



TERCER INFORME DE AVANCE

“Identificación, evaluación e incorporación de dos cadenas de impacto del sector silvoagropecuario bajo el modelo y simulación de ARClím y cuantificación de la disminución de vulnerabilidad sectorial con la implementación del PANCC SAP 2023-2027”

Para la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA

Elaborado por el Centro de Agricultura y Medio Ambiente – AGRIMED

24 de enero 2024

Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos.....	1
2. Calculo, evaluación y construcción de una escala o sistema de medición para interpretar el potencial de disminución de vulnerabilidad sectorial	2
2.1. Definición de una escala de vulnerabilidad sectorial.....	2
2.2 Ajustes a la metodología propuesta en ARClím.....	5
2.3 Ajustes a la metodología de calculo de la vulnerabilidad propuesto por PUC	10
2.2. Evaluación de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario	15
2.3 Evaluación conjunta de las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario	21
3. Resultados Cadenas de impacto: Tomate y Cebolla	37
4. Comentarios finales	50
5. Referencias.....	52

1. Introducción

En el contexto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario 2023-2027 (PANCC SAP), este informe aborda el cumplimiento del Objetivo Específico 1, 2 y 3 del estudio que corresponde a el desarrollo y aplicación de un sistema de medición diseñado para evaluar el potencial de reducción de la vulnerabilidad en el sector silvoagropecuario, y el desarrollo la cadena de impacto del tomate y cebolla para la plataforma de información Atlas de Riesgo Climático - ARClim

La metodología empleada incorpora una modificación al Índice de Riesgo del Centro Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, proporcionando un enfoque cuantitativo mejorado para la evaluación de la vulnerabilidad. Esta metodología incorpora además mejoras en el cálculo de los índices que componen la vulnerabilidad. Paralelamente, se ha integrado la información del Estudio de Costos realizado por TEPUAL, esencial para el diseño de las medidas del Plan.

La integración de estos estudios permite un análisis robusto de la vulnerabilidad sectorial en el contexto del cambio climático. Este informe presenta los resultados de dicho análisis, resaltando las estrategias identificadas para mejorar la resiliencia del sector silvoagropecuario frente a los desafíos climáticos.

1.1. Objetivo general

Evaluar, bajo tres niveles de esfuerzo (alto, medio y bajo), el Índice de vulnerabilidad propuesto para las medidas del Plan de Adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027 y, desarrollar dos cadenas de impacto silvoagropecuarias para la plataforma de información Atlas de Riesgo Climático - ARClim.

Para el logro del objetivo general, se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

1.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Calcular, evaluar y construir una escala o sistema de medición para interpretar el potencial de disminución de vulnerabilidad sectorial e interpretar los resultados según escala elaborada, bajo tres niveles de esfuerzo (alto, medio y bajo) considerando estudios previos realizados para elaborar las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario (PANCC SAP) 2023-2027.

Objetivo específico 2: Identificar, evaluar y desarrollar la cadena de impacto del tomate para la plataforma de información Atlas de Riesgo Climático - ARClim.

Objetivo específico 3: Identificar, evaluar y desarrollar la cadena de impacto de la cebolla para la plataforma de información Atlas de Riesgo Climático - ARClim.

Objetivo específico 4: Realizar el traspaso de las dos cadenas de impacto al Ministerio de Medio Ambiente para ser incluido en la plataforma de información Atlas de Riesgo Climático - ARClim.

2. Cálculo, evaluación y construcción de una escala o sistema de medición para interpretar el potencial de disminución de vulnerabilidad sectorial

2.1. Definición de una escala de vulnerabilidad sectorial

En esta etapa se calculó y se construyó un sistema de medición para interpretar el potencial de disminución de vulnerabilidad sectorial, bajo los tres niveles de esfuerzo definidos en las medidas de PANCC SAP. Para esto, se utilizó Índice de vulnerabilidad propuesto por el Centro Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile y los resultados del Estudio de costos elaborado por TEPUAL, ambos estudios realizados previamente para diseñar las medidas del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario 2023-2027.

En una primera etapa se obtuvieron los índices utilizados para estimar las cadenas de impacto del Atlas de Riesgos Climáticos (ARCLIM). El proyecto se elaboró 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 1). 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, centrándose ahora en el cálculo de Riesgo.

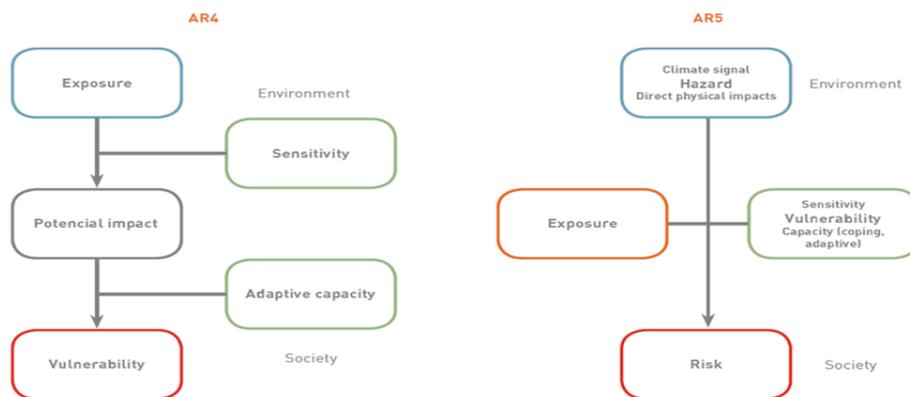


Figura 1. Elementos que definen la vulnerabilidad AR4 y AR5. Fuente: GIZ, 2017

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 Amenaza, Sensibilidad, Capacidad adaptativa y Exposición. Sin embargo, en el cálculo final del riesgo no se utilizó la capacidad de adaptación, como se describe en la metodología en ARCLim, por lo cual es necesario integrarla, proponiendo una escala de medición para ello, la que esta descrita más adelante.

A continuación, se describen como se definieron cada uno de los indicadores utilizados en la metodología de ARClím:

a) Amenaza: Representa el cambio en el rendimiento potencial presente versus 2050 de sistemas agrícolas como resultado de alteraciones de largo plazo en las características de las variables meteorológicas.

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:

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 (Tejo, 2009). 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 (INE, 2017).

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 (INE, 2007b).

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 (DGA, 2016).

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 (INDAP, 2019).

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 (ODEPA, 2007).

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 (IPCC, 2014; Wall y Smit, 2005). 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 (AGRIMED, 2017). La capacidad adaptativa se define como la media aritmética de los índices descritos a continuación:

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 (Subsecretaría de Telecomunicaciones, 2020).

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 indica que existe una baja proporción de población sin estudios (INE, 2017).

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 (INE, 2007b).

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, mien-

tras que valores cercanos a 1 indican una alta proporción de trabajadores agrícolas permanentes (INE, 2007b).

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

2.2 Ajustes a la metodología propuesta en ARClim

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 2 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). 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 4 y 5 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.

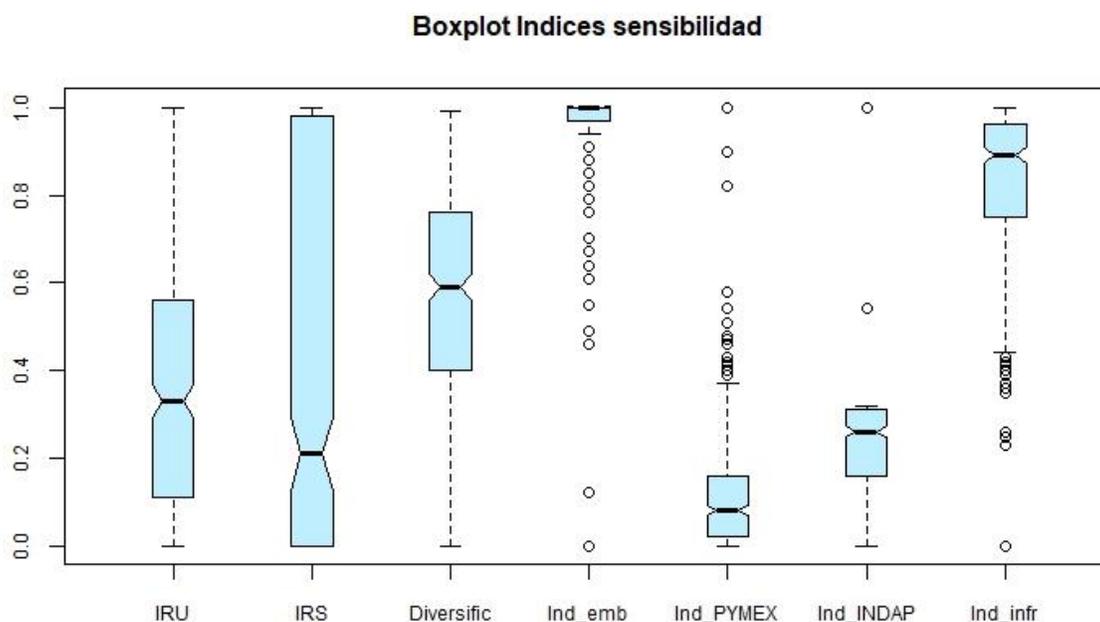


Figura 2. Índices de sensibilidad obtenidos de las bases de datos de ARClim.

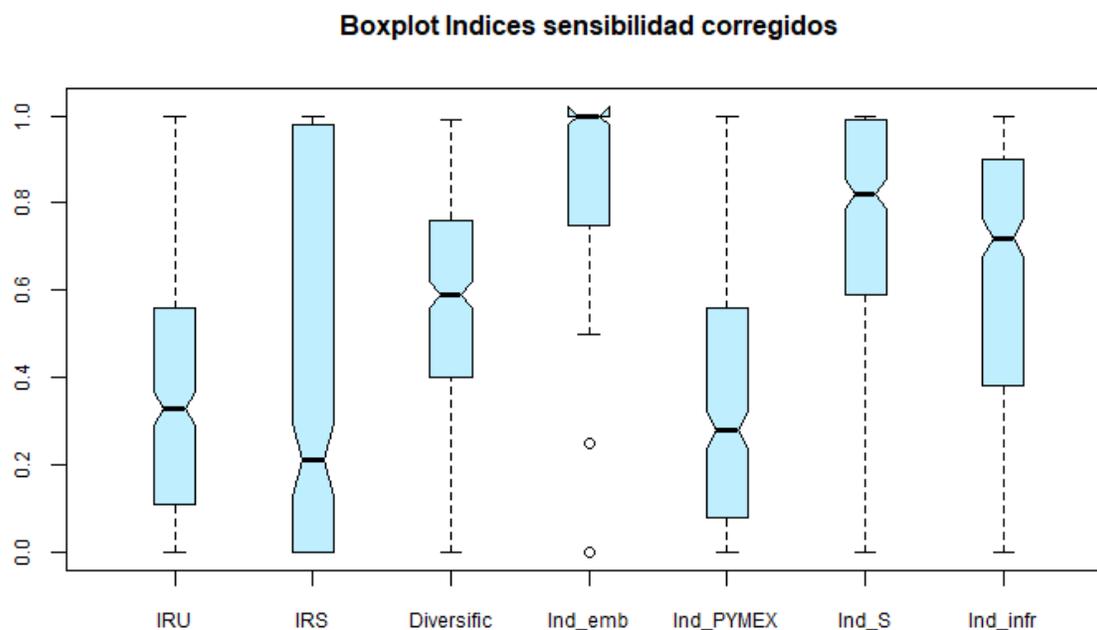


Figura 3. Distribución nacional de Índices de sensibilidad corregidos aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

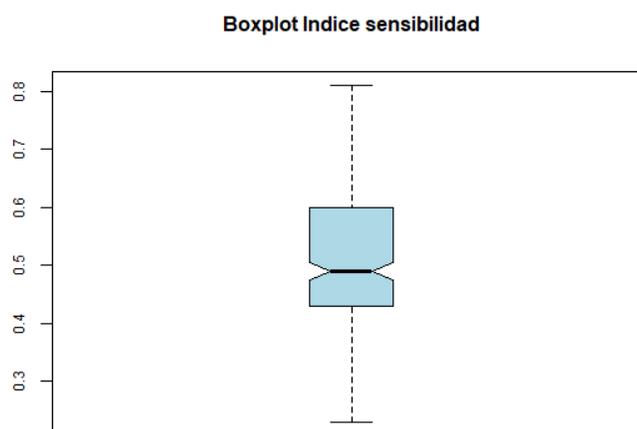


Figura 4. Distribución nacional del índice de sensibilidad (base de datos ARClm).

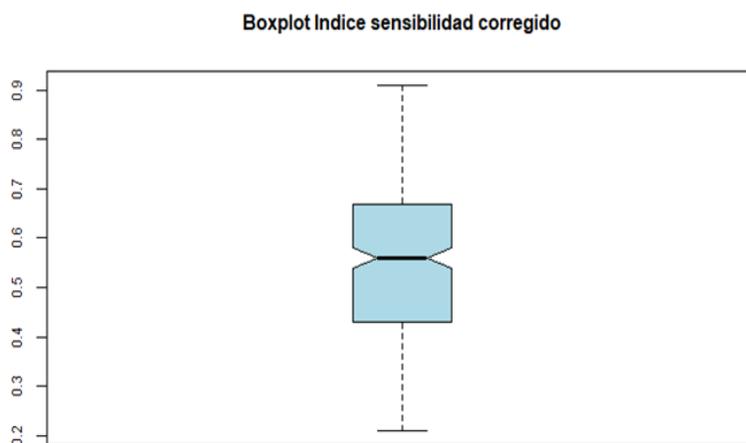


Figura 5. Distribución nacional del índice de sensibilidad corregido, aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

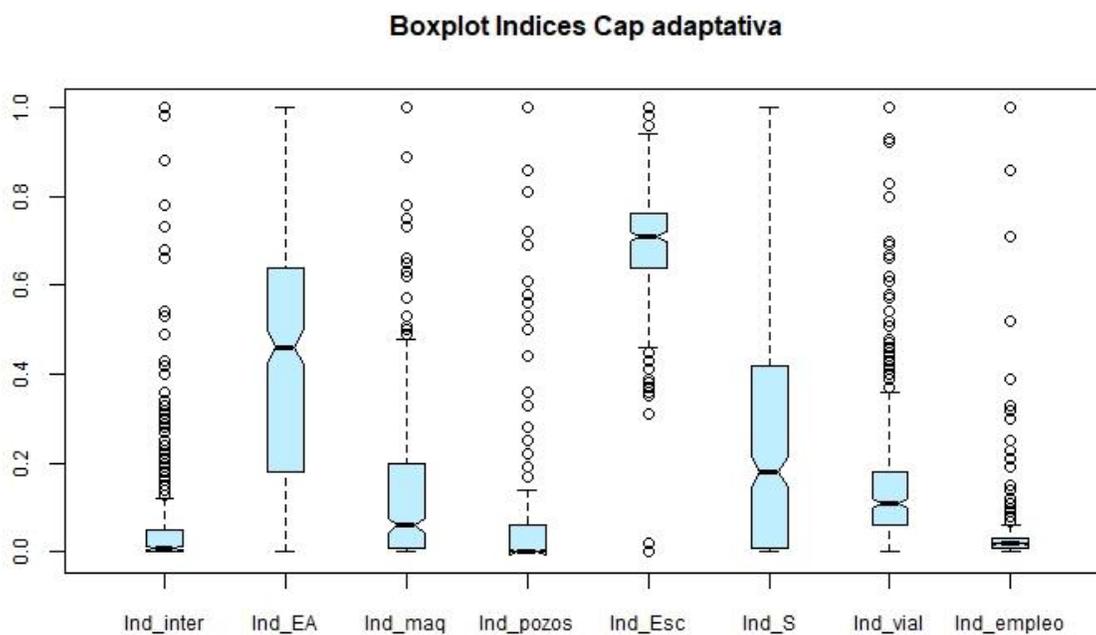


Figura 6. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARClím).

