



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL TERRITORIO AGRÍCOLA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO

AFE para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de
Magíster en Gestión Territorial de Recursos Naturales

CONSTANZA ANTONIA CABALIERI MIHOVILOVIĆ

Directores de AFE
Dr. Manuel Paneque C.
Dra. Sofía Boza M.

Profesores consejeros
Dr. Luis Morales S.
Dr. Gerardo Ubilla B.

SANTIAGO – CHILE
2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD Y
RESILIENCIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL
TERRITORIO AGRÍCOLA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO**

AFE para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de
Magíster en Gestión Territorial de Recursos Naturales

CONSTANZA ANTONIA CABALIERI MIHOVILOVIĆ

	Calificaciones
DIRECTORES DE AFE	
Manuel Paneque Corrales Bioquímico, Dr.	7,0
Sofía Boza Martínez Ingeniera Comercial, Dra.	6,6
PROFESORES CONSEJEROS	
Luis Morales Salinas Profesor Física y Ciencias Naturales, Dr.	7,0
Gerardo Ubilla Bravo Geógrafo, Dr.	6,5

Santiago, Chile
2021

DEDICATORIA

“Dedicado a todos los que aún no han tenido nada y siempre han estado al margen... a todos los que están esperando... a todos los que siguen siendo soñadores... a todos los que están sumidos en un sueño muy profundo, más fuera que dentro de este mundo... a los que están abandonados, con un futuro indiferente, sin un pasado, sin un presente...”

Adaptado de Cassano y Cogliati, 1990

AGRADECIMIENTOS

A Dios y María por darme la protección, oportunidad y sabiduría de haber elegido el camino correcto.

A mis abuelos en el cielo: Milenko y Ermelinda; gracias por su crianza, valores, el cariño a la música y por el amor incondicional desde las alturas.

A mis padres: Estenka y Cristian, por haber confiado y creído en mí, pero por, sobre todo, por su infinito amor, paciencia y constancia en mi desarrollo personal y profesional. No pude haber tenido mejores papás que ustedes.

A mis abuelos Héctor y Adrianette, quienes han sabido suplir la falta de mis otros dos ángeles: Gracias por tanto cariño, apoyo y muestra de superación.

A mi hermano Martín, por ser ejemplo de resiliencia y fortaleza, por su entrega y amor a nuestra hermandad.

A mi ahijada nacida desde una estrella: Ema Paz, gracias por regalarme un pedacito del cielo.

A mi extensa y amada familia, que han sabido abrazarme con el calor del amor y la fraternidad. Especialmente a Claudia, Ma. Alejandra, Loreto, Tía María y Tíos Andrés, Héctor y Milenko, quienes han sido parte importante de mi formación personal. Gracias públicas Ale, por tu orientación en mi carrera profesional, estar aquí, en parte, te lo debo a ti.

A mis bellos sobrinos: Diego, Ma. Jesús, Cris, Ema, Elena y Matías, por ser los seres más bellos y nobles que he conocido. También a mis bellos primos: Anuxa, Branka, Dusan, Catalina, Luciano, Mila y Milenko, por su apoyo incondicional.

A mi Batú, Maqui y Castañita, los seres de 4 patas más bellos, nobles y alegres del mundo.

A mis amigos de la infancia, por haberme dado la compañía y el ánimo para continuar.

A mi querida universidad, por haberme regalado a los mejores amigos que abrigan el corazón: Angie, Luz, Andrea, Dani, Juan Manuel y Bruno. Gracias por haber compartido los mejores años universitarios, especialmente a Angie por su amistad, compañía y paciencia infinita, a Luz por compartir conmigo sus conocimientos, siempre buena disposición y amistad y a Andrea por su ayuda y risas en este proceso.

A Juan Manuel: excelente profesor, pero mejor persona y amigo. Gracias por tu compañía desde el comienzo, por haberme impulsado a mirar de otra forma la agronomía, por nuestras largas conversaciones, por los chistes, por tu confianza y por tu cariño constante.

