modelo de encuentra adaptado para evaluar riesgos y aptitud agroclimática de Vid vinífera, uva de mesa, manzano, nogales, almendros, cerezos, avellano europeo, arándanos, ciruelo, olivo, duraznero, kiwi, naranjo, limonero, paltos y frambueso. Para cultivos está adaptado para: Trigo, maíz, poroto, tomate, quinoa, papas, lechuga, cebolla y esparrago.

Ha sido usado en números proyectos ejecutados para la tales como:

Comisión Nacional de Riego:

- Recambio de variedades de frutales en el Valle del Huasco y Copiapó para el escenario climático 2050, para el Proyecto FIC, BIP 40013668. Proyecto ejecutado por Universidad de Chile para Comisión Nacional de Riego (CNR). 2020-2021.
- Diagnóstico integral de riego, cuenca Río Bueno. Proyecto ejecutado por INFODEP junto a Mdea consultores Ldta y Aquaterra para Comisión Nacional de Riego (CNR). 2020.
- Diagnóstico integral de riego, cuenca Río Valdivia. Proyecto ejecutado por INFODEP junto a Mdea consultores Ldta y Aquaterra para Comisión Nacional de Riego (CNR). 2021.
- Diagnóstico para plan de desarrollo agrícola y abastecimiento hídrico en el valle del Huasco. proyecto ejecutado por INFODEP junto a Mdea consultores Ldta y Aquaterra para Comisión Nacional de Riego (CNR). 2018.
- Diagnóstico para plan de desarrollo agrícola y abastecimiento hídrico en el secano de la VI región. Proyecto ejecutado por INFODEP junto a Mdea consultores Ldta y Aquaterra para Comisión Nacional de Riego (CNR). 2018.
- **Reguemos Chile:**
Establecimiento de los polos de desarrollo agrícola mediante el aseguramiento del riego. Proyecto ejecutado por INFODEP para Reguemos Chile. 2019.

CIREN:

- Zonificación de aptitud productiva y riesgo agroclimático de la Región del Maule. Proyecto FIA PYT 2018-0721. cod CIREN 298. Proyecto ejecutado por INFODEP y CIREN para Fundación de Innovación Agraria (FIA). 2019-2020.

Chile Oliva:

- Elaboración de Plan Preventivo frente a riesgos climáticos Segundo Acuerdo Producción Limpia Chile Oliva. 2021-2022.

Chile Alimentos:

- Elaboración de Plan Preventivo frente a riesgos climáticos Tercer Acuerdo Producción Limpia Chile Alimentos. 2022.

La aptitud agroclimática de los cultivos y especies frutales se determina mediante el desarrollo de índices de riesgos agroclimáticos que expresan el potencial productivo de estas especies. Estos índices proporcionan información sobre el grado de cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de las diferentes especies en un sitio. El índice de riesgo se calcula en base a una serie de variables que afectan al desarrollo y productividad de una especie durante las distintas fases fenológicas. Un riesgo será más alto en la medida de que más se aparte la conducta de una variable climática del intervalo exigido por una especie. Cuando se produce un desfase en una variable climática y las exigencias de la especie, los efectos pueden seguir diversos conductos, pero finalmente se propagan hasta la productividad y la calidad de los frutos, incidiendo sobre el éxito productivo de la especie en dicha condición climática. Será por lo tanto más riesgoso, colocar una especie donde el número y dimensión de los desfases sean mayores.

El primer evento considerado como riesgo es el grado de satisfacción de los requerimientos de frío invernales. Una deficiencia de frío afectará la cuaja, el vigor y a la calidad de los frutos. La incidencia de heladas en floración y cuaja puede afectar fuertemente al número de frutos que sobreviven, las temperaturas mínimas y máximas durante la floración puede alterar grandemente el éxito de la fecundación, las temperaturas durante el crecimiento y la maduración de los frutos son fuertemente incidentes en el calibre y calidad de los frutos, las precipitaciones en floración y cosecha determinan importantes aspectos sanitarios que afectan a la calidad de los frutos. Las altas temperaturas en maduración reducen la capacidad de los frutos de mantener su calidad durante el viaje a los mercados de destino. El esquema de la Figura 2.17, muestra algunas de las intrincadas relaciones gatilladas por los riesgos generados por el clima.

Como se observa en la Figura 2.17 en la periferia se sitúan los factores de riesgo con potencial para influir en la producción y la calidad de los frutos, en segundo nivel hacia el interior, los factores ecofisiológicos que determinan la conducta productiva y, al centro, el resultado central, cual es el rendimiento y la calidad de los frutos.

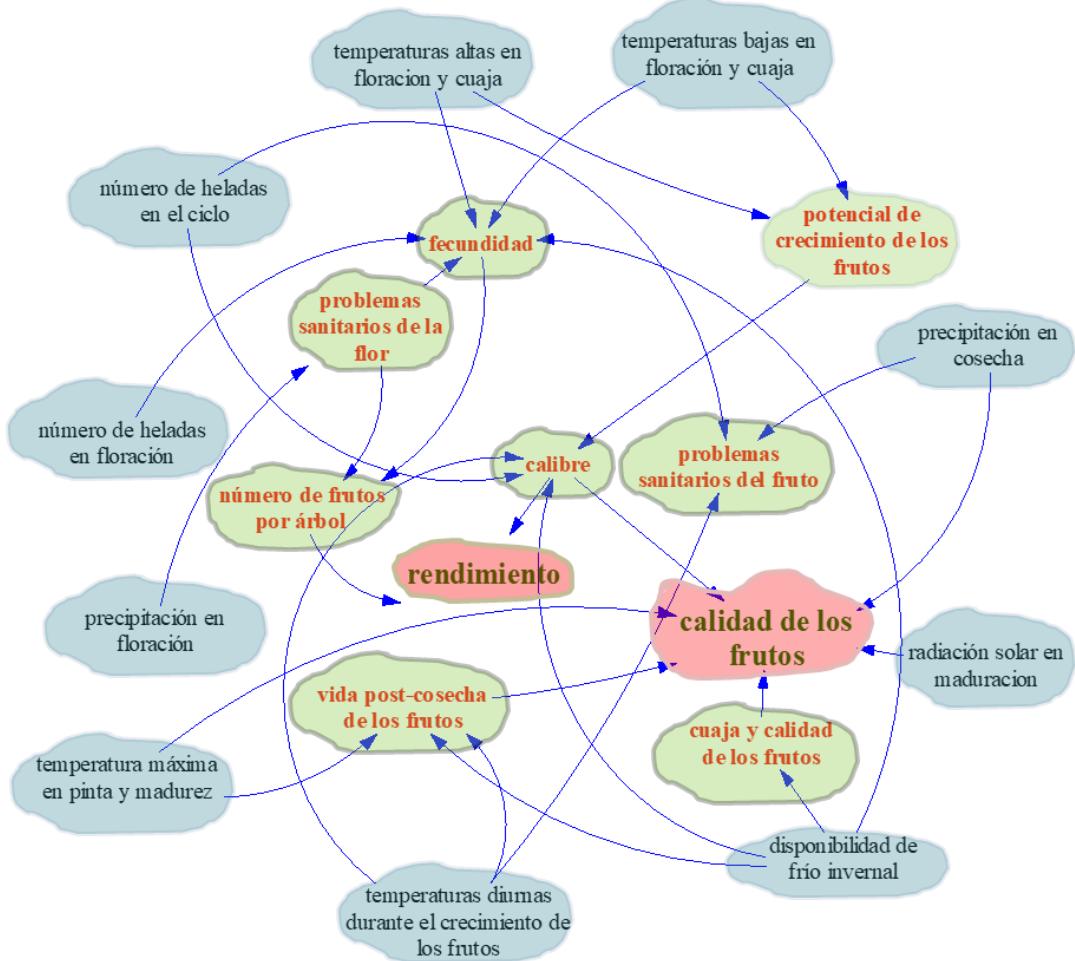


Figura 2.8. Complejo de relaciones que determinan el rendimiento y la calidad de un frutal.

Las variables bioclimáticas consideradas para la estimación del índice en frutales fueron las siguientes:

- Número de heladas en el ciclo
- Número de heladas en floración
- Temperatura máxima en flor y cuaja
- Temperatura mínima en flor y cuaja
- Precipitación en flor
- Número de días con temperatura máxima sobre 25°C
- Número de días con temperatura máxima sobre 20°C
- Temperatura máxima en madurez
- Temperatura mínima en madurez
- Días cálidos a la madurez
- Precipitación a la cosecha
- Radiación solar a la madurez
- Índice de frío invernal.

Para cada una de estas variables se define un valor o rango óptimo para cada especie en diferentes fases fenológicas.

Las adversidades bioclimáticas pueden operar por déficit o por exceso, de modo que los índices de riesgo se expresan en una escala de -3 a +3, donde:

<i>Índice riesgo bioclimático por fase fenológica</i>	<i>Aptitud</i>
-3	<i>Fuertemente deficiente</i>
-2	<i>Deficiente</i>
-1	<i>Levemente deficiente</i>
0	<i>Ausencia de riesgo</i>
+1	<i>Levemente excedentario</i>
+2	<i>Moderadamente excedentario</i>
+3	<i>Fuertemente excedentario</i>

El índice integrado (sumatoria) de riesgo, representa un índice de aptitud agroclimática, corresponde a la suma de los valores absolutos de todos los riesgos calculados por fase fenológica, de modo que mientras mayor sea su valor, más riesgosa se hace la producción de una especie. Por lo general, en base a la experiencia, una especie puede alcanzar producciones competitivas, con un índice integrado de hasta 8. Las zonas óptimas se sitúan por debajo de 5; un sector con índice 0, representa el óptimo bioclimático para la especie.

$$\text{Indice aptitud agroclimatica} = \sum_1^{12} \text{Abs}(Indices riesgos bioclimaticos por fase)$$

Las siguientes tablas muestran ejemplos de la evaluación de los índices de riesgos agroclimáticos por fases fenológicas para arándano, avellano y cerezo. La tabla muestra: el valor que obtiene cada variable agroclimática en un distrito, el valor óptimo para una producción segura y la aptitud agroclimática que representa esta variable (en la escala de -3 a +3, donde 0 representa la condición óptima).

Tabla 2.8. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para arándano.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
Nº Heladas en el ciclo	0.3	Nº	<2	

Nº Heladas en floración	0	N°	<1	
T max en flor y cuaja	20.6	°C	15-20	
T min en flor y cuaja	8.7	°C	8-14	
Precipitación en flor	28.1	mm	<50	
Nº días con Tmax > 25°C	97.6	N°	50-90	1
Nº días con Tmax > 20°C	158.5	N°	>90	
T max pinta-madurez	27.8	°C	20-25	1
T min pinta-madurez	12.3	°C	8-12.5	1
Días cálidos a madurez	46	°C		
Precipitación cosecha	7	mm	<30	
Rad. solar madurez	621.7	cal/cm ² d	>400	
Índice de frío invernal*	0.7	-	>0.95	-2

Síntesis de riesgos:

De acuerdo a la Tabla 2.8, existen temperaturas máximas algo excesivas en crecimiento del fruto lo que puede afectar el rendimiento. Temperaturas diurnas algo elevadas durante la madurez de los frutos. Temperaturas nocturnas algo elevadas durante la madurez de los frutos. Mediana deficiencia de frío invernal.

Tabla 2.9. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para avellano.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
Nº Heladas en el ciclo	0.1	N°	<14	
Nº Heladas en floración	0	N°	<6	
T max en flor y cuaja	21.3	°C	15-22	
T min en flor y cuaja	7.5	°C	>8	-1
Precipitación en flor	4.3	mm	<120	
Nº días con Tmax > 25°C	93.7	N°	60-100	
Nº días con Tmax > 20°C	162	N°	>140	
T max pinta-madurez	25.3	°C	21-28	
T min pinta-madurez	7.8	°C	>8	-1

Días calidos a madurez	79.3	°C		
Precipitación cosecha	13.2	mm	<70	
Rad. solar madurez	494.2	cal/cm ² d	>450	

Síntesis de riesgos:

Existe leve deficiencia térmica nocturna en floración, ocasionales problemas con la cuaja. Noches ligeramente frías que podrían retardar la maduración de los frutos.

Tabla 2.10. Índices de riesgos bioclimáticos por fase fenológica para cerezo

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR RECOMENDABLE	Índice riesgo fase fenológica
Nº Heladas en el ciclo	0.8	Nº	<1.0	
Nº Heladas en floración	3.6	Nº	<0.5	3
T max en flor y cuaja	16.3	°C	15-22	
T min en flor y cuaja	5.5	°C	7-14	-1
Precipitación en flor	87.1	mm	<30	3
Nº días con Tmax > 25°C	74.2	Nº	40-100	
Nº días con Tmax > 20°C	136.5	Nº	>80	
T max pinta-madurez	24.2	°C	22-26	
T min pinta-madurez	8.5	°C	8-14	
Precipitación cosecha	86.7	mm	<15	3
Rad. Solar madurez	519.8	cal/cm ² d	450-550	
Índice de frío invernal*	1	-	>0.95	

Síntesis de riesgos:

Existe riesgo alto de heladas durante la floración y cuaja, temperaturas mínimas algo bajas en floración y cuaja, alto riesgo de precipitación en flor, alto riesgo de precipitación en cosecha.

*Índice de frío invernal = medida en que se cumplen las exigencias de frío de la especie. El Valor 0 indica insuficiencia absoluta de horas de frío (base 7°C). Valor 1 indica 100% de cumplimiento de los requerimientos de horas de frío.

Tabla 2.11. Estado fenológico especies hoja caduca (Fuente: Ciren, 1989)

Especie	Julio	Agosto	Septbre	Octubre	Nov	Dic	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Cerezos			• •		△ △ ▲ ▲		*	*			☒ ☒ ☒	
Avellano			• •		△ △ △		▲ ▲		*	*	*	☒
Arandano			• • •	○ ○ ○ ○		▲ ▲	*	*	*	☒ ☒		
Castaño			• •		△ △ △		▲ ▲			*	*	☒
Manzano			• • •	△ △ △	▲ ▲				*	*	☒ ☒ ☒	

- Yema hinchando
- △ Plena floración
- Caída de hojas
- ▲ Pequeño
- * Cosecha

Figura 2.7. Índice aptitud agroclimática cerezo.

Figura 2.8. Índice número de heladas en floración cerezo.

2.3.2 Síntesis y comparación de los modelos de productividad de cultivos agrícolas

Tabla 2.12. Síntesis y comparación de los modelos de productividad de cultivos agrícolas

Metodología	Ventajas	Desventajas
SIMPROC	<p>Se encuentra calibrado para Chile para una amplia variedad de cultivos, frutales, praderas y plantaciones forestales.</p> <p>La subrutina de índices permite analizar y mapear por fase fenológica los principales riesgos climáticos para 15 especies frutales y 10 cultivos agrícolas.</p>	
Cropsyst	Modelo de simulación dinámico que permite evaluar el impacto de diferentes variables climáticas para varios cultivos agrícola	Disponible para cultivos, pero no frutales. Varios de ellos no se encuentran calibrados para Chile
SIMPLE	Modelo simple que permite evaluar impacto del cambio en temperaturas y precipitaciones	Disponible de cultivos, pero no frutales. No están calibrados para Chile
WOFOST	Modelo de simulación dinámica que permite evaluar el impacto de diferentes variables climáticas para varios cultivos agrícola	Disponible de cultivos, pero no frutales. No están calibrados para Chile

2.4 Comentarios sobre el capítulo 2

La mayor parte de las metodologías para evaluar riesgos climáticos del sector silvoagropecuario frente a escenarios de cambio climático agroclimático están basadas en los enfoques del IPCC AR4 y AR5. Las metodologías originadas del AR5 muestran una mayor capacidad para integrar diversos factores socioeconómicos y ambientales.

Para evaluar la amenaza del cambio climático en el sector silvoagropecuario se han desarrollado y aplicado modelos de rendimiento de cultivos en diversas partes del mundo. Estos modelos han sido diseñados para evaluar las fluctuaciones en la productividad agrícola atribuibles a variaciones en las variables climáticas medias, como la temperatura y la precipitación, generalmente a lo largo de un período climatológico establecido. Estos modelos son herramientas valiosas para anticipar y comprender cómo los rendimientos promedios podrían afectarse bajo escenarios de cambio climático. Sin embargo, una limitación de estos modelos es su capacidad relativamente limitada para evaluar o predecir el impacto de eventos climáticos extremos o anomalías significativas en las condiciones climáticas. Es decir, aunque son eficaces para analizar tendencias y cambios graduales en condiciones promedio, pueden no capturar completamente

la vulnerabilidad de los cultivos a eventos extremos o fluctuaciones abruptas y significativas en las condiciones climáticas, como eventos de inundaciones, granizos o vientos extremos.

Un enfoque innovador para superar las limitaciones de los modelos de rendimiento de cultivos agrícolas ha sido propuesto por algunos investigadores, quienes han adoptado una metodología que evalúa las amenazas combinando dos índices distintos. El primero se basa en modelos de cultivos, utilizados para determinar las variaciones en los rendimientos agrícolas, mientras que el segundo índice está diseñado para evaluar la vulnerabilidad de una región específica a eventos climáticos extremos. Este segundo índice incorpora diversos factores de riesgo, como las inundaciones, la erosión del suelo, los incendios, entre otros eventos climáticos extremos y específicos. Estos factores son intrínsecamente difíciles de integrar de manera efectiva dentro de los modelos de rendimiento de cultivos tradicionales. Al combinar estos dos índices, este enfoque multifacético permite una evaluación más comprensiva de los riesgos y amenazas agroclimáticos, facilitando una interpretación más holística de cómo los eventos climáticos extremos y las variaciones en el clima pueden afectar la productividad agrícola en diferentes territorios.

Si bien existen muchos modelos de cultivos que permiten evaluar rendimientos agrícolas, destacamos la importancia crítica de emplear modelos de rendimiento agrícola que estén adecuadamente adaptados a las condiciones geográficas y climáticas específicas de cada región o zona evaluada, garantizando así evaluaciones de riesgo más realistas y aplicables. Este enfoque no solo optimizará la precisión y relevancia de las evaluaciones de riesgo agroclimático, sino que también facilitará estrategias y respuestas adaptativas más efectivas y bien fundamentadas frente a los desafíos planteados por el cambio climático en el sector agrícola.

3 CAPÍTULO 3

Realizar la evaluación de efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados, en base a las medidas propuestas en el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

3.1 Introducción

La evaluación de los efectos adversos del cambio climático y los riesgos asociados a este fenómeno global es una prioridad emergente para la sostenibilidad a largo plazo del sector silvoagropecuario. El presente informe se enfoca en la evaluación de los riesgos actuales y proyectados que enfrenta este sector, en el marco de las medidas propuestas en el Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario (PANCC SAP) para el período 2023-2027. A través de un enfoque cuantitativo, se busca analizar el impacto de las estrategias de adaptación delineadas en el PANCC SAP, considerando la variabilidad climática y la vulnerabilidad inherente de los sistemas agroforestales y pecuarios. Este informe sintetiza las amenazas del cambio climático evaluadas a través del modelo de productividad de cultivos, la vulnerabilidad comunal actual y evaluadas bajo distintos escenarios de implementación de medidas de adaptación, y los riesgos climáticos del sector silvoagropecuario.

3.2 Metodología a utilizar para el cálculo riesgos actuales y proyectados para el sector silvoagropecuario en el marco del plan de adaptación nacional al cambio climático del sector

Para el cálculo del riesgo se utilizó el enfoque empleado en el quinto informe del IPCC AR5, en el cual el riesgo queda determinado como la integración entre la vulnerabilidad, exposición y amenaza o cambios porcentuales en los rendimientos agrícolas entre la línea base y un escenario futuro.

Tras comparar las ventajas y desventajas de las metodologías analizadas en el Capítulo N°2 de este informe, se seleccionaron dos enfoques para proponer una metodología mejorada: Indicadores de capacidad de adaptación y sensibilidad utilizados en Arclim y el modelo de rendimiento de cultivos , frutales, praderas y forestal SIMPROC. De Arclim, se seleccionaron los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación, aplicando algunos ajustes en ellos, ya que están diseñados para caracterizar la vulnerabilidad del sector silvoagropecuario en Chile. Por otro lado, se utilizó el modelo SIMPROC ya que este se encuentra calibrado para numerosas especies en Chile.

Para evaluar los cambios en el rendimiento (Amenaza) se utilizó el modelo SIMPROC descrito en el capítulo 2 de este informe. Para el análisis se utilizaron 8 especies de frutales, que incluyeron arándanos, avellano europeo, cerezos, cítricos, duraznos, nogales, paltos y uva de mesa; 7 cultivos anuales: trigo, papa, maíz,

remolacha, tomate cebolla, y porotos; praderas y plantaciones forestales de pino y eucaliptus (ver mapas anexos)

3.3 Ajustes a la metodología propuesta en ARClim para el cálculo de los indicadores de vulnerabilidad

A continuación, se presentan los resultados de los índices de sensibilidad y capacidad de adaptación estimados a partir de la metodología propuesta ARClim sector silvoagropecuario. En la figura 3.1 se observa que los índices de embalses (Ind_emb) , Pymex (Ind_Pymex) e infraestructura (Ind_infr) tienen una distribución muy concentrada hacia valores extremos y con gran cantidad de outliers. Para corregir esta asimetría se normalizaron los índices usando como valores mínimos y máximos los valores correspondientes al percentil 10 y 90% respectivamente (Figura 3.3). Además, se eliminó el índice INDAP (Ind_INDAP) en el cálculo de la sensibilidad ya que este no corresponde a un atributo del medio físico o socioeconómico, sino que corresponde a un indicador de capacidad de gestión-gobernanza, por lo que se incorporó en la capacidad adaptativa. A su vez, el índice de superficie cultivable (Ind_S) se eliminó de capacidad adaptativa y se incorporó en el cálculo de índice de sensibilidad.

Con estos ajustes se observa en la figura 3.3 y 3.4 que la distribución de los datos mejora notablemente permitiendo realizar un mejor análisis posterior de la vulnerabilidad, cadenas de impacto y realizar una correcta evaluación de las medidas acciones del PANCC-SAP.

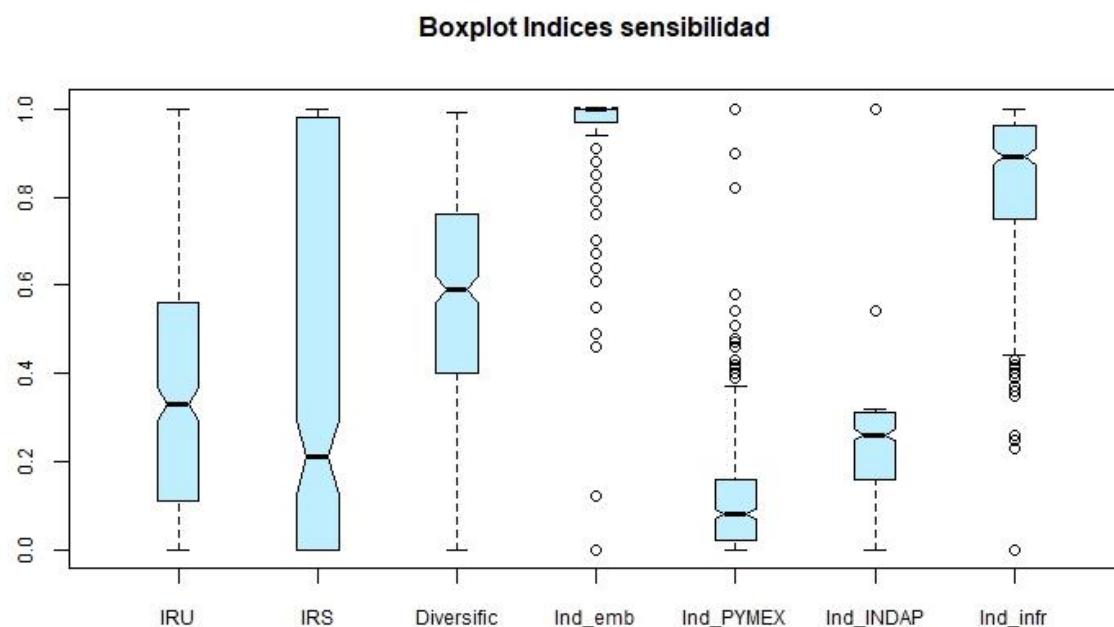


Figura 3.1. Distribución de los Índices de sensibilidad para todas las comunas de Chile obtenidos de las bases de datos de ARClim.

Boxplot Indices sensibilidad corregidos

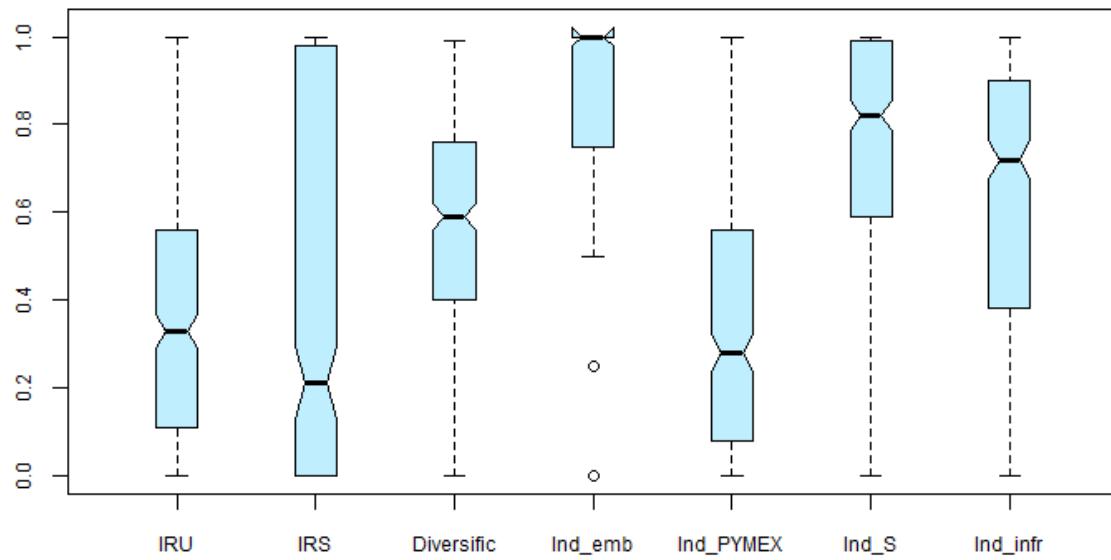


Figura 3.2 Distribución nacional de Índices de sensibilidad corregidos aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

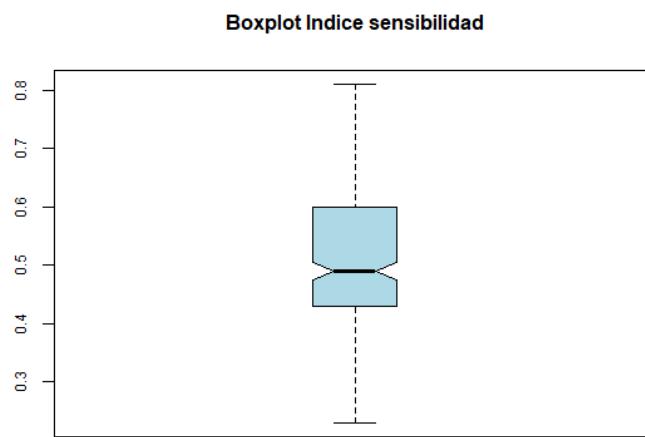


Figura 3.3. Distribución nacional del índice de sensibilidad (base de datos ARCLIM).

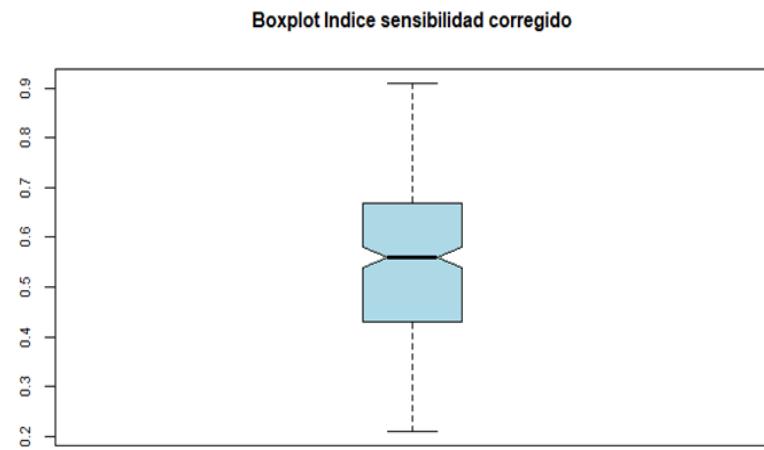


Figura 3.4. Distribución nacional del índice de sensibilidad corregido, aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

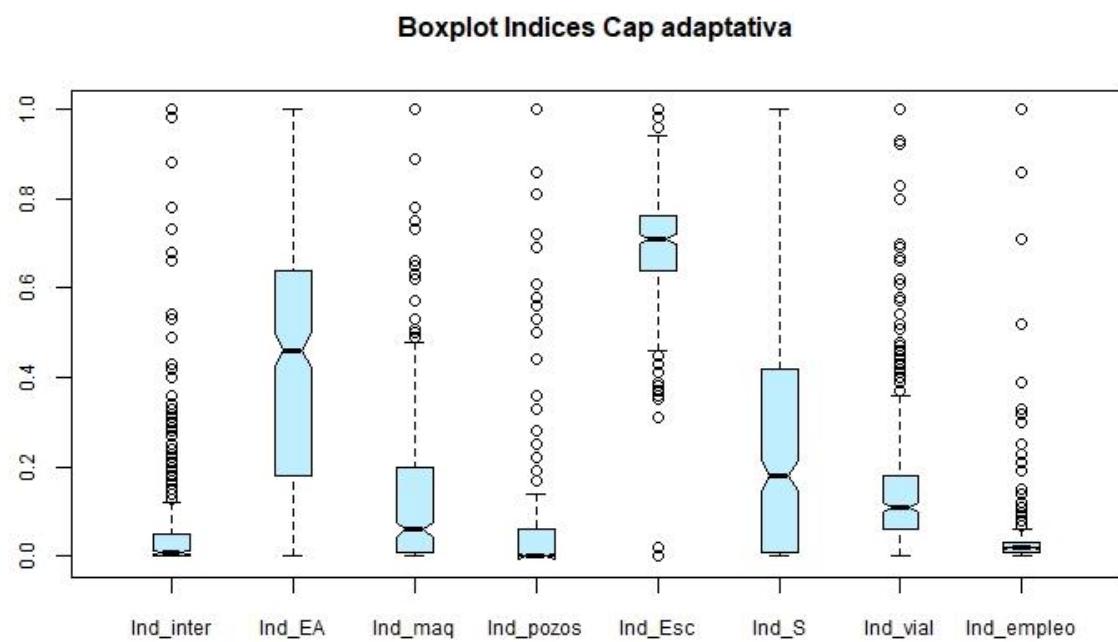


Figura 3.5. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARClim).