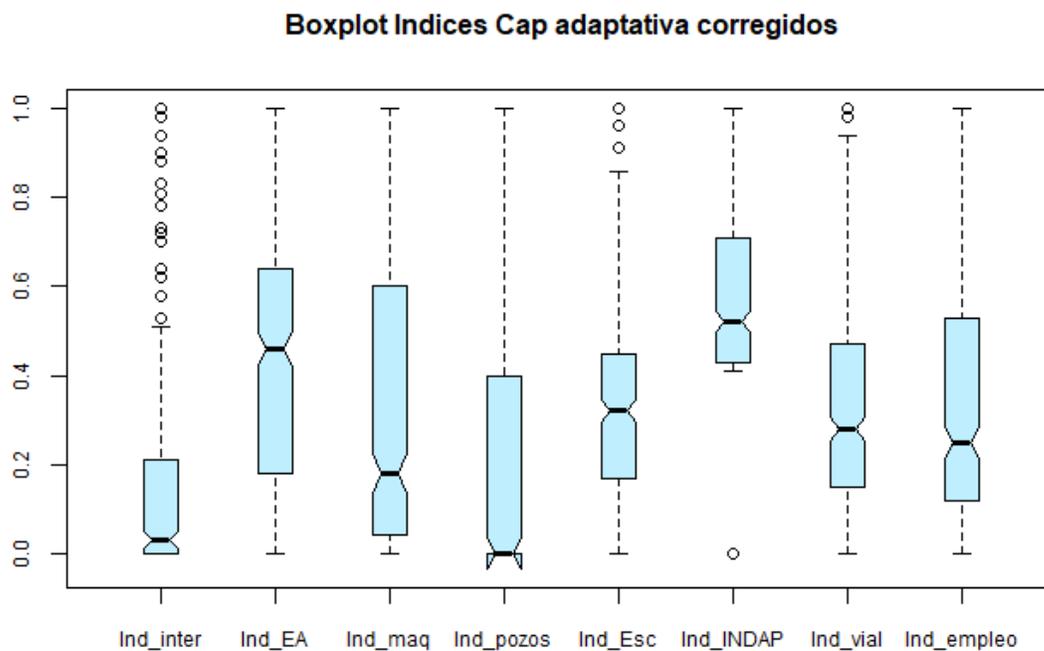


Figura 7. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos.

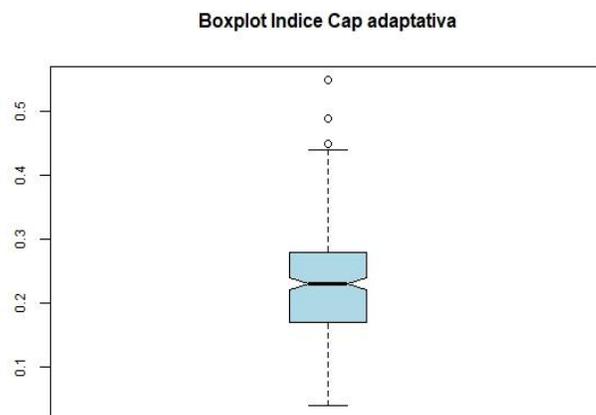


Figura 8. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa (base de datos ARCLim).

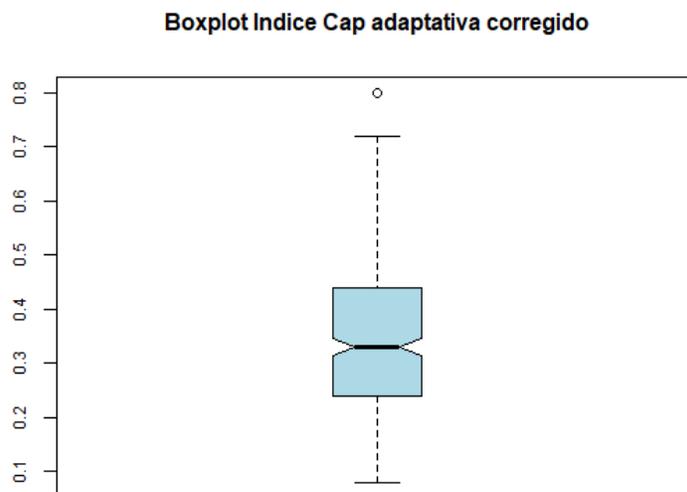


Figura 9. Distribución nacional de los índices de capacidad adaptativa corregidos , aplicando normalización para valores extremos (percentil 10% para mínimos y percentil 90% para valores máximos).

Al aplicar el proceso de normalización en los índices

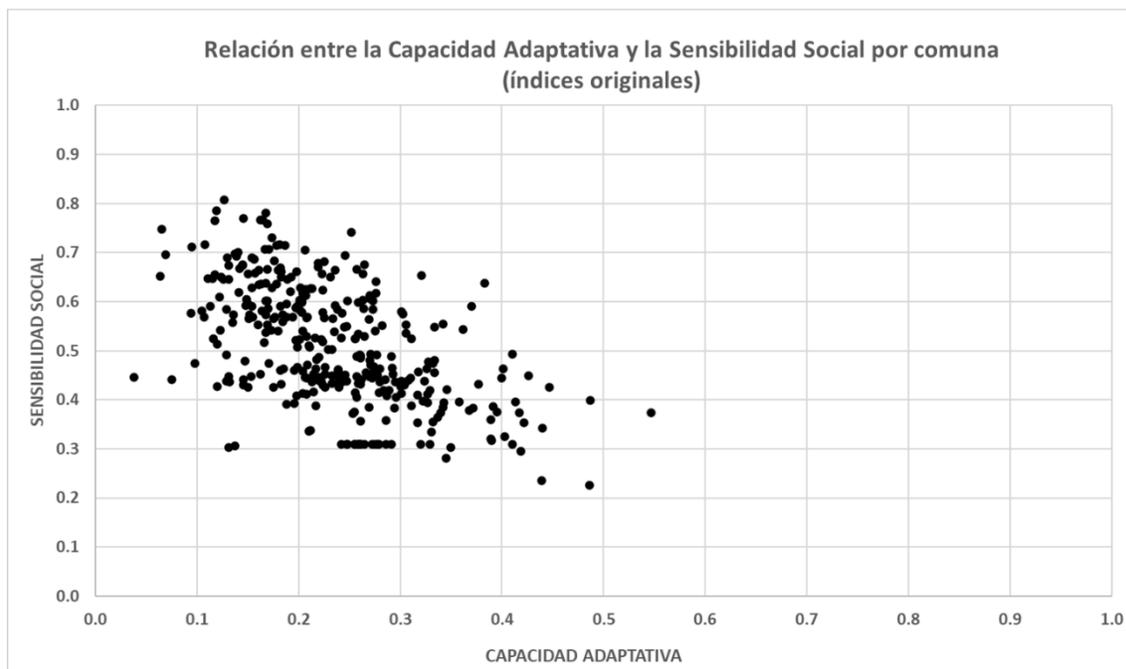


Figura 10. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices obtenidos de las bases de ARClím.

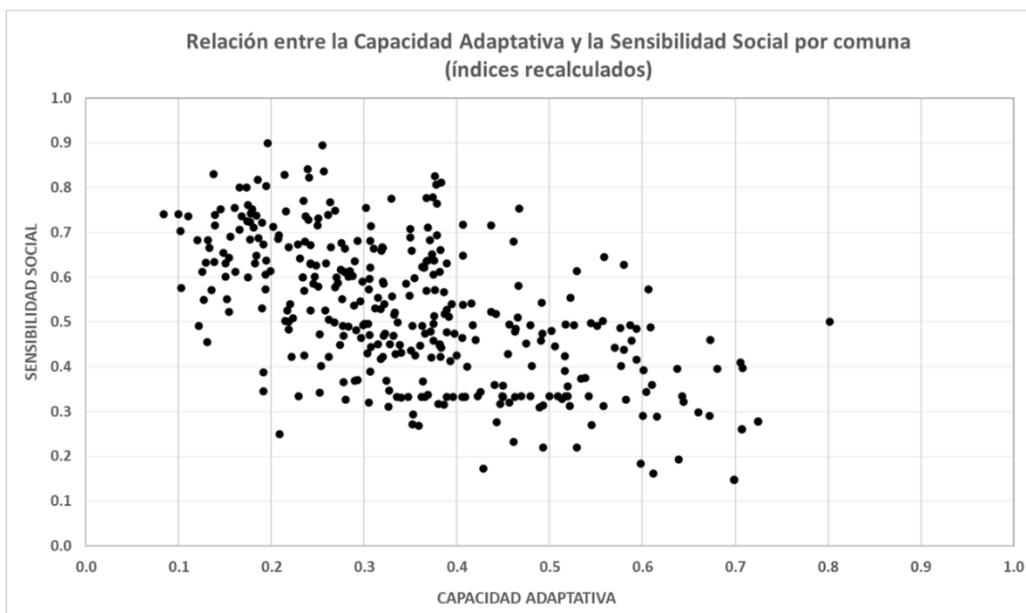


Figura 11. Relación entre capacidad adaptativa y sensibilidad usando los índices corregidos usando la normalización en base a percentiles 10 y 90% para los valores mínimos y máximos. Se aprecia una mejor distribución de ambos índices a nivel nacional.

2.3 Ajustes a la metodología de cálculo de la vulnerabilidad propuesto por PUC

La metodología desarrollada por PUC para determinar vulnerabilidad se basa en 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, (cuando el valor real debería ser vulnerabilidad moderada), al igual que otra comuna con valor $S = 1$ y $CA = 1$, que si tendría un valor de vulnerabilidad muy alta. 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.

Por tanto, la vulnerabilidad en la metodología propuesta en este estudio, se determinará a partir de la interacción entre la sensibilidad y capacidad de adaptación. (Figura 12)

Finalmente, el riesgo o las cadenas de impacto de la cebolla y el tomate, queda definido por la amenaza (o cambios en los rendimientos), vulnerabilidad y la exposición (superficie agrícola comunal/sup agrícola comunal máxima en una comuna en Chile).

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

Donde exposición es igual a la superficie cultivada en una comuna/superficie máxima cultivada en una comuna en Chile.

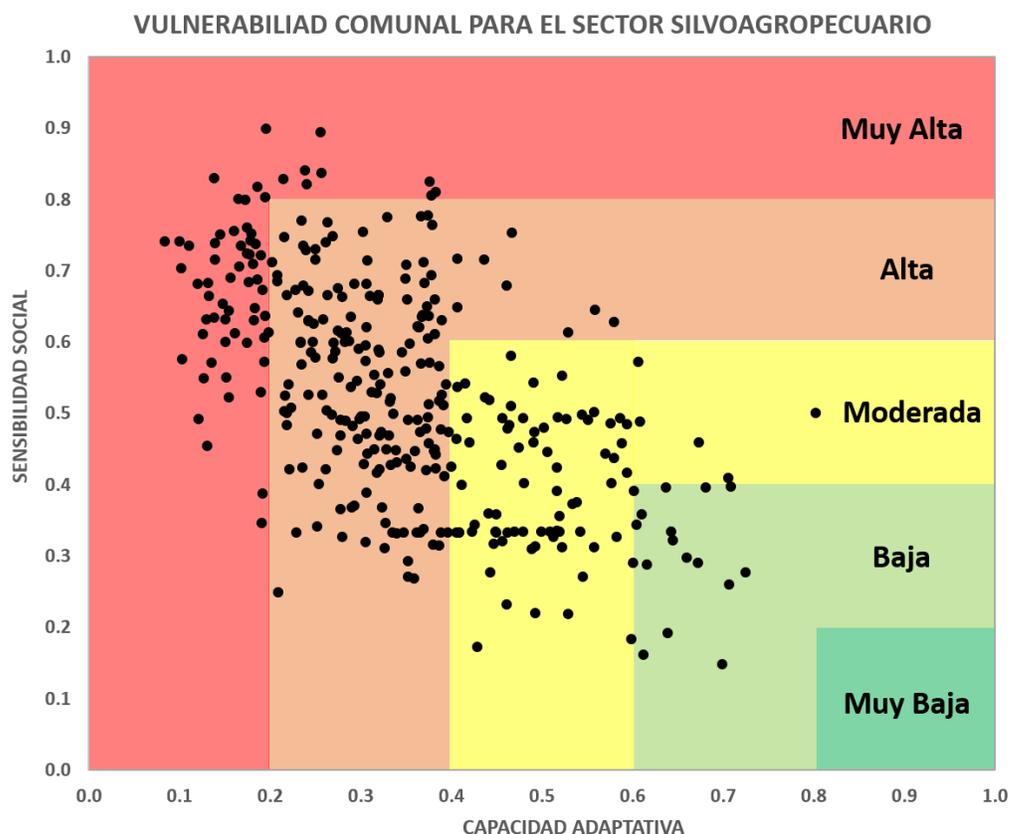


Figura 12. Escala propuesta para evaluar Vulnerabilidad comunal, la que combina los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los niveles de vulnerabilidad por comuna (en porcentaje) calculados según la escala propuesta en este estudio (figura 12) a nivel nacional y para cada macrozona (definidas de acuerdo al informe TEPUAL, 2022).

Es notable que las regiones sur y centro-sur presenten una mayor vulnerabilidad, con índices de vulnerabilidad muy alta del 47% y 37%, respectivamente. Esto contrasta con las regiones norte y centro-norte, donde los índices de vulnerabilidad muy alta son significativamente menores, con valores del 18% y 15%. Además, en las zonas centro y norte se identifican categorías de vulnerabilidad muy baja, categoría que no se encuentra en la región sur.

Esto puede deberse a dos errores en la estimación del Índice riego seco e Índice PYMEX. El primero debió haber sido corregido por una función de aridez del clima, estimada para el escenario 2050, de manera que considere en este índice el efecto de la lluvia en el balance hídrico de cada zona, por que en zonas donde el clima seguirá siendo húmedo e hiper húmedo no necesitará o necesitará menos proporción de riego y el impacto de cultivar en seco es muy inferior a la zona centro y norte. Lo mismo ocurre con el Ind de embalses. Por otra parte, en el índice PYMEX también presenta sesgo ya que solo se

está comparando el tamaño de la propiedad en hectáreas, pero no es lo mismo 100 ha en el valle del Maipo, que no correspondería a un pequeño agricultor, que 100 ha en la Patagonia o incluso en En los Lagos donde el valor de la tierra es inferior. Por lo tanto aquí se sugiera usar el concepto de Hectárea de riego básico definido por INDAP, donde se establece que un agricultor es pequeño si posee menos de 12 HRB y en base a esto construir una escala e índice de propiedad.

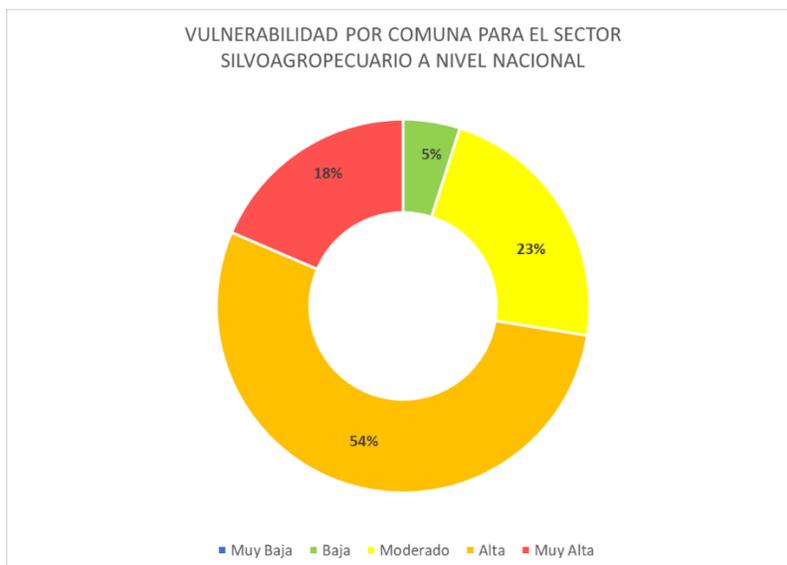


Figura 13. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector a nivel nacional.

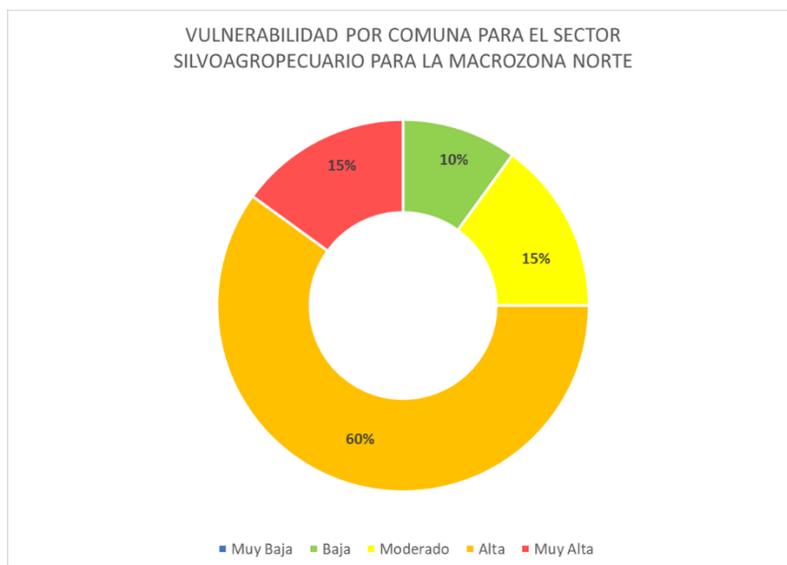


Figura 14. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector silvoagropecuario para la macrozona norte (Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta).