A mis profesores guías Manuel y Sofía, por su orientación, paciencia y el regalo de compartir sus conocimientos en la orientación de mi investigación. También, al equipo de Bionostra, especialmente a Daniela y Jorge por su ayuda constante en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
Efectos del cambio climático en la agricultura	3
Vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático de los territorios agrícolas.....	4
Resiliencia ante los impactos del cambio climático en los territorios agrícolas	6
Territorios agrícolas	9
Actividad agrícola en la Región del Biobío	9
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Área de estudio.....	12
Caracterizar el rubro y el territorio agrícola de la Región del Biobío.....	12
Indicadores para determinar la vulnerabilidad y resiliencia del rubro agrícola al cambio climático.....	14
Indicadores para los componentes de Exposición y Multifuncionalidad del territorio agrícola.....	15
Superficie cultivada.....	15
Zona de riego.....	16
Condición de urbanidad	16
Indicadores para los componentes de Sensibilidad y Multifuncionalidad del territorio agrícola.....	17
Diversidad cultivada.....	17
Rotación de cultivos.....	18
Sensibilidad de aptitud térmica	18
Sensibilidad de aptitud hídrica	20
Sensibilidad del período de heladas	21
Sensibilidad de rendimiento.....	21
Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea	22
Proporción de superficie no erosionada	23
Participación en agroturismo	23
Indicadores para los componentes de Capacidad de adaptación e Interacción dinámica entre los actores del territorio.....	24
Redes de apoyo estatales.....	24
Redes de venta.....	24

Dinamismo de relaciones del territorio	25
Indicadores para los componentes de Capacidad de adaptación y Capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola	25
Implementación de riego tecnificado	25
Existencia de infraestructura para riego	26
Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidades ante el cambio climático	26
Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP	27
Evaluación del estado del territorio agrícola mediante los índices de vulnerabilidad y resiliencia	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Caracterización del rubro y territorio agrícola de la Región del Biobío	30
Componentes Exposición y Multifuncionalidad del territorio agrícola	33
Superficie cultivada.....	33
Zona de riego.....	36
Condición de urbanidad	38
Componente Exposición	40
Componentes Sensibilidad y Multifuncionalidad del territorio agrícola	42
Diversidad cultivada.....	42
Rotación de cultivos.....	44
Sensibilidad de Aptitud Térmica.....	46
Sensibilidad de Aptitud Hídrica	50
Sensibilidad del Período de Heladas	54
Sensibilidad de rendimiento.....	56
Estados de cuerpos de agua superficial y subterránea	61
Proporción de superficie no erosionada	63
Participación en agroturismo	65
Componente Sensibilidad	67
Componente Multifuncionalidad del territorio agrícola	70
Componentes Capacidad de adaptación e Interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola.....	73
Redes de apoyo estatales	73
Redes de venta.....	75
Dinamismo de relaciones del territorio	78
Componente interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola	80