Boxplot Indices Cap adaptativa corregidos

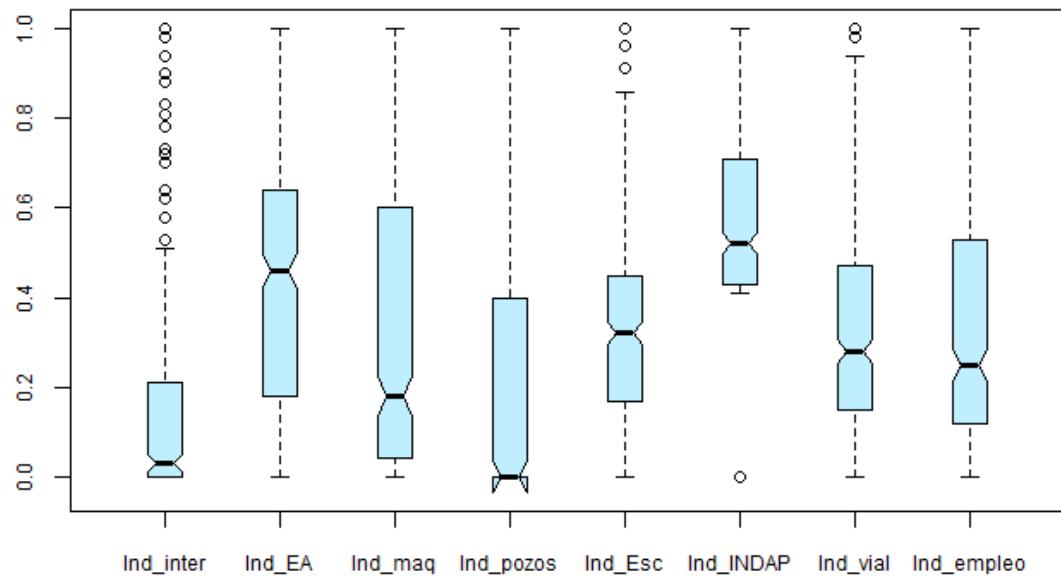


Figura 3.6. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos.

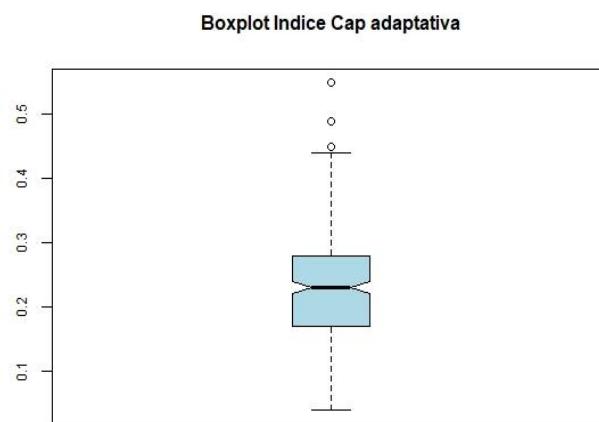


Figura 3.7. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARCLIM).

Boxplot Indice Cap adaptativa corregido

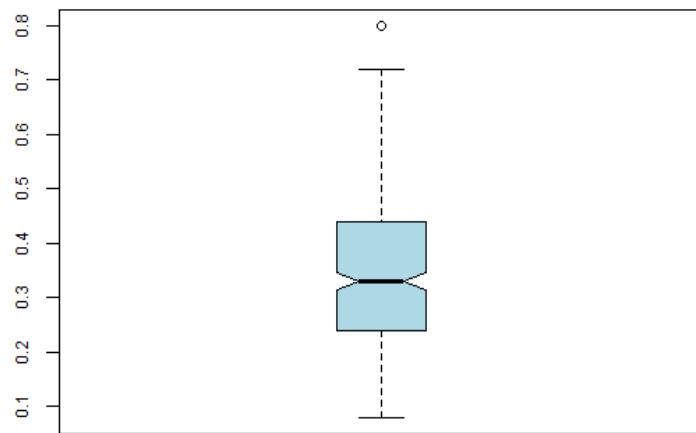


Figura 3.8. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos, aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

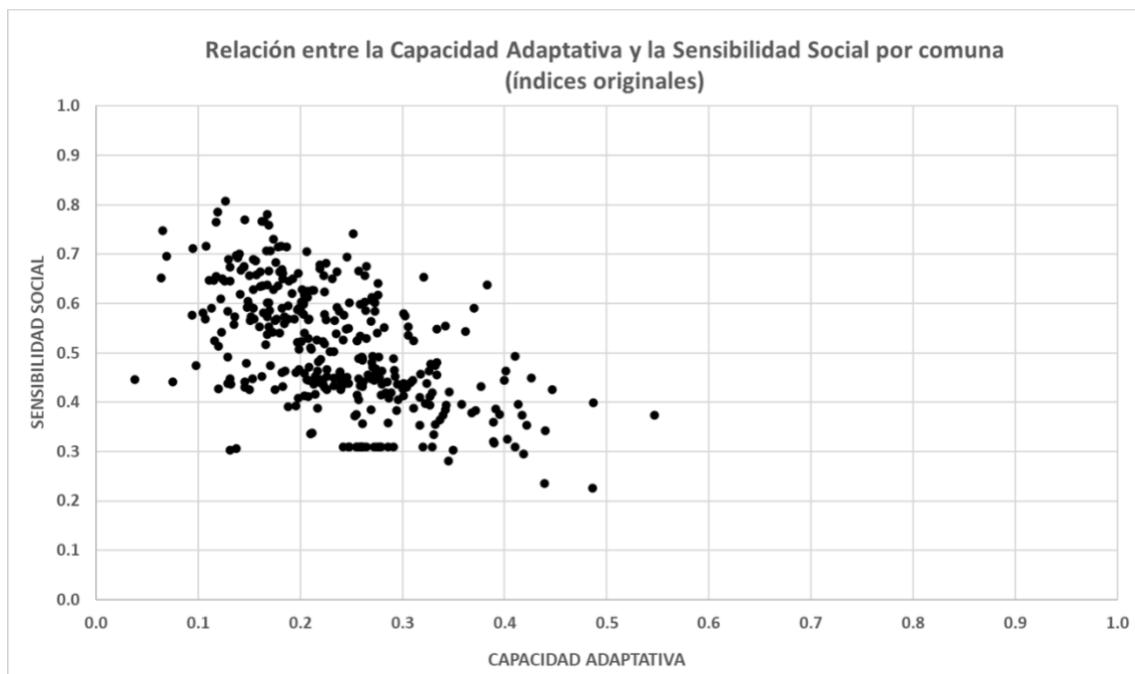


Figura 3.9. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices obtenidos de las bases de ARClim.

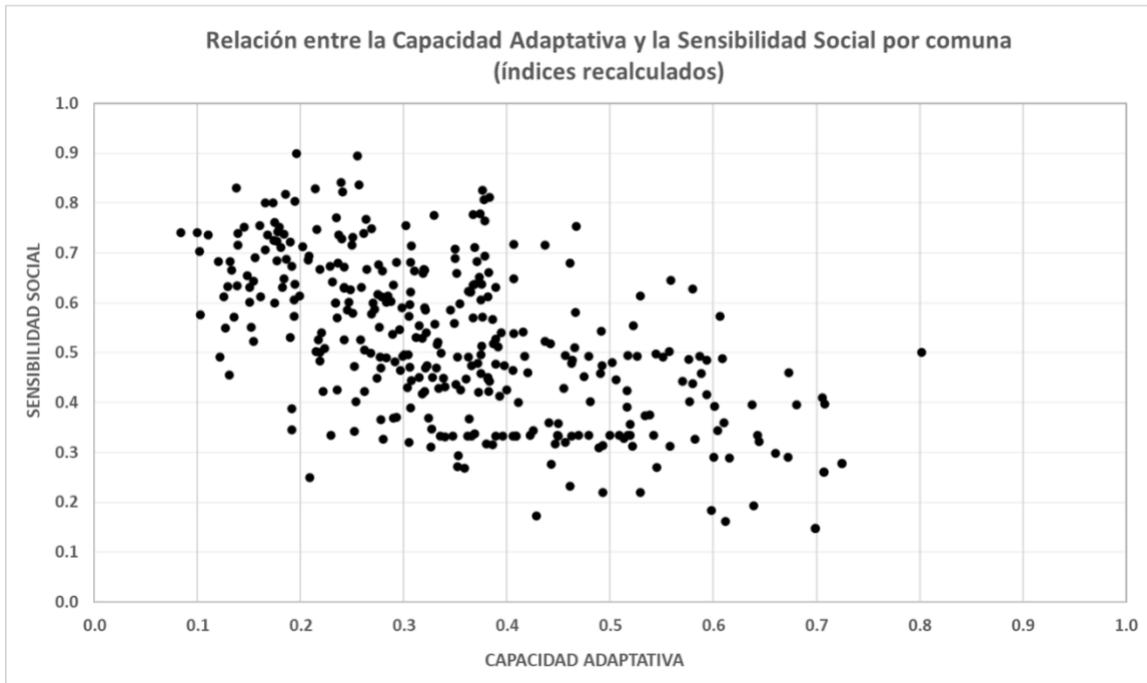


Figura 3.10. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices corregidos usando la normalización en base a percentiles 10 y 90% para los valores mínimos y máximos. Se aprecia una mejor distribución de ambos índices a nivel nacional.

La metodología implementada por ARCLIM para determinar el Riesgo y Cadenas de Impacto, se centra en estimar la sensibilidad y la capacidad de adaptación, sin incluir un cálculo directo de la vulnerabilidad. En su lugar, para evaluar el riesgo, se utilizó una fórmula que integra la sensibilidad, exposición y amenaza, sin incluir la capacidad de adaptación. Debido a esta omisión inicial, se propuso una nueva medida o índice para estimar la vulnerabilidad, la cual se basa en la integración de la sensibilidad y la capacidad de adaptación (Figura 3.11) para posteriormente usar este índice en el cálculo del riesgo.

Por tanto, el riesgo climático, en la metodología propuesta en este estudio, se determinará a partir de la interacción entre la vulnerabilidad (como resultado de la sensibilidad y capacidad de adaptación), la amenaza y la exposición.

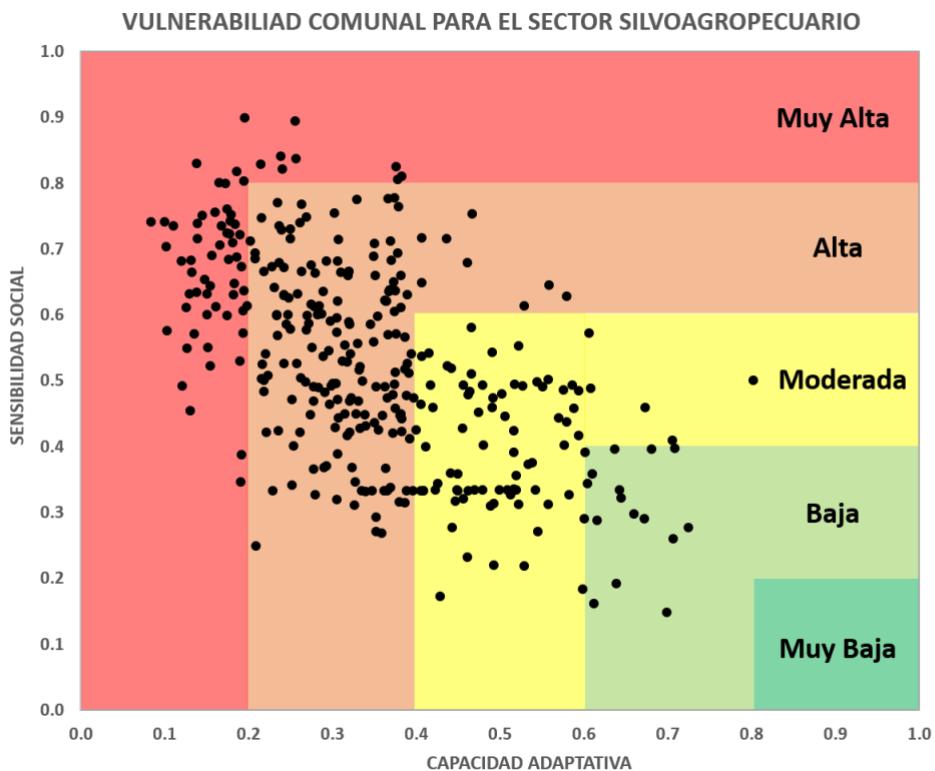


Figura 3.11. Escala propuesta para evaluar Vulnerabilidad comunal, la que combina los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa. Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que no se utilizó el índice de Vulnerabilidad desarrollado en el estudio de la Universidad Católica ya que este queda determinado por el cociente entre Sensibilidad (S) y Capacidad de Adaptación (CA). Existe un problema al utilizar este cálculo ya que los índices S y CA están normalizados entre 0 y 1, por lo tanto, una comuna con $S = 0.5$ y $CA = 0.5$ le asigna un índice de vulnerabilidad 1 (valor máximo, es decir Muy alta vulnerabilidad), al igual que otra comuna con valor $S = 1$ y $CA = 1$. Por esta razón se propone en este estudio un cálculo de la vulnerabilidad que discrimina de mejor manera los distintos niveles de vulnerabilidad en cada comuna, el cual se describe en la siguiente sección.

Las tablas 3.2 y 3.3 muestran el impacto directo que tienen las medidas del PANCC SAP sobre los indicadores de vulnerabilidad.

En ella se observa que en general tienen un gran impacto en los indicadores de sensibilidad, pero no en los de capacidad de adaptación ya que estos indicadores evalúan aspectos sociales, como pobreza o nivel educacional. En cambio, las medidas apuntan a mejorar y asegurar la productividad del sector silvoagropecuario.

Tabla 3.1. Medidas del plan de adaptación e impacto directo que tienen sobre los indicadores de sensibilidad.

Nº	Medidas\Sensibilidad	PYME	IRU	DIVERSIFICACIÓN	EMBALSES	SUELO CULTIVABLE	INFRAESTRUCTURA	RIEGO/SECANO
1	Incorporar prácticas de manejo silvoagropecuario y técnicas específicas para la adaptación al cambio climático.			x				
2	Implementar métodos de obtención y reserva de agua intrapredial							x
3	Implementar tecnologías y acciones que aumenten la eficiencia del riego							x
4	Construcción de infraestructura hídrica extrapredial				x			
5	Promover la conservación y restauración de ecosistemas naturales que sostienen a los sistemas productivos silvoagropecuarios			x		x		
6	Prevenir y controlar la degradación del suelo para la adaptación a los efectos del cambio climático.					x		
7	Implementación de infraestructura y equipamiento productivo intrapredial para la adaptación al cambio climático.						x	
8	Extender los sistemas de información y gestión de riesgos agrometeorológicos.			x				
9	Incorporar acciones adaptativas para reducir el riesgo de incendios forestales						x	
10	Desarrollar sistemas de monitoreo permanente de cambios en los potenciales de productividad			x				
11	Implementar un sistema de información que permita el seguimiento, monitoreo y evaluación de variables de sustentabilidad aplicables al sector silvoagropecuario del país			x				
12	Plan piloto de adaptación al cambio climático para el sector silvoagropecuario de la Región de Aysén.							

Tabla 3.2. Medidas del plan de adaptación e impacto directo que tendrían sobre los indicadores de capacidad adaptativa.

º	Medidas\Capacidad Adaptativa	Acceso Internet	Escolaridad	Maquinaria	Pozos	caminos urbanos	INDAP	Instituciones agrícolas	Trabajadores perm/temp
1	Incorporar prácticas de manejo silvoagropecuario y técnicas específicas para la adaptación al cambio climático.								X
2	Implementar métodos de obtención y reserva de agua intrapredial				X				X
3	Implementar tecnologías y acciones que aumenten la eficiencia del riego								X
4	Construcción de infraestructura hídrica extrapredial								X
5	Promover la conservación y restauración de ecosistemas naturales que sostienen a los sistemas productivos silvoagropecuarios								X
6	Prevenir y controlar la degradación del suelo para la adaptación a los efectos del cambio climático.								X
7	Implementación de infraestructura y equipamiento productivo intrapredial para la adaptación al cambio climático.								X
8	Extender los sistemas de información y gestión de riesgos agrometeorológicos.								X
9	Incorporar acciones adaptativas para reducir el riesgo de incendios forestales								X
10	Desarrollar sistemas de monitoreo permanente de cambios en los potenciales de productividad								X
11	Implementar un sistema de información que permita el seguimiento, monitoreo y evaluación de variables de sustentabilidad aplicables al sector silvoagropecuario del país								X
12	Plan piloto de adaptación al cambio climático para el sector silvoagropecuario de la Región de Aysén.		X	X				X	X

Finalmente, el riesgo del sector silvoagropecuario queda definido por:

$$\text{Riesgo Sector Silvoagropecuario} = \text{exposición} * \text{amenaza} * \text{vulnerabilidad}$$

Donde exposición es igual a la superficie cultivada en una comuna/superficie máxima cultivada en una comuna en Chile. La figura 3.12 muestra la alta concentración de la superficie agrícola en Chile en la zona central del país, entre las Regiones de Coquimbo a Los Lagos. La figura 3.13 muestra la amenaza o cambios porcentuales del conjunto de frutales y cultivos en riego analizados (Avellano europeo, nogales, cerezos, arándanos, cítricos, paltos, una de mesa, trigo, maíz, papa, remolacha, frejol, tomate y cebolla). La figura 3.14 muestra amenaza o cambios porcentuales del conjunto de cultivos en secano analizados (trigo, papa, remolacha), praderas naturales y plantaciones forestales (pino y eucaliptus). Ver en anexos los mapas de rendimiento para cada una de estas especies agrícolas analizadas.

El resultado del cálculo del índice de vulnerabilidad propuesto en este estudio se muestra en la figura 3.15. Finalmente, el riesgo queda determinado por la multiplicación algebraica de las coberturas de exposición, amenaza y vulnerabilidad. La figura 3.16 muestra el riesgo de la agricultura de riego y la 3.17 el riesgo de la agricultura en secano (incluye praderas y plantaciones forestales)

ÍNDICE DE EXPOSICIÓN

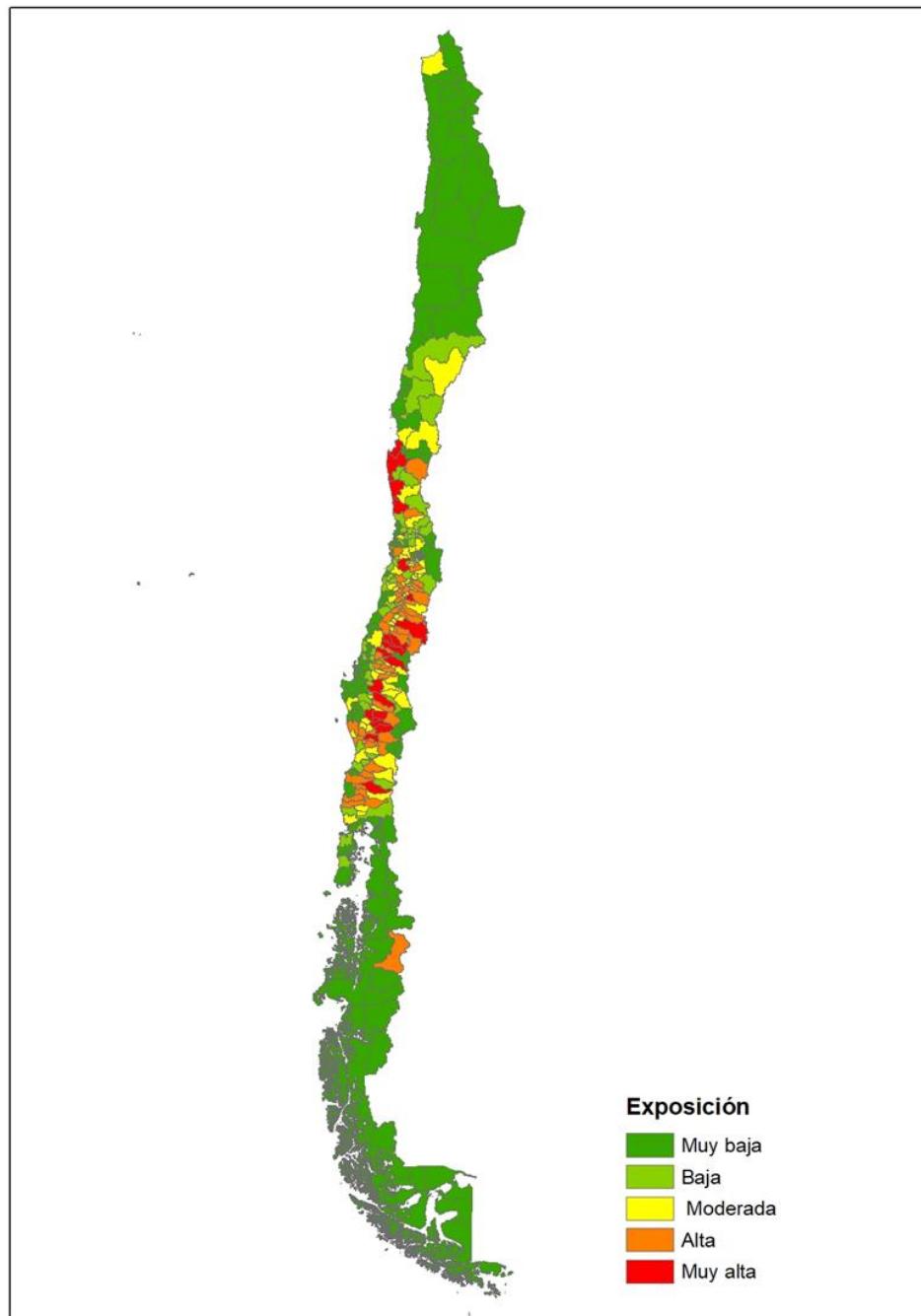


Figura 3.12. Índice de exposición agrícola.

AMENAZA AGRICULTURA DE RIEGO

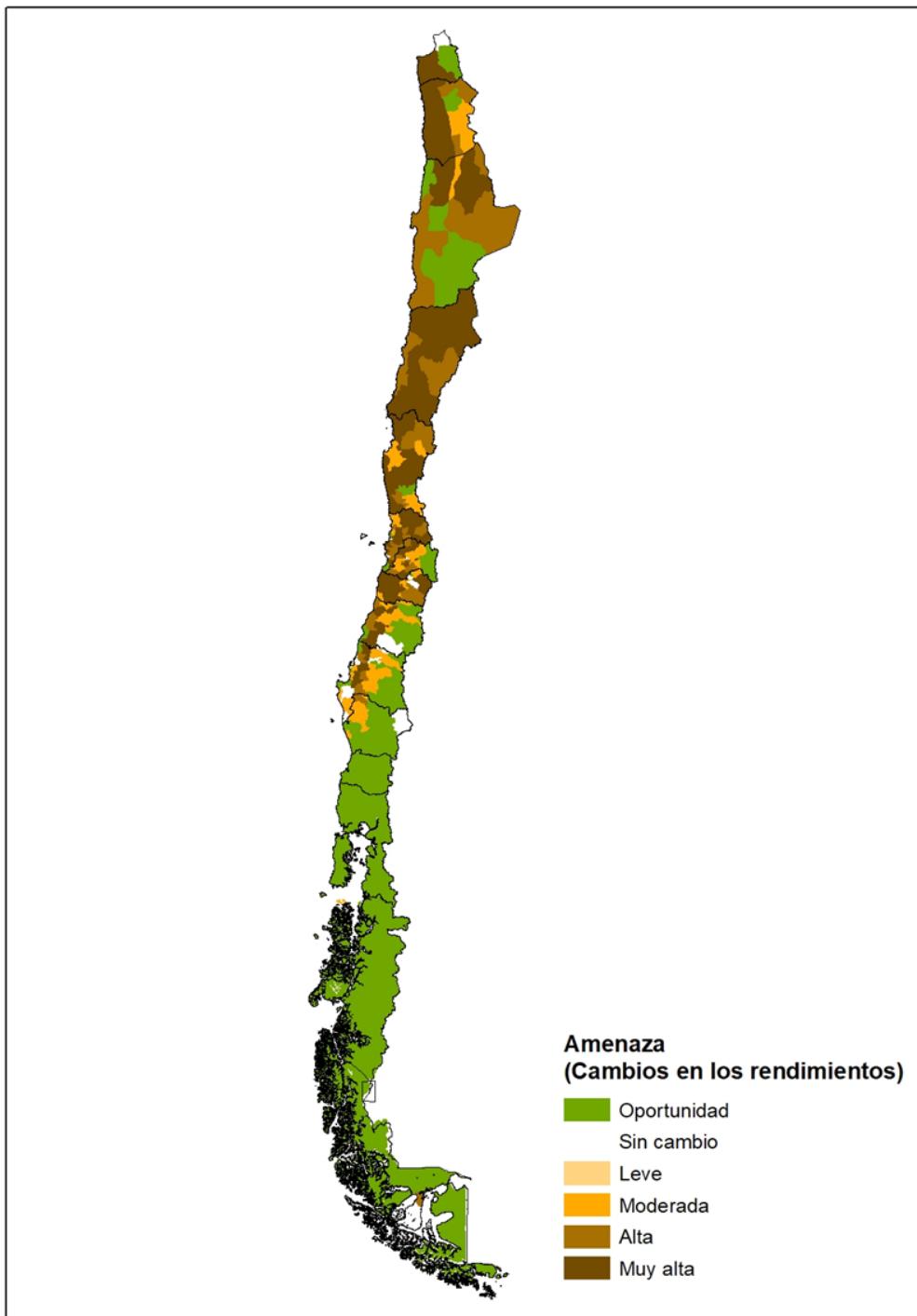


Figura 3.13. Amenaza agricultura de riego. Este índice resulta de la sumatorio de amenazas de todas las especies agrícolas consideradas en este estudio: arándanos, avellanos, cerezos, cítricos, duraznos, nogales, paltos, uva de mesa, trigo, papa, maíz y porotos.

AMENAZA AGRICULTURA DE SECANO

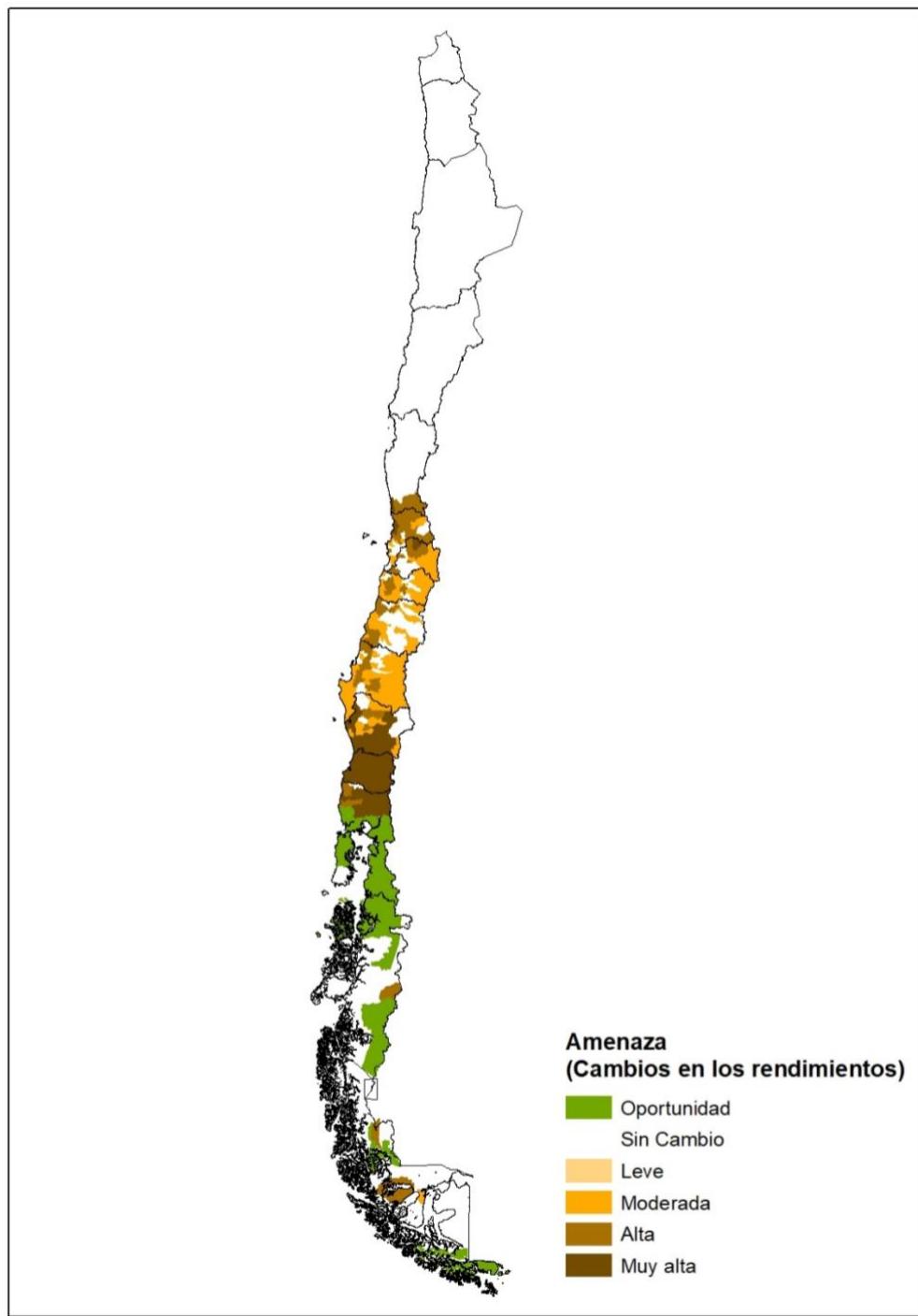


Figura 3.14. Amenaza agricultura de secano. Este índice resulta de la sumatorio de amenazas de todos los cultivos en secano consideradas en este estudio: trigo, papa, maíz, porotos, pradera y plantaciones forestales.