Figura 15. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector silvoagropecuario para la macrozona centro norte (Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana).

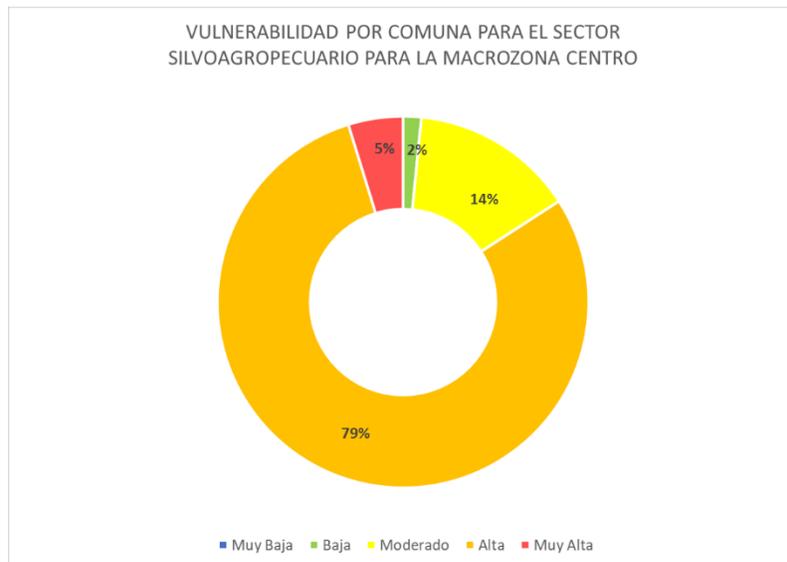


Figura 16. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector silvoagropecuario para la macrozona centro (O'Higgins y El Maule).

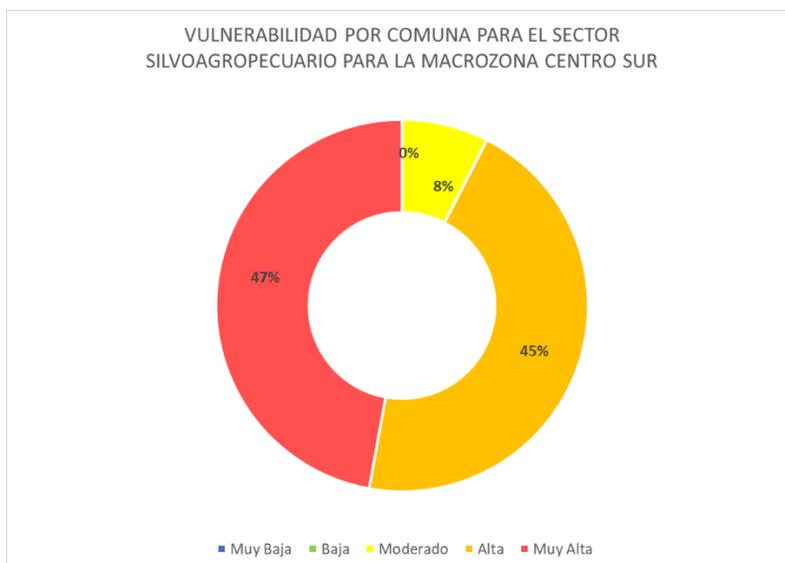


Figura 17. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector silvoagropecuario para la macrozona centro sur (Ñuble, Biobío y La Araucanía).

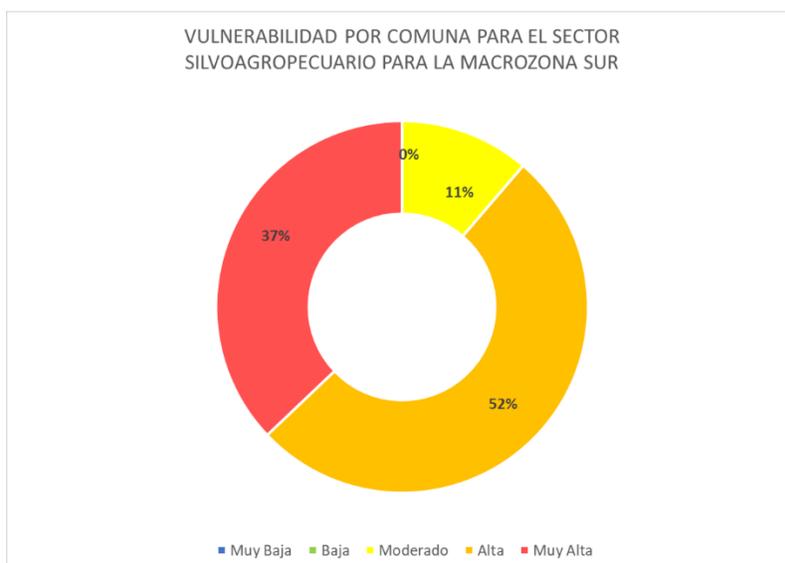


Figura 18. Niveles de Vulnerabilidad por comuna para el sector silvoagropecuario para la macrozona centro sur (Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes).

2.2. 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 el Rendimiento" (PSR). Este índice se aplicó tanto a las medidas individuales como al conjunto del PANCC SAP, bajo cada uno de los tres niveles de esfuerzo definidos. 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.

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 1: 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	5,014	10
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 tranques 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 2: 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	15,926	70
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		
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	34,806	10
Acción 2.2: Implementar sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y posterior uso en riego.	4,988	0.09		
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 tranques 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	3,766	70
Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	5,246	0.31		
Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	3,171	0.25		

Tabla 3: Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

N°	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	31084	70
	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		
	Acción 1.5: Implementar sistemas productivos sin suelo como la hidroponía y la aeroponía.	5,283	0.53		
2	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	23477	20
	Acción 2.2: Implementar sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y posterior uso en riego.	4,988	0.09		
	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 tranques 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	3766	70
	Acción 7.2: Construcción de infraestructura y equipamiento para resguardo de cosechas y ganado.	5,246	0.31		
	Acción 7.3: Implementación y/o mejoramiento de invernaderos resistentes al clima extremo	3,171	0.25		

Tabla 4: Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

N°	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 captación 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, minitranques, 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 bosquetes 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 5: Acciones y medidas propuestas para la macrozona centro sur. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

N°	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	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.	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 captación 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, minitranques, 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 bosquetes 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 6: Acciones y medidas propuestas para la macrozona sur. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

N°	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, minitrانques, 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 7. Acciones y medidas propuestas para la Región de Aysén. Los costos, indicador CBR y beneficios se obtuvieron del estudio de TEPUAL, 2022.

N°	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		

2.3 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-

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

Donde “PSR medida i” representa el PRS de la medida “i” incorporada al cálculo 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 8. 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 (2) 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 9. 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

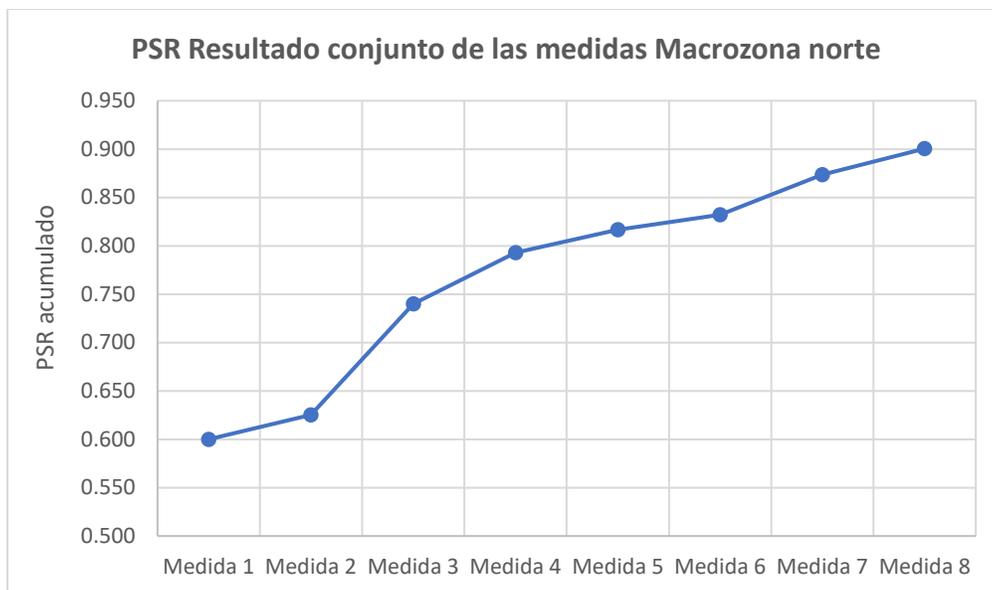


Figura 19. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona norte

Tabla 10. 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

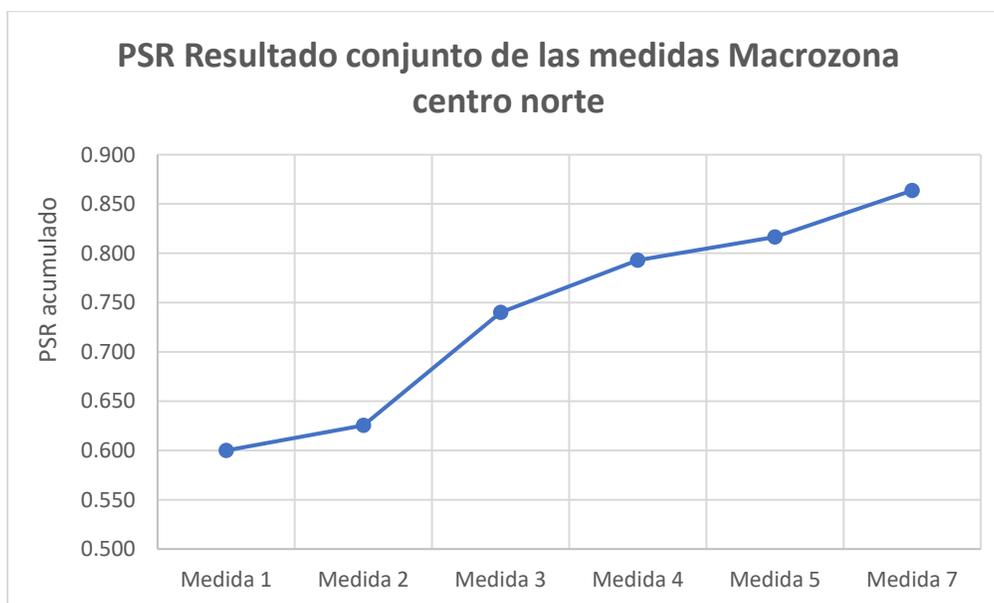


Figura 20. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro norte

Tabla 11. 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

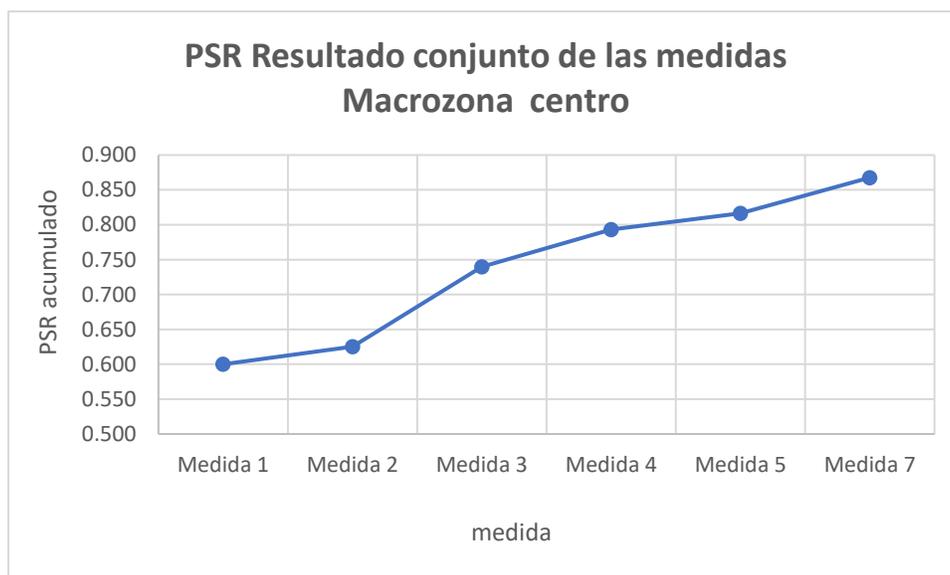


Figura 21. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro

Tabla 12. 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

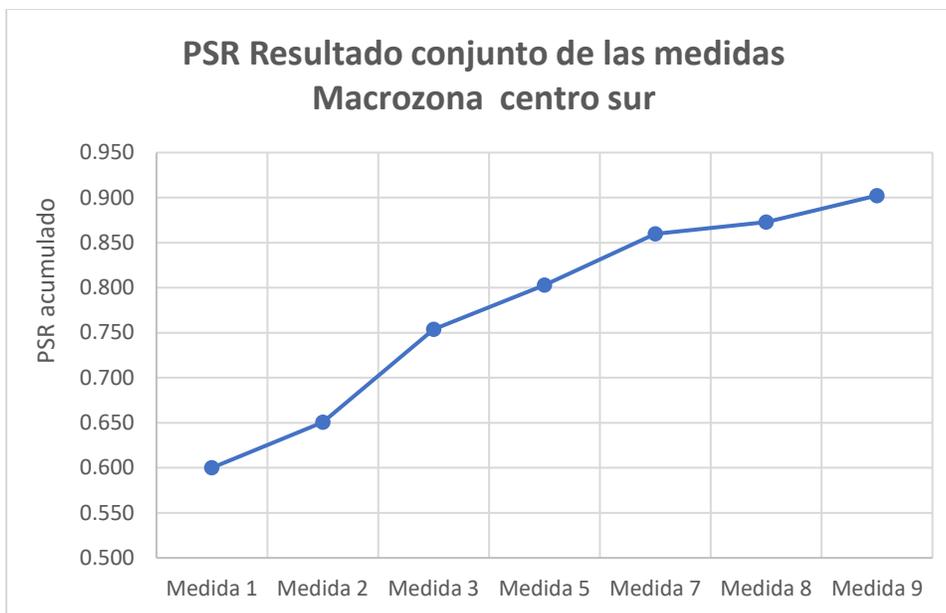


Figura 22. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona centro sur

Tabla 13. 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

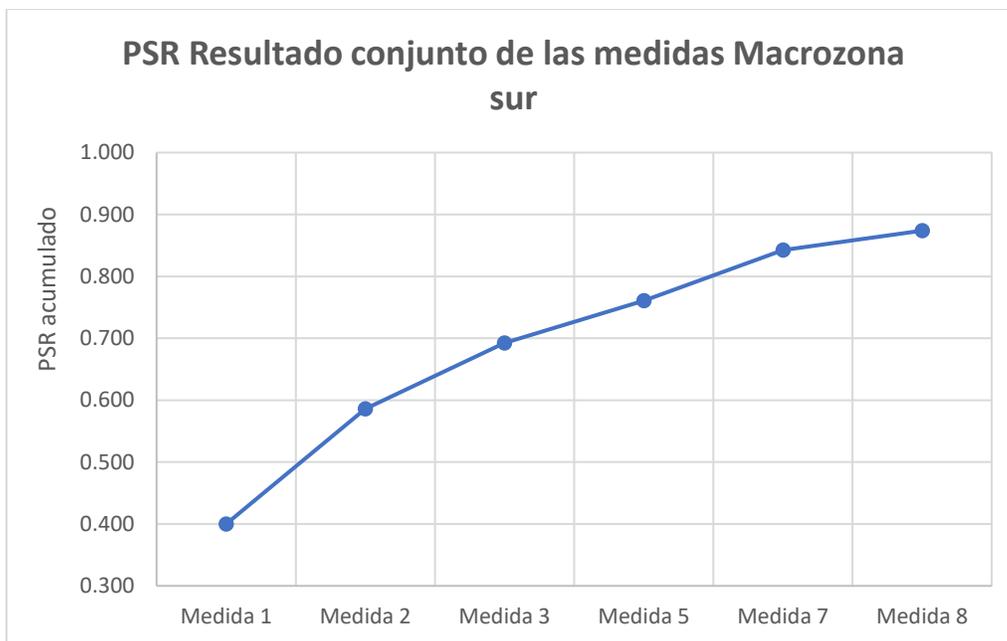


Figura 23. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la macrozona sur.