Componentes Capacidad de adaptación y Capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola.....	83
Implementación de riego tecnificado	83
Existencia de infraestructura para riego	85
Pertenenencia a la Red Chilena de Municipalidades ante el cambio climático	87
Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP	89
Componente capacidad de adaptación	91
Componente capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola	93
Evaluación del estado del territorio agrícola mediante los índices de vulnerabilidad y resiliencia	95
Índice de vulnerabilidad del territorio agrícola.....	95
Índice de resiliencia del territorio agrícola.....	99
RECOMENDACIONES GENERALES.....	104
CONCLUSIONES	106
LITERATURA CITADA.....	108
ANEXOS	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios de asignación cualitativa para categorías de la caracterización del rubro agrícola de la Región del Biobío	13
Cuadro 2. Categorías de evaluación del indicador de “Superficie cultivada” en relación con la participación de los cultivos priorizados (IDEAM, 2010; García-Hidalgo, 2017).	16
Cuadro 3. Categorías de evaluación del indicador de “Zona de riego” (IDEAM, 2010; García-Hidalgo, 2017).....	16
Cuadro 4. Categorías de evaluación del indicador de “Condición de urbanidad” (Adaptado de Santibáñez <i>et al.</i> , 2008).	17
Cuadro 5. Categorías de evaluación del indicador de “Diversidad cultivada” basado en el Índice de equidad de Pielou (Moreno, 2001; Iermanó <i>et al.</i> , 2015).....	18
Cuadro 6. Categorías de evaluación para indicador “Rotación de cultivos” en pequeños agricultores de las comunas de la Región del Biobío (Iermanó <i>et al.</i> , 2015).	18
Cuadro 7. Categorías de restricción de los cultivos para la acumulación de DG y HF en las comunas de la Región del Biobío.	19
Cuadro 8. Categorías de evaluación para los indicadores de “Sensibilidad de aptitud térmica”; “Sensibilidad de aptitud hídrica”; “Sensibilidad el período de helada” y “Sensibilidad de rendimiento” de las comunas de la Región del Biobío.	20
Cuadro 9. Categorías de restricción de los cultivos para la acumulación de DG y HF en las comunas de la Región del Biobío.	21
Cuadro 10. Categorías de evaluación para indicador “Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea” de las comunas de la Región del Biobío (Henao, 2013; Torrico-Albino <i>et al.</i> , 2017).	22
Cuadro 11. Categorías de evaluación para indicador “Superficie no erosionada” de las comunas de la Región del Biobío.....	23
Cuadro 12. Categorías de evaluación para indicador de “Índice de agroturismo” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Sánchez, 2013).	24
Cuadro 13. Categorías de evaluación para indicador “Redes de apoyo estatales” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba <i>et al.</i> , 2015; Peredo <i>et al.</i> , 2016).....	24
Cuadro 14. Categorías de evaluación para indicador de “Redes de ventas” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).	25
Cuadro 15. Categorías de evaluación para indicador de “Dinamismo de relaciones del territorio” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba <i>et al.</i> , 2015).	25
Cuadro 16. Categorías de evaluación para indicador de “Implementación de riego tecnificado” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Santibáñez <i>et al.</i> , 2008).....	26

Cuadro 17. Categorías de evaluación para indicador de “Redes de ventas” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).	26
Cuadro 18. Categorías de evaluación para indicador de “Existencia de infraestructura para riego” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba <i>et al.</i> , 2015).	26
Cuadro 19. Categorías de evaluación para indicador de “Pertenenencia a la Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático” de las comunas de la Región del Biobío de las comunas de la Región del Biobío (Aro, 2020).	27
Cuadro 20. Categorías de evaluación para indicador de “Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP” de los territorios agrícolas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).	27
Cuadro 21. Nivel de vulnerabilidad territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío (adaptado de Monterroso <i>et al.</i> , 2012).	28
Cuadro 22. Niveles de resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío (Adaptado de Torrico-Alvino <i>et al.</i> , 2017)	29
Cuadro 23. Parámetros de participación del rubro agrícola de la Región del Biobío a nivel nacional para el año 2019.	32
Cuadro 24. Indicador de “Superficie cultivada” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	34
Cuadro 25. Indicador de “Zona de riego” para el territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	36
Cuadro 26. Indicador de “Índice de urbanidad” de las comunas de la Región del Biobío.	38
Cuadro 27. Indicador de “Diversidad cultivada” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	43
Cuadro 28. Indicador de “Rotación de cultivos” para el territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	45
Cuadro 29. Variación promedio del de los días grados (DG) y horas frío (HF) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Aptitud Térmica”.	47
Cuadro 30. Variación promedio del requerimiento hídrico (RH) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Aptitud Hídrica”.	51
Cuadro 31. Variación promedio del período de helada (PH) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Período de Helada”.	54
Cuadro 32. Disminución de rendimiento (%) de especies priorizadas entre el escenario actual y proyectado e indicador de sensibilidad de rendimiento.	58
Cuadro 33. Indicador de “Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea” de las comunas de la Región del Biobío.	61
Cuadro 34. Indicador de “Proporción de superficie no erosionada” de las comunas de la Región del Biobío.	64