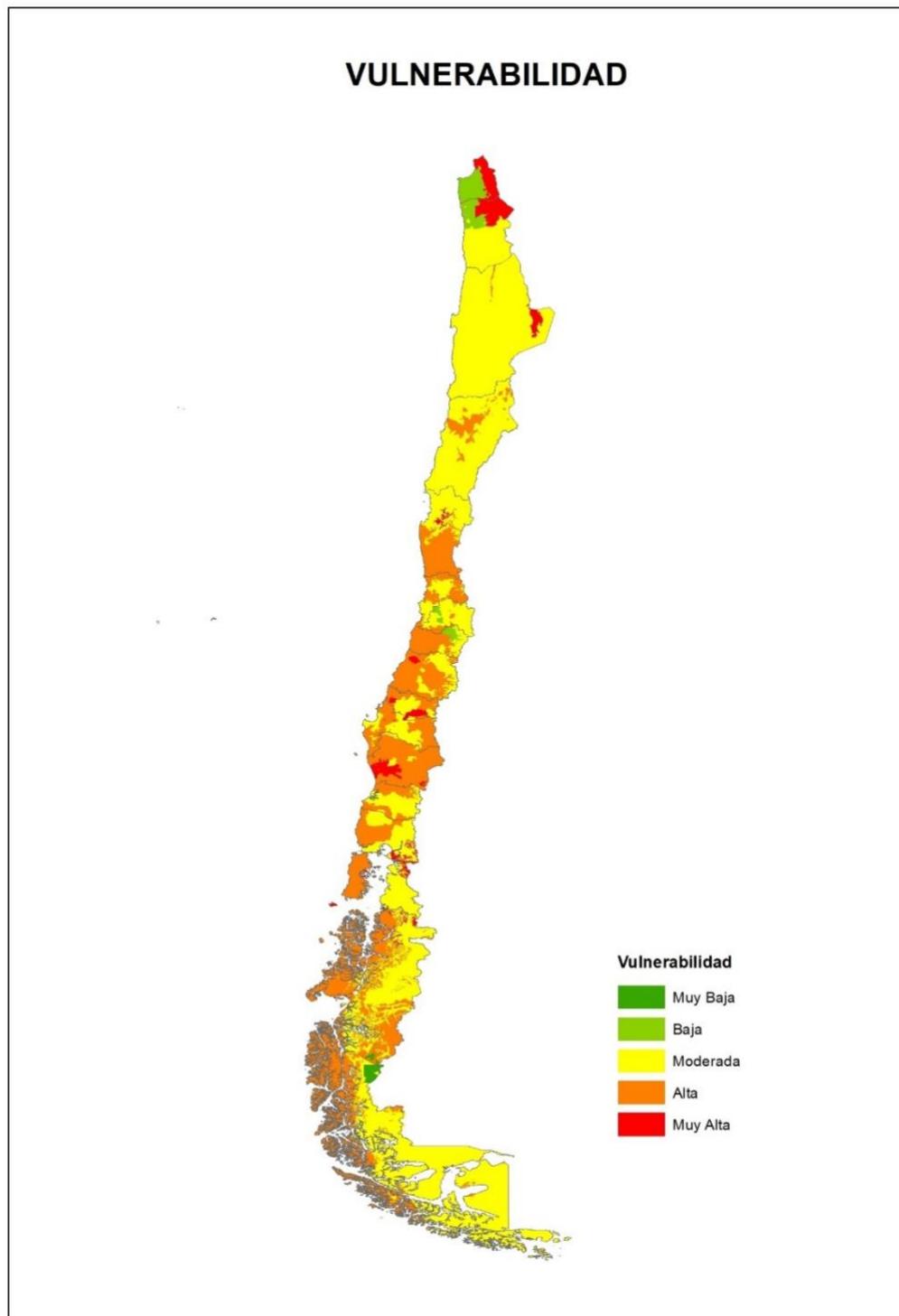


Figura 3.15. Vulnerabilidad calculada en base a la metodología propuesta en este estudio.

ÍNDICE DE RIESGO AGRICULTURA DE RIEGO

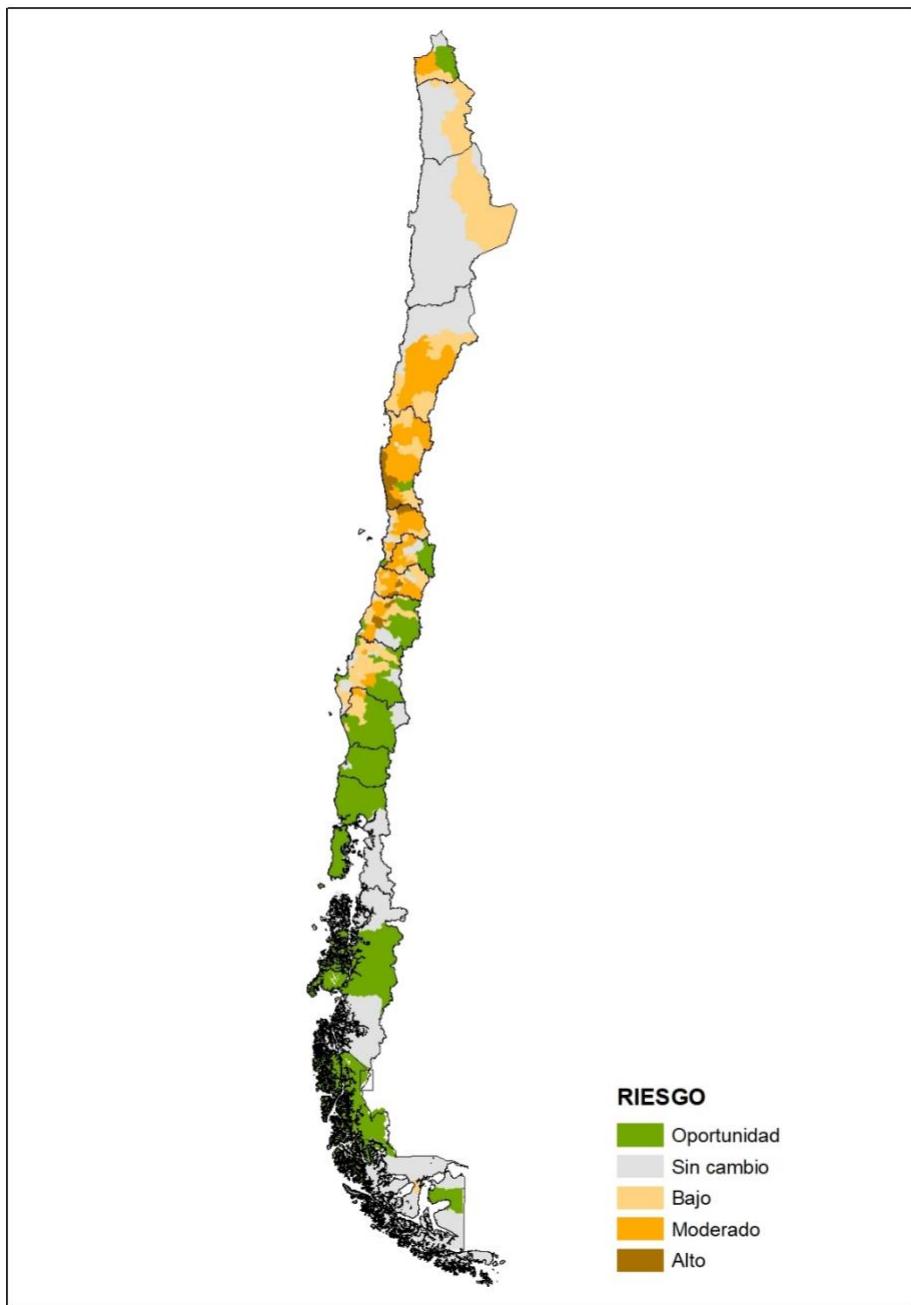


Figura 3.16. Riesgo agricultura de riego. Este índice corresponde a la integración de los índices de vulnerabilidad actual, exposición y amenaza para especies agrícolas cultivas en riego.

ÍNDICE DE RIESGO AGRICULTURA DE SECANO

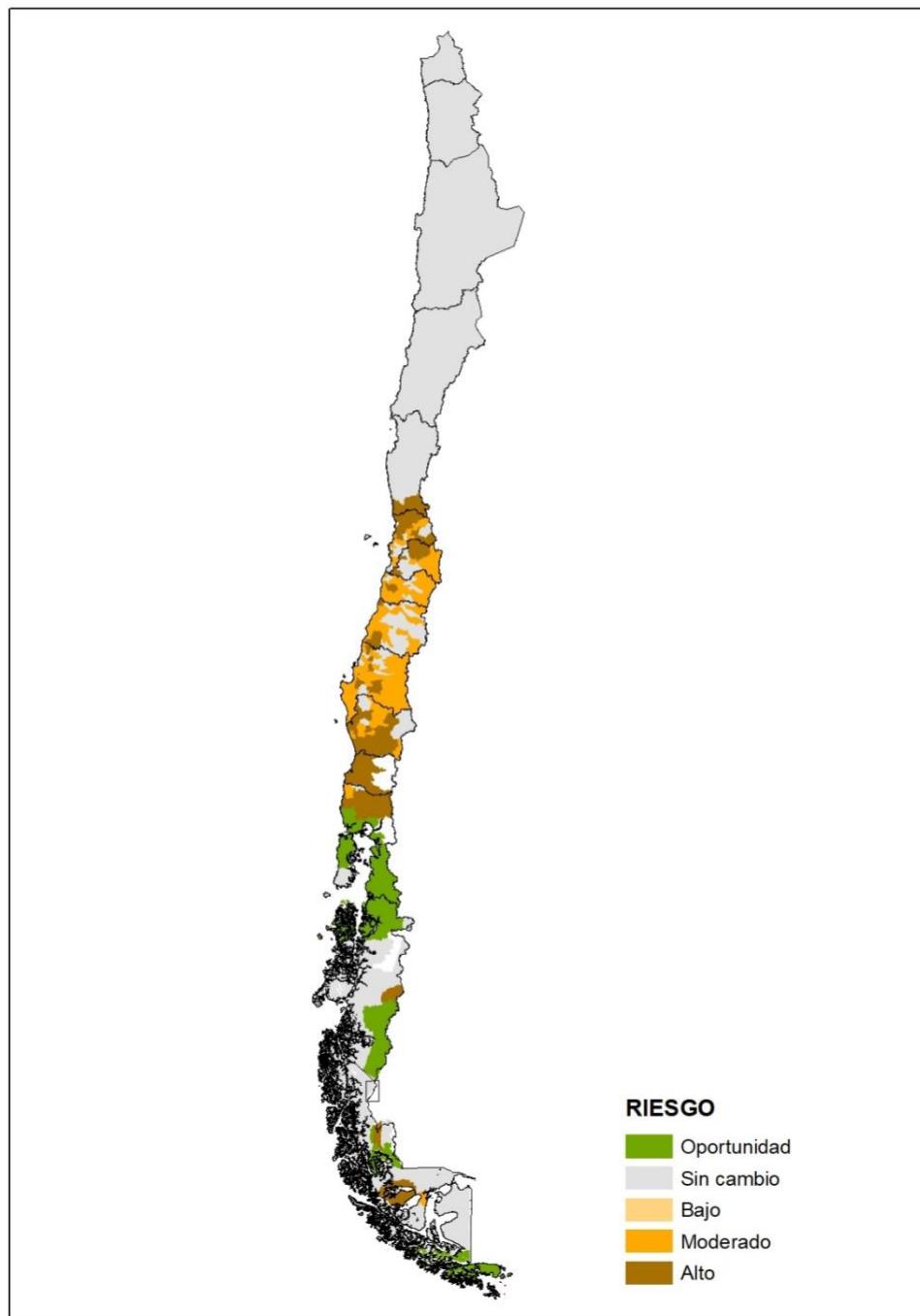


Figura 3.17. Riesgo agricultura de secano. Este índice corresponde a la integración de los índices de vulnerabilidad actual, exposición y amenaza para especies agrícolas cultivas en secano.

3.4 Análisis del análisis de riesgos del sector silvoagropecuario frente a escenarios de cambio climático.

3.4.1 Impactos sobre los rendimientos de los cultivos

En la actualidad, las especies cultivadas, particularmente las de verano, obtienen los mejores rendimientos hasta el paralelo 39°. Desde la Región de Los Ríos, los rendimientos comienzan a declinar, producto las bajas temperaturas de primavera, así como de las precipitaciones de primavera-verano-otoño que deprimen los rendimientos. En el escenario 2050 se espera una notable disminución de los rendimientos en valles interiores en la zona central del país hasta el paralelo 39°S producto de las elevadas temperaturas en las distintas etapas fenológicas de los cultivos. Las elevadas temperaturas aceleran el desarrollo, acortando el periodo de llenado de granos o crecimiento de los frutos. Sin embargo, en zonas costeras y algunas en precordillera, mantendrán temperaturas máximas moderadas por lo que la disminución en los rendimientos es menor o incluso nula.

En regiones frías los efectos positivos dominan sobre los negativos. En estas zonas, en general, existen aumentos en los rendimientos de los cultivos debido a los desplazamientos de las actuales zonas climáticas hacia el polo, hasta la región de Los Lagos. Por otra parte, en estas zonas, podría esperarse una disminución de la variabilidad de estos, como consecuencia de una disminución en la frecuencia e intensidad de las heladas.

Se espera que a mediados de siglo (2050), las modificaciones en el régimen térmico permitirían cambiar las fechas de siembra de los cultivos lo que reduciría en parte los efectos negativos provocados por la disminución de las precipitaciones. La atenuación del régimen de heladas permitiría adelantar en varios meses la fecha de siembra de los cultivos de verano, lo que permitiría aprovechar las precipitaciones invernales. Estos cambios en la fecha de siembra tendrían como única limitación la imposibilidad de sembrar en suelos húmedos, a la salida de invierno, lo que sería especialmente relevante en suelos arcillosos.

Es muy posible que las especies cultivadas deban cambiar sus calendarios de cultivo en los nuevos escenarios climáticos. Ello, para evitar el excesivo estrés de la estación más cálida del año y para mantener una parte del ciclo de las plantas bajo el efecto de la estación más fresca, evitando con ello el excesivo acortamiento de los ciclos. Un aspecto especialmente notable es el adelantamiento de las fechas de siembra del maíz y la papa. En ciertas localidades del norte y centro del país, la caída de los rendimientos podría compensarse con desplazamientos de la fecha de siembra hacia otoño invierno, lo que permitiría hacer coincidir gran parte del ciclo fenológico con la época más fresca del año, evitando el periodo estival, de mayor estrés térmico. En algunas áreas de la Zona Central del país, donde las condiciones topográficas favorecen la acumulación de aire frío durante el invierno (Buin, Requinoa, Graneros) la disminución en los rendimientos es mayor que en el resto de la región, debido a la imposibilidad de adelantar las fechas de siembra. Esto es particularmente relevante en el caso del maíz, tomate y la papa, ya que a pesar de que las temperaturas mínimas aumentan, continúan habiendo heladas que imposibilitan desplazar las fechas de siembra más allá de agosto.

La disminución de la productividad del maíz en las zonas templadas del país, estimadas para el escenario 2050, se sitúa entre 5 y 14%, siendo similar a la obtenida en otras regiones templadas como el Corn Belt de USA donde la reducción del rendimiento para el mismo escenario ha sido estimada entre 6% y 10%

([Izaurrealde et al., 2003](#)). En las zonas más frías del país, como las regiones de Los Ríos y Los Lagos, el aumento del rendimiento del maíz puede llegar hasta un 60%, valores muy cercanos a los obtenidos en los llanos de China (Loess Plateau) para el escenario A2 de 57% ([Zhang y Liu, 2005](#)).

Los requerimientos de riego podrían aumentar o disminuir dependiendo de las posibilidades de cambiar las fechas de siembra y del cambio en el rendimiento que tenga el cultivo.

Como consecuencia del desplazamiento de las fechas de siembra hacia el otoño-invierno, el maíz, la cebolla y la papa, paradójicamente podrían disminuir ligeramente los requerimientos de riego en el sector norte y centro del país, a pesar del aumento de la evapotranspiración de referencia. Lo anterior, permitiría un mejor aprovechamiento de las lluvias invernales propias de un clima mediterráneo. En la actualidad las heladas invernales no permiten este adelantamiento en las siembras. Hacia la región austral, el consumo de agua seguirá la normal tendencia al aumento en estos cultivos, debido a que los inviernos continuarán siendo suficientemente fríos como para impedir un desplazamiento importante en las fechas de siembra.

En el caso de los cultivos de invierno, cual es el caso del trigo, se mantienen la fecha óptima de siembra en otoño hasta el paralelo 38°S por lo que los requerimientos de riego aumentan, especialmente en la zona más al sur donde existen leves aumentos en los rendimientos. En la zona sur comprendida entre los paralelos 38° y 41,5°S, donde actualmente existen variedades de primavera, podría haber un desplazamiento de las siembras hacia el otoño, lo permitiría disminuir los requerimientos de riego. En las zonas templadas del país, donde las siembras otoñales no pueden desplazarse, los rendimientos disminuyen entre un 10 a un 30%, valores muy similares obtenidos en un estudio del impacto del cambio climático en el sur de Australia en donde las disminuciones en el rendimiento fueron entre 13 y 32% ([Luo et al., 2005](#)). Situación similar ocurre con la remolacha. En la zona norte y centro del país disminuyen los requerimientos de riego como consecuencia del acortamiento en el ciclo de vida, lo que además implica una reducción de los rendimientos. En la zona sur, en esta especie, donde se mantienen las fechas de siembra primaverales, aumentan los rendimientos y por lo tanto los requerimientos de riego.

3.4.2 Impacto sobre la productividad de frutales

Los frutales de hoja caduca podrían extender su área de cultivo hacia las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, mientras que en el norte y centro del país se espera una significativa reducción en la productividad, como consecuencia de la disminución del frío invernal y al aumento de las temperaturas estivales, lo que reduce el período de fructificación y aumenta los niveles de estrés térmico.

Las especies de climas con temperaturas moderadas como cerezos, arándanos, manzanos son los que experimentan la mayor disminución en los rendimientos hasta el norte de la región de Los Ríos. Estas caídas proyectadas en los rendimientos no solo se originan en el cumplimiento de las necesidades de frío sino también en la acción del estrés térmico (Fan et al., 2011; Yuri et al, 2000), el acortamiento del ciclo y las elevadas temperaturas mínimas (Santibáñez, 1994), las que pueden influir en el patrón de distribución de carbohidratos dentro de los órganos de las plantas. Es conocido el hecho de que temperaturas nocturnas elevadas, en especies de clima templado, tienden a favorecer el crecimiento aéreo de la planta reduciendo el peso y calidad de los frutos (Tonietto y Carboneau, 2004).

En nogales se esperan importantes reducciones en los rendimientos hasta la región del Maule, los cuales podrían variar entre 30 a 70%, esto, como consecuencia de la reducción del período de fructificación, disminución de las horas de frío y a un aumento en las horas de estrés térmico debido al alza en las

temperaturas, lo cual podría ser compensado con variedades tardías y con menores requerimientos de frío invernal.

En vides viníferas, los nuevos escenarios podrían acarrear importantes cambios de aptitud. En la actualidad el índice de Winkler (acumulación de días grados entre octubre y marzo) de la macrozona sur (Purranque como ejemplo) es bajo (600 días grado) comparado con los 900 que se requieren para la producción de vinos blancos finos (Santibáñez, 1992). En la actualidad esta zona queda por debajo de lo necesario para una explotación comercial de vides viníferas blancas, sin embargo, en las próximas décadas las condiciones para una vitivinicultura de climas frescos, mejorará considerablemente, por cuanto las condiciones climáticas migrarán hasta una situación comparable a lo que hoy día es Leyda (1100 dg.).

En general en las especies caducas, el aumento de las temperaturas invernales provocaría un adelanto en el inicio de la brotación y floración hacia fines de invierno, lo que tiene importantes consecuencias productivas, ya que por una parte se reduce el periodo de dormancia invernal y aumentan las amenazas de heladas en etapa de brotación

En especies subtropicales como paltos y cítricos se esperan grandes cambios de aptitud bioclimática. El alza en la temperatura y la reducción de las heladas invernales favorecerá a estas especies, las que podrían mejorar sensiblemente su potencial en casi todas las regiones del país. A este mejoramiento contribuye fuertemente la disminución de las heladas invernales y primaverales que amenazan la viabilidad de las flores, así como el aumento en las temperaturas mínimas invernales, momento en que se está gestando la fructificación. En la familia de los cítricos, es altamente probable que las condiciones climáticas de los nuevos escenarios, mejoren la calidad de los frutos ya que el alza en las temperaturas mínimas podría reducir los niveles de acidez.

3.4.3 Vulnerabilidad de los sistemas agrícolas e impactos de los cambios climáticos

Los distintos indicadores utilizados en este trabajo permitieron identificar los diferentes grados de vulnerabilidad en Chile a nivel comunal. Sin embargo se identifican importantes mejoras que deberían realizarse a algunos índices que componen el índice de vulnerabilidad, utilizados en Arclim. Existe una sobreestimación de la vulnerabilidad en la zona sur del país. Este desajuste ocurre porque el índice de balance riego secano no toma en cuenta el régimen de aridez, resultando en una penalización excesiva para las zonas húmedas del sur, donde la ausencia de sistemas de riego no impacta de igual manera que en las zonas norte y central. Por tanto, se sugiere la mejora de este índice mediante la incorporación de una función de aridez que ajuste el valor del índice en áreas donde el riego sea menos relevante o incluso no necesario para el cultivo de ciertas especies agrícolas.

Para definir el índice PYMEX que refleja el tamaño de la propiedad puede mejorarse incorporando un índice que refleje el valor productivo del suelo, como por ejemplo el concepto de superficie de riego básico de INDAP, el cual representa mejor la pequeña propiedad.

Con respecto al índice de ruralidad, este refleja la condición de dependencia de la actividad agrícola que tiene la comuna. Si bien es cierto que en Chile existen comunas donde lo rural es sinónimo de aislamiento,

alta incidencia de pobreza, predominancia de la agricultura de autoconsumo, bajo acceso a servicios básicos y baja dotación de capital humano, es importante destacar que solo un tercio de las comunas rurales del país se encuentran en esta condición (PNUD, 2008). Estas comunas se encuentran ubicadas en la precordillera de la región del Maule, en Ñuble y sectores de precordillera de Biobío, y en la costa y precordillera de la región de La Araucanía. El resto son comunas con elevada ruralidad pero se encuentran en una condición de mayor conectividad y cercanas a centros urbanos, donde existe mayor índice de Desarrollo Humano, como es el caso de las comunas ubicadas en la región Metropolitana, Valparaíso y O’ Higgins. Existen algunas comunas de la zona central de Chile que a pesar de estar cerca de centros urbanos, presentan una elevada ruralidad (por sobre el 80%) y bajos índices de Desarrollo Humano (bajo 0,65) como es el caso de Navidad, Palmilla, Pichidegua, Pacilla, Pumanque y Yerbas Buenas.

El índice de infraestructura refleja la situación de vulnerabilidad en que se encuentran comunas donde predominan rubros menos tecnificados y con menor inversión de capital, asociados a propietarios con menor capacidad de adaptación debido al menor acceso a recursos e información como para diversificar el uso del suelo, especialmente frente a un cambio de escenario climático. Las zonas que presentan menor vulnerabilidad acorde a este índice corresponden a comunas con presencia predominante de frutales y semilleros, que son los que requieren mayor uso de tecnología y capital. Estas zonas corresponden a los Valles regados de la región de Coquimbo, Valle central y precordillera entre la región de Valparaíso y el Maule, y valles con influencia marina en la región del Biobío. Por otra parte los cereales y las praderas corresponden a los rubros más a menudo menos tecnificado, asociados a una mayor vulnerabilidad intrínseca, comunas que se encuentran en la precordillera de la región del Biobío y Al sur de la región de La Araucanía.

3.5 Evaluación de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario

Para cuantificar el grado de reducción de vulnerabilidad alcanzable mediante la implementación completa de las medidas y acciones del PANCC SAP, se adoptó el indicador "Porcentaje de Seguridad en la Resiliencia" (PSR). El PSR evalúa la efectividad de las medidas de adaptación climática en términos del porcentaje que asegura un nivel específico de rendimiento o producción agrícola. Representa una métrica cuantitativa que indica la proporción del rendimiento previsto que puede garantizarse en respuesta a las condiciones climáticas. Este índice se aplicó tanto a las medidas individuales como al conjunto del PANCC SAP.

Las tablas 3.3 a las 3.7 contienen el valor PSR que varía de 0 a 100. Este factor, expresado entre 0 y 1, multiplica el valor del índice de vulnerabilidad actual para evaluar el potencial de reducción que una medida específica representa en el valor de la vulnerabilidad.

La determinación del PSR se basó en una evaluación experta realizada por el Dr. Julio Haberland, Director del Centro AGRIMED de la Universidad de Chile, y el Dr. Fernando Santibáñez, Director de Investigación de la Universidad San Sebastián. Estos profesionales aportaron su conocimiento especializado para estimar el PSR como herramienta de medición en este contexto.

Tabla 3.3. Acciones y medidas propuestas para la macrozona norte. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Acciones Macrozona Norte	Costo primeros cinco años Millones de pesos	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
Acción 1.2: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	2,779	1.64	34,469	70
Acción 1.3: Implementar, para los principales cultivos de interés, un nuevo Calendario de Siembra/Labores ajustado a las condiciones meteorológicas y actualizarlo, periódicamente, según los requerimientos territoriales.	2,355	1.49		
Acción 1.5: Implementar sistemas productivos sin suelo como la hidroponía y la aeroponía.	11,481	2.26		
Acción 1.7: Mejoramiento de las técnicas de manejo para la producción de especies forrajeras.	1,078	0.29		
Acción 1.6: Implementar técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) en las principales especies y cultivos de interés del territorio.	398	0.36		
Acción 2.1: Implementar sistemas de captación y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	7,163	0.7		
Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	5,865	1.27	18,457	50
Acción 3.3: Fomento de la automatización para evitar pérdidas de agua de riego.	1,054	0.25		
Acción 3.6: Fomentar y potenciar obras de riego con sistemas de aplicación subterránea.	7,514	1.43		
Acción 4.1: Realizar obras de mejoramiento de la distribución, control y acumulación de agua extrapredial (revestimiento de canales, construcción de tanques comunitarios).	2,539	1.89	8,998	40
Acción 4.2: Instalación y/o implementación de desalinizadoras de agua de mar para su uso en riego.	4,729	0.8		
Acción 4.3: Identificación y evaluación de alternativas de tratamiento de aguas (servidas, grises, residuales, etc.) para riego.	2,447	0.17		
Acción 5.3: Restaurar (reforestar) los ecosistemas con especies nativas, contribuyendo de esta forma a la protección y conservación de los recursos hídricos, y a la disminución del riesgo de incendios.	711	0.46	327	25
Acción 6.1: Mejorar la calidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica (compost, humus u otros) y uso y resiembra de microorganismos.	2,819	0.78	2,469	20
Acción 6.2: Construcción de obras eficientes en el control de erosión hídrica.	466	0.58		
Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	4,544	0.24	2,547	70
Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	1,456	0.66		
Acción 8.2: Diseño, desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana para: plagas y enfermedades, riesgos agrometeorológicos e incendios, que afectan a la producción local.	460	0	1169.19	60
Acción 8.3: Implementar mesas agroclimáticas de trabajo entre productores locales y asesores técnicos para el desarrollo de técnicas climáticas inteligentes.	1,181	0.99		

Tabla 3.4. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro norte. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Acciones Macrozona Centro Norte	Costo primeros cinco años Millones de pesos	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
Acción 1.2: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	5,392	0.96		
1.3 Implementar, para los principales cultivos de interés, un nuevo Calendario de Siembra/Labores ajustado a las condiciones meteorológicas y actualizarlo, periódicamente, según los requerimientos territoriales.	5,300	1.5	15,926	70
Acción 1.5: Implementar sistemas productivos sin suelo como la hidroponía y la aeroponía.	5,283	0.53		
Acción 2.1: Implementar sistemas de captación y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	4,763	1.93		
Acción 2.2: Implementar sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y posterior uso en riego.	4,988	0.09	34,806	10
Acción 2.3: Construcción, mejoramiento y/o profundización de pozos	9,286	2.71		
Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	12,054	0.86	12,054	50
Acción 4.1: Realizar obras de mejoramiento de la distribución, control y acumulación de agua extrapredial (revestimiento de canales, construcción de tranches comunitarios).	6,338	1.71	10,838	40
Acción 5.2: Incentivar la forestación con especies nativas adaptadas a la zona, principalmente en áreas con mayor niebla y suelos degradados.	1,956	0.53	1,037	25
Acción 7.1: Instalación de cortinas naturales o artificiales que permitan proteger los sistemas productivos del sol y del viento.	2,929	0.46		
Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	5,246	0.31	3,766	70
Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	3,171	0.25		

Tabla 3.5. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Nº	Acciones Macrozona Centro	Costo primeros cinco años Millones de pesos	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
1	Acción 1.2: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	5,392	0.96		
	1.3 Implementar, para los principales cultivos de interés, un nuevo Calendario de Siembra/Labores ajustado a las condiciones meteorológicas y actualizarlo, periódicamente, según los requerimientos territoriales.	5,300	4.36	31084	70
	Acción 1.5: Implementar sistemas productivos sin suelo como la hidropónia y la aeroponía.	5,283	0.53		
2	Acción 2.1: Implementar sistemas de captacion y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	4,763	1.93		
	Acción 2.2: Implementar sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y posterior uso en riego.	4,988	0.09	23477	20
	Acción 2.3: Construcción, mejoramiento y/o profundización de pozos	9,286	2.71		
3	Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	12,054	0.86	10366	50
4	Acción 4.1: Realizar obras de mejoramiento de la distribución, control y acumulación de agua extrapredial (revestimiento de canales, construcción de tranches comunitarios).	6,338	1.71	10838	40
5	Acción 5.2: Incentivar la forestación con especies nativas adaptadas a la zona, principalmente en áreas con mayor niebla y suelos degradados.	1,956	0.53	1037	25
7	Acción 7.1: Instalación de cortinas naturales o artificiales que permitan proteger los sistemas productivos del sol y del viento.	2,929	0.46		
	Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	5,246	0.31	3766	70
	Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	3,171	0.25		

Tabla 3.6. Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Nº	Acciones Macrozona Centro Sur	Costo primeros cinco años Millones de pesos	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
1	Acción 1.1 Fomentar la implementación de sistemas de producción agroecológicos, agroforestales y orgánicos.	10310	1.29	80240	70
	Acción 1.2: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	4056	5.61		
	Acción 1.3: Implementar, para los principales cultivos de interés, un nuevo Calendario de Siembra/Labores ajustado a las condiciones meteorológicas y actualizarlo, periódicamente, según los requerimientos territoriales.	7781	5.64		
	Acción 1.6: Implementar técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) en las principales especies y cultivos de interés del territorio.	381	0.79		
2	Acción 2.1: Implementar sistemas de captacion y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	928	0.99	57174	30
	Acción 2.1.1: Implementar sistemas de acumulación de agua, minitránquines, piscinas donde exista disponibilidad de agua	5363	2		
	Acción 2.3: Construcción, mejoramiento y/o profundización de pozos	6023	7.56		
3	Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	17354	1.04	23507	50
	Acción 3.5: Mejoramiento de las técnicas de riego y adaptación a la realidad territorial	5628	0.97		
5	Acción 5.1: Promover la creación de áreas silvestres conservadas intraprediales (corredores biológicos), mediante la bonificación por servicios ecosistémicos.	4617	2.56	24077	40
	Acción 5.6: Conservar y restaurar los humedales y las estepas de altura.	2573	0.17		
	Acción 5.7: Conservar los bosques nativos intraprediales y forestar y reforestar con especies nativas los sectores de afloramiento de aguas subterráneas.	4617	2.56		
8	Acción 8.2: Diseño, desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana para: plagas y enfermedades, riesgos agrometeorológicos e incendios, que afectan a la producción local.	1763	2.19	3861	60
9	Acción 9.1: Fomentar la reutilización y revalorización de los residuos agrícolas para evitar quemas	4789	1.13	15587	20
	Acción 9.2: Implementar técnicas de manejo productivo para la prevención de incendios (poda, raleo, control de especies invasoras).	12880	0.79		