Tabla 14. 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

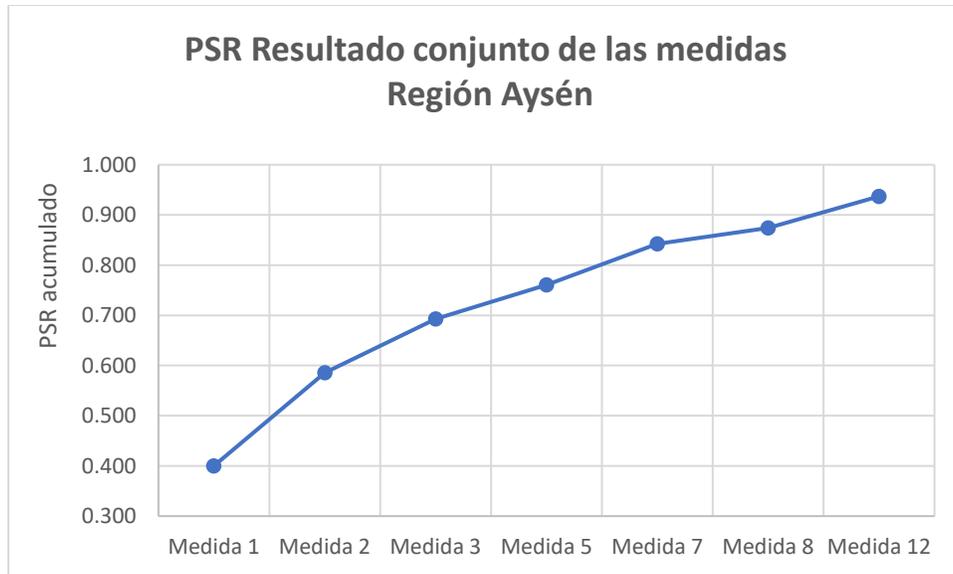


Figura 24. PSR para el conjunto de medidas propuestas para la región de Aysén

INDICE DE VULNERABILIDAD

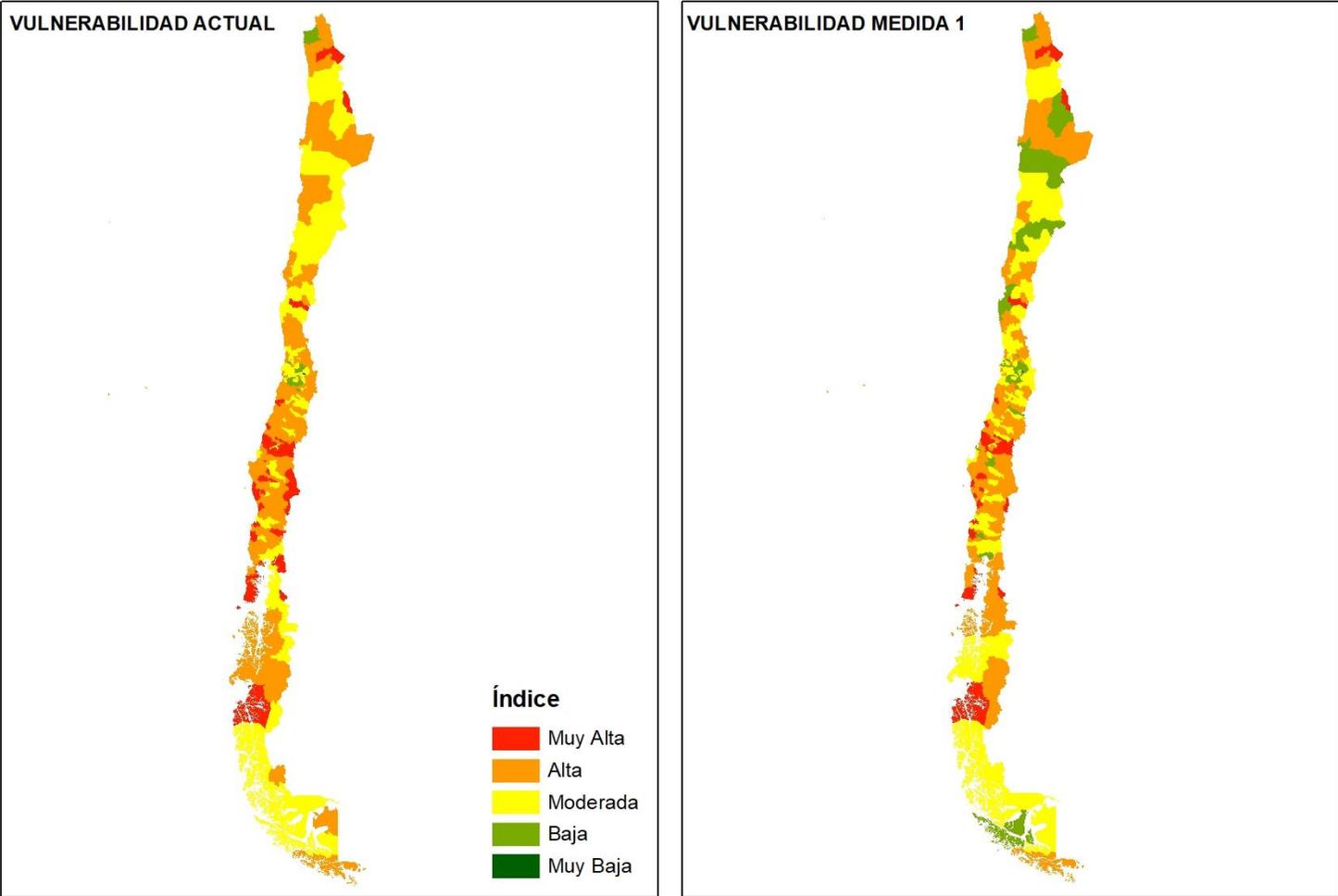


Figura 24. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1

INDICE DE VULNERABILIDAD

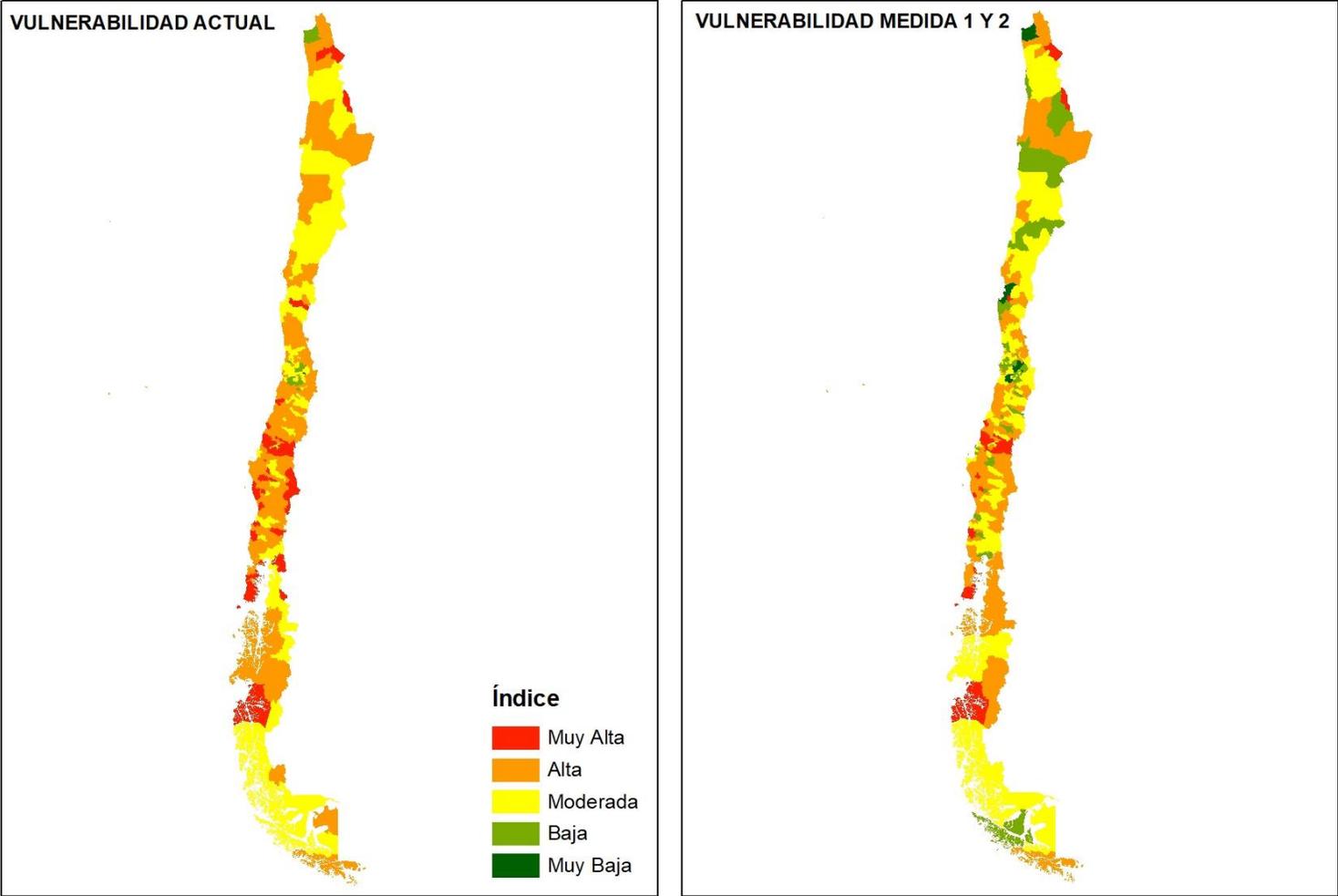


Figura 25. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1 y 2

INDICE DE VULNERABILIDAD

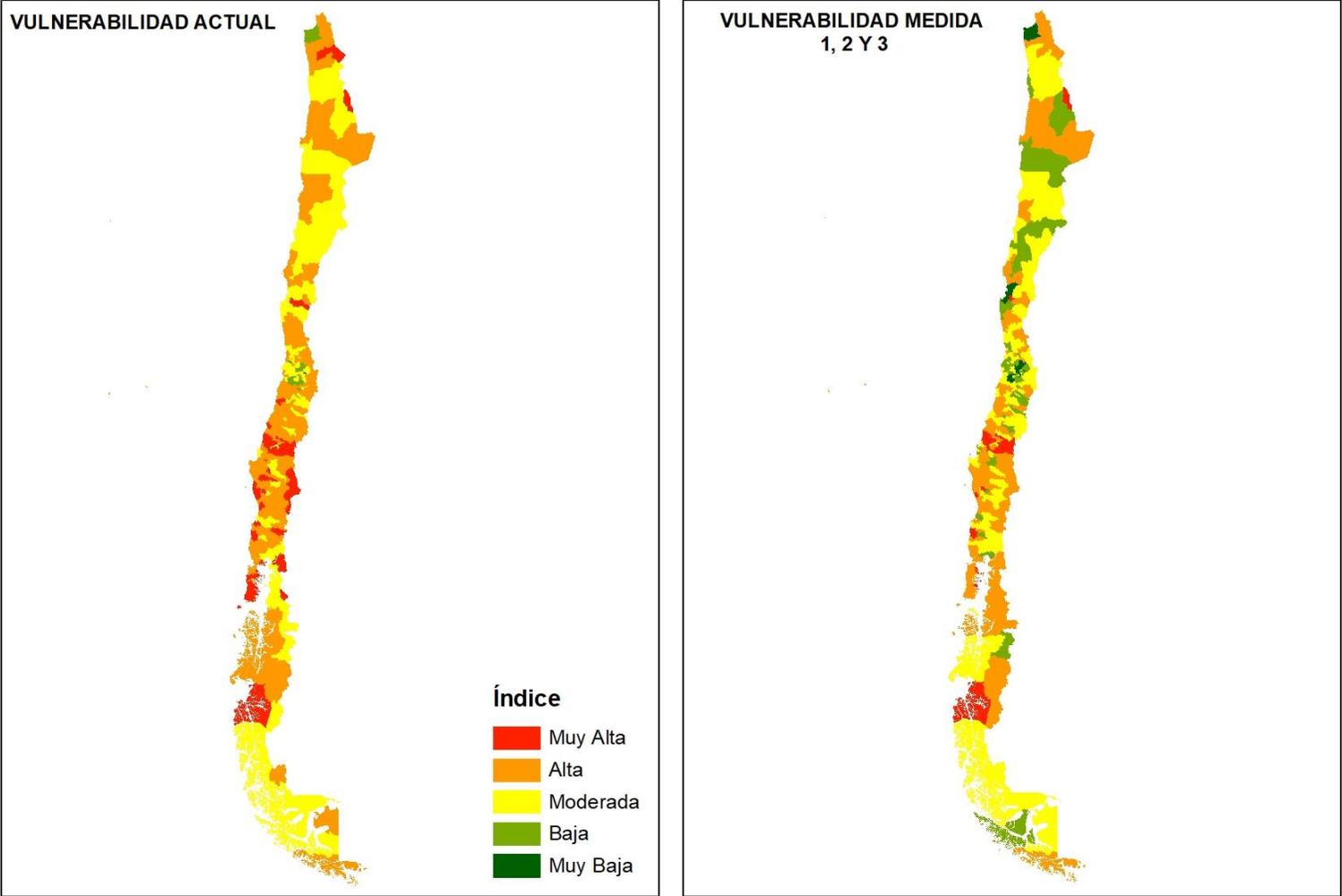


Figura 26. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 y 3

INDICE DE VULNERABILIDAD

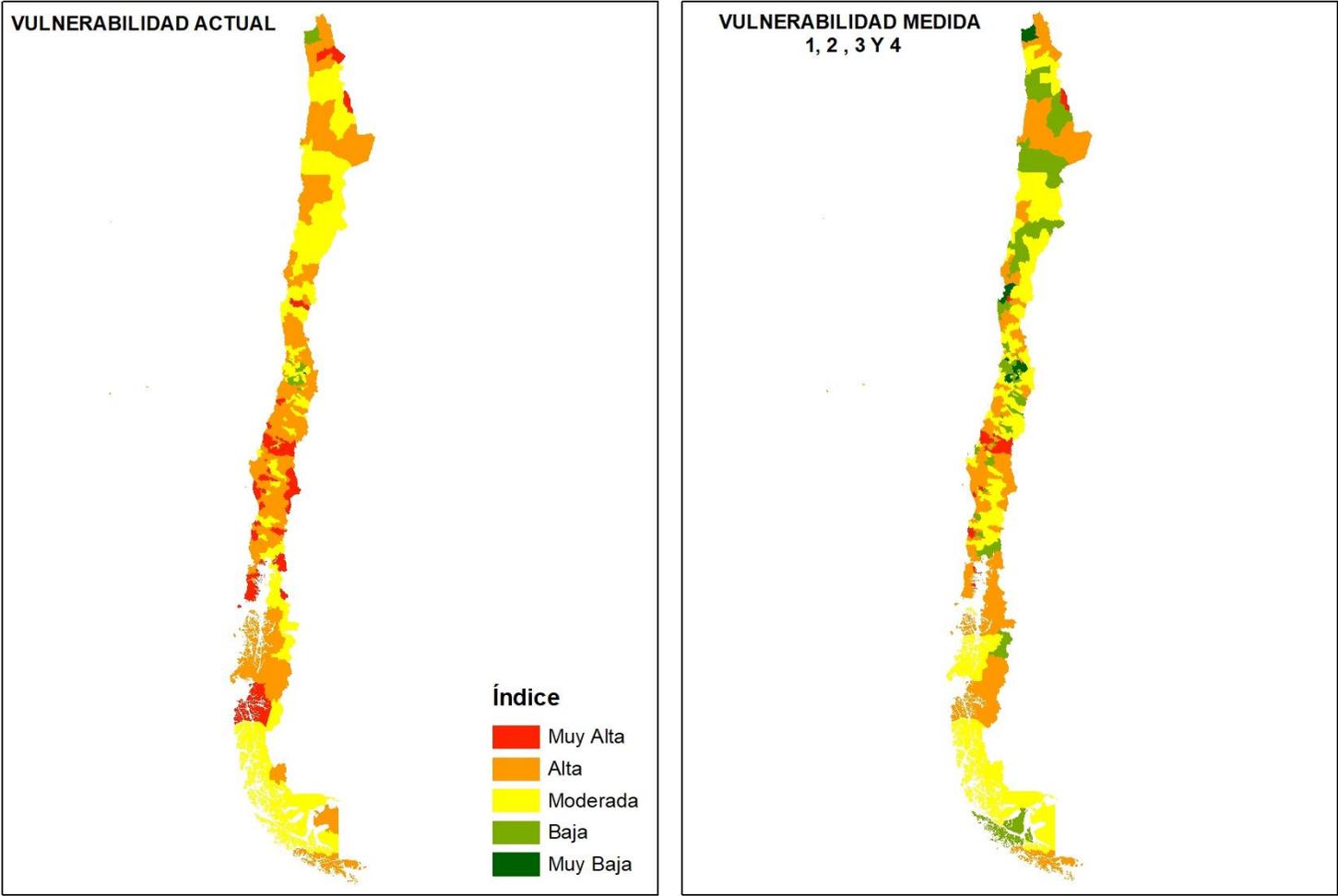