Cuadro 35. Indicador de “Índice de agroturismo” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.....	66
Cuadro 36. Indicador de “Redes de apoyo estatales” de las comunas de la Región del Biobío.....	73
Cuadro 37. Indicador de “Redes de venta” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	76
Cuadro 38. Indicador de “Dinamismo de relaciones del territorio” de las comunas de la Región del Biobío.	78
Cuadro 39. Indicador de “Implementación de riego tecnificado” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.....	83
Cuadro 40. Indicador de “Existencia de infraestructura para riego” de las comunas de la Región del Biobío.	85
Cuadro 41. Indicador de “Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad” de las comunas de la Región del Biobío (Aro, 2020).....	87
Cuadro 42. Indicador de “Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.	90
Cuadro 43. Valor final de los componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa y vulnerabilidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.....	98
Cuadro 44. Valor final de los componentes: multifuncionalidad del territorio agrícola, interacciones dinámicas de los actores del territorio, capacidad de gestión y respuesta y resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región del Biobío.....	12
Figura 2. Clasificación de indicadores para los índices de vulnerabilidad y resiliencia	15
Figura 3. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición en los territorios agrícolas de la Región del Biobío.	42
Figura 4. Nivel de vulnerabilidad del componente sensibilidad de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.	69
Figura 5. Nivel de resiliencia del componente multifuncionalidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	72
Figura 6. Nivel de resiliencia del componente interacciones dinámicas entre de los actores del territorio de las comunas de la Región del Biobío.	82
Figura 7. Nivel de vulnerabilidad del componente capacidad de adaptación de los territorios agrícolas de la Región del Biobío.....	93
Figura 8. Nivel de resiliencia del componente interacciones dinámicas entre los actores	94
Figura 9. Nivel del índice vulnerabilidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	99
Figura 10. Nivel del índice de resiliencia de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.	103

ANEXOS

Anexo I. Principales especies cultivadas en la Región del Biobío	137
Anexo II. Temperaturas umbrales de cultivos priorizados	138
Anexo III. Parámetros de requerimiento y restricción de acumulación de días grados (DG) de cultivos priorizados.	139
Anexo IV. Parámetros de requerimiento y restricción de acumulación de horas frío (HF) de frutales priorizados.....	140
Anexo V. Coeficiente de cultivo (Kc) de especies priorizadas.....	141
Anexo VI. Factor de respuesta de rendimiento (Ky) de cultivos priorizados.....	142
Anexo VII. Rendimientos por comunas de especies priorizadas y rendimiento regional (potencial)	143
Anexo VIII. Características de los suelos de las comunas de la Región del Biobío.....	145
Anexo IX. Profundidad de raíces de cultivos priorizados (Zr).	146
Anexo X. Superficie cultivada en Chile por sector agrícola temporada 2019.	147
Anexo XI. Número de frutales, cultivos anuales y hortalizas cultivadas en Chile	148
Anexo XII. Distribución de la superficie regada por tipos de riego a nivel nacional y regional.....	149
Anexo XIII. Distribución de plantas agroindustriales a nivel nacional.	150
Anexo XIV. Exportaciones sector silvoagropecuario por rubro a nivel nacional.....	151
Anexo XV. Presencia de profesionales y técnicos INDAP a nivel nacional.	152
Anexo XVI. Umbrales y efectos del estrés térmicos en cultivos priorizados.	153
Anexo XVII. Efectos del déficit hídrico en cultivos priorizados.....	154
Anexo XVIII. Efectos de las heladas en cultivos priorizados.....	155