Tabla 3.7. Acciones y medidas propuestas para la macrozona sur. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Nº	Acciones Macrozona Sur	Costo primeros cinco años Millones de pesos	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
1	Acción 1.1 Fomentar la implementación de sistemas de producción agroecológicos, agroforestales y orgánicos .	3,787	0.48	44942	40
	Acción 1.2: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	4,168	1.59		
	Acción 1.9: Incorporar técnicas de producción ganadera sustentable que considere la capacidad de carga, la disponibilidad de agua predial, el tipo de pastoreo, manejos forrajeros, entre otros.	21,289	0.35		
	Acción 1.6: Implementar técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) en las principales especies y cultivos de interés del territorio.	318	0.27		
	Acción 1.8: Promover la diversificación de la matriz productiva silvoagropecuaria a través de la implementación de la agroforestería.	10,847	2.67		
2	Acción 2.1: Implementar sistemas de captación y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	4,508	1.04	65604	40
	Acción 2.1.1: Implementar sistemas de acumulación de agua, minitanques, piscinas donde exista disponibilidad de agua	7,584	1		
	Acción 2.3: Construcción, mejoramiento y/o profundización de pozos	6,150	8.37		
3	Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	11,602	0.16	2134	40
	Acción 3.2.1: Fomentar el mejoramiento de técnicas de riego en praderas mediante la capacitación de los pequeños agricultores.	9,244	0.03		
5	Acción 5.1: Promover la creación de áreas silvestres conservadas intraprediales (corredores biológicos), mediante la bonificación por servicios ecosistémicos.	4,879	0.13	1691	40
	Acción 5.3: Restaurar (reforestar) los ecosistemas con especies nativas, contribuyendo de esta forma a la protección y conservación de los recursos hídricos, y a la disminución del riesgo de incendios.	8,132	0.13		
7	Acción 7.1: Instalación de cortinas naturales o artificiales que permitan proteger los sistemas productivos del sol y del viento.	3,594	0.98	39000	70
	Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	18,403	1.87		
	Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	2,046	0.52		
8	Acción 8.2: Diseño, desarrollo e Implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana para: plagas y enfermedades, riesgos agrometeorológicos e incendios, que afectan a la producción local.	878	1.19	5538	50
	Acción 8.3: Implementar mesas agroclimáticas de trabajo entre productores locales y asesores técnicos para el desarrollo de técnicas climáticas inteligentes.	4,538	0.99		

Tabla 3.8: Acciones y medidas propuestas para la Región de Aysén. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

Nº	Acciones Macrozona Aysén, ordenadas de mayor a menor costo	Costo primeros cinco años (CLP)	CBR Global	Beneficio Millones de pesos	Porcentaje de seguridad en el rendimiento (PSR)
1	Acción 1.4: Seleccionar y promover la utilización de especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones agroclimáticas que incluyen estrés hídrico, estrés térmico, nuevas plagas y enfermedades, entre otras.	306	0.29	18344	40
	Acción 1.2: Implementar, para los principales cultivos de interés, un nuevo Calendario de Siembra/Labores ajustado a las condiciones meteorológicas y actualizarlo, periódicamente, según los requerimientos territoriales.	1,016	0.13		
	Acción 1.5: Implementar técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) en las principales especies y cultivos de interés del territorio.	878	0.74		
	Acción 1.10: Proteger las plantaciones de frutales y de hortalizas de los daños provocados por las heladas y las ráfagas de viento, mediante la incorporación de prácticas y manejos específicos dirigidos.	2,932	1.9		
2	Acción 2.1: Implementar sistemas de captación y acumulación de agua intrapredial tales como, cosechadores de agua lluvia (mallas, techos o atrapanieblas)	4,712	0.99	4665	5
3	Acción 3.2: Implementar sistemas de riego tecnificado.	7,696	0.95	7311	40
5	Acción 5.1: Promover la creación de áreas silvestres conservadas intraprediales (corredores biológicos), mediante la bonificación por servicios ecosistémicos.	355	0.05	1129	40
	Acción 5.2.1: Actividades de reforestación en cabeceras de cuenca	2,318	0.14		
	Acción 5.8: Promover programas de fortalecimiento de viveros locales y acompañar este proceso con espacios de educación ambiental sobre los usos y beneficios ambientales y productivos de plantas multipropósito y especies nativas, así como la prevención contra incendios forestales.	802	0.98		
7	Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	1,923	0.5	1951	70
	Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	1,621	0.61		
8	Acción 8.2: Diseño, desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana para: plagas y enfermedades, riesgos agrometeorológicos e incendios, que afectan a la producción local.	306	0.07	435	50
	Acción 8.3: Implementar mesas agroclimáticas de trabajo entre productores locales y asesores técnicos para el desarrollo de técnicas climáticas inteligentes.	1,090	0.17		
	Acción 8.6: Desarrollar planes de acción y contingencia ante emergencias para los eventos meteorológicos extremos, en conjunto con otras instituciones pertinentes, considerando las particularidades de las 10 comunas de la Región de Aysén, con revisión periódica y capacitaciones a agricultores/as al respecto (ejemplo: Inversión en insumos y tecnología para proteger cultivos de las heladas).	380	0.6		
12	Acción 12.g: Fomentar la planificación y el ordenamiento predial de las explotaciones silvoagropecuarias de la Región de Aysén, mediante la aplicación de criterios de acción afirmativos para el acceso a los instrumentos de fomento público del Estado.	1,390	0.6	2858	50
	Acción 12.g: Promover el escalamiento de Planes de Ordenamiento Predial (POP) hacia zonas de la Región de Aysén no cubiertas, e incorporarles el fomento de prácticas silvoagropecuarias ancestrales, sustentables y culturalmente arraigadas, así como también aquellas basadas en la ciencia aplicada.	564	0.6		
	Pilotear un modelo de gobernanza para la adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario de la Región de Aysén, escalando la experiencia del proyecto Manejo Sustentable de la Tierra (MST), a través de la creación de dos Comités Técnicos Provinciales (CTP-CC).	505	0.6		
	Acción 12.i: Reconocer, valorar y difundir los saberes de las mujeres campesinas de la Región de Aysén en torno a la adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario, mediante la implementación de un Piloto de Escuela Campesina	480	0.6		
	12. Fomentar la investigación participativa sobre la adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario de la región, integrando a los centros de investigación, a las universidades, a los centros de estudios, entre otros, ubicados en el territorio.	451	0.6		
	12. Implementar un programa de sensibilización sobre el cambio climático y sus efectos en el sector silvoagropecuario de la región, que incorpore el enfoque de género en su diseño y ejecución, y dirigido a jóvenes de educación media y superior	389	0.6		
	12. Promover la integración de prácticas y manejos sustentables que contribuyan a la adaptación de las explotaciones silvoagropecuarias al cambio climático.	387	0.6		
	12 Fomentar la recolección de productos forestales no madereros (PFNM), mediante la creación de un Grupo de Transferencia Tecnológica (GTT) para mujeres recolectoras campesinas de la Región de Aysén.	265	0.6		
	12: Fortalecer el Comité Técnico Regional de Cambio Climático (CTR-CC) de la Región de Aysén y operacionalizar su acción y cobertura mediante la creación de los Comités Técnicos Provinciales (CTP-CC).	181	0.6		
	12 Resguardar el trabajo de recolección de productos forestales no madereros (PFNM) que realizan las mujeres de la Región de Aysén, mediante la generación de un catastro de identificación y el desarrollo permanente de capacidades.	151	0.6		

3.6 Evaluación conjunta de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario

Para evaluar el efecto del conjunto de medidas se utilizó una ecuación que permite cuantificar el efecto aditivo que incorpora una nueva medida “*i*” al cálculo del grado de reducción de vulnerabilidad alcanzable mediante la implementación completa de las medidas y acciones del PANCC SAP-

$$PSR \text{ medida } i = PSR_{medida \ i} + PSR_{medida \ i-1}(1 - PSR_{medida \ i})^{\text{aditividad}}$$

Donde “PRS medida *i*” representa el PRS de la medida “*i*” incorporada al calculo de PSR de la medida anterior “*i -1*”. Este modelo incorpora un parámetro de aditividad que permite evaluar el efecto o grado de aumento que tiene la medida sobre el cálculo de PSR.

Tabla 3.7. Parámetros de aditividad.

Aditividad	
Ninguna	5
Muy baja	3
Baja	2.5
Media	2
Alta	1.5
Muy alta	1

Para este estudio se asumió un grado de efectividad alta de las medidas (1.5) ya que corresponden a medidas seleccionadas que ya han sido evaluadas en otros estudios y generan un alto impacto positivo en la reducción de los efectos negativos del cambio climático en la producción silvoagropecuaria. (TEPUAL 2022).

Tabla 3.8. Medidas a implementar macrozona norte.

	PSR	aditividad	PSR acumulado
Medida 1	0.7	1.5	0.700
Medida 2	0.1	1.5	0.716
Medida 3	0.5	1.5	0.792
Medida 4	0.4	1.5	0.830
Medida 5	0.25	1.5	0.847
Medida 6	0.2	1.5	0.859
Medida 7	0.7	1.5	0.896
Medida 8	0.6	1.5	0.916

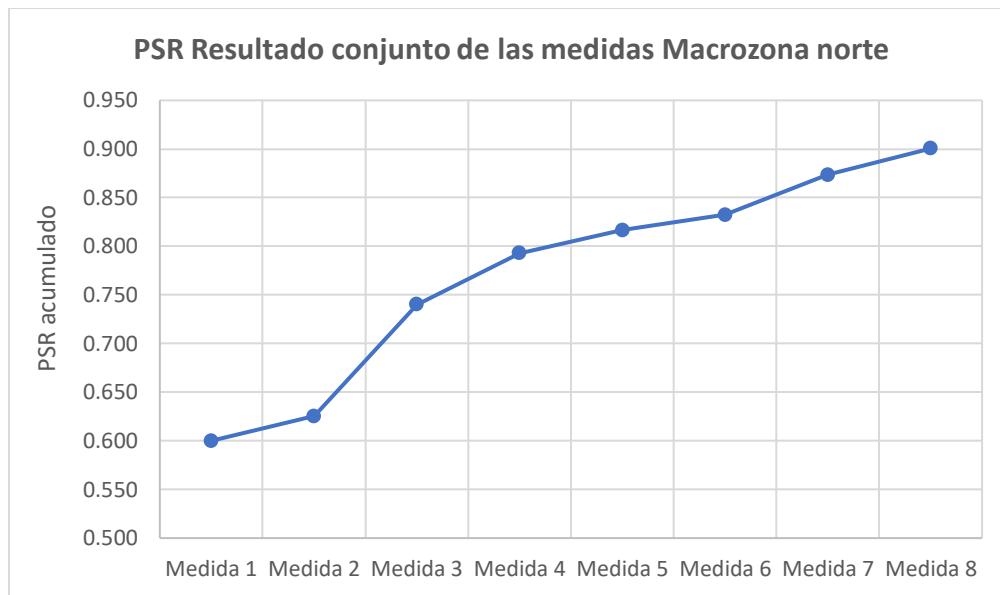


Figura 3.12. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona norte

Tabla 3.9. Medidas a implementar macrozona centro norte.

	PSR	aditividad	
Medida 1	0.7	1.5	0.700
Medida 2	0.1	1.5	0.716
Medida 3	0.5	1.5	0.792
Medida 4	0.4	1.5	0.830
Medida 5	0.25	1.5	0.847
Medida 7	0.7	1.5	0.889

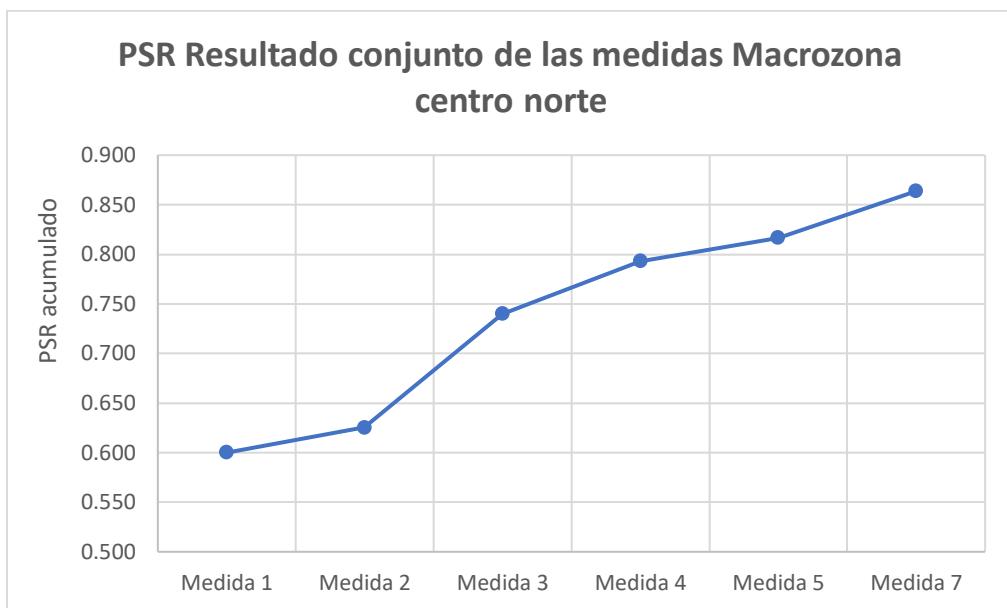


Figura 3.13. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro norte.

Tabla 3.10. Medidas a implementar macrozona centro.

	PSR	aditividad	
Medida 1	0.7	1.5	0.700
Medida 2	0.1	1.5	0.716
Medida 3	0.5	1.5	0.792
Medida 4	0.4	1.5	0.830
Medida 5	0.25	1.5	0.847
Medida 7	0.7	1.5	0.889

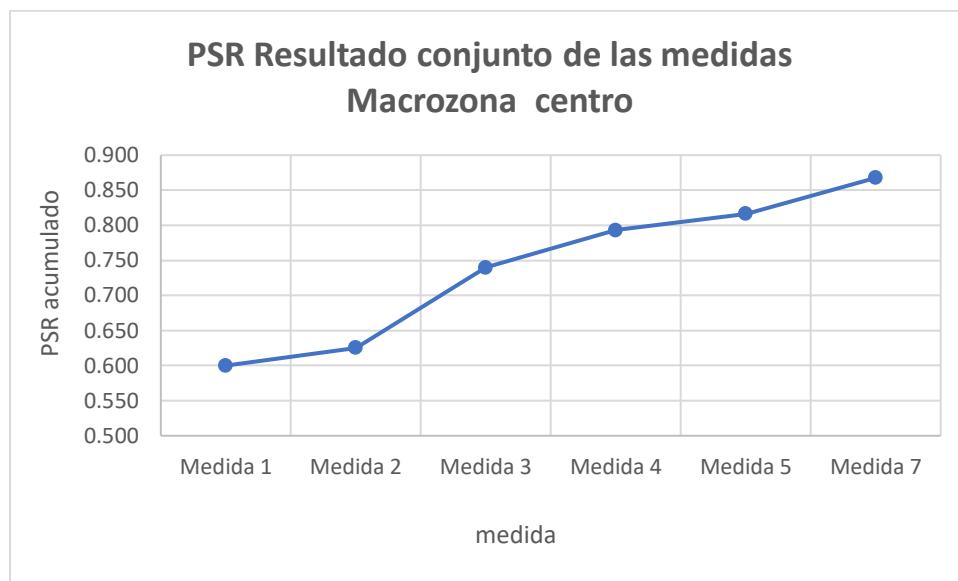


Figura 3.20. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro.

Tabla 3.11. Medidas a implementar macrozona centro sur.

	PSR	aditividad	
Medida 1	0.7	1.5	0.700
Medida 2	0.2	1.5	0.733
Medida 3	0.5	1.5	0.802
Medida 5	0.4	1.5	0.837
Medida 8	0.25	1.5	0.854
Medida 9	0.7	1.5	0.893

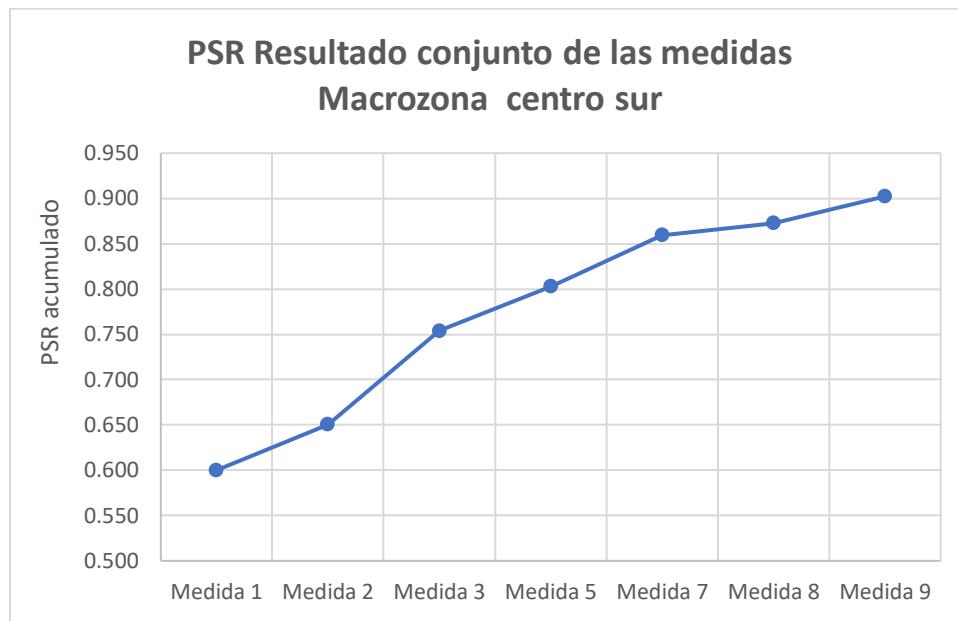


Figura 3.21. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro sur.

Tabla 3.12. Medidas a implementar macrozona sur.

	PSR	aditividad	
Medida 1	0.4	1.5	0.400
Medida 2	0.4	1.5	0.586
Medida 3	0.4	1.5	0.692
Medida 5	0.4	1.5	0.761
Medida 7	0.7	1.5	0.843
Medida 8	0.5	1.5	0.874

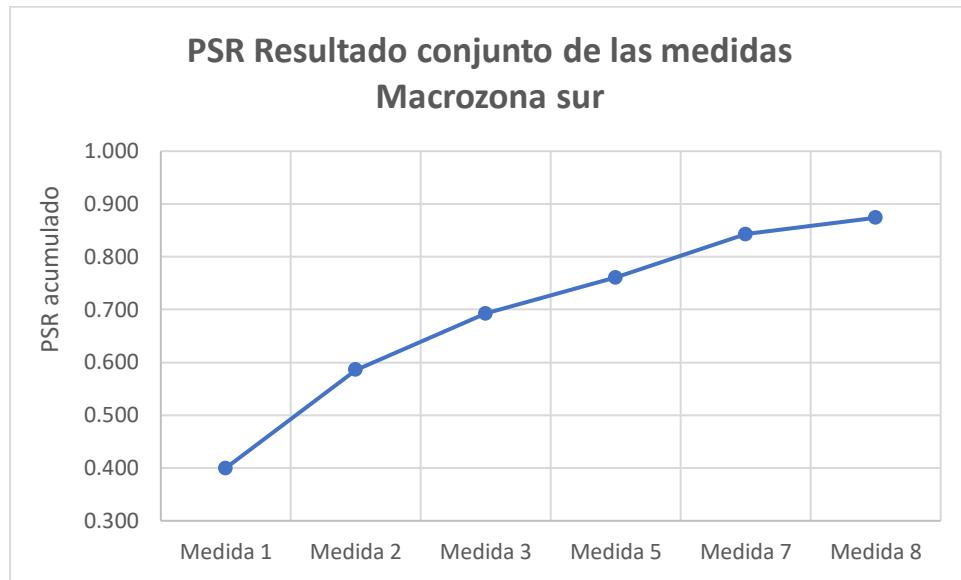


Figura 3.22. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona sur.

Tabla 3.15. Medidas a implementar Aysén

	PSR	aditividad	
Medida 1	0.4	1.5	0.400
Medida 2	0.4	1.5	0.586
Medida 3	0.4	1.5	0.692
Medida 5	0.4	1.5	0.761
Medida 7	0.7	1.5	0.843
Medida 8	0.5	1.5	0.874
Medida 12	0.5	1	0.937

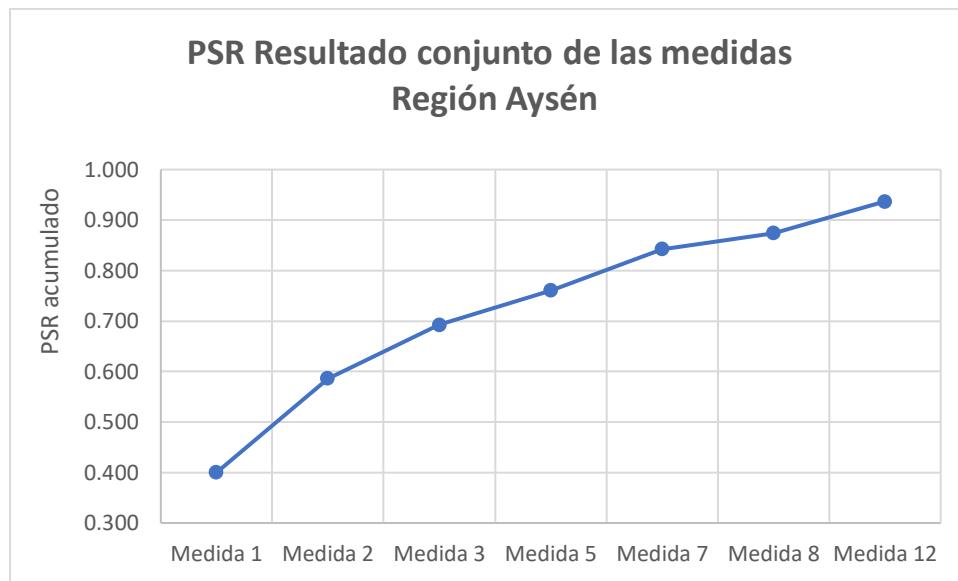


Figura 3.23. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la región de Aysén

Las figuras 3.23 a la 3.31 muestran una comparación entre el índice vulnerabilidad actual y la vulnerabilidad obtenida al implementar las medidas de adaptación propuestas en el PNACC SAP 2023-2027. Para obtener estos resultados se multiplica el factor presentado en las tablas 3.10 a la 3.14 por el índice de vulnerabilidad por macrozona

INDICE DE VULNERABILIDAD

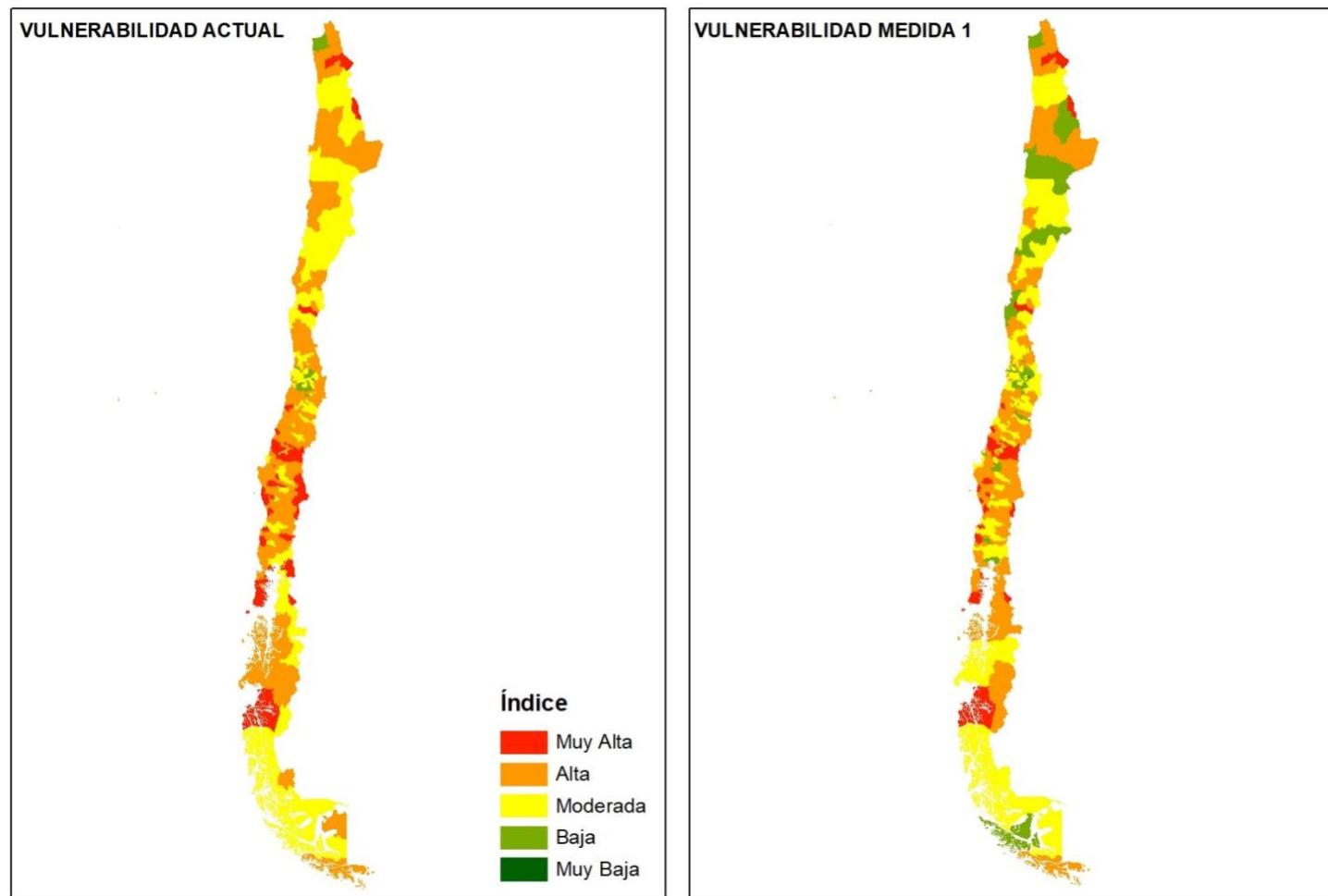


Figura 3.23 Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 de PANCC SPA.