Figura 27. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3 y 4

INDICE DE VULNERABILIDAD

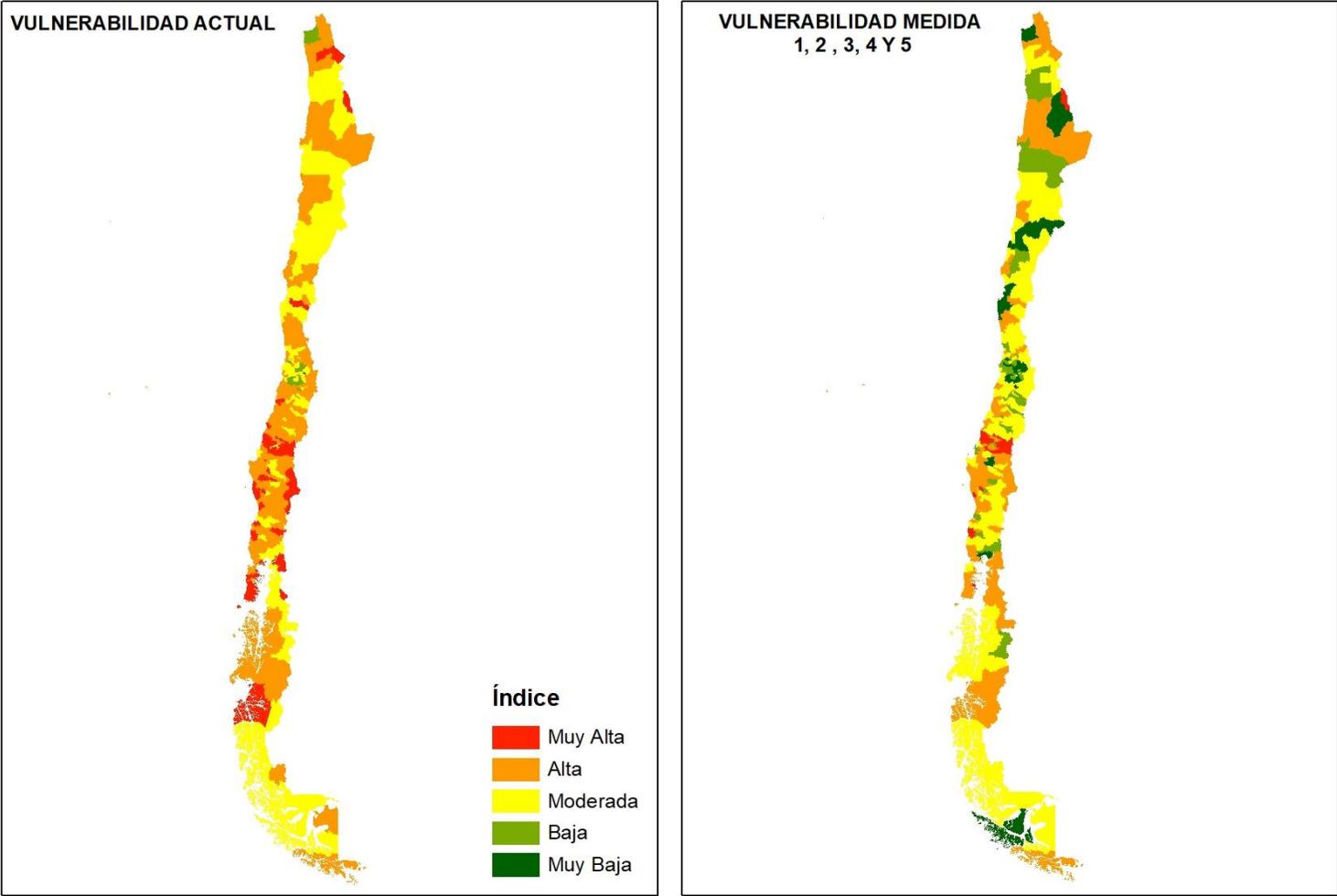


Figura 28. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1, 2 , 3, 4 y 5

INDICE DE VULNERABILIDAD

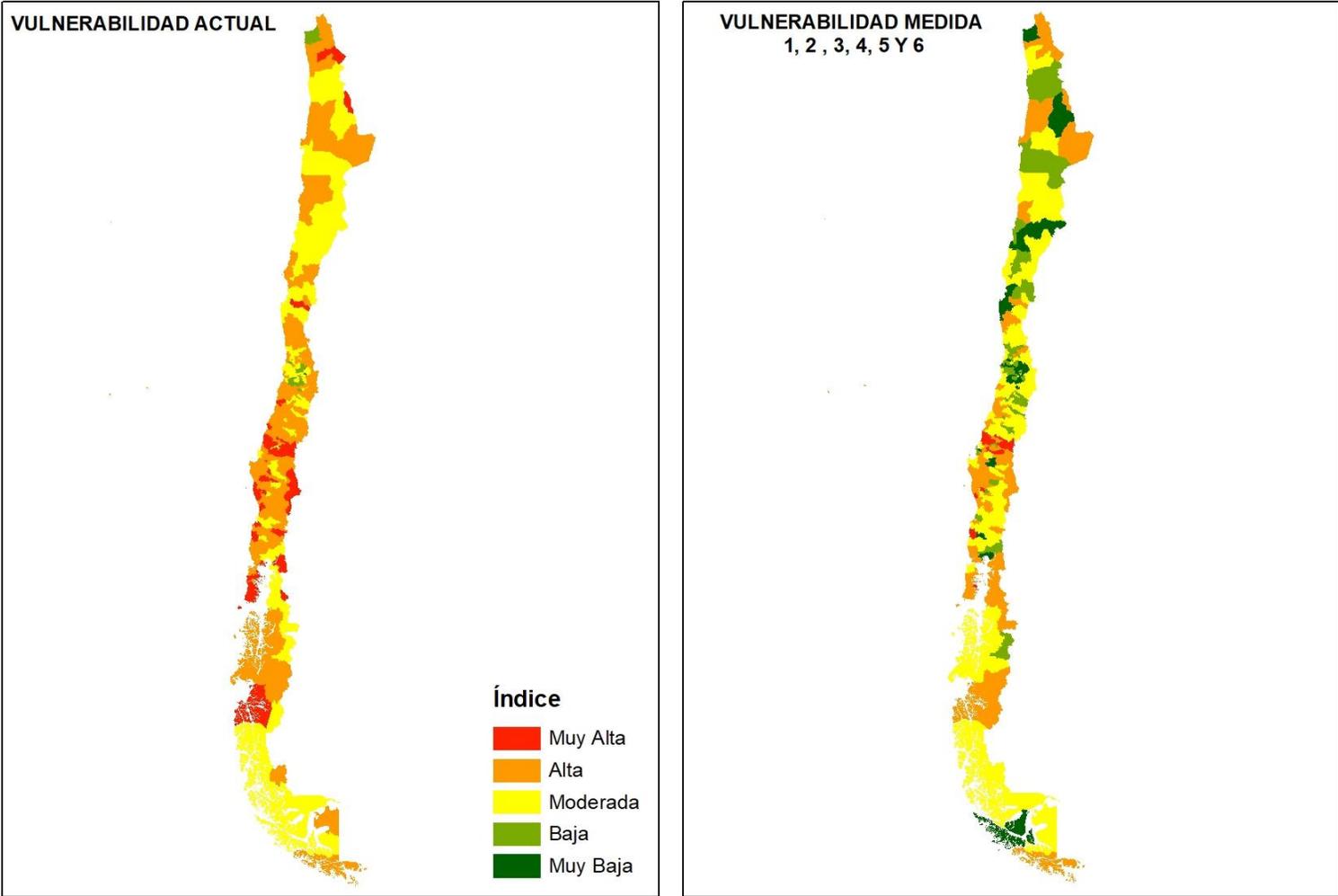


Figura 29. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3, 4 , 5 y 6

INDICE DE VULNERABILIDAD

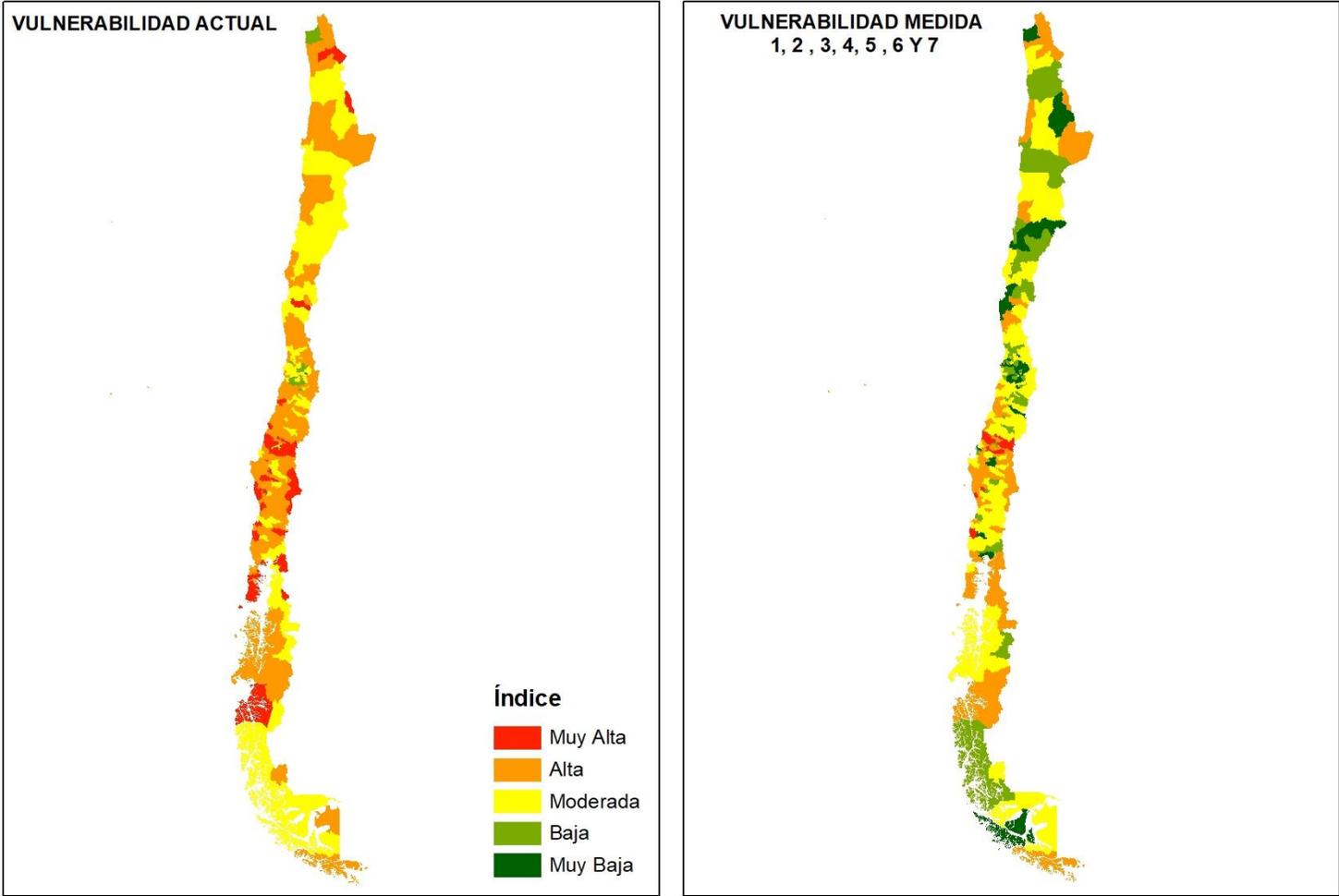


Figura 30. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3, 4 , 5 , 6 y 7

INDICE DE VULNERABILIDAD

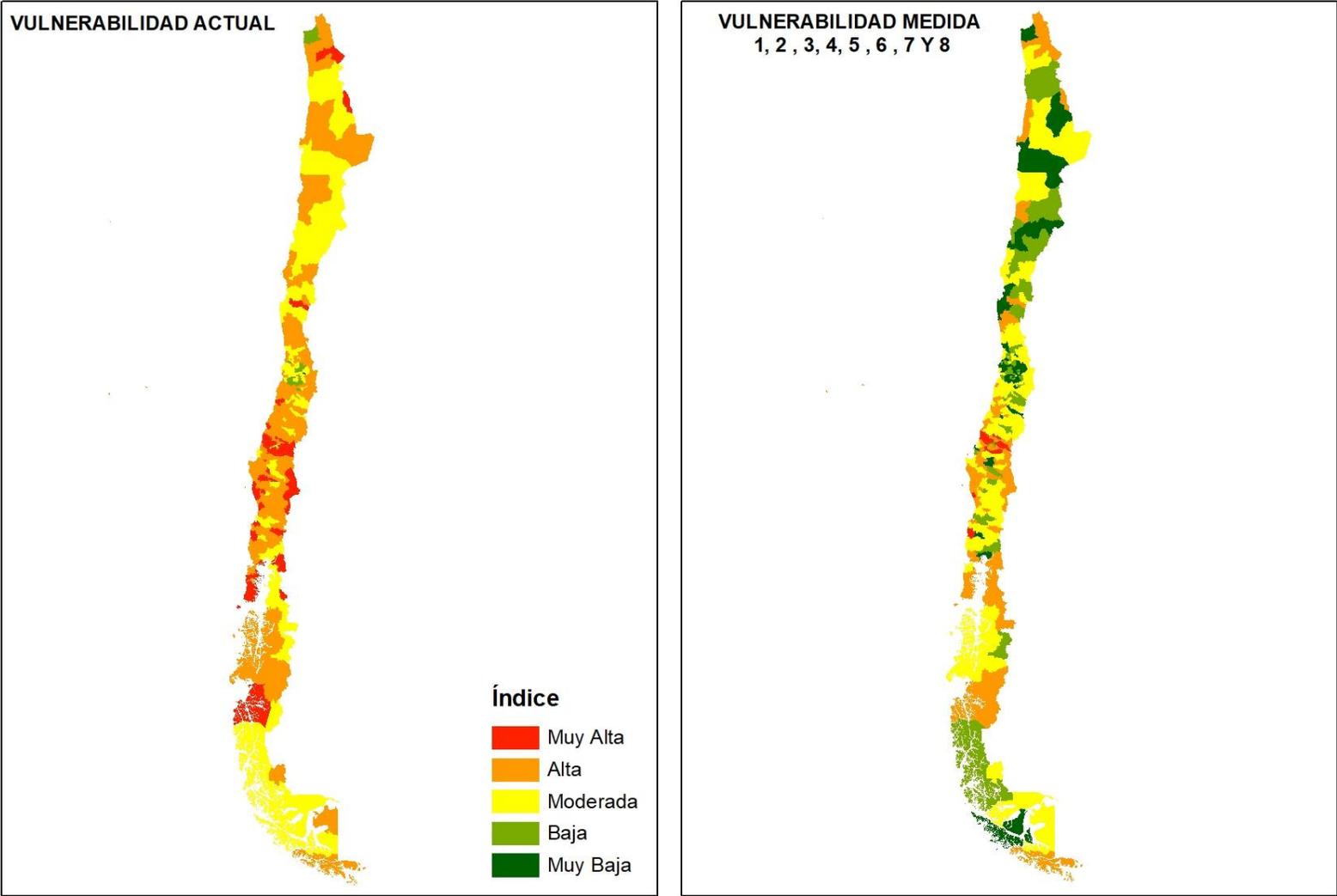


Figura 31. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3, 4 , 5 , 6 , 7 y 8