APÉNDICES

Apéndice I. Agotamiento de humedad en la zona radicular (Dr) por cultivo y comuna de la Región del Biobío	156
Apéndice II. Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico de los cultivos priorizados por comuna en el período actual.	158
Apéndice III. Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico de los cultivos priorizados por comuna en el período proyectado (2046-2065).	160
Apéndice IV. Cartografía del indicador de superficie cultivada.	162
Apéndice V. Cartografía del indicador zona de riego.	163
Apéndice VI. Cartografía del indicador de condición de urbanidad.	164
Apéndice VII. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición en los territorios agrícolas de la Región del Biobío.	165
Apéndice VIII. Cartografía del indicador de diversidad cultivada.	166
Apéndice IX. Cartografía del indicador rotación de cultivos.	167
Apéndice X. Cartografía del indicador de sensibilidad de aptitud térmica.	168
Apéndice XI. Acumulación de días grados (DG) actual para los cultivos priorizados en cada comuna de la Región del Biobío.	169
Apéndice XII. Restricción de DG para el período actual y proyectado (2046-2065) de los cultivos priorizados.	171
Apéndice XIII. Acumulación de días grados (DG) proyectada para los cultivos priorizados en cada comuna de la Región del Biobío.	179
Apéndice XIV. Variación de la temperatura media entre el período actual y el proyectado (2046-2065).	181
Apéndice XV. Requerimiento de HF de los cultivos priorizados por comuna en el período actual y proyectado (2046-2065).	182
Apéndice XVI. Acumulación de HF por comuna en el período actual y proyectado (2046-2065).	185
Apéndice XVII. Cartografía del indicador de sensibilidad de aptitud hídrica.	186
Apéndice XVIII. Requerimiento Hídrico (RH) actual del ciclo de los cultivos priorizados para cada comuna de la Región del Biobío.	187
Apéndice XIX. Precipitaciones acumuladas actuales para cada ciclo de los cultivos priorizados por comuna.	189
Apéndice XX. Evapotranspiración de cultivo (ETc) actual para el ciclo de cada especie priorizada por comuna.	191

Apéndice XXI. Variación de precipitaciones acumuladas entre el período actual y el proyectado (2046-2065).....	193
Apéndice XXII. Evapotranspiración de cultivo (ETc) proyectada para el ciclo de cada especie priorizada por comuna.....	194
Apéndice XXIII. Requerimiento hídrico (RH) actual y proyectado (2046-2065) de los cultivos priorizados en función a los requerimiento de ETc y los aportes de precipitación	196
Apéndice XXIV. Precipitaciones acumuladas proyectadas para cada ciclo de los cultivos priorizados por comuna.....	204
Apéndice XXV. Requerimiento Hídrico (RH) proyectado del ciclo de los cultivos priorizados para cada comuna de la Región del Biobío.....	206
Apéndice XXVI. Cartografía del indicador sensibilidad del período de helada.....	208
Apéndice XXVII. Cartografía del indicador sensibilidad de rendimiento.....	209
Apéndice XXVIII. Disminución de rendimiento (%) entre el período actual y proyectado y promedio de descenso regional de los cultivos priorizados.....	210
Apéndice XXIX. Cartografía del indicador de estados de cuerpo de agua superficial y subterránea.	212
Apéndice XXX. Cartografía del indicador de superficie no erosionada.....	213
Apéndice XXXI. Cartografía del indicador de participación en agroturismo.	214
Apéndice XXXII. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición para los territorios agrícolas de la Región del Biobío	215
Apéndice XXXIII. Nivel de resiliencia para el componente multifuncionalidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.	217
Apéndice XXXIV. Cartografía del indicador de redes de apoyo estatales.	219
Apéndice XXXV. Cartografía del indicador de redes de venta.	220
Apéndice XXXVI. Cartografía del indicador de dinamismo de relaciones en el territorio.	221
Apéndice XXXVII. Nivel de resiliencia para el componente de interacciones dinámicas entre los actores del territorio para las comunas de la Región del Biobío	222
Apéndice XXXVIII. Cartografía del indicador de implementación de riego tecnificado.	223
Apéndice XXXIX. Cartografía del indicador de infraestructura de riego.	224
Apéndice XL. Cartografía del indicador de pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad ante el Cambio Climático.....	225
Apéndice XLI. Cartografía del indicador de Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP.	226
Apéndice XLII. Nivel de vulnerabilidad del componente capacidad de adaptación para los territorios agrícolas de la Región del Biobío.....	227
Apéndice XLIII. Nivel de resiliencia para el componente capacidad de gestión y respuesta del territorio de las comunas de la Región del Biobío.	228