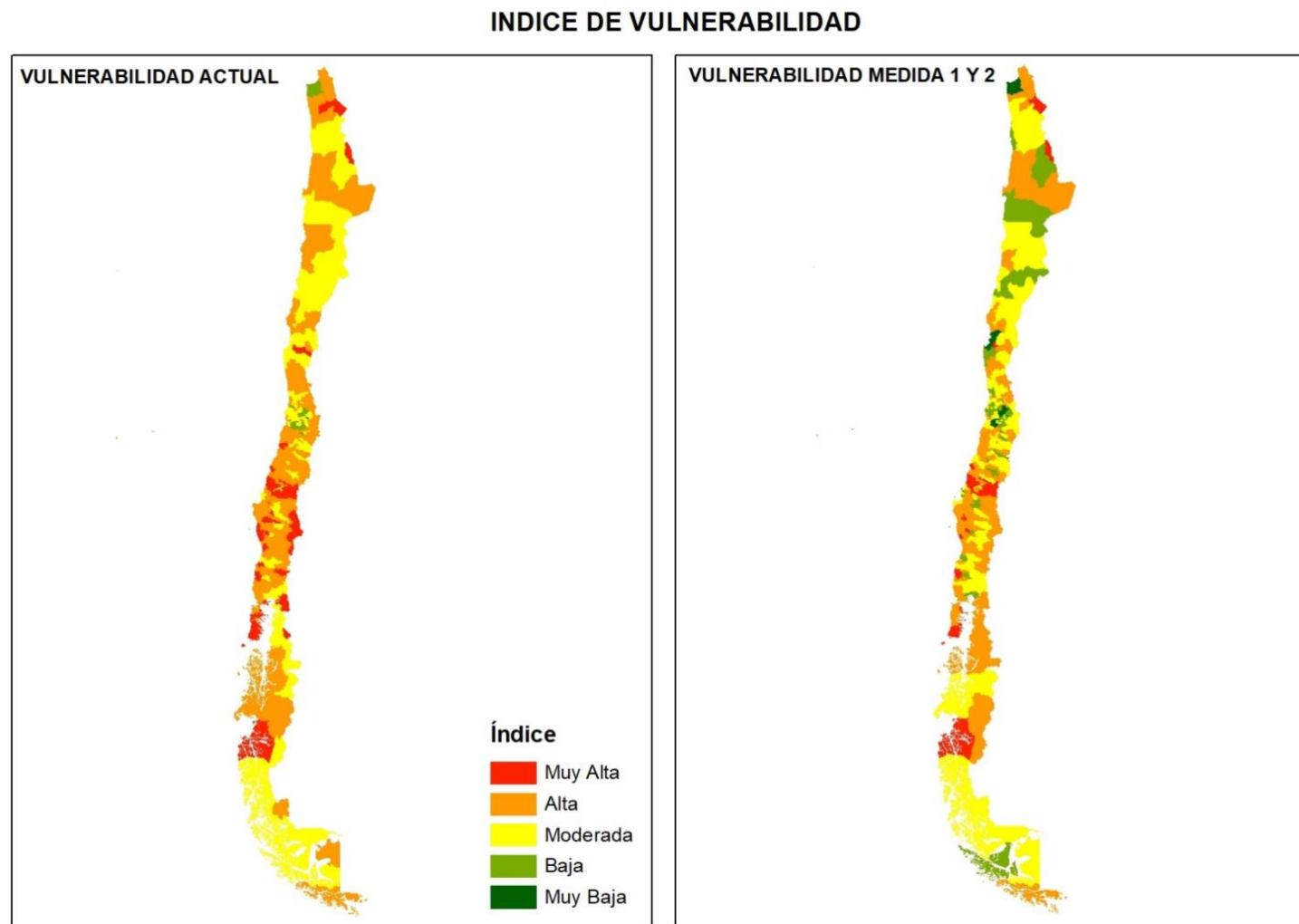


Figura 3.24. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 y 2 de PANCC SPA

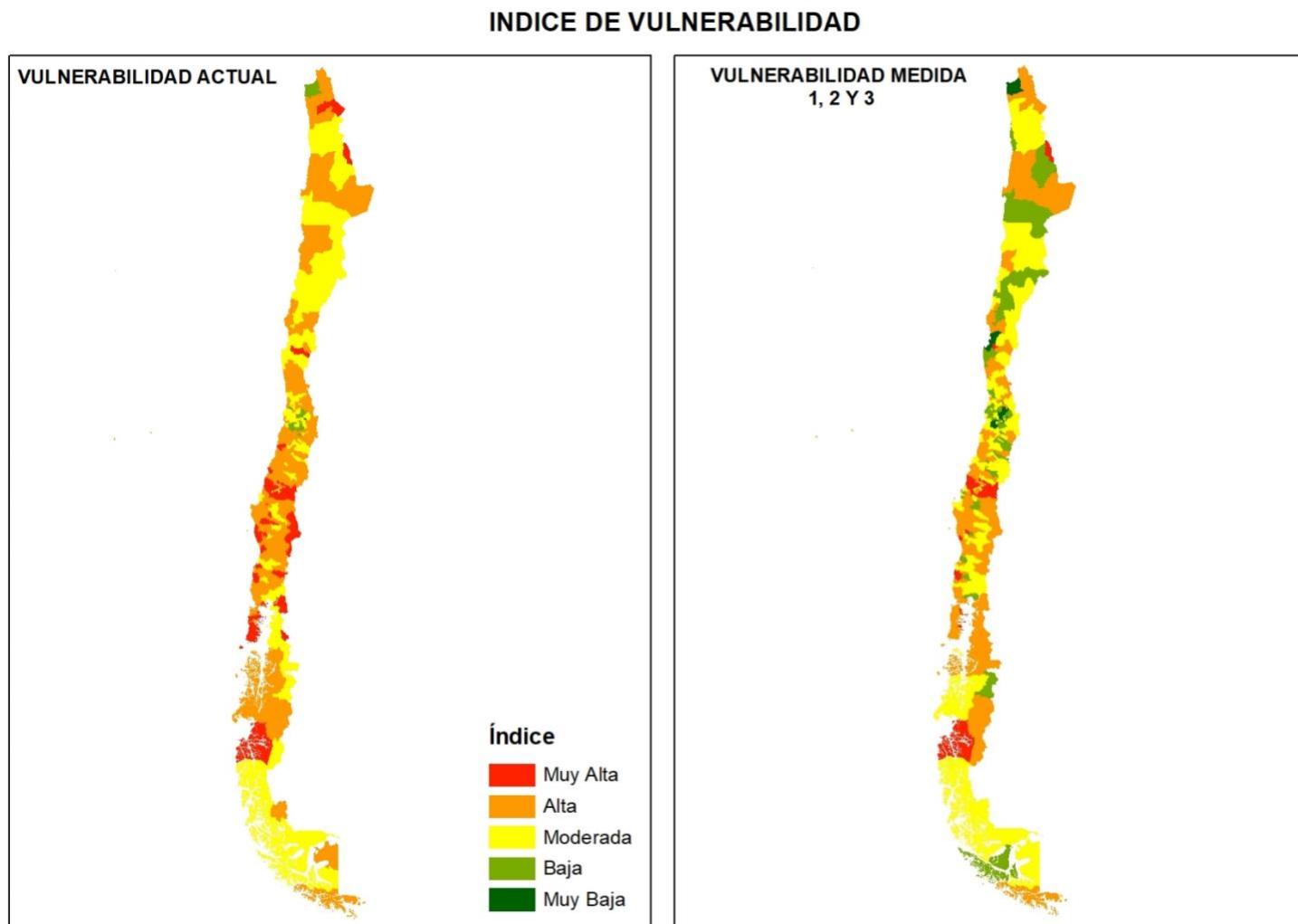


Figura 3.25. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1, 2 y 3 de PANCC SPA

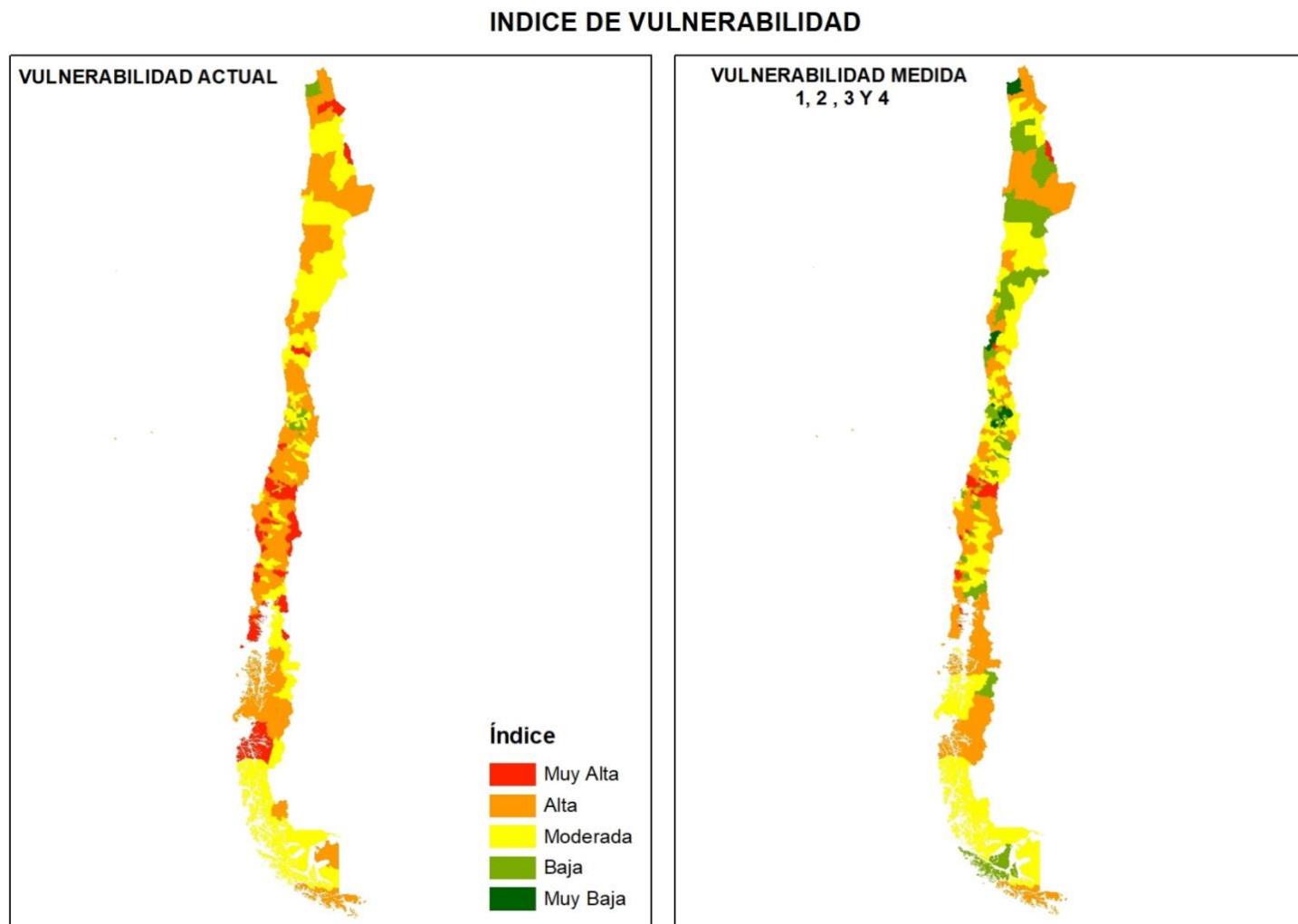


Figura 3.14. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3 y 4 de PANCC SPA

INDICE DE VULNERABILIDAD

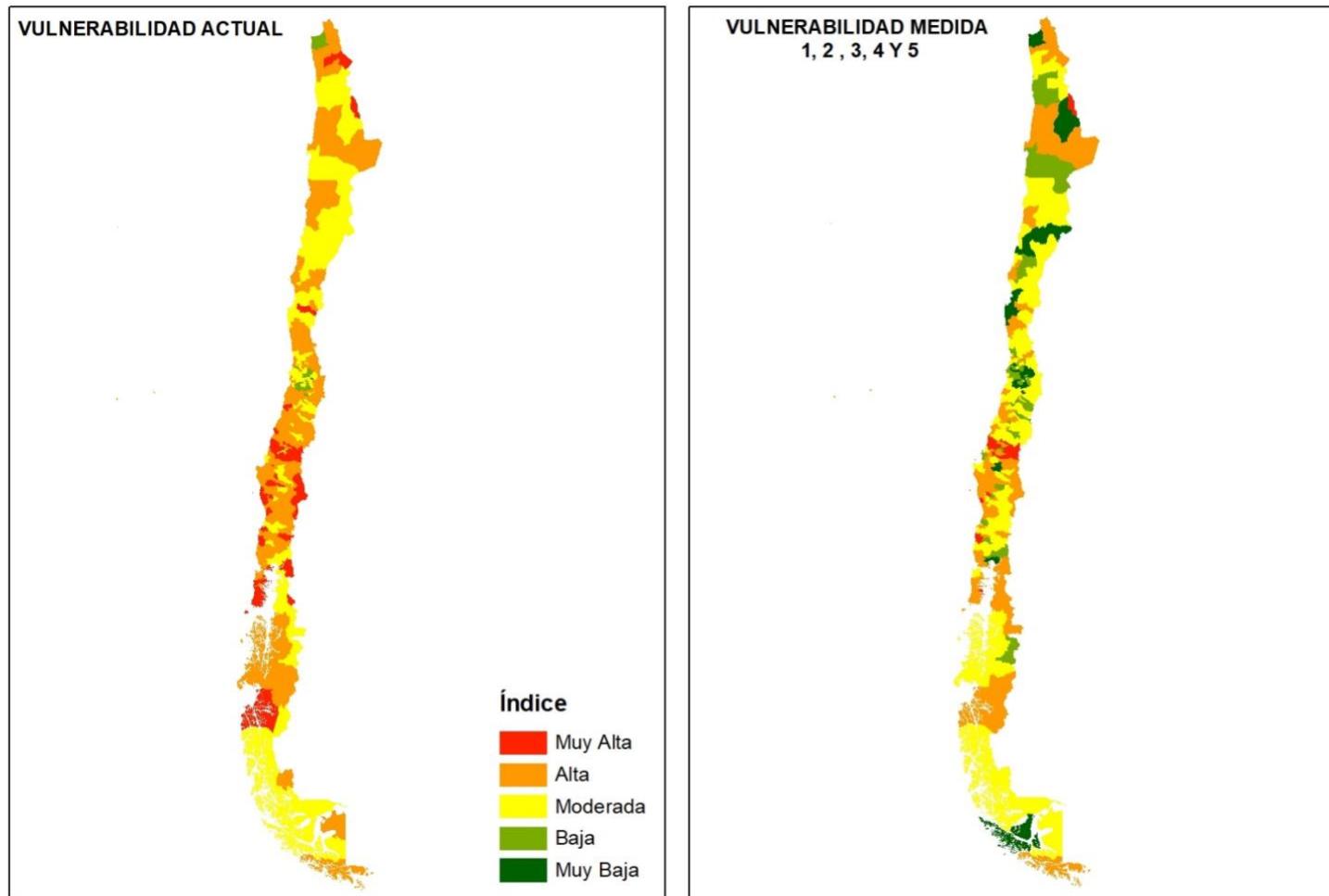


Figura 3.15. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4 y 5 de PANCC SPA

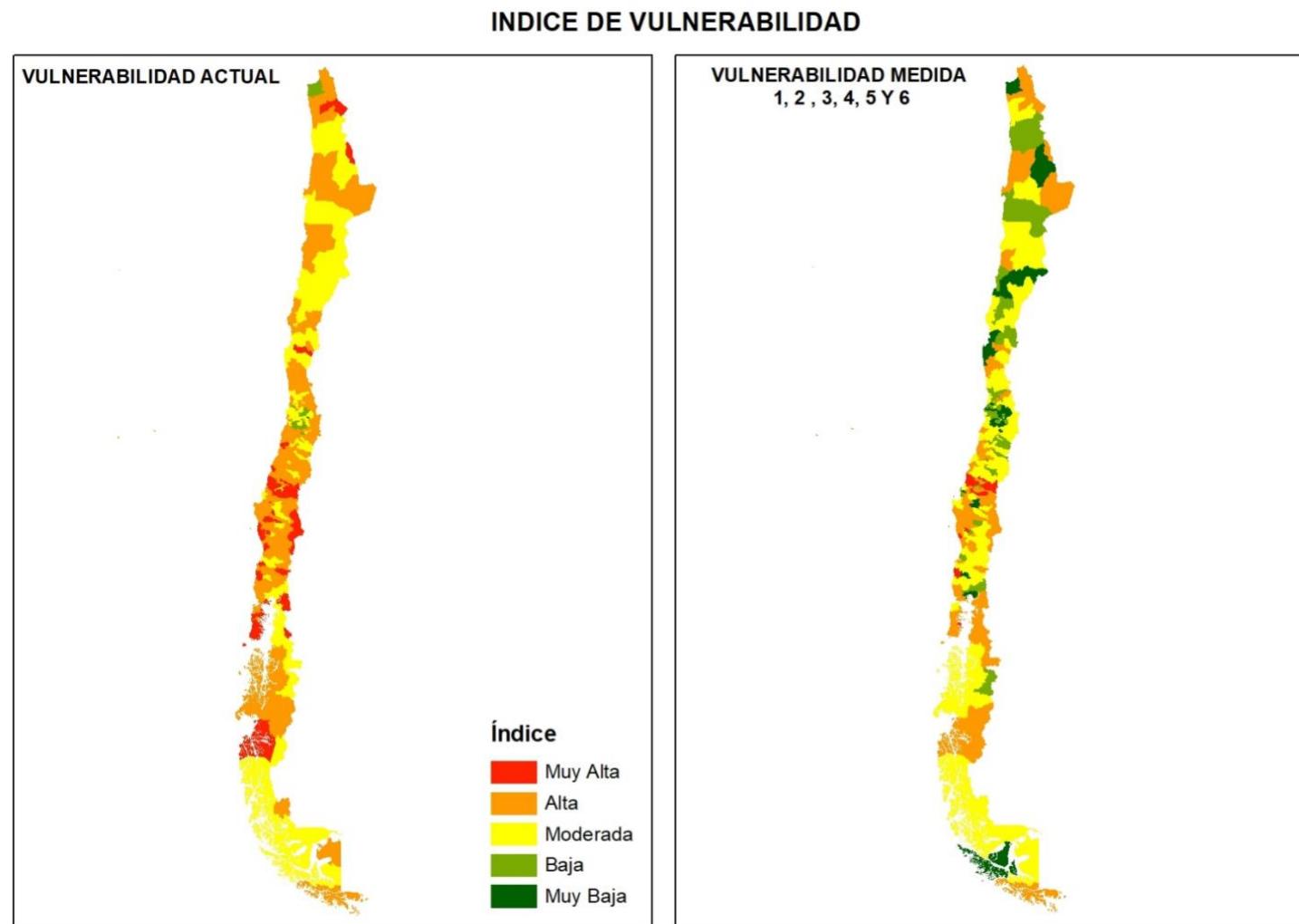


Figura 3.16. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4 , 5 y 6 de PANCC SPA.

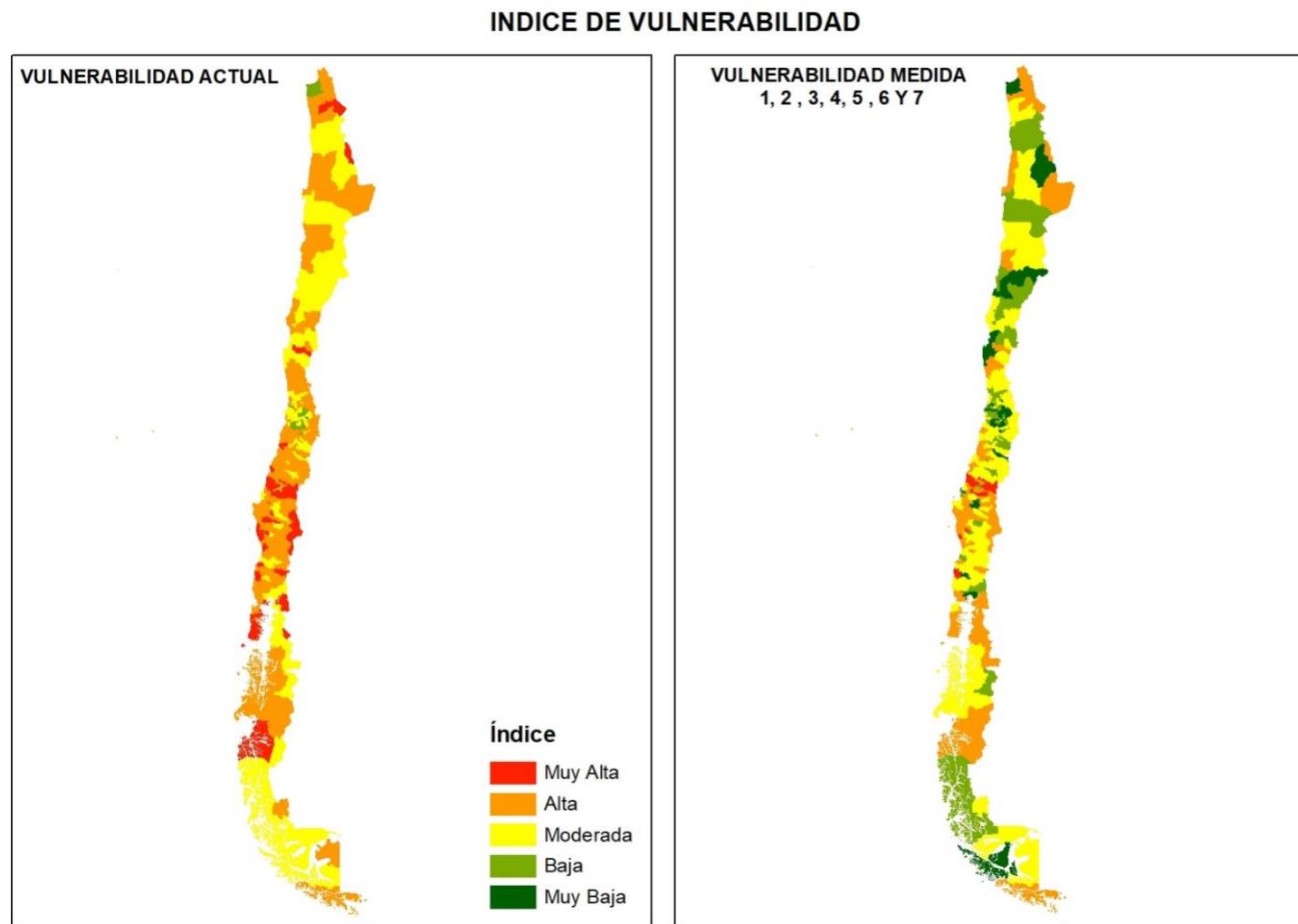


Figura 3.17. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 y 7 de PANCC SPA

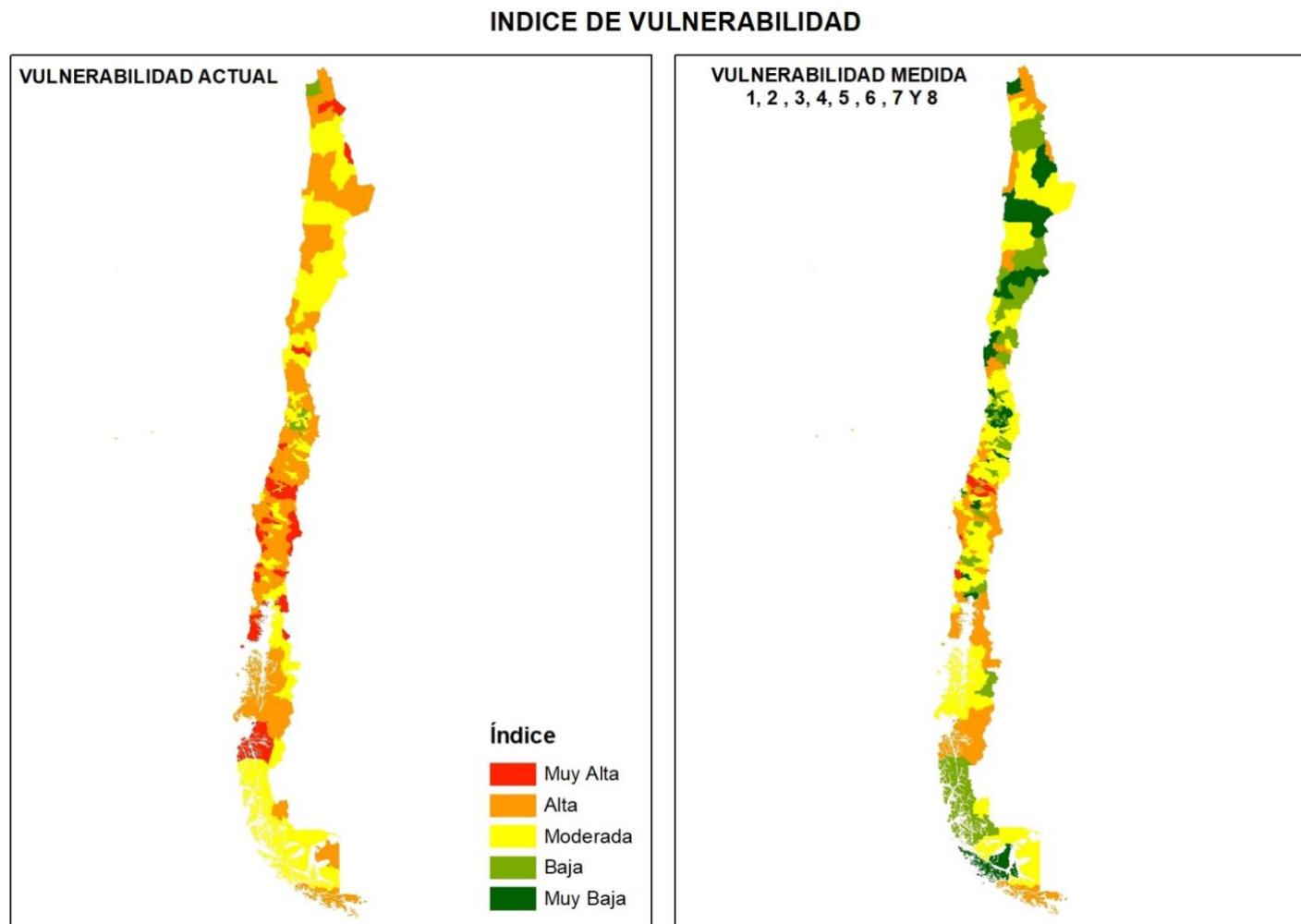


Figura 3.18. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 ,7 y 8 de PANCC SPA

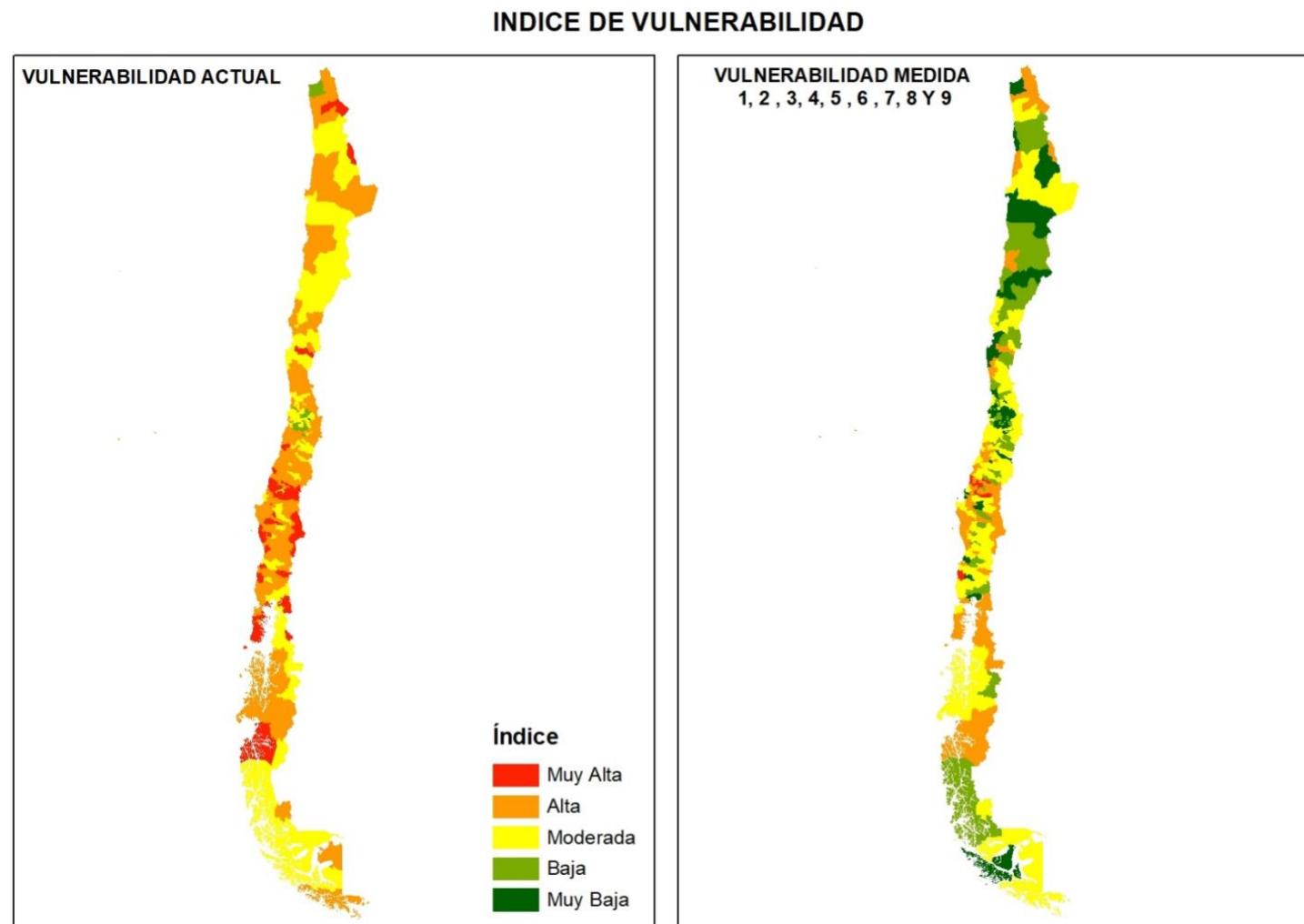


Figura 3.19. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 ,7 , 8 y 9 de PANCC SPA

INDICE DE VULNERABILIDAD

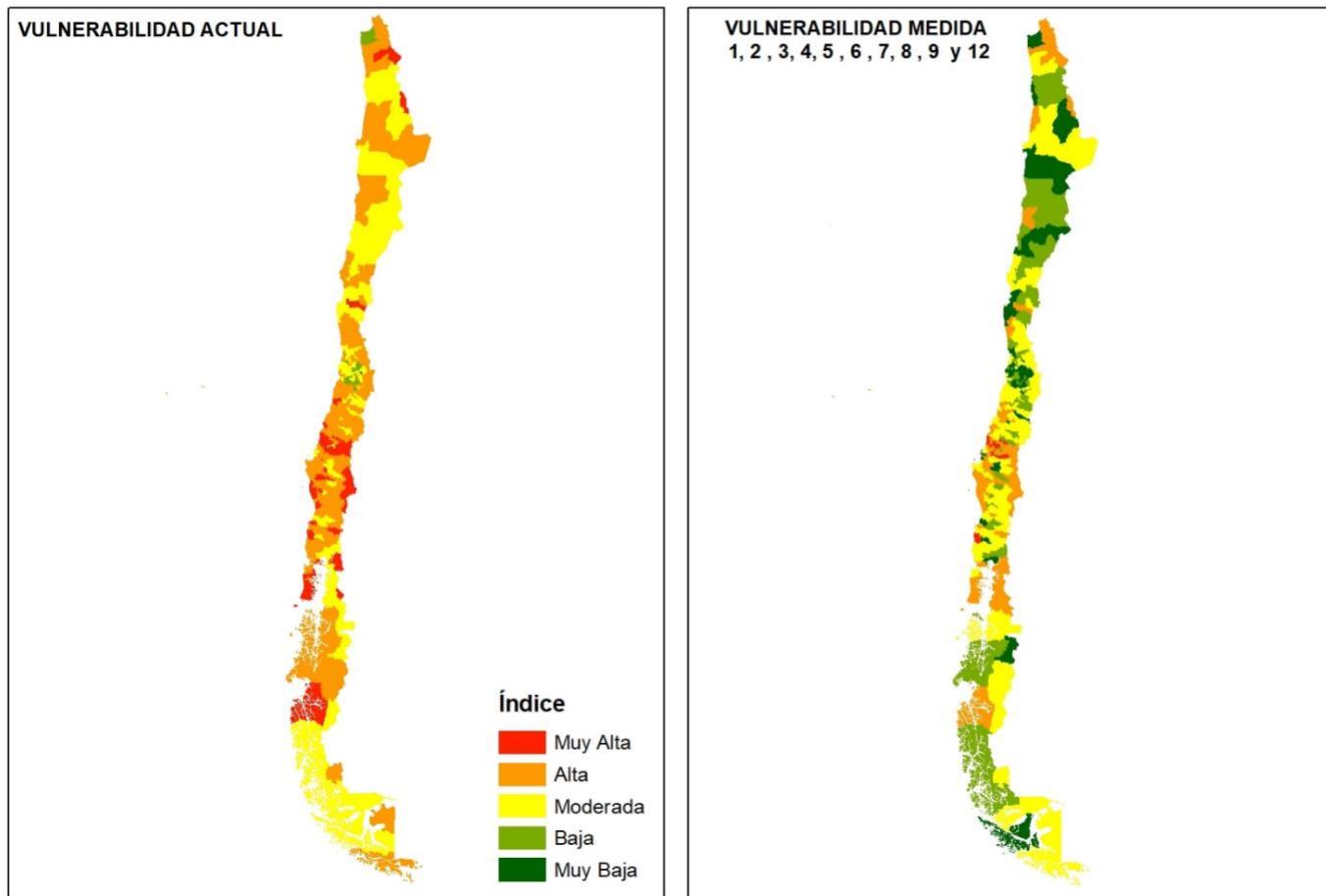


Figura 3.2. Índice de vulnerabilidad actual y bajo escenario de implementación de medida 1 , 2, 3, 4,5, 6 ,7 , 8 , 9 y 12 de PANCC SPA

3.7 Comentarios finales de la evaluación de las medidas de adaptación del PNACC SAP

La implementación de las medidas de adaptación contempladas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático demuestra ser altamente efectivas en la reducción de la vulnerabilidad del sistema silvoagropecuario. Gracias a estas medidas, se observa que la mayoría de las comunas logra disminuir su nivel de vulnerabilidad a rangos bajos o moderados, lo que evidencia un progreso significativo en la fortaleza y resiliencia de estos sistemas frente a los impactos del cambio climático si se implementan las 9 medidas analizadas al año 2027.

Un caso destacado es el de la región de Ñuble, donde se observa una vulnerabilidad social elevada, principalmente debido a los altos índices de pobreza y bajos niveles de escolaridad. Esta situación representa un desafío significativo que debe ser abordado de manera prioritaria para lograr una reducción efectiva de la vulnerabilidad en esta zona. Es esencial implementar estrategias específicas que no solo se enfoquen en los aspectos productivos, sino también en mejorar las condiciones sociales y educativas de la población, para fortalecer integralmente la resiliencia de la región frente al cambio climático.