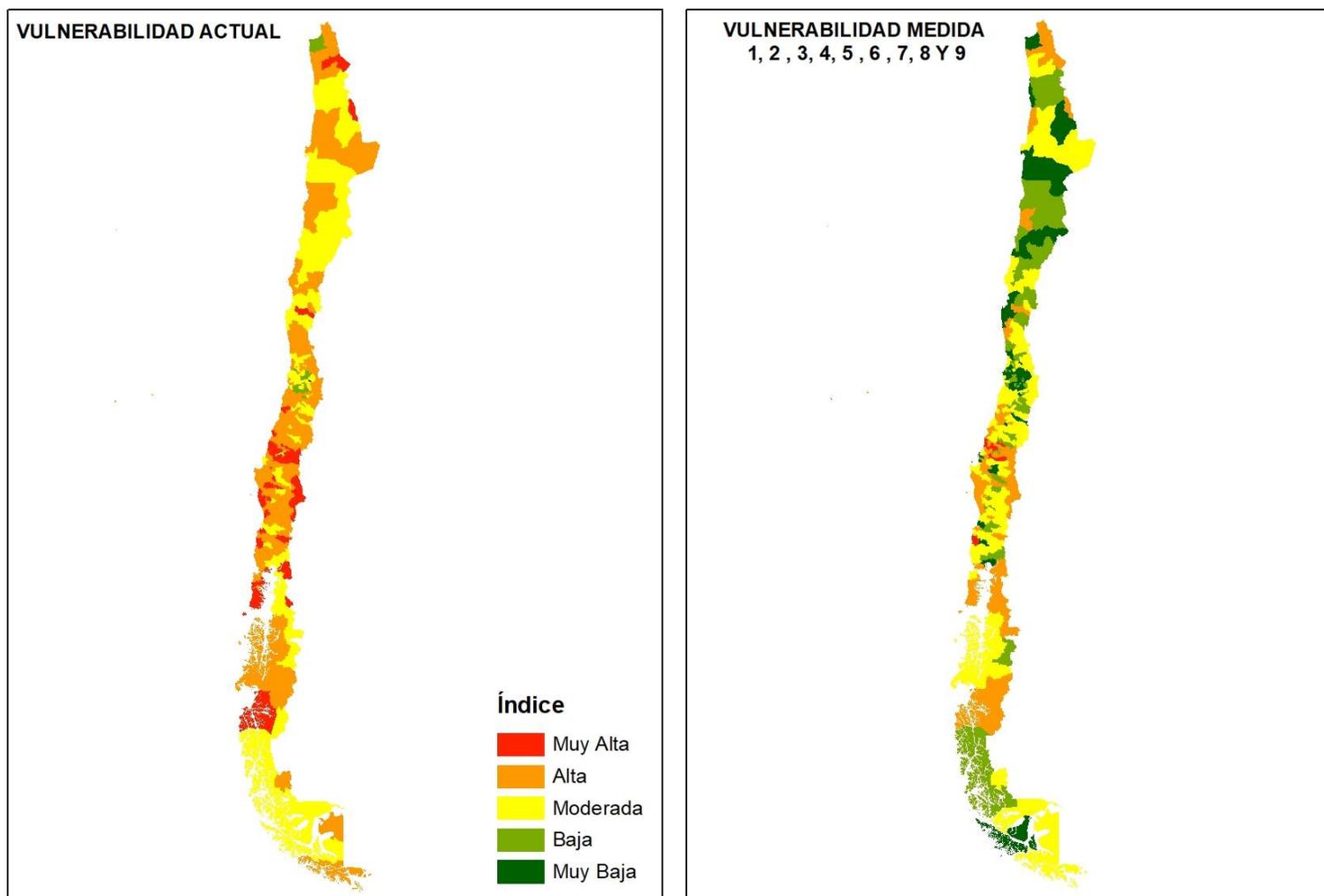
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Figura 32. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3, 4 , 5 , 6 , 7 , 8 y 9

INDICE DE VULNERABILIDAD

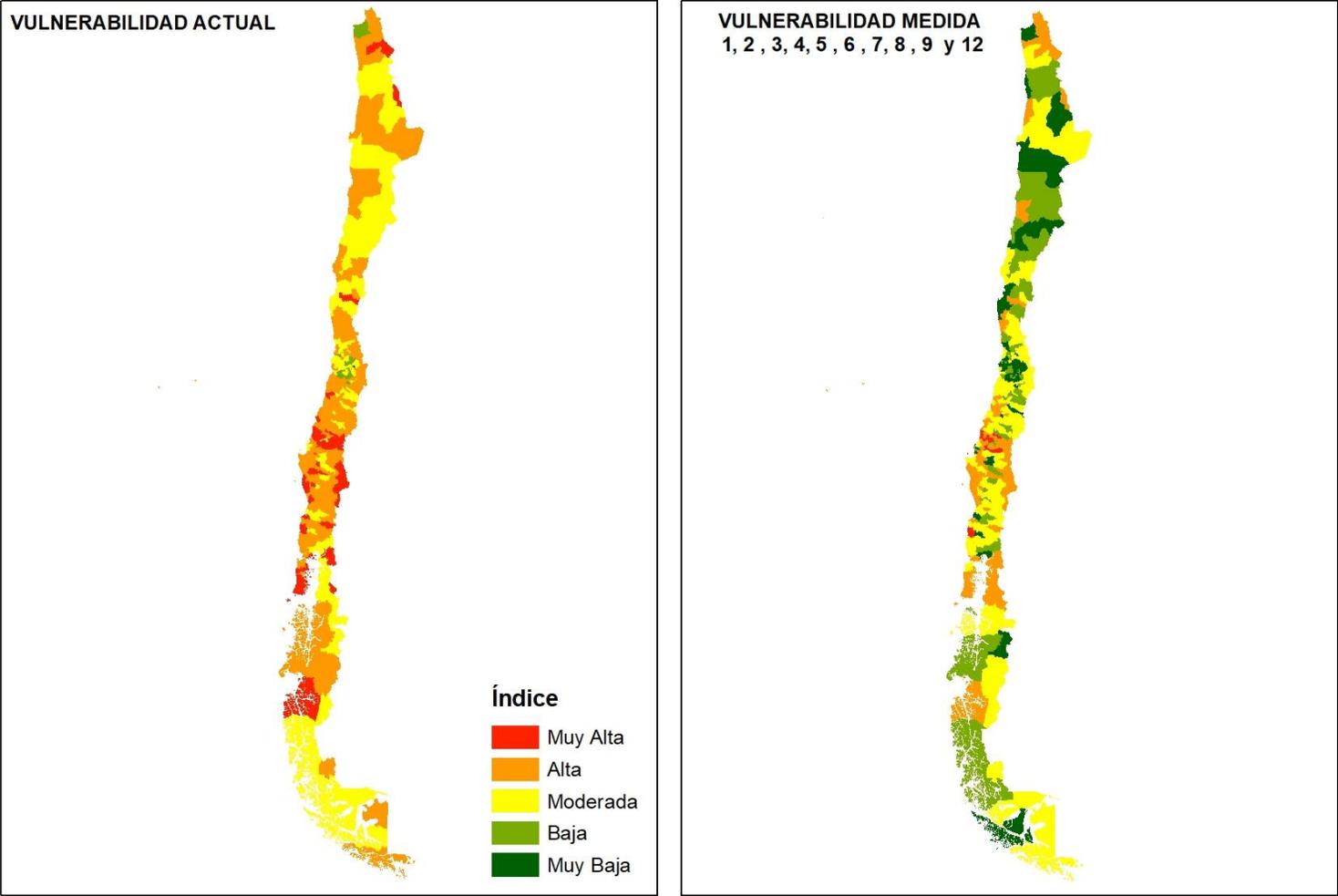


Figura 33. Derecha vulnerabilidad actual, mapa izquierda vulnerabilidad implementando medida 1,2 , 3, 4 , 5 , 6 , 7 , 8, 9 y 12

3. Resultados Cadenas de impacto: Tomate y Cebolla

Para el cálculo de las cadenas de impacto se usaron los siguientes criterios y datos:

Amenaza A (figura 28 para el tomate y 32 para la cebolla):

Representa el cambio de rendimiento entre la condición futura (2035 -2065) bajo un escenario RCP8 y el rendimiento en el presente (1980-2010). El detalle de la fuente de datos climáticos y metodología se puede consultar en el Atlas Agroclimático de Chile.

Para obtener los rendimientos en el presente y en el pasado se utilizó el Modelo SIMPROC con condiciones y requerimientos particulares para el tomate y la cebolla.

$$A\% = \frac{Rend_{futuro} - Rend_{presente}}{Rend_{presente}}$$

Tabla 13. Rangos utilizados para la amenaza (A)

AMENAZA	
A > 0.05	-1
A > -0.05	0
A > -0.1	1
A > -0.15	2
A > -0.25	3
A < -0.25	4

Exposición (figura 33):

Se utilizó la superficie agrícola, no solo la que corresponde al cultivo en particular, esto con el fin de incluir las zonas en que las condiciones climáticas del futuro pudieran permitir su desarrollo.

Vulnerabilidad (figura 34): Siguiendo la metodología explicada en los puntos anteriores

Riesgo (figura 38 para el tomate y figura 41 para la cebolla):

Relación entre la Amenaza porcentual, la Exposición y la Vulnerabilidad

Tabla 14. Rangos utilizados para el riesgo

RIESGO	CATEGORÍA
-1	Oportunidad
0	Sin Riesgo
1	Riego bajo
2	Riesgo Medio
3	Riesgo Alto
4	Riesgo Muy Alto

A continuación, se presentan las figuras de la cadena de impacto (CI) del tomate y la cebolla:

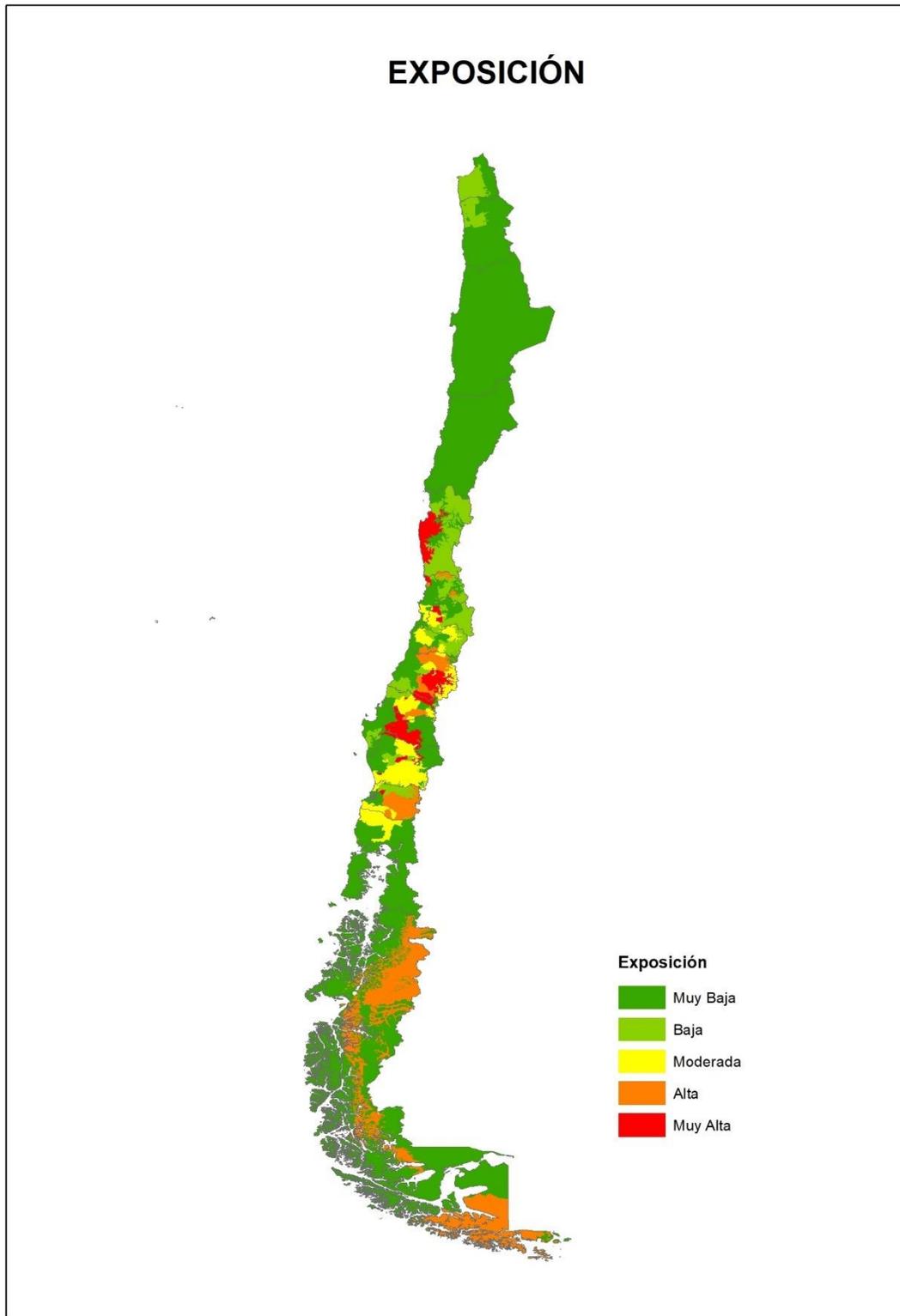


Figura 33. Exposición, definida como la superficie agrícola.

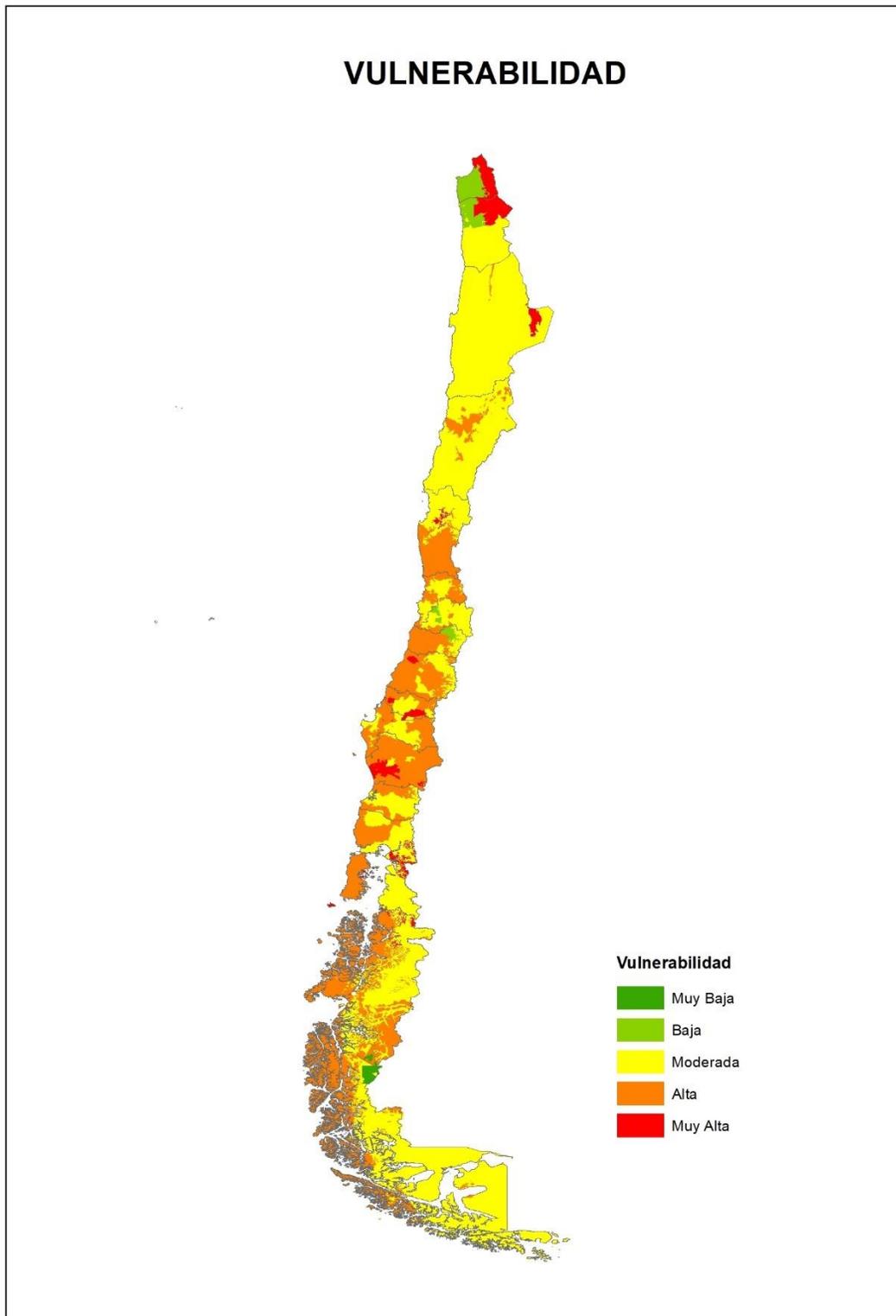


Figura 43. Vulnerabilidad de acuerdo a la metodología propuesta en este estudio.