4 CONCLUSIÓN FINAL

La evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas y humanos, frente amenazas climáticas, ha surgido como una necesidad para establecer las estrategias de adaptación de las comunidades frente a los cambios en las condiciones climáticas y ambientales. Existen diversos estudios en donde se ha intentado unir los ámbitos de las ciencias sociales y biofísicas con el objetivo contribuir al desarrollo de nuevas metodologías que permitan enfrentar este proceso de adaptación

Estas metodologías de evaluación de la vulnerabilidad se basan en la medición de los desastres naturales relacionados a la variabilidad y el cambio climático, expresadas a través de indicadores, que permiten realizar análisis comparativos de las vulnerabilidades entre diferentes regiones del mundo, sujetas a distintos factores de estrés.

En Chile las comunas exhiben diferentes grados de vulnerabilidad frente a los cambios climáticos. Estas diferencias se originan en las distintas características de los sistemas agrarios de cada zona. Desde un punto de vista social y productivo, las regiones donde domina la pequeña propiedad, con bajos niveles de tecnificación del sistema de producción y con cultivos predominantemente de secano, muestran la mayor vulnerabilidad. Contrario a esto, aquellas con agricultura intensiva y de alta tecnificación son las menos vulnerables, por cuanto se les supone una mayor capacidad de reacción para adaptar sus sistemas de producción a los nuevos escenarios climáticos. Dentro de estas reacciones está el aumento de la eficiencia de uso del agua y la energía, el cambio de uso del suelo, la adopción de tecnologías para atenuar el estrés térmico o eólico, sistemas más eficientes de control sanitario, sistemas de conducción en armonía con los cambios esperados en la luminosidad, el viento y la temperatura. Todas estas acciones involucran no solo un proceso de decisión, sino además, los recursos financieros y la capacidad de gestión por parte del agricultor, lo cual está en directa relación con el manejo de los recursos tecnológicos por parte de este.

Las comunidades pobres, con bajo índice de Desarrollo Humano, son especialmente vulnerables a estos cambios, en espacial aquellas concentradas en áreas de alto riesgo. Esto se debe a que la capacidad de las comunidades a adaptarse al cambio climático depende de las competencias de las personas para comprender, priorizar y adoptar cambios que le permitan mantener los niveles de competitividad bajo diversos escenarios climáticos.

Los mayores impactos negativos de los cambios climáticos esperados podrían focalizarse en el secano las regiones áridas, particularmente en la región de Coquimbo, donde se espera una fuerte aridización, lo que se combina con una elevada vulnerabilidad del sistema agrícola debido a la tenencia comunitaria de la tierra y los bajos niveles de tecnificación agrícola.

Los altos impactos negativos se repiten en comunas aisladas de la zona central, particularmente en la precordillera de la región del Maule, debido principalmente a los bajos índices de desarrollo humano y la elevada población rural.

En un grado inferior pero altamente importante, se encuentra el secano interior, debido a la intensificación de la aridez, el bajo índice de desarrollo humano y la presencia de pequeño propiedad, asociada a bajos niveles de uso de capital y tecnología.

Es destacable la aparición de una franja costera desde la región de Valparaíso hacia el sur, donde el modelo proyecta impactos positivos, como consecuencia del aumento de los rendimientos de los cultivos debido a una leve alza en la temperatura, lo que mejoraría las condiciones invernales de sobrevivencia, y las estivales que se harían más favorables a la maduración de la mayor parte de las especies.

Al sur del Bío Bío, prácticamente todo el territorio proyecta impactos positivos, a pesar de la alta vulnerabilidad del sistema agrícola. Esto se debe al aumento de los rendimientos de cultivos y frutales, los que se benefician con temperaturas estivales y primaverales más favorables, lo que permitiría una gran movilidad en las fechas de siembra en el caso de los cultivos. En la zona, este mejoramiento del potencial productivo de la mayor parte de las especies cultivadas podría estimular la puesta en riego de una importante superficie de suelos actualmente de secano. Esto requerirá de inversiones en infraestructura de riego en una zona del país donde actualmente ésta es precaria e incipiente.

5 Revisión Bibliográfica

Plan Nacional de Emergencia, Decreto 1434/2017. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile.

Plan Nacional Operativo de Emergencia del Ministerio de Agricultura. Resolución Exenta N°309/2021. Ministerio de Agricultura.

Protocolo Emergencia Agrícola. ORD989/2011. Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático. Ministerio de Agricultura, Chile.

Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres. Plan Estratégico Nacional 2020-2030. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile.

Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. Camino a la Carbono Neutralidad y Resiliencia a más tardar al 2050. Gobierno de Chile

Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile, Actualización 2020. Gobierno de Chile.

Ley 21455, ley Marco de Cambio Climático, Ministerio del Medio Ambiente. 2022. Chile

Acuerdo de Paris. De la Convención Marco sobre el Cambio Climático. 2015. Naciones Unidas

UNE-ISO 22320. Protección y Seguridad de los Ciudadanos, Gestión de Emergencias, Requisitos para la respuesta a incidentes. Versión 2011.

Naciones Unidas (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Nueva York, Estados Unidos. http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf ó <http://www.chileagenda2030.gob.cl/>

Naciones Unidas (2015). Convención Marco sobre el Cambio Climático. Paris, Francia. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>

ONEMI (2014) “Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres”. Santiago, Chile. Aprobada mediante decreto supremo N°1512, de 2016, Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

ONEMI (2015) “Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015-2018”. Santiago, Chile. Aprobado mediante decreto exento N° 3453, de 2016, Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

ONEMI - PNUD (2017) “Estándares Nacionales para la Respuesta a Emergencias en Chile”. Santiago, Chile. <http://www.grdmunicipal.cl/site/wp-content/uploads/2017/06/Est%C3%A1ndares-Nacionales-para-la-Respuesta-a-Emergencias-en-Chile-v31.10.pdf>

UNISDR (Junio, 2015). “Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030”. Resolución N° 69/283. Naciones Unidas. Sendai, Japón.

AGRIMED. (2008). Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente al cambio climático.

AGRIMED. (2014). Atlas del cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido. Centro de Agricultura y Medio Ambiente.

Ansarifar, J., Wang, L., & Archontoulis, S. V. (2021). An interaction regression model for crop yield prediction. *Scientific reports*, 11(1), 17754.

Ca, Ramarao & Raju, B.M.K & Subbarao, Abburi & kv, Rao & Rao, V.U.M. & Ramachandran, Kaushalya & Venkateswarlu, Bandi & Sikka, Alok & Srinivasarao, Mathukumalli & Mandapaka, Maheswari & Ch, Srinivasrao. (2016). A District Level Assessment of Vulnerability of Indian Agriculture to Climate Change. *Current Science*. 110. 1939-1946. 10.18520/cs/v110/i10/1939-1946.

Devot, A., Royer, L., Arvis B., Deryng, D., Caron Giauffret, E., Giraud, L., Ayral, V., and Rouillard, J. (2023). Research for AGRI Committee – The impact of extreme climate events on agriculture production in the EU, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.

FAO (2015). Climate change and food security: Risk and responses, publicado en: <https://www.fao.org/3/i5188e/I5188E.pdf>

GIZ and EURAC 2017: Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.

Haverkort, A., et al., 2015. A robust potato model: LINTUL-POTATO-DSS. *Potato Res.* 58 (4), 313–327.

Holleman, C., Rembold, F., Crespo, O. & Conti, V. (2020). The impact of climate variability and extremes on agriculture and food security – An analysis of the evidence and case studies. Background paper for The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. FAO Agricultural Development Economics Technical Study No. 4. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2415en>

Hristov, J., Toreti, A., Pérez Domínguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., ... & Bratu, M. (2020). Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050. *Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg*.

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157

IPCC (2014). "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.

Kerr, R. B., Hasegawa, T., Lasco, R., Bhatt, I., Deryng, D., Farrell, A., ... & Thornton, P. (2022). Chapter 5: Food, fibre, and other ecosystem products. *IPCC WGII sixth assessment report, IPCC, Lausanne*.

Lobell, D., Asner, G., 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science* 299 (5609) 1032-1032.

Lobell, D., Asseng, S., 2017. Comparing estimates of climate change impacts from crop simulation and statistical models. *Environ. Res. Lett.* 12, 12.

Meyer, S. J., Hubbard, K. G., & Wilhite, D. A. (1993). A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85(2), 388-395.

Meza, F.; Morales, D.; González, D.; Duarte, K.; Jara, V. & Saldaña, P., 2020. Informe Proyecto ARClim: Agricultura. Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago, Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Cuarta Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, publicado en <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/12/4-CN.pdf>

ParkerL, Bourgoin C, Martinez-Valle A, LaderachP (2019). Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making PLoS ONE 14(3):e0213641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213641>

Pica-Téllez, A.; Garreaud, R.; Meza, F.; Bustos, S.; Falvey, M.; Ibarra, M.; Duarte, K.; Ormazábal, R.; Dittborn, R. & Silva, I.; 2020. Informe Proyecto ARClim: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Centro de Cambio Global UC y Meteodata para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago, Chile.

Pearson, C. J., Bucknell, D., & Laughlin, G. P. (2008). Modelling crop productivity and variability for policy and impacts of climate change in eastern Canada. *Environmental Modelling & Software*, 23(12), 1345-1355.

Rao, C. R., Raju, B. M. K., Rao, A. S., Rao, K. V., Rao, V. U. M., Ramachandran, K., ... & Rao, C. S. (2016). A district level assessment of vulnerability of Indian agriculture to climate change. *Current Science*, 1939-1946.

Schlenker, W., Roberts, M.J., 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106 (37), 15594–15598.

Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi:10.1017/9781009157896.013.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101(3), 426–437.

Stockle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18 (3-4), 289–307.

Tack, J., Barkley, A., Nalley, L.L., 2015. Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112 (22), 6931–6936.

UNDP, United Nations Development Programme, Human Development Report. Oxford University Press, New York, 1990–99, 1999

Williams, J., Jones, C., Kiniry, J., Spanel, D., 1989. The EPIC crop growth-model. *Trans. ASAE* 32 (2), 497–511.

Zhao, C., Liu, B., Xiao, L., Hoogenboom, G., Boote, K. J., Kassie, B. T., ... & Asseng, S. (2019). A SIMPLE crop model. *European Journal of Agronomy*, 104, 97-106.

6 ANEXOS: Mapas de cambios en los rendimientos: MODELO SIMPROC

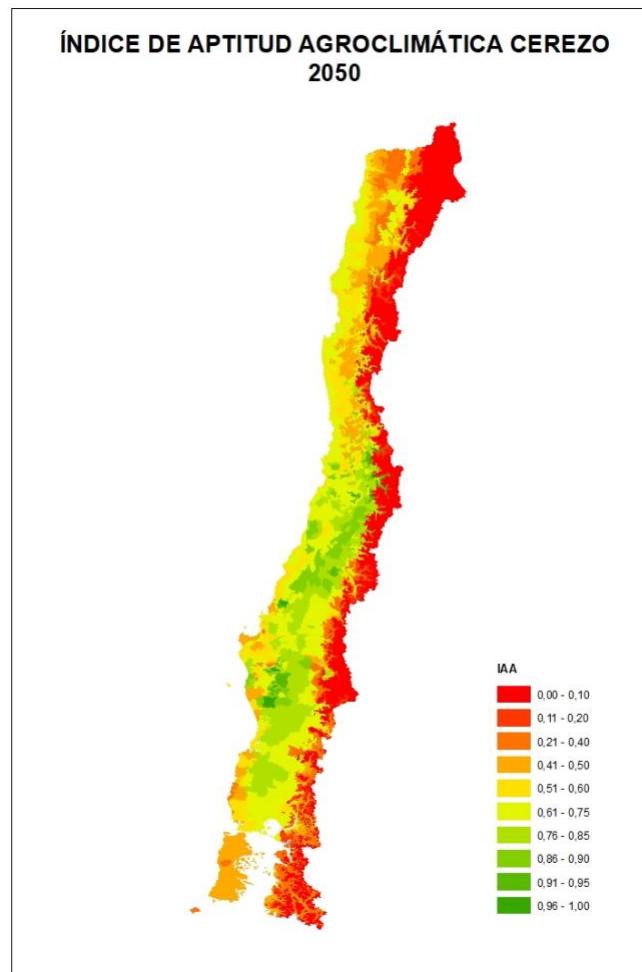
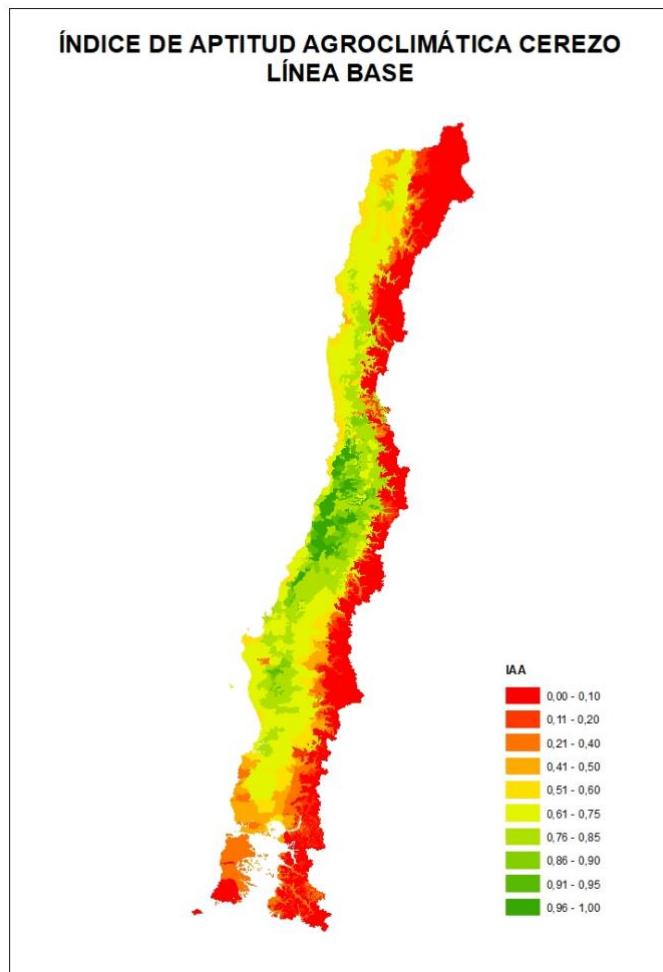


Figura 6.1. Índice de Aptitud agroclimática para el cerezo en la línea base y el 2050

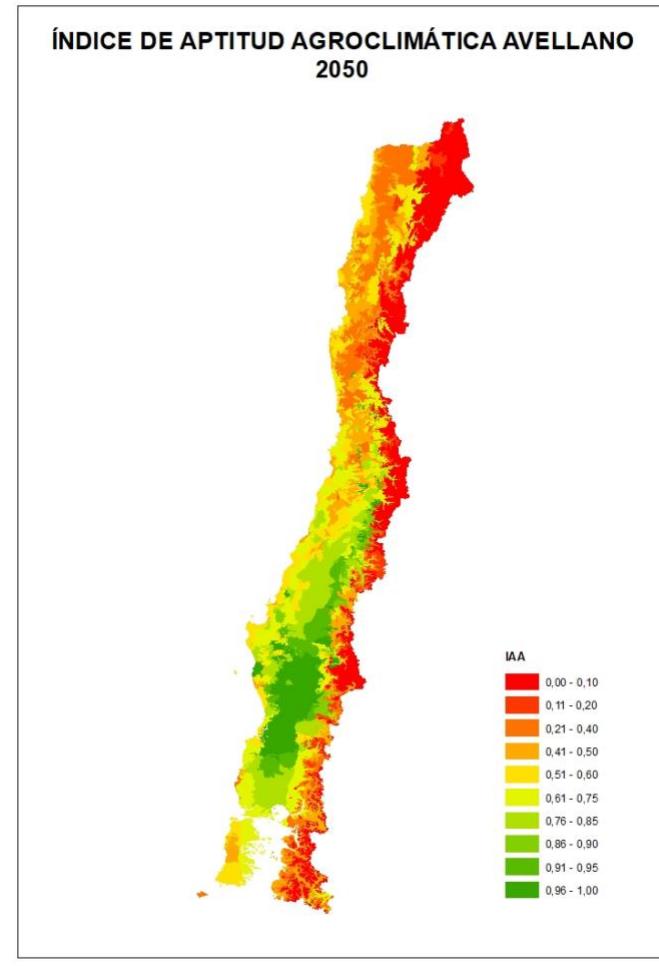
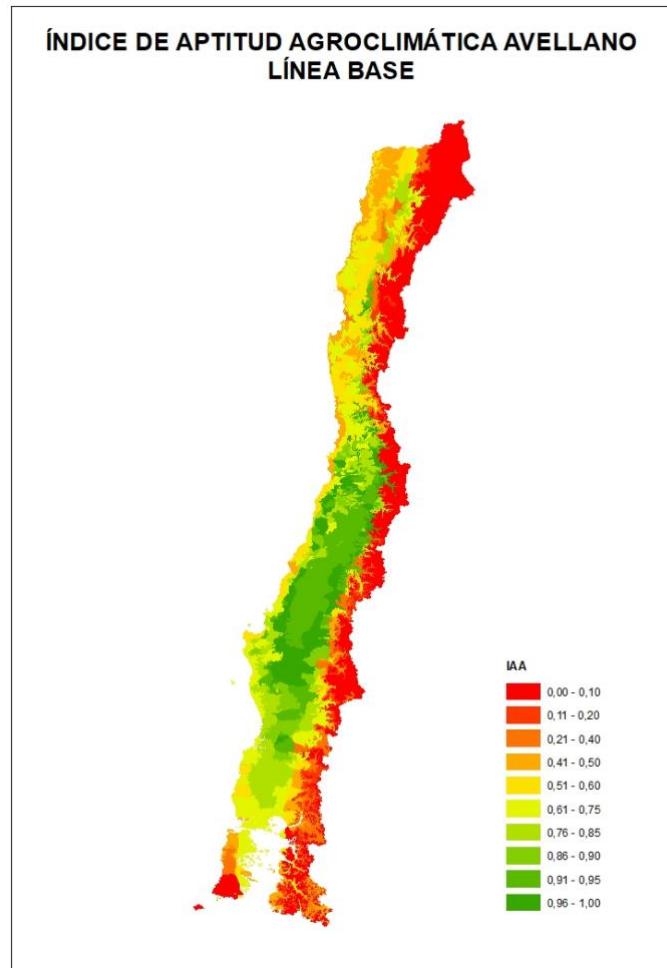


Figura 6.2. Índice de Aptitud agroclimática para el avellano en la línea base y el 2050.

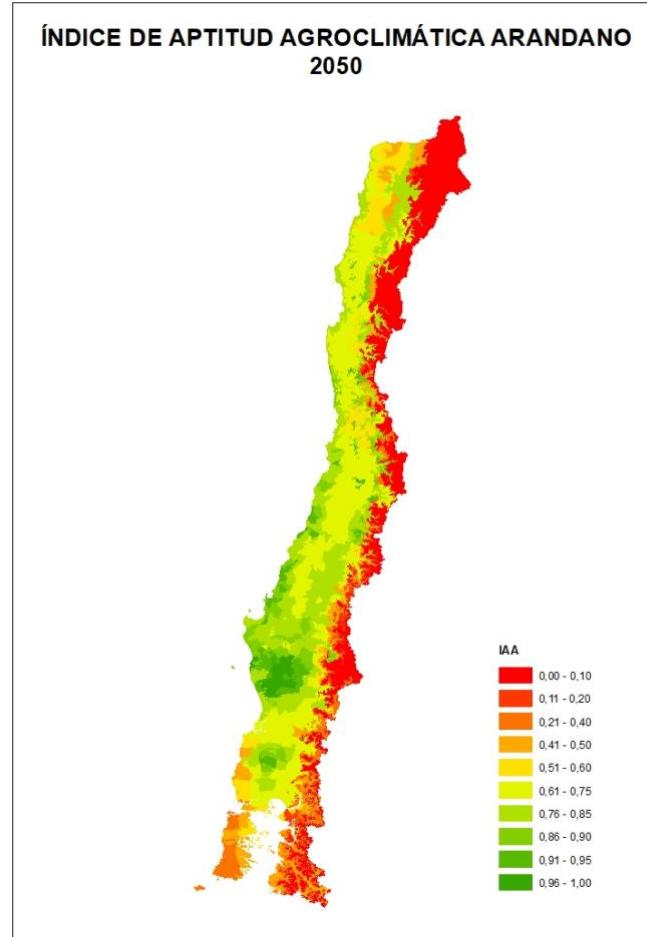
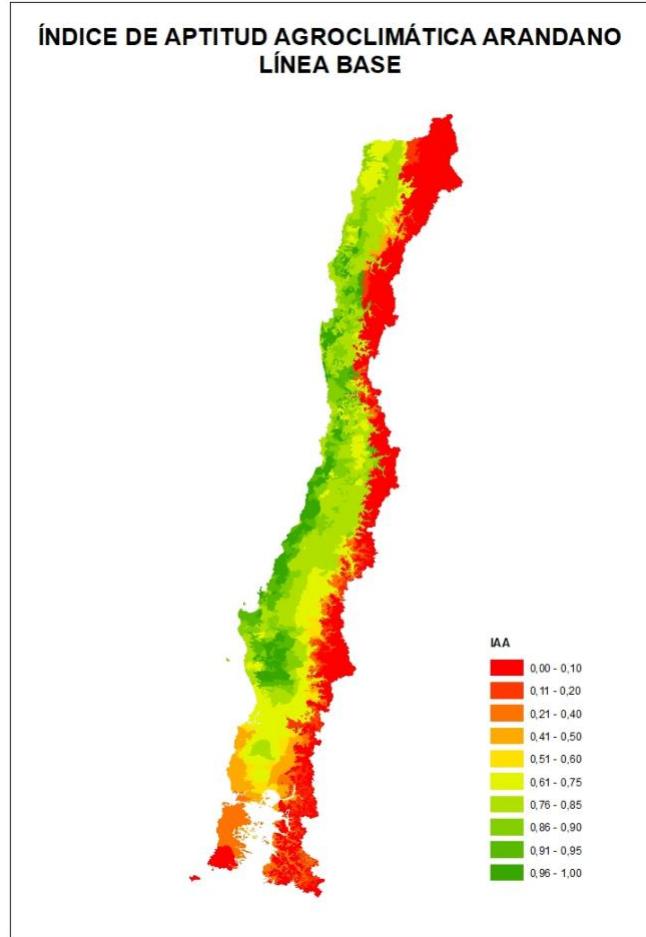
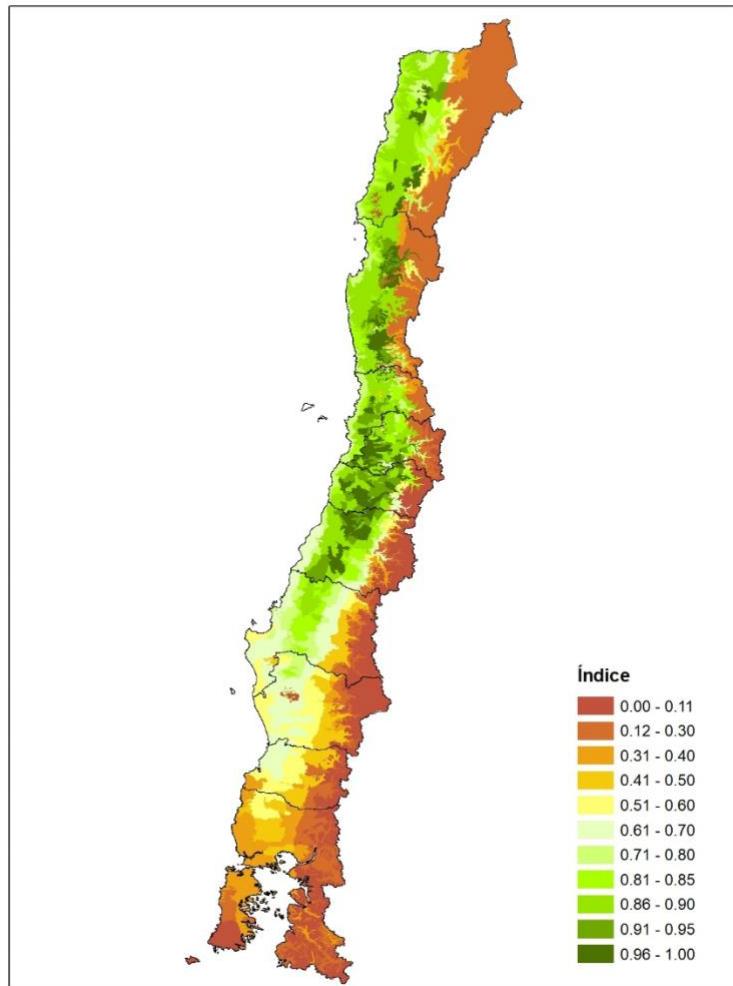


Figura 6.3. Índice de Aptitud agroclimática para el arándano en la línea base y el 2050

ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA NOGALES
LÍNEA BASE



ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA NOGALES
2050

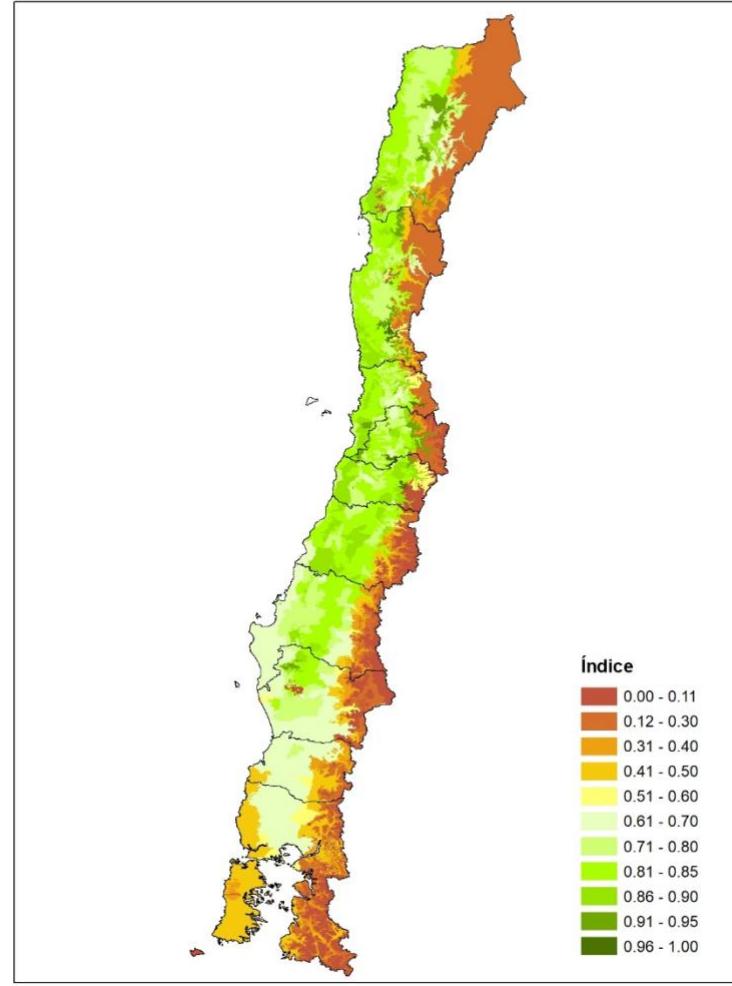
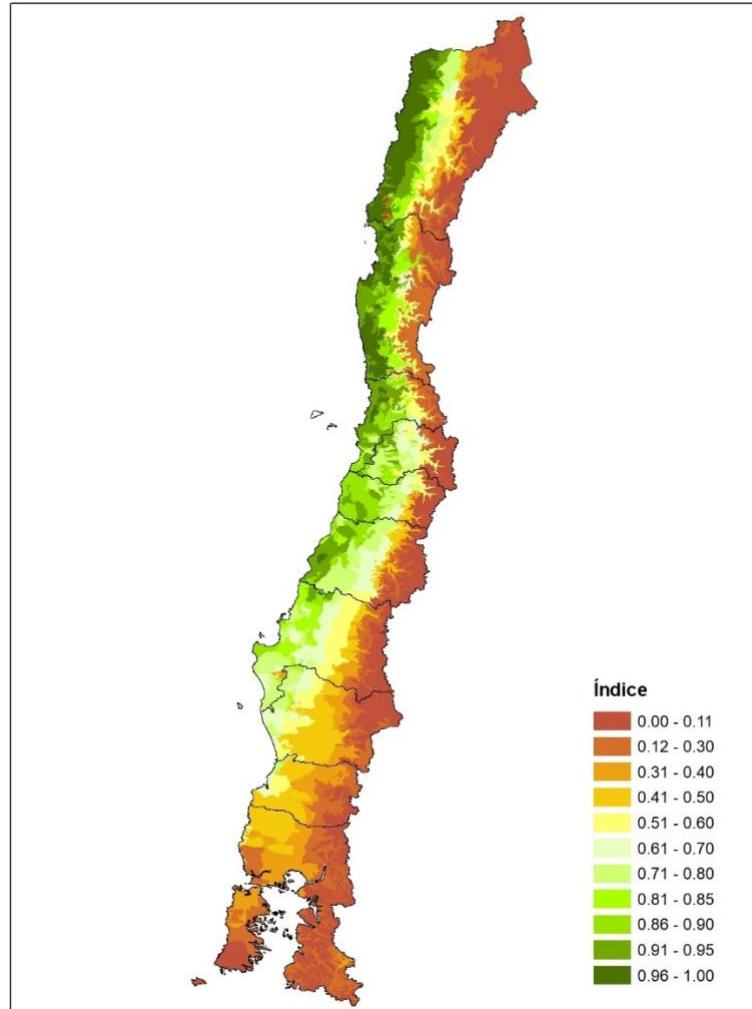


Figura 6.4 Índice de Aptitud agroclimática para nogales en la línea base y el 2050

ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA PALTO
LÍNEA BASE



ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA PALTO
2050

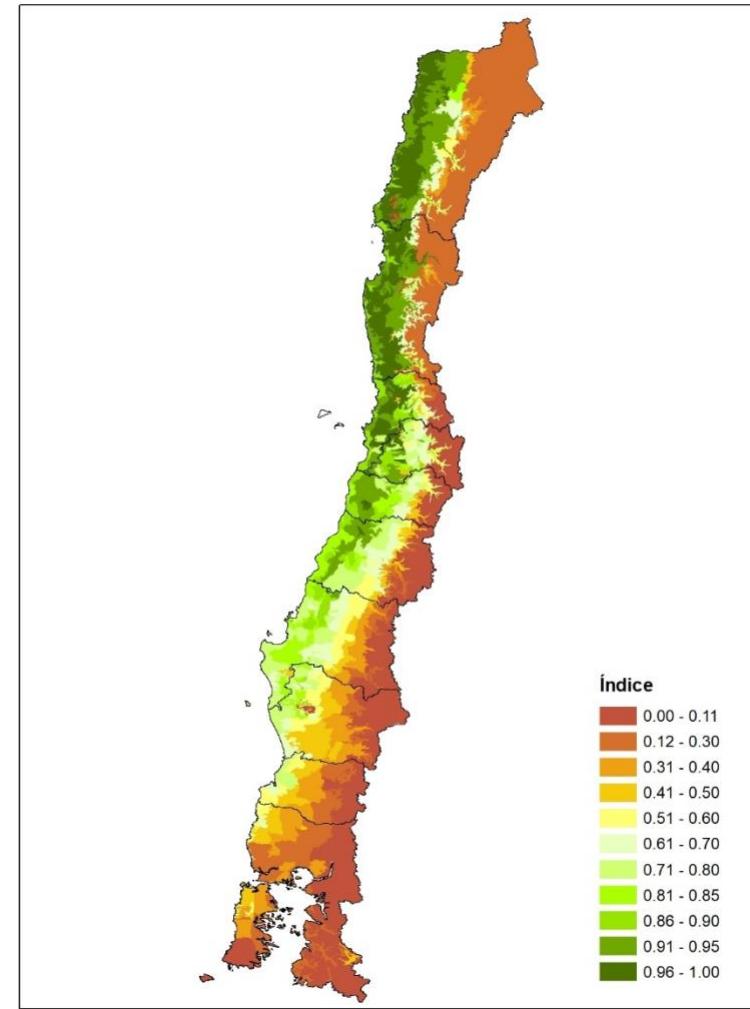
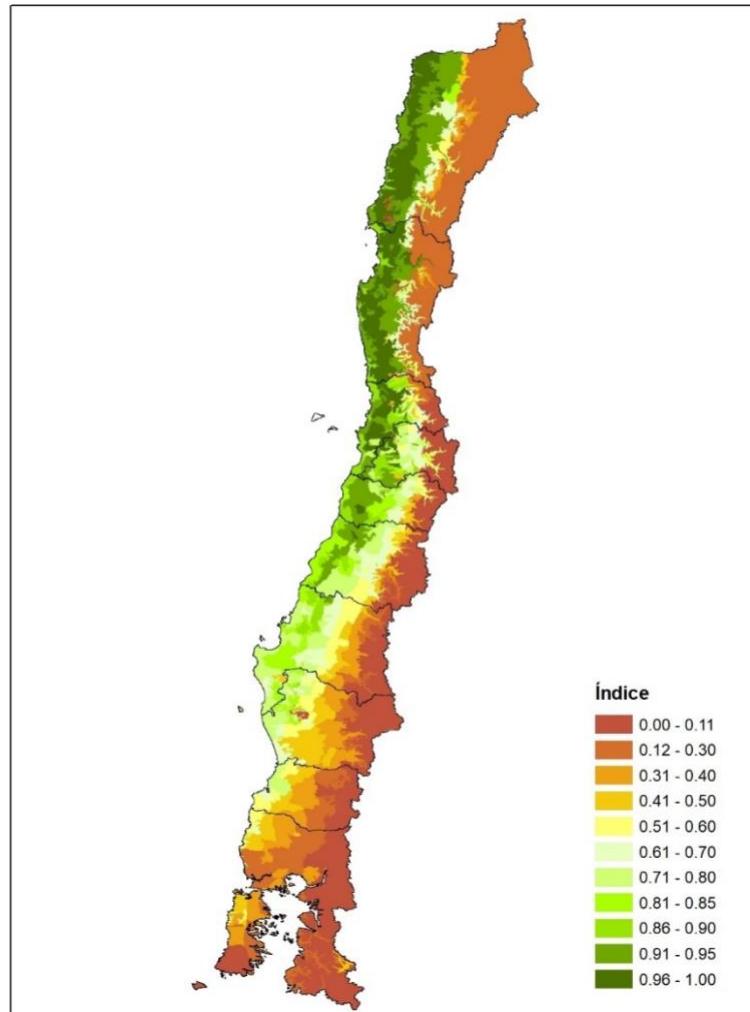


Figura 6.5 Índice de Aptitud agroclimática para palto en la línea base y el 2050

**ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA CÍTRICOS
LÍNEA BASE**



**ÍNDICE APTITUD AGROCLIMÁTICA CÍTRICOS
2050**

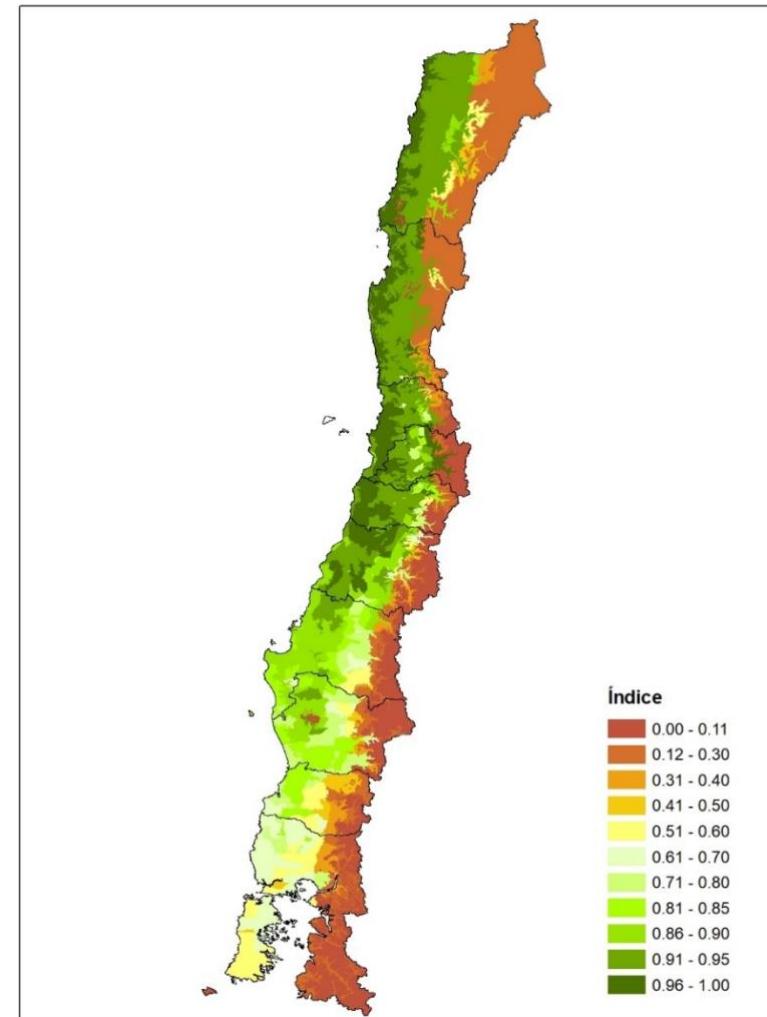


Figura 6.6 Índice de Aptitud agroclimática para cítricos en la línea base y el 2050

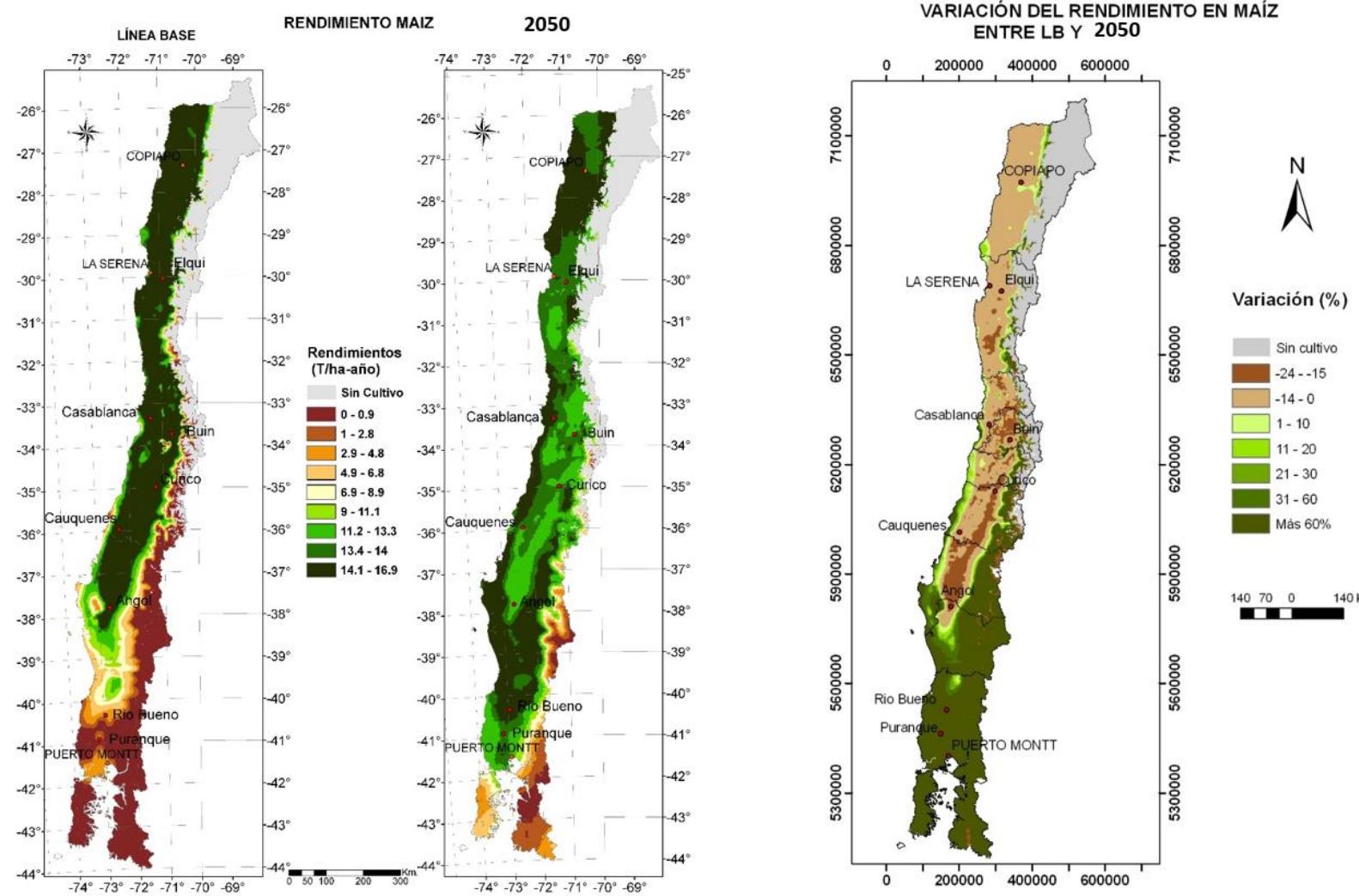


Figura 6.7 Rendimiento maíz en riego línea base y el 2050

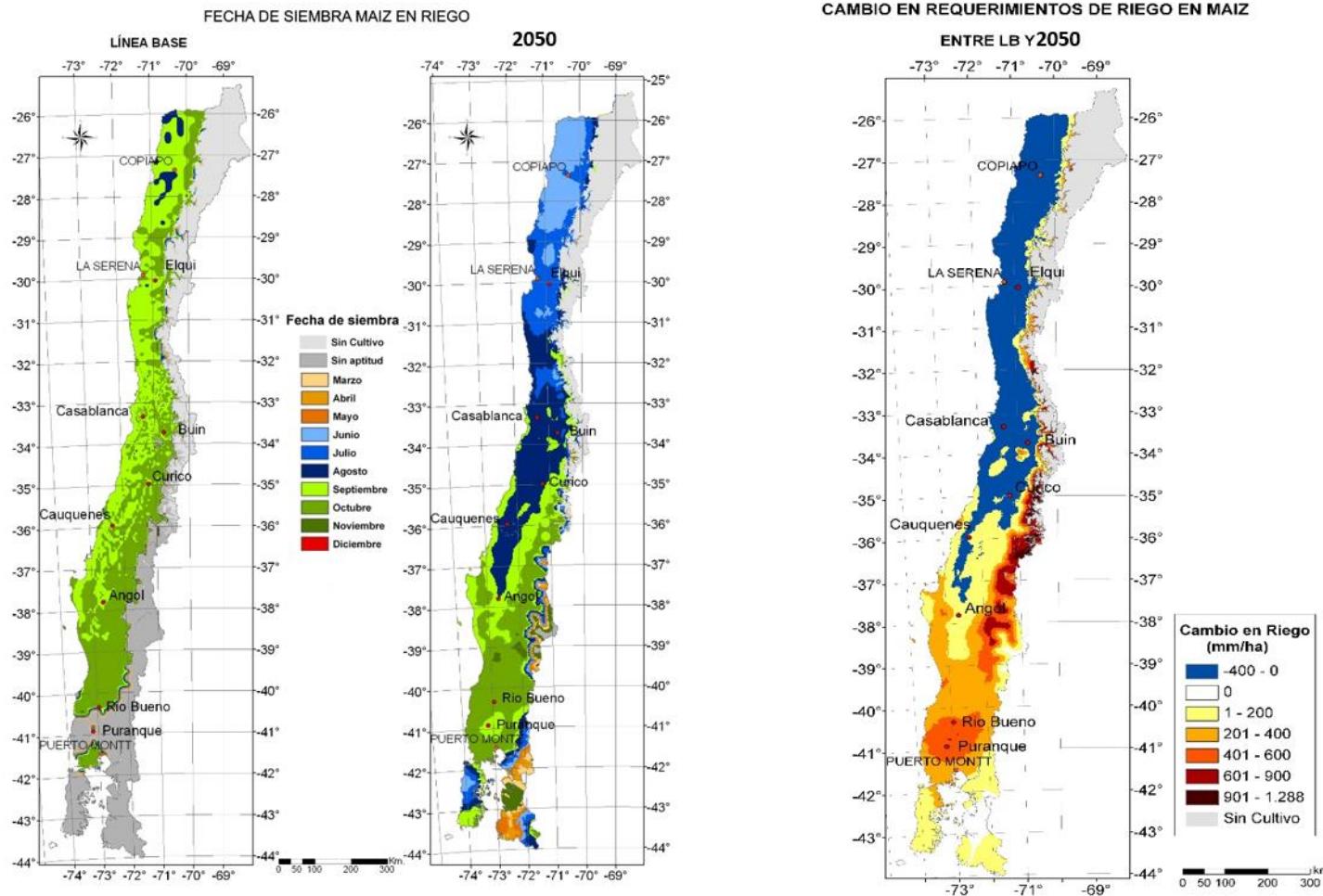


Figura 6.8 Fechas óptimas de siembra y cambios en los requerimientos de riego para maíz línea base y el 2050

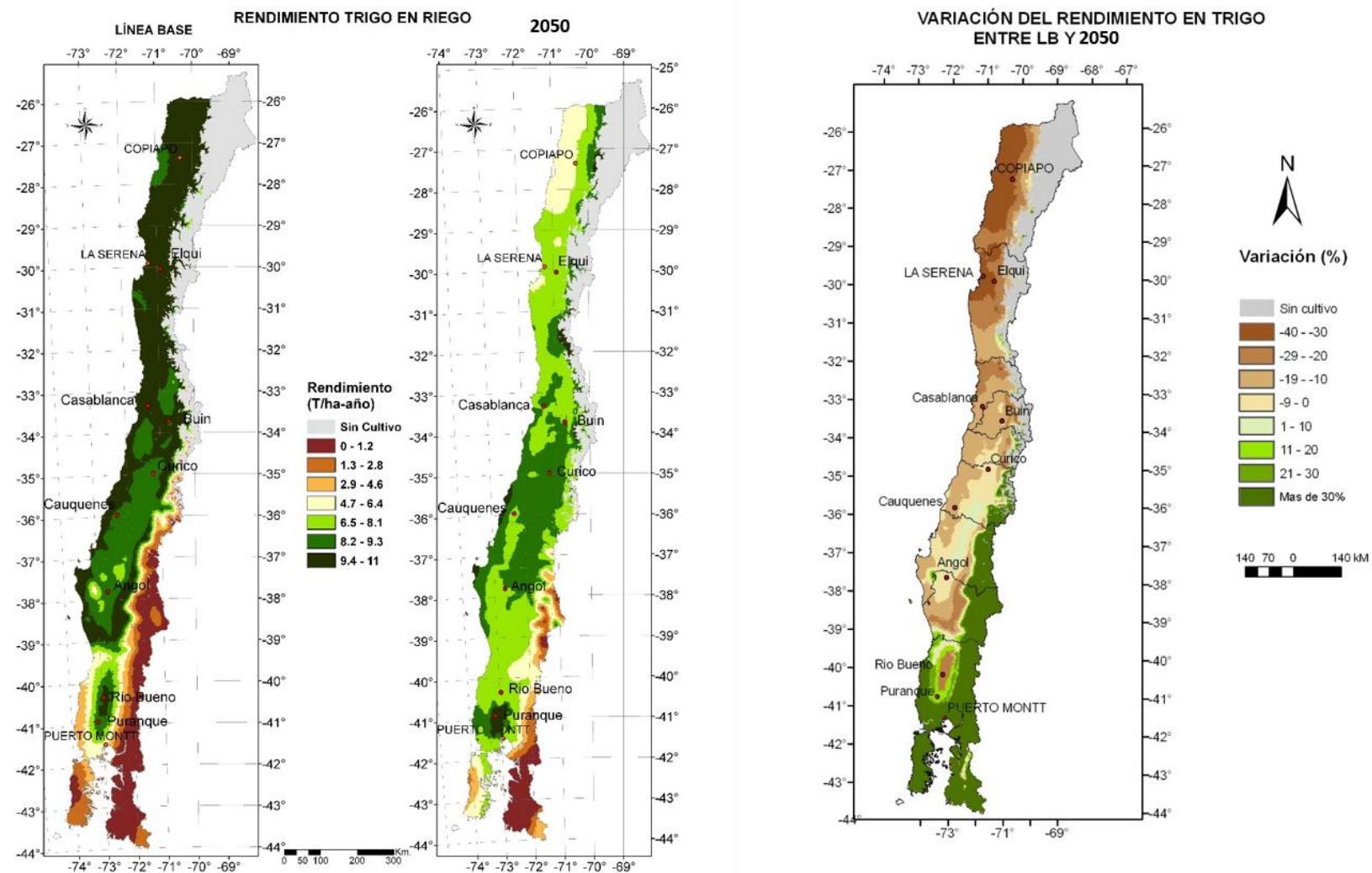


Figura 6.9 Rendimiento trigo en riego línea base y el 2050

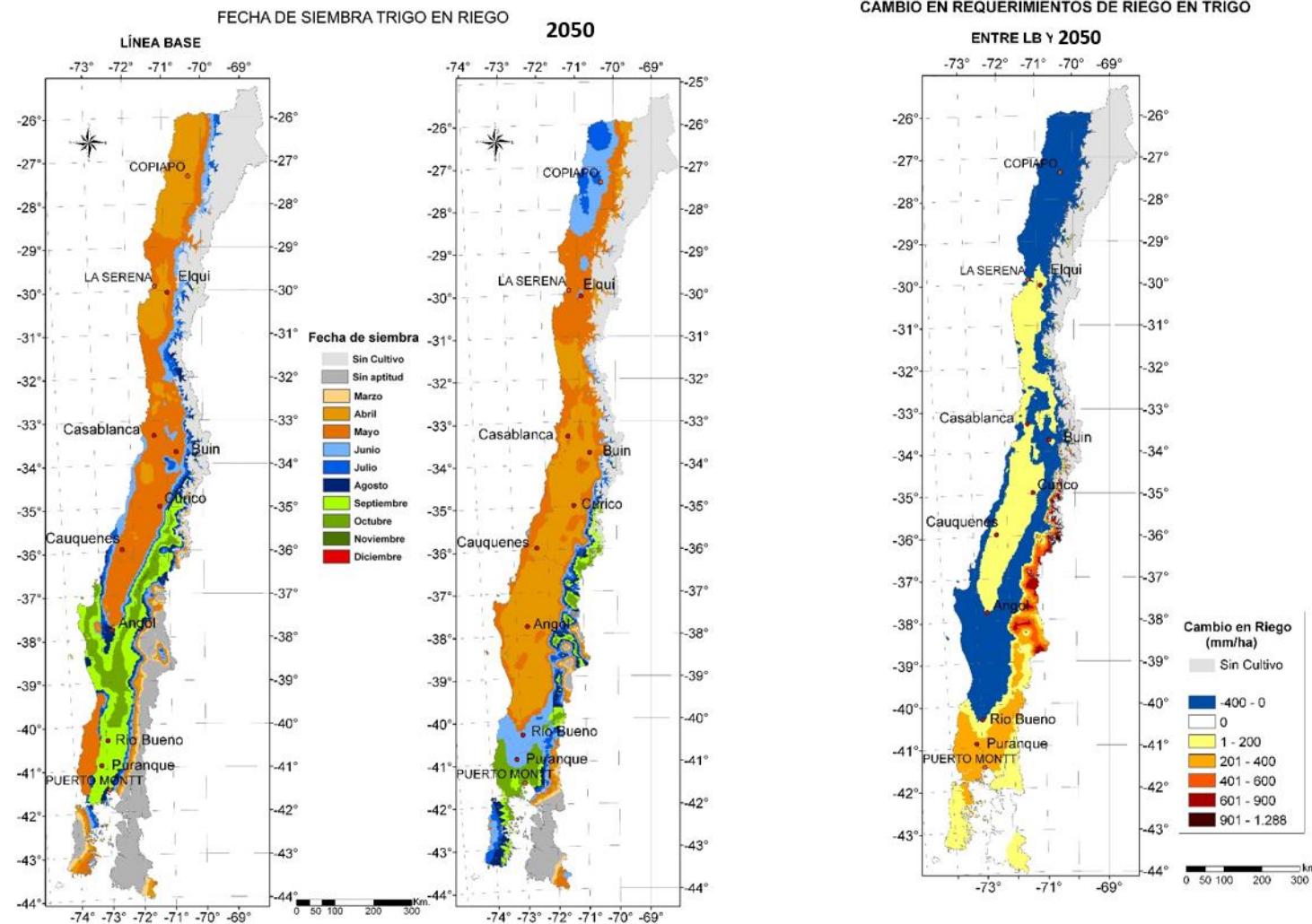


Figura 6.10 Fechas optimas de siembra y cambios en los requerimientos de riego en trigo línea base y el 2050

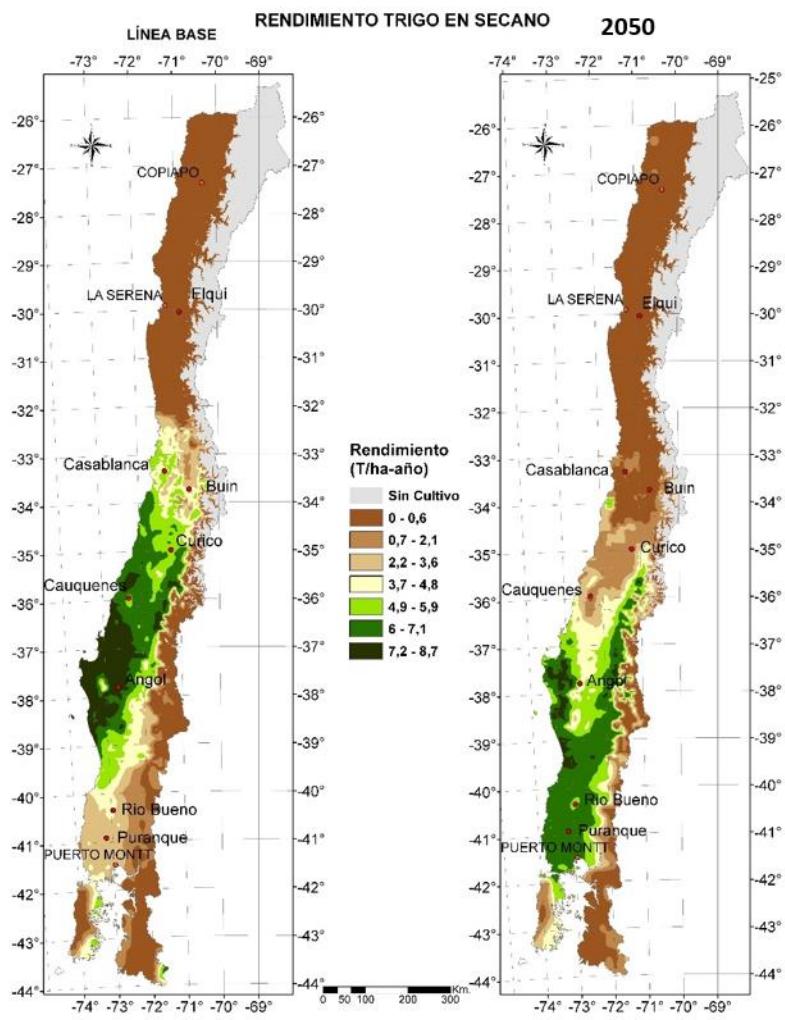


Figura 6.11 Rendimiento trigo en secano línea base y 2050

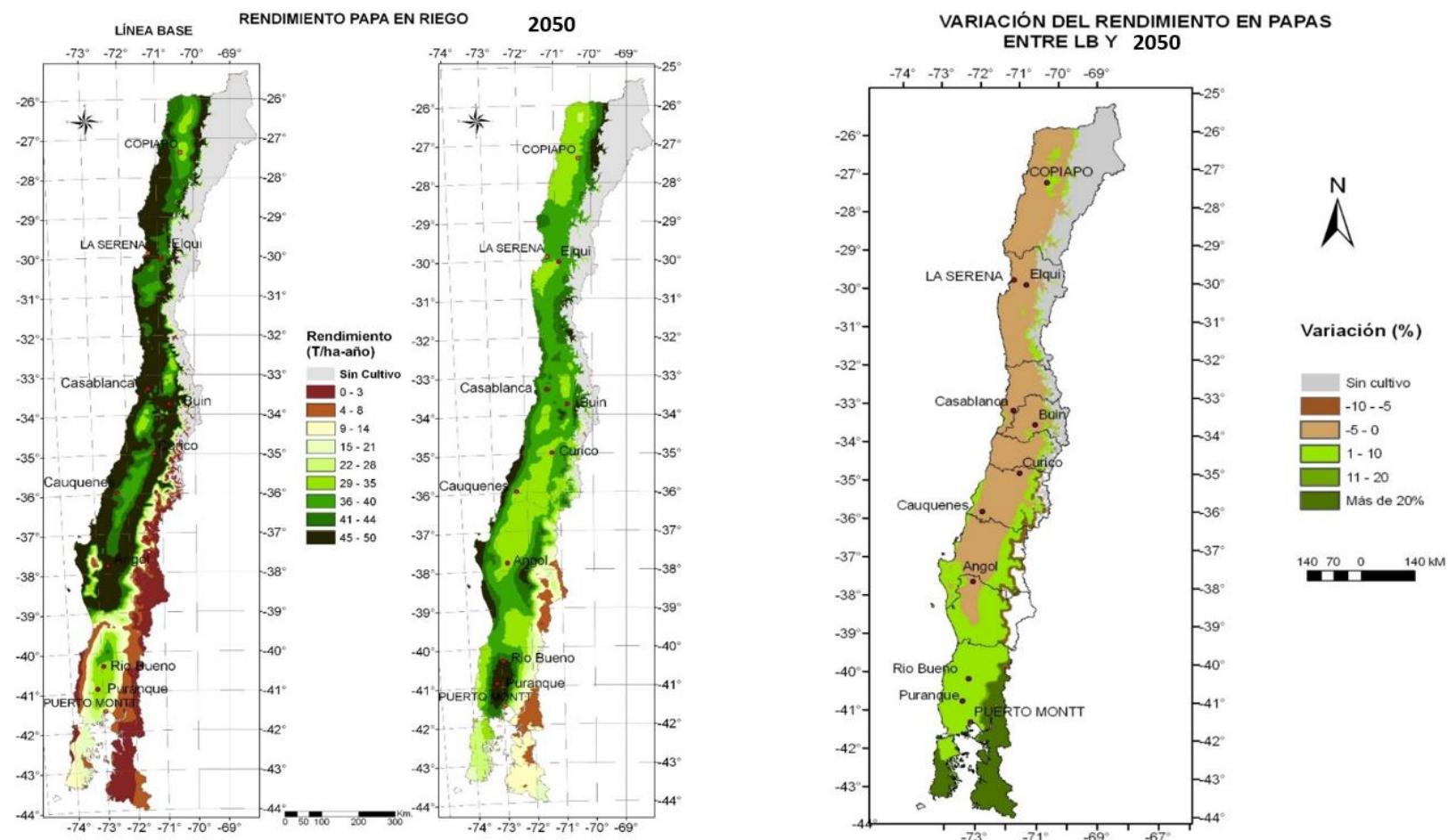


Figura 6.12 Rendimiento papa en riego línea base y 2050

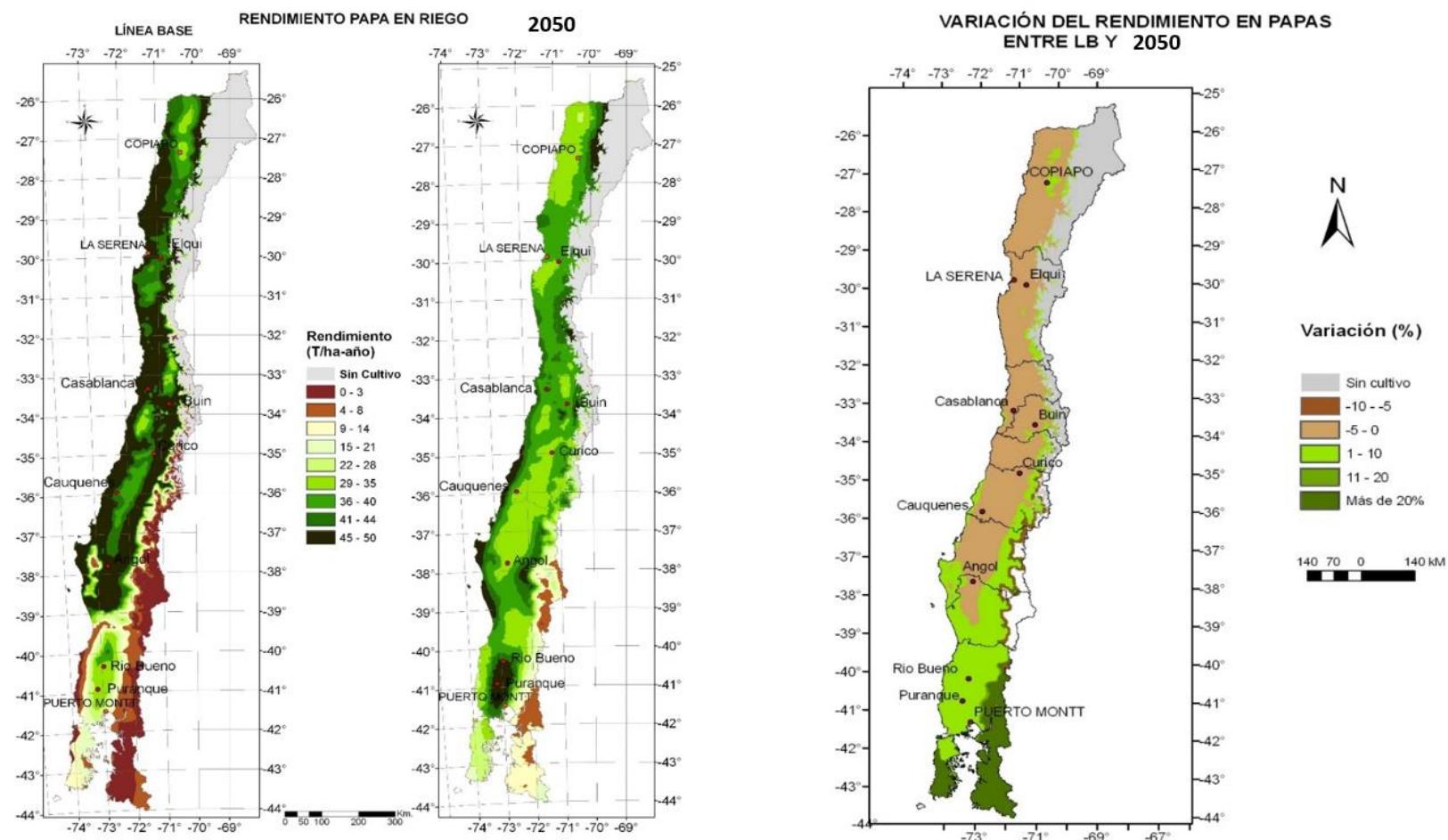


Figura 6.13 Fecha óptima de siembra y cambios en los requerimientos de riego línea base y 2050