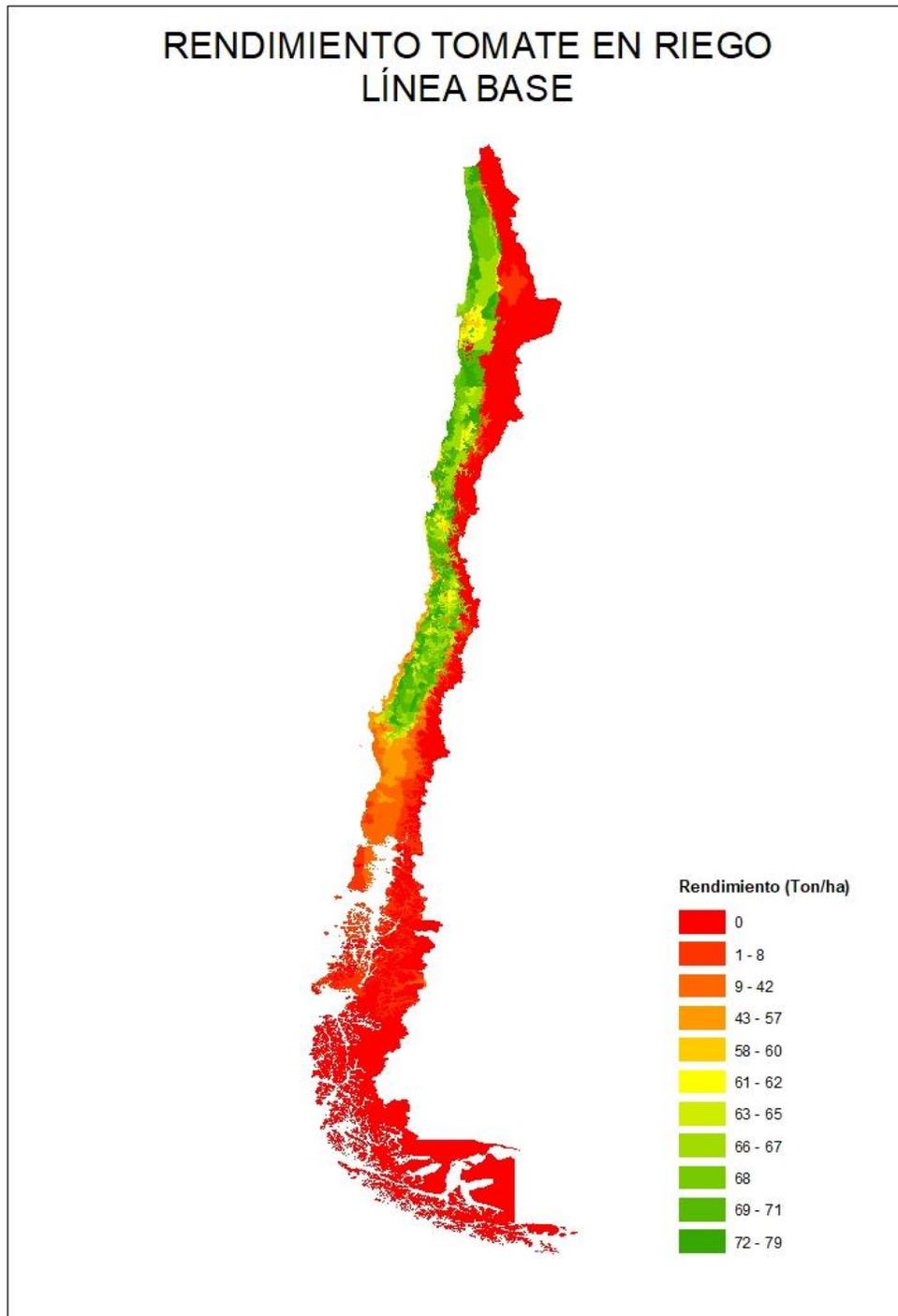


Figura 35. Rendimiento del tomate para la línea base (1980-2010).

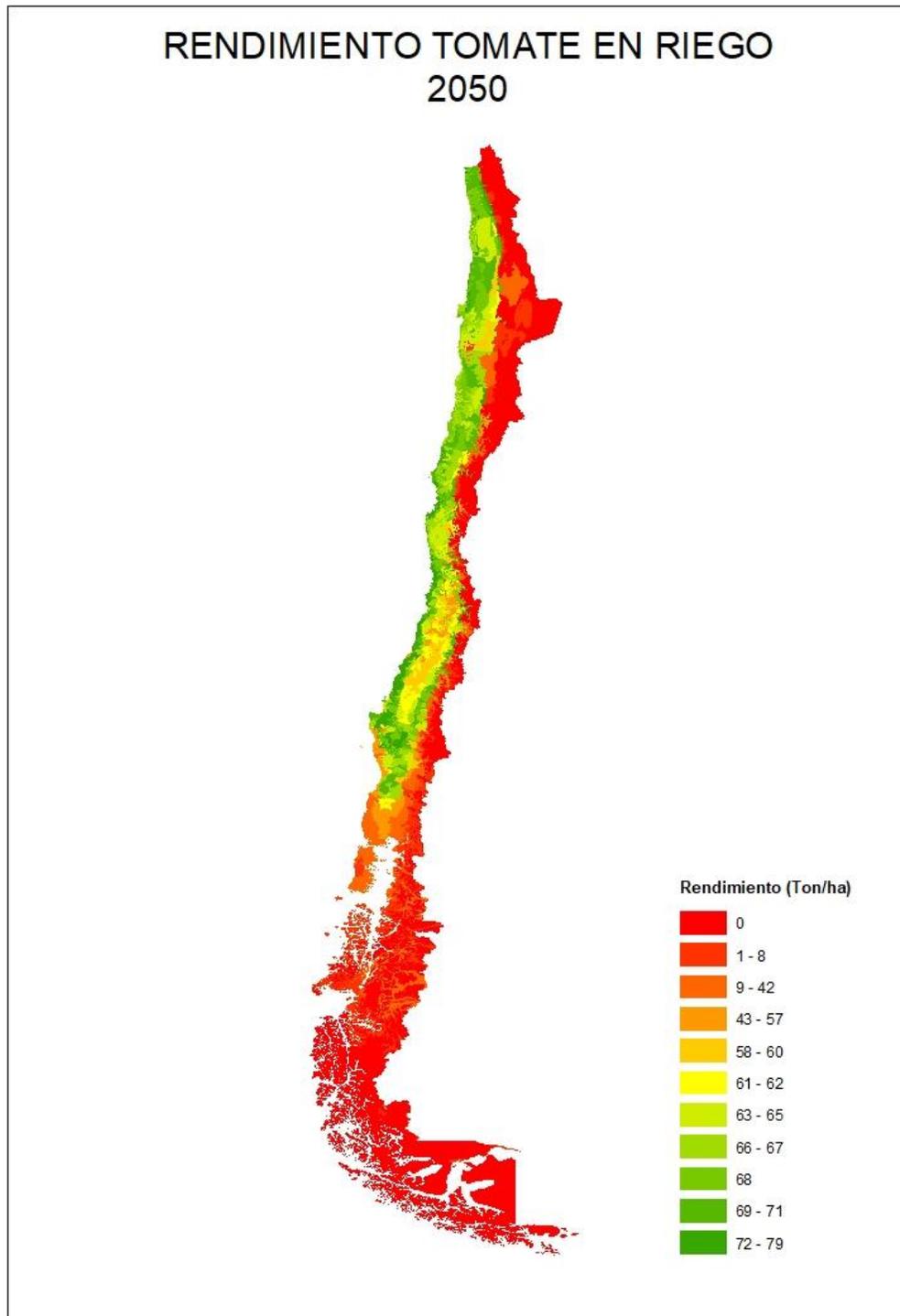


Figura 36. Rendimiento del tomate para la condición futura (2035 - 2065).

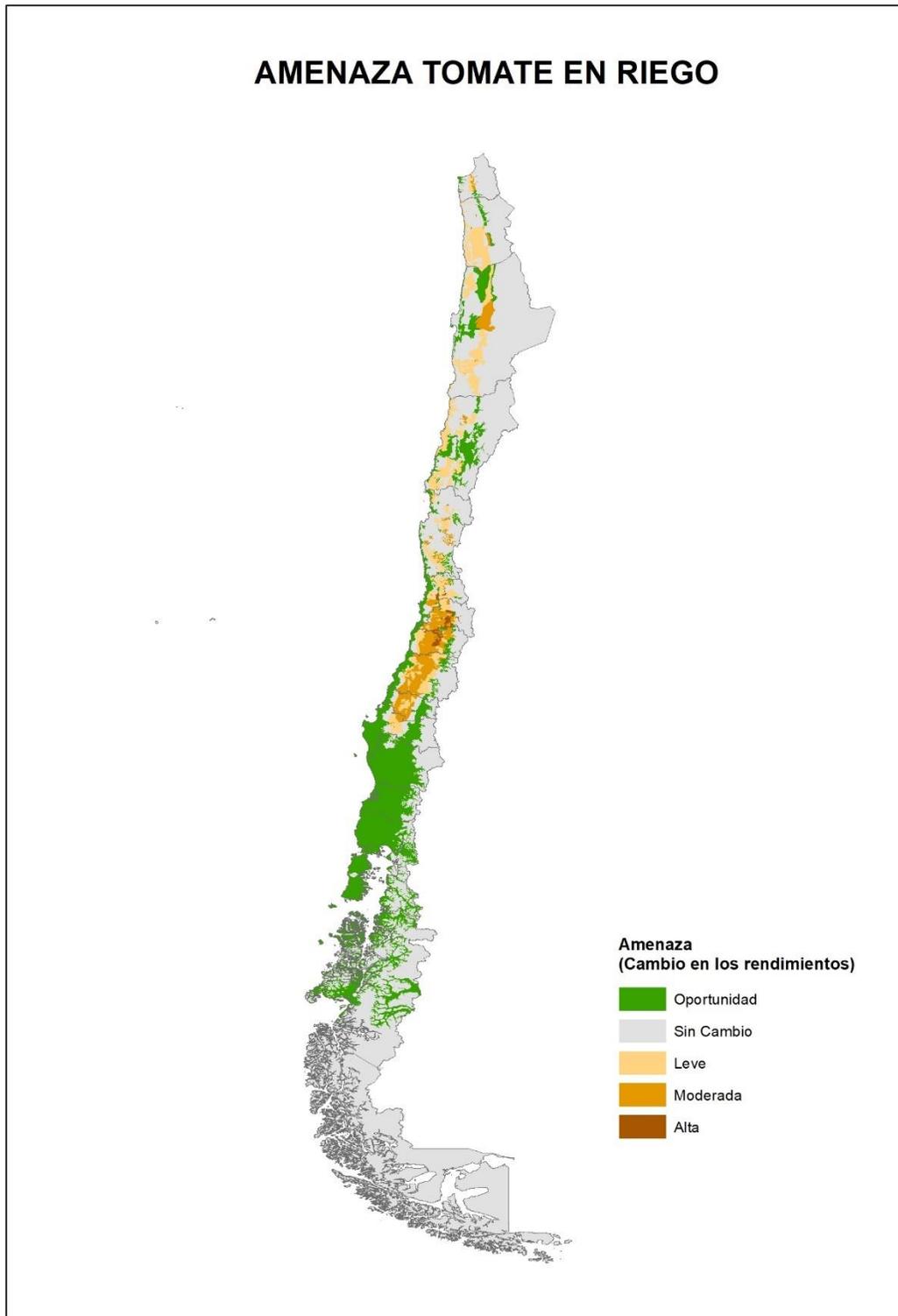


Figura 37. Amenaza: Cambio en el Rendimiento del tomate en riego.

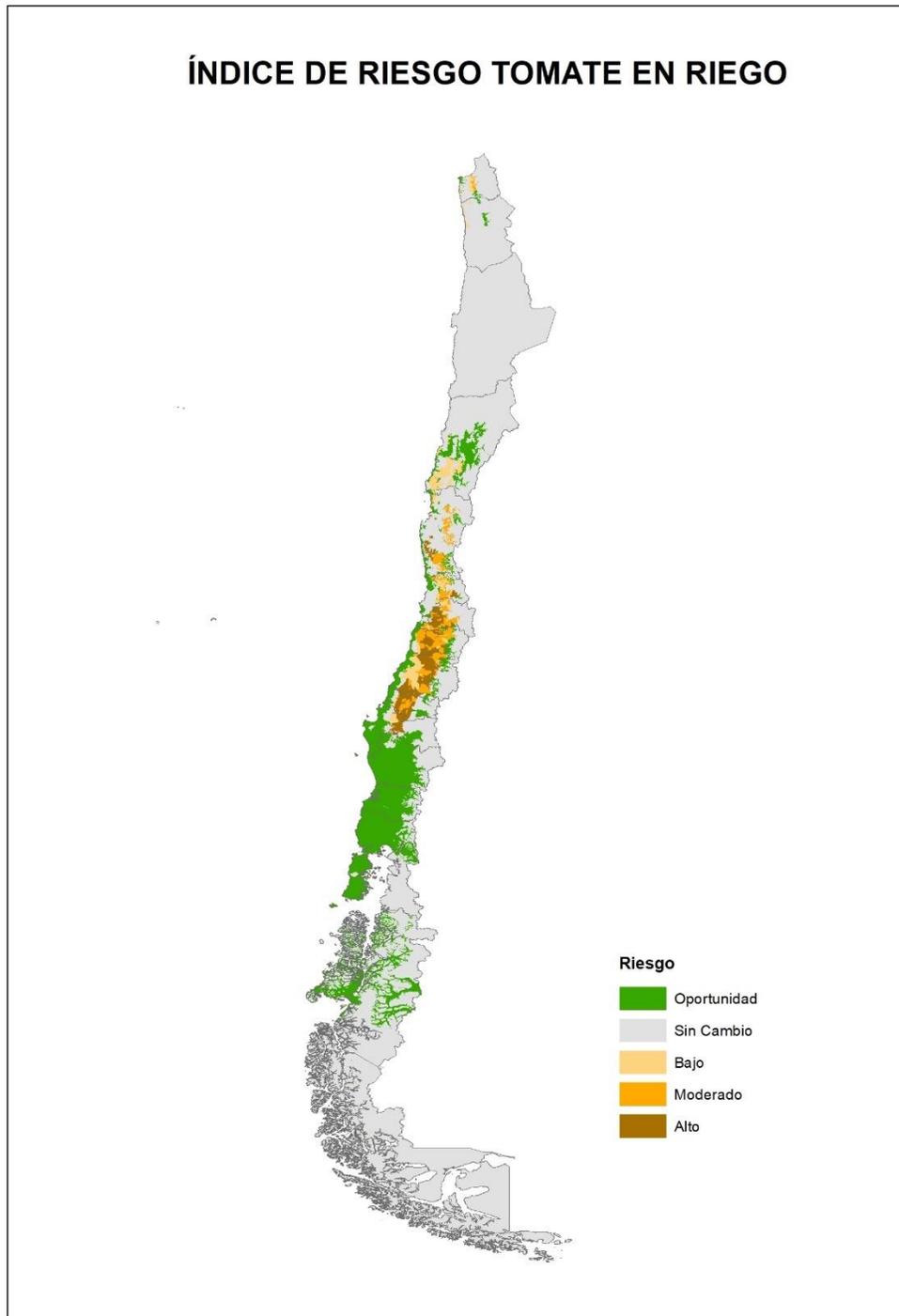


Figura 38. Riesgo del tomate en riego frente al cambio climático.

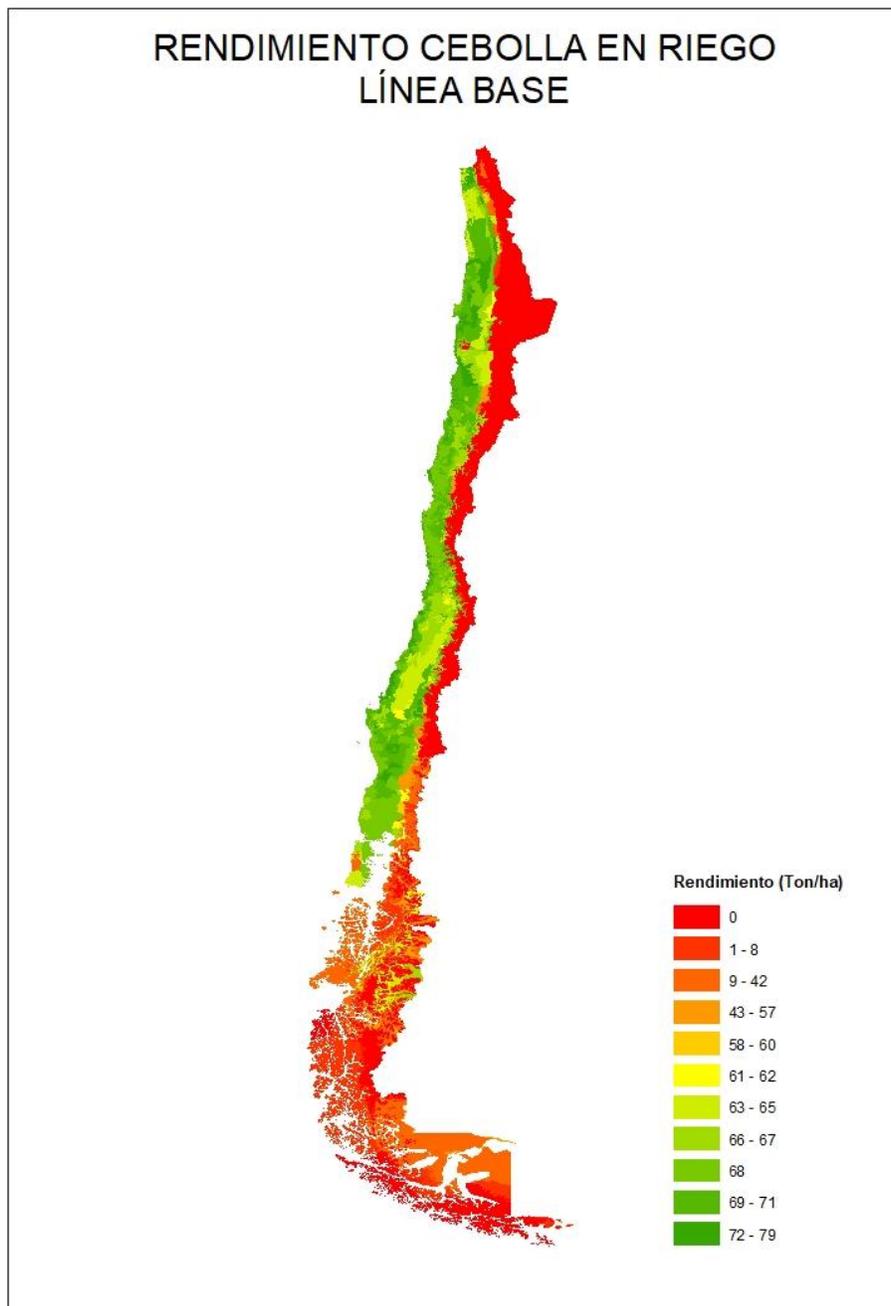


Figura 39. Rendimiento de la cebolla para la línea base (1980-2010).