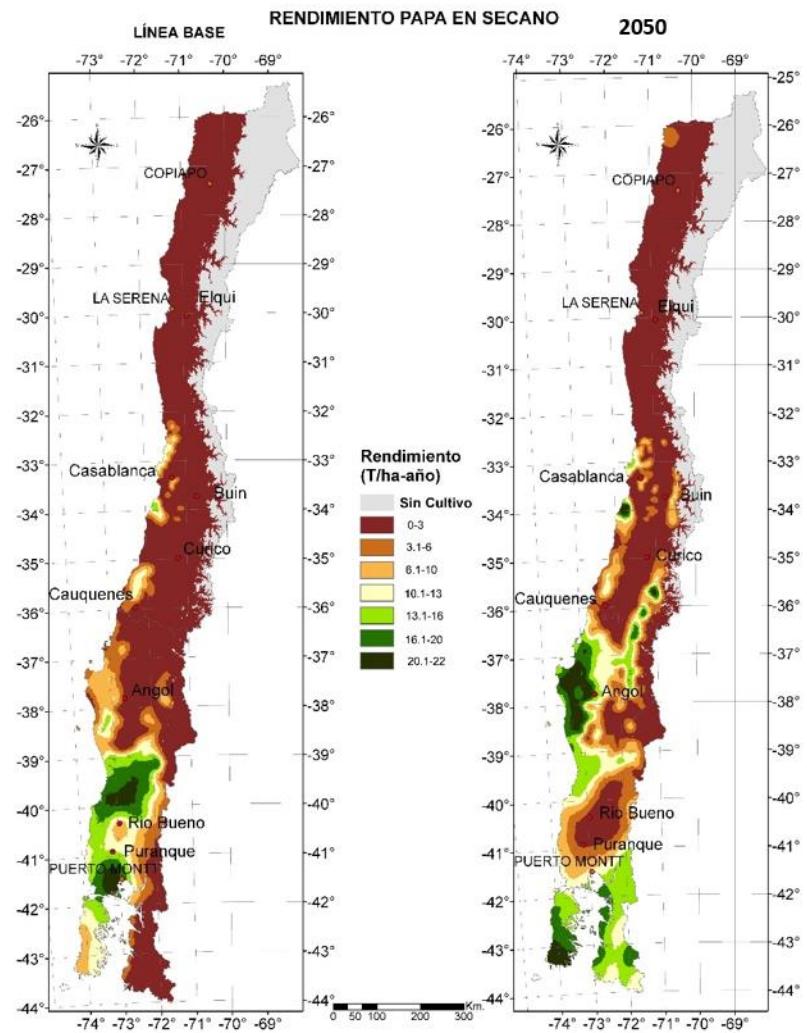


Figura 6.14 Rendimiento papas en secano

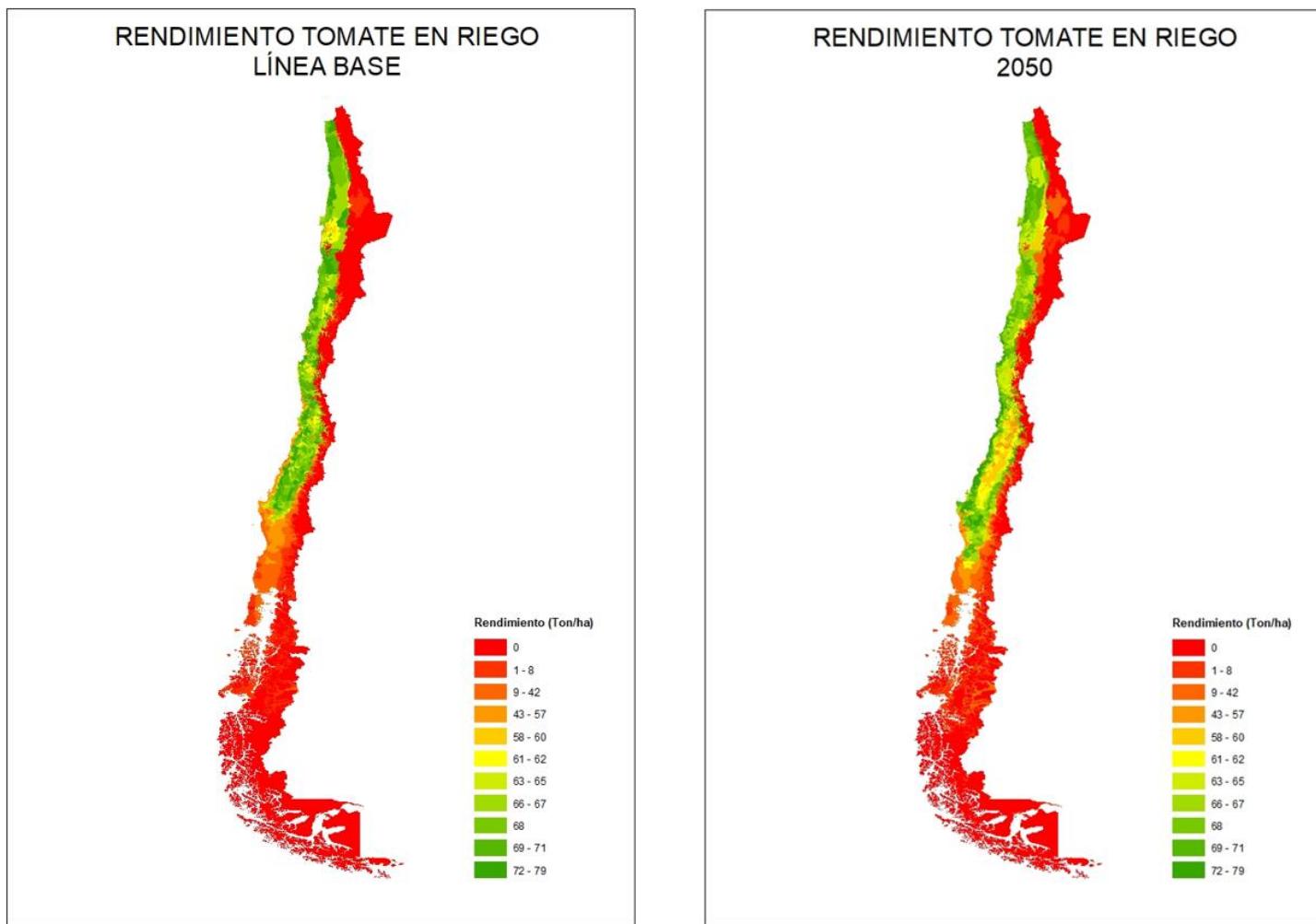
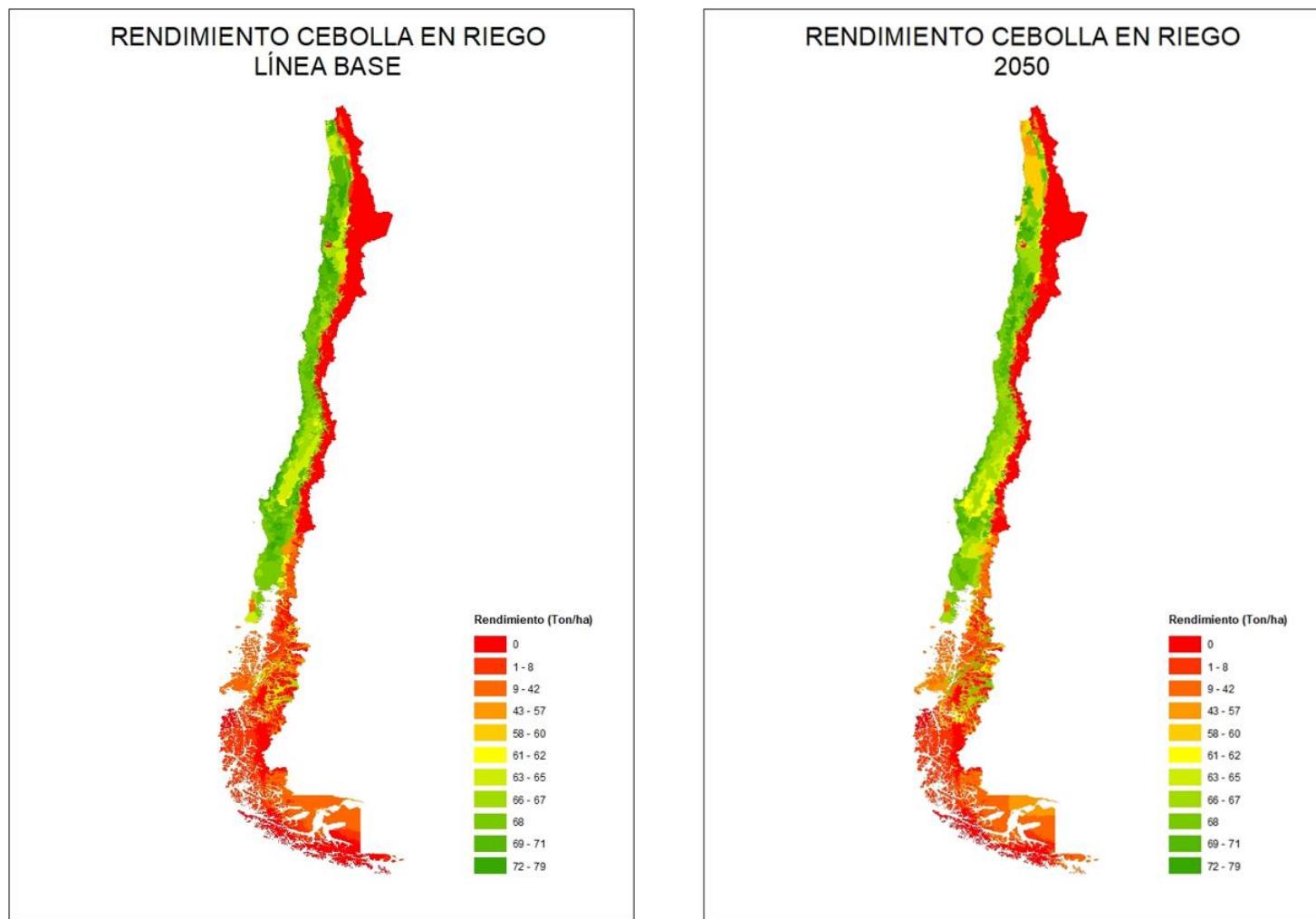


Figura 6.15 Rendimiento tomate en riego



6.16 Rendimiento cebolla en riego

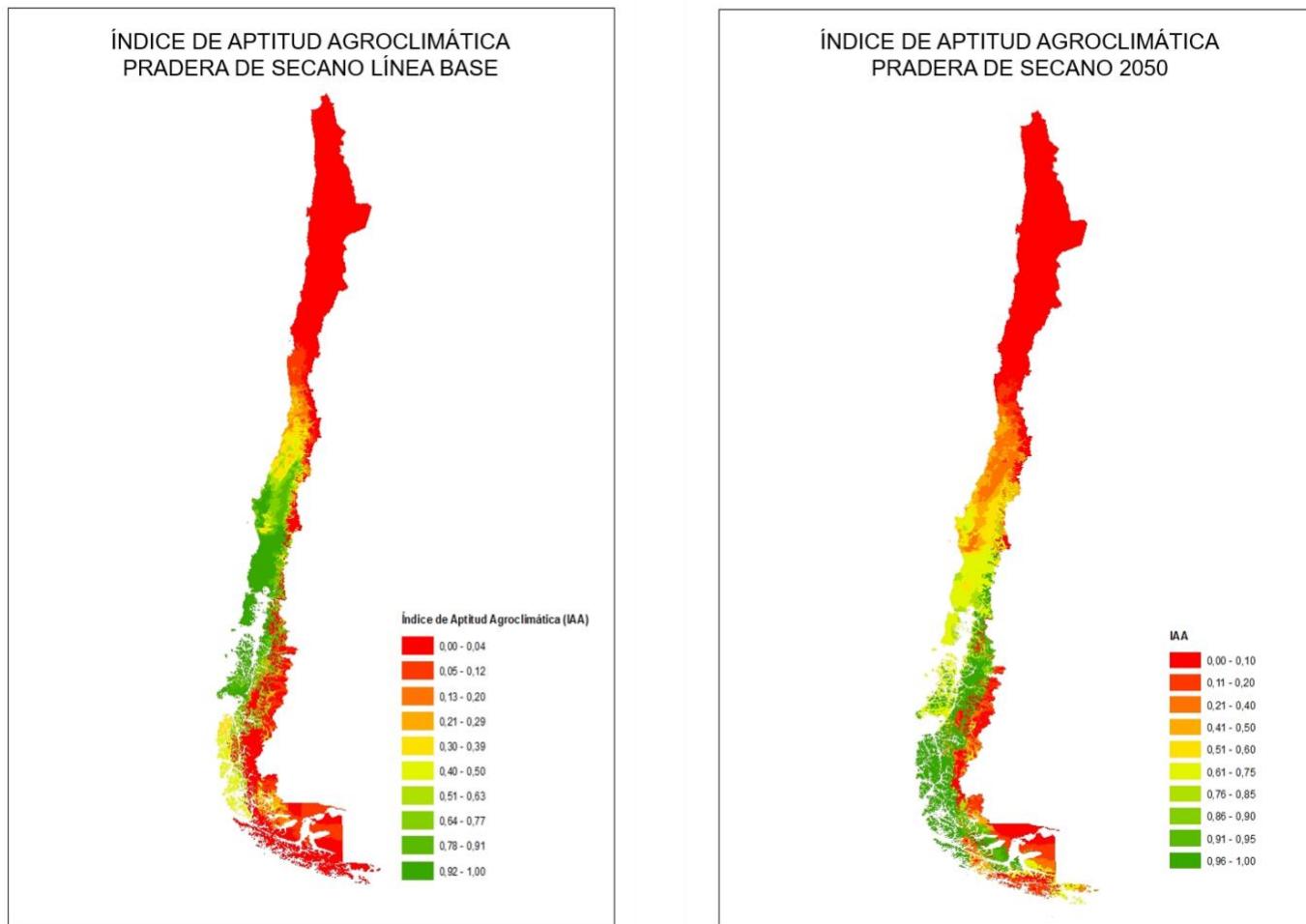


Figura 6.17. Índice de Aptitud agroclimática para las praderas de secano en la línea base y el 2050

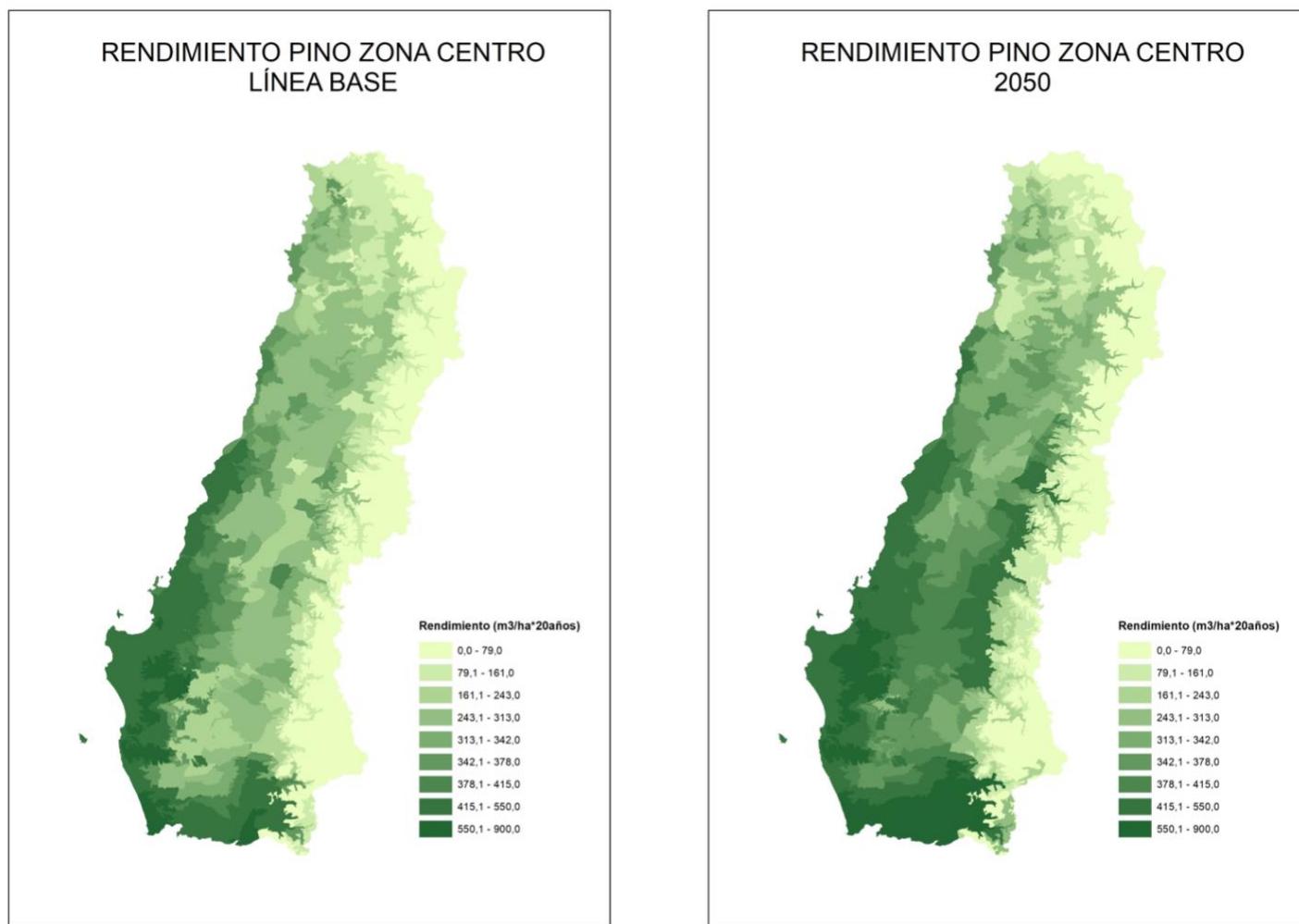


Figura 6.18. Rendimiento ($m^3/ha \cdot 20\text{años}$) pino zona central de Chile para la línea base y el 2050.

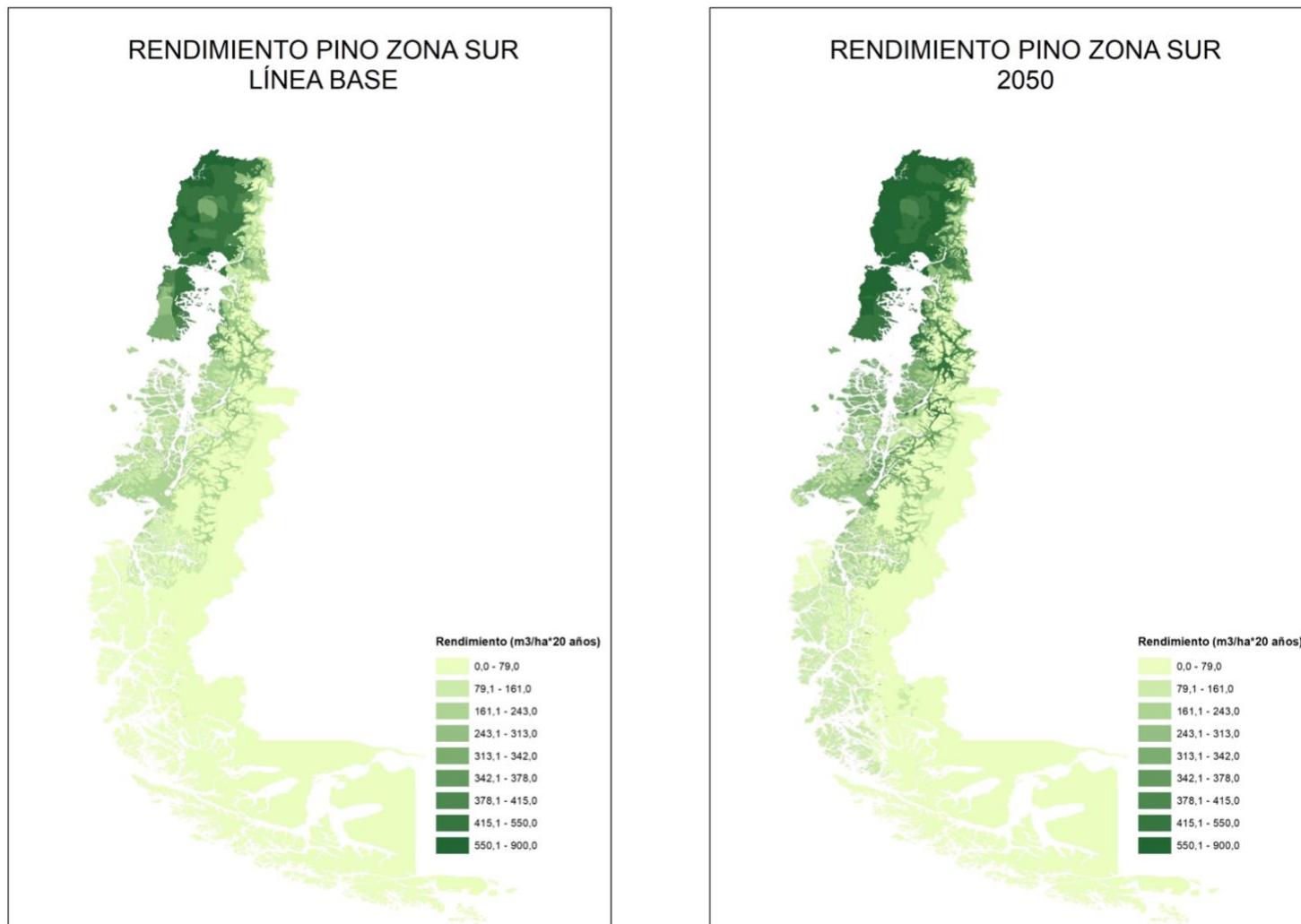


Figura 6.10. Rendimiento pino zona sur de Chile para la línea base y el 2050.

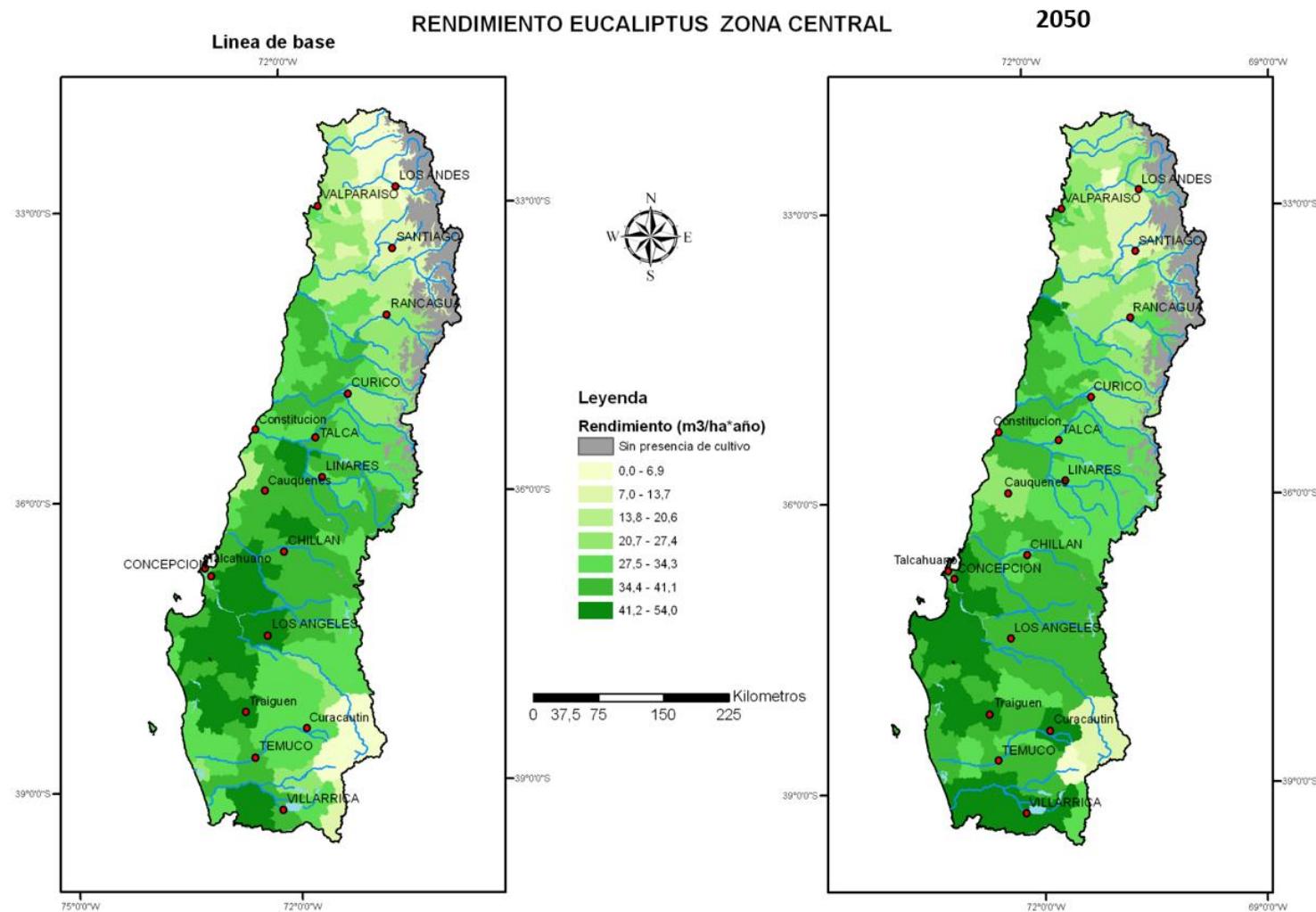


Figura 6.20. Rendimiento eucaliptus zona central de Chile para la línea base y el 2050.

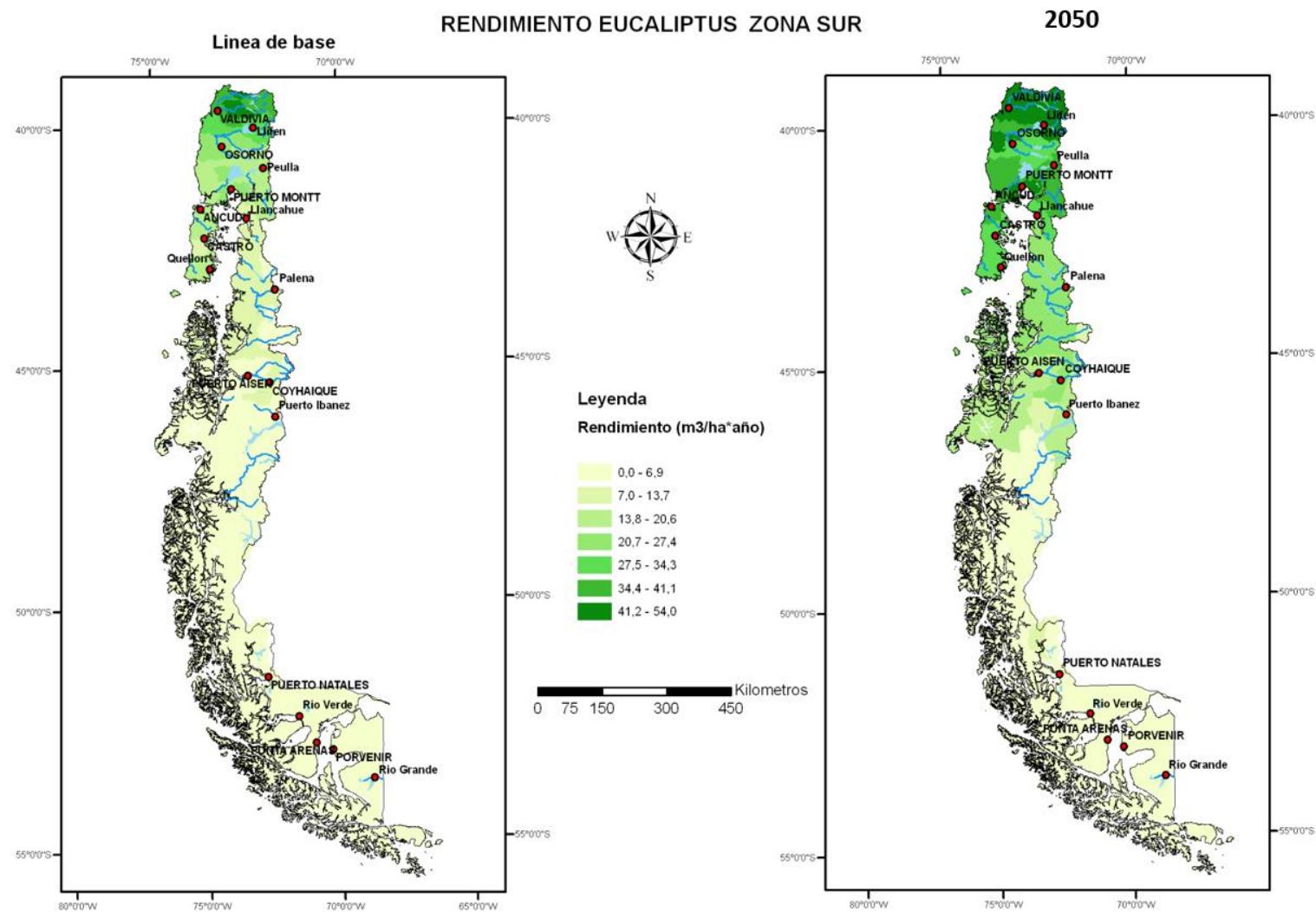


Figura 6.21. Rendimiento eucaliptus zona central de Chile para la línea base y el 2050