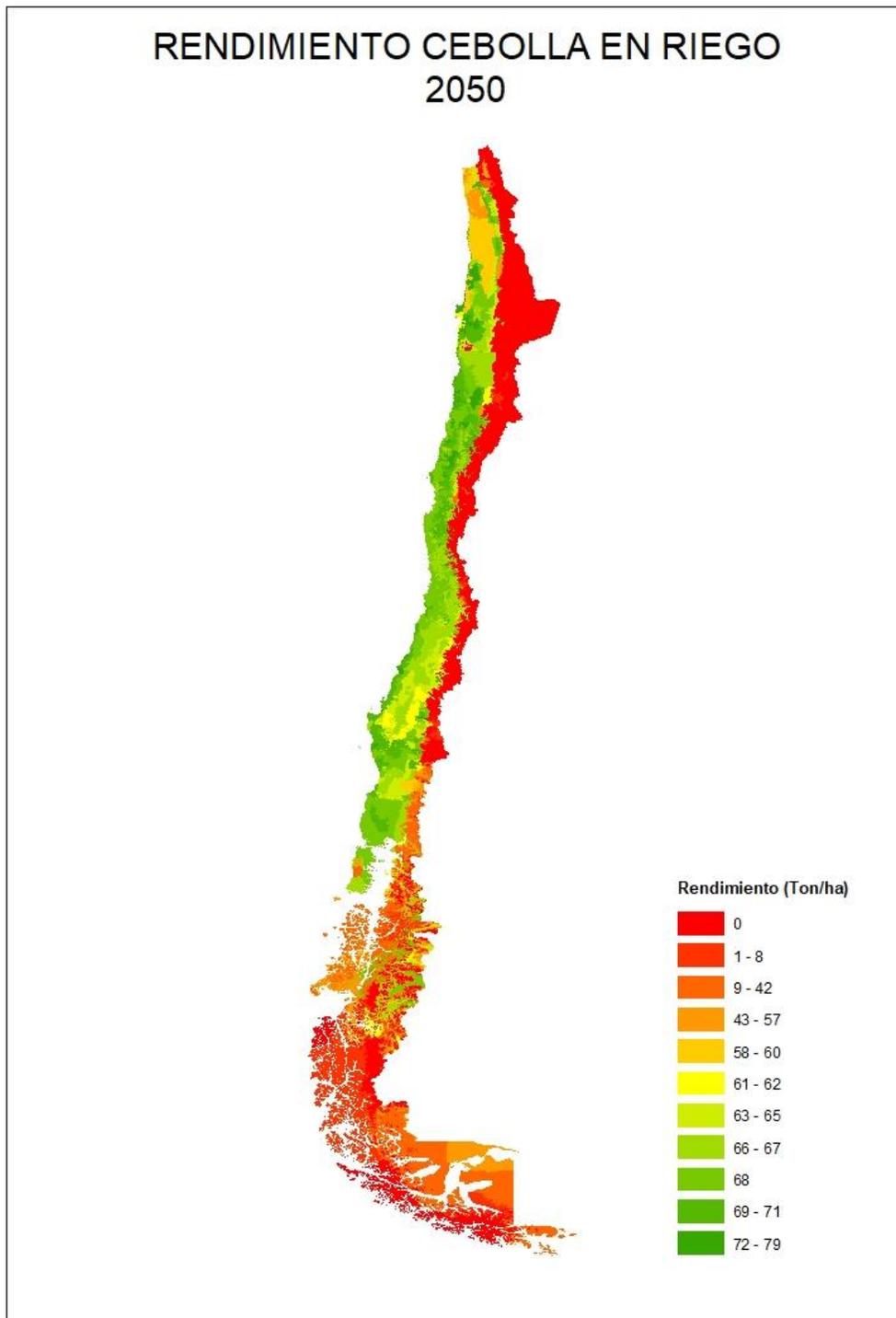


Figura 40. Rendimiento de la cebolla para la condición futura (2035 - 2065).

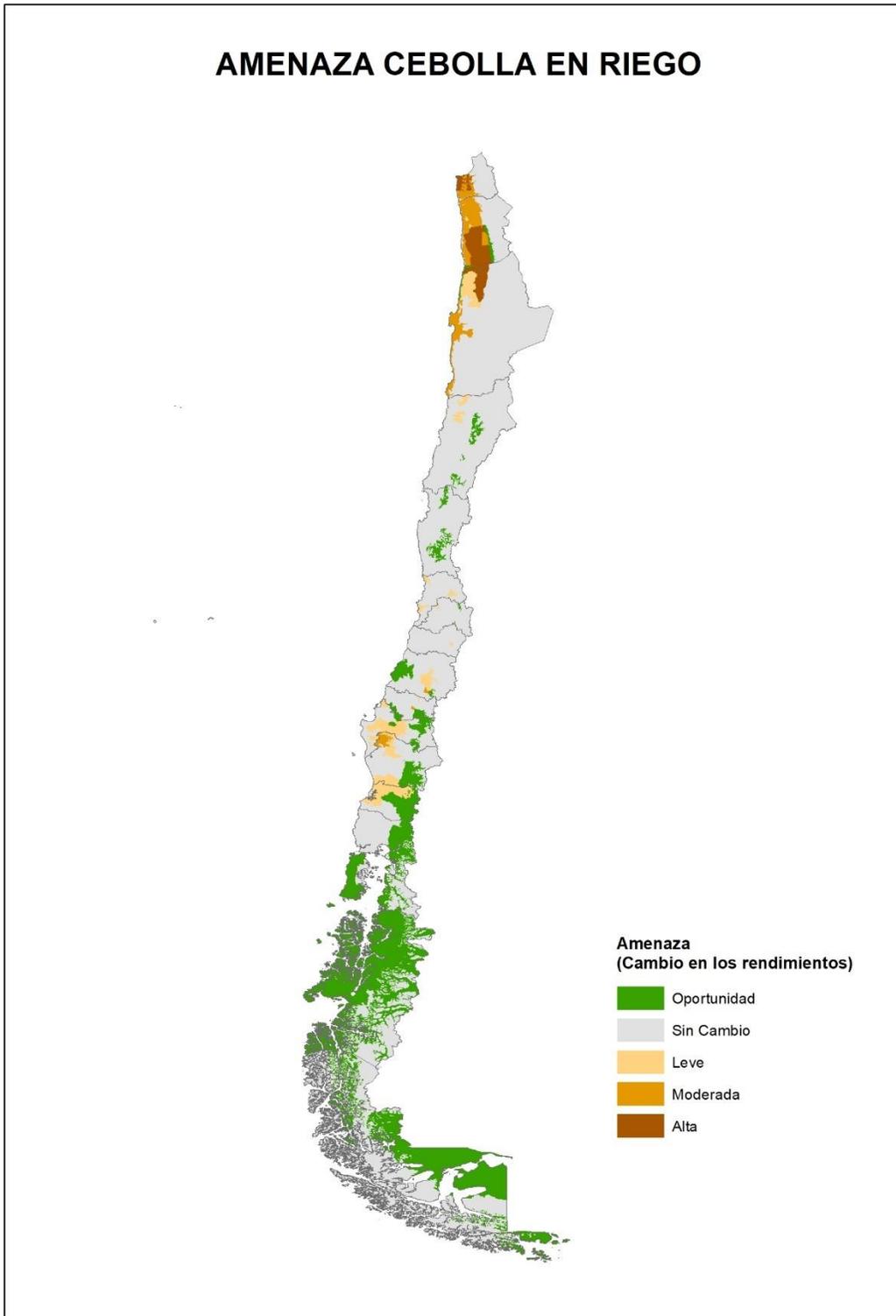


Figura 41. Amenaza: Cambio en el Rendimiento de la cebolla en riego.

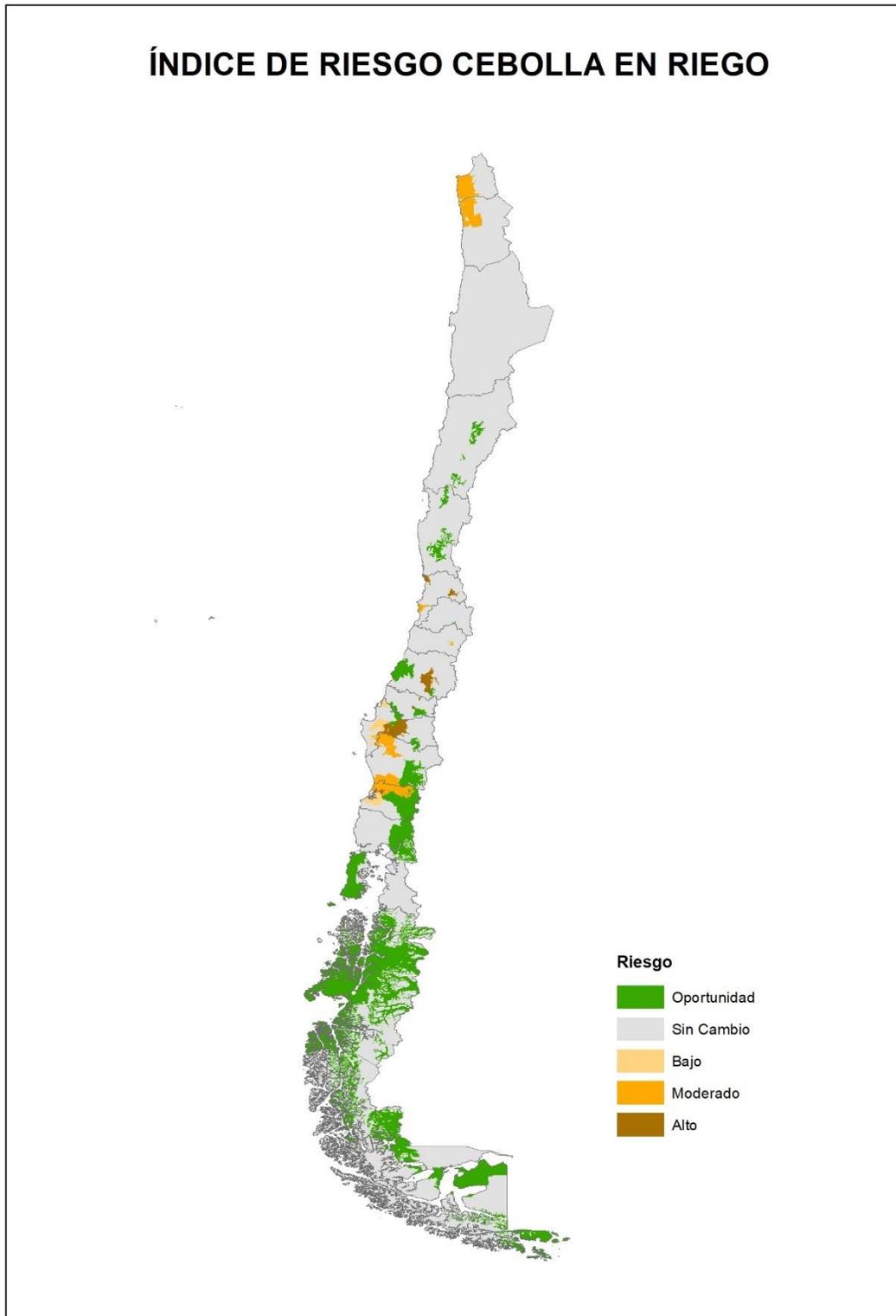


Figura 42. Riesgo de la cebolla en riego frente al cambio climático.

Se adjunta en formato shape los componentes de las cadenas de impacto para el tomate y la cebolla que son la base de las figuras que se presentan en este informe. Se esperan las observaciones para incluirlas en los resultados finales a presentar, según el instructivo para la preparación de datos de Cadenas de Impacto ARClím.

4. Comentarios finales

- El enfoque presentado en el quinto informe del IPCC para la evaluación de riesgos en el sector silvoagropecuario demuestra ser el más adecuado ya que está especialmente diseñado para generar resultados que faciliten la elaboración de estrategias adaptativas frente al cambio climático.
- La aplicación de los índices para determinar la vulnerabilidad, utilizados en Arclim, demuestra ser efectiva al reflejar la vulnerabilidad del sector silvoagropecuario en Chile. Sin embargo, se identifican áreas de mejora en algunos de estos índices debido a 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.
- 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.
- El tomate es un cultivo que requiere de un régimen térmico moderado para un adecuado desarrollo, particularmente en fases como la floración y la fructificación. Temperaturas elevadas pueden afectar negativamente la polinización, reduciendo la formación y desarrollo de frutos. Por otra parte, se requieren temperaturas nocturnas superiores a 10°C, dado que temperaturas inferiores a este punto pueden inducir un retardo en el crecimiento de la planta. En el escenario actual el mejor rendimiento se presenta en el norte y en zonas interiores en la zona central hasta la región del Biobío disminuyendo hacia las áreas más frescas en la costa y en precordillera. Al sur de la latitud 38º el clima se hace igualmente más fresco por lo que se reduce considerablemente el potencial productivo, cayendo rápidamente por debajo de las 50 Ton/ha hasta marginalizarse por completo el potencial productivo en la Región de Los Lagos. Hacia fines

mediados de siglo el potencial de producción se expandiría considerablemente hacia latitudes más altas con respecto a la situación actual, esto como consecuencia del aumento de las temperaturas que en la actualidad son limitantes para el cultivo en la zona sur. Por el contrario se aprecia un deterioro del orden del -10 a -25% en el potencial productivo en las regiones de la zona central hasta la latitud 38°S como consecuencia del aumento en los niveles de estrés térmico, especialmente durante el crecimiento de los frutos.

- La cebolla es un cultivo relativamente rústico frente a las condiciones climáticas. Por lo anterior el rango latitudinal de su cultivo es extenso. En el escenario climático actual, el potencial de rendimiento es bastante homogéneo hasta la Región del Bío-bío, presentando mejores condiciones en la costa y precordillera que en Valle Central, donde el rendimiento alcanza las 70 T/ha. Al sur del paralelo 41°S el potencial declina rápidamente debido a las bajas temperaturas de primavera, al exceso de humedad del suelo y a las lluvias de verano-otoño que se constituyen en factores negativos del rendimiento. El aumento de las temperaturas asociado hacia el escenario 2050 reducirá los rendimientos de esta especie en la zona norte y algunos núcleos cálidos en la zona centro sur. A pesar de esto, debido a la rusticidad de la cebolla junto con los ajustes en las fechas de siembra, las reducciones en los potenciales productivos no serían significativos en diversas zonas del país.

5. Referencias

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.

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.

Meza, F.; Morales, D.; González, D.; Duarte, K.; Jara, V. & Saldaña, P., 2020. Informe Proyecto ARClím: 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.

Pica-Téllez, A.; Garreaud, R.; Meza, F.; Bustos, S.; Falvey, M.; Ibarra, M.; Duarte, K.; Ormazábal, R.; Dittborn, R. & Silva, I.; 2020. Informe Proyecto ARClím: 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.

Tepual, 2022. Informe compilatorio sobre estimación de costos. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario Chile.