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AF	: Agricultura familiar
AFC	: Agricultura familiar consolidada
AFS	: Agricultura familiar de subsistencia
AFT	: Agricultura familia de transición
CIREN	: Centro de Información de Recursos Naturales
CORECC	: Comité Regional de Cambio Climático
CNR	: Comisión Nacional de Riego
DG	: Días-Grado
DGA	: Dirección General de Aguas
ET_o	: Evapotranspiración de referencia
ET_c	: Evapotranspiración de cultivo
EUA	: Eficiencia del Uso del Agua
HF	: Horas de frío anuales
INDAP	: Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	: Instituto Nacional de Estadística
K_c	: Coeficiente de cultivo
K_y	: Factor de respuesta del rendimiento
IPCC	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
INIA	: Instituto de Investigaciones Agropecuarias
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura
MMA	: Ministerio del Medio Ambiente
ODEPA	: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
ONG	: Organización No Gubernamental
PDTI	: Programa de Desarrollo Territorial Indígena
PIB	: Producto Interno Bruto
PRODESAL	: Programa de Desarrollo Local
REDMUNICC	: Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático

RH : Requerimiento hídrico
SAG : Servicio Agrícola y Ganadero
T° : Temperatura
Tu : Temperatura umbral

RESUMEN

El cambio climático afectará las zonas de producción agropecuaria e impactará en los territorios agrícolas de Chile. Este fenómeno es considerado una amenaza desde el punto de vista ambiental, social y económico. Conocer los potenciales impactos de las amenazas climáticas, la vulnerabilidad y resiliencia a escala local, es esencial para el desarrollo e implementación de estrategias de adaptación que permitan afrontar los riesgos climáticos emergentes. Sin embargo, se dispone de limitada información sobre la capacidad de adaptación productiva de los territorios que incluyen elementos sociales, culturales y naturales, así como de indicadores ecológicos, socioeconómicos y de gobernanza.

El propósito del presente estudio fue estimar la vulnerabilidad y resiliencia, a nivel comunal, del territorio agrícola de la Región del Biobío, ante los efectos del cambio climático en el escenario climático actual y futuro. Con este fin, se utilizaron indicadores de exposición, sensibilidad, capacidad de adaptación y resiliencia que consideraron los factores de multifuncionalidad agrícola, interacciones dinámicas entre actores y la capacidad de gestión y respuesta del territorio.

Los resultados de esta investigación indican que para las proyecciones de cambio climático para el período 2046-2065, el nivel de vulnerabilidad y resiliencia de la Región del Biobío alcanza niveles medios y bajos, siendo la comuna de Los Ángeles la mejor preparada para enfrentar escenarios climáticos adversos.

Palabras claves: Sensibilidad, Capacidad de Respuesta, Adaptación, Agricultura, Actores territoriales.

ABSTRACT

Climate change will affect agricultural production areas and will have an impact on Chile's agricultural territories. This phenomenon is considered a threat from an environmental, social and economic point of view. Knowing the potential impacts of climate hazards, vulnerability and resilience at the local scale is essential for the development and implementation of adaptation strategies to cope with emerging climate risks. However, limited information is available on the productive adaptive capacity of territories that include social, cultural and natural elements, as well as ecological, socioeconomic and governance indicators.

The purpose of this study was to estimate the level of vulnerability and resilience at the communal level of the agricultural territory of the “Region del Biobío” to the effects of climate change in the current and future climate scenario. To this end, indicators of exposure, sensitivity, adaptive capacity and resilience were used, which considered the factors of agricultural multifunctionality, dynamic interactions between actors and the management and response capacity of the territory.

The results of this study indicate that for climate change projections for the period 2046-2065 the level of vulnerability and resilience of the “Region del Biobío” reaches medium and low levels, with the commune of “Los Ángeles” being the best prepared to face adverse scenarios.

Key words: Sensitivity, Response Capacity, Adaptation, Agriculture, Territorial Stakeholders

INTRODUCCIÓN

El estudio del cambio climático es uno de los desafíos más importantes que atraviesa el mundo científico, pues sus efectos adversos se manifiestan en diversas escalas: influyen en aspectos sociales, altera las condiciones de los ecosistemas e interfiere en la productividad de los territorios, debido a las variaciones en las condiciones del clima (Vasconi, 2008; Santis *et al.*, 2017; González y Meira, 2020). En Chile, el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones son fenómenos que se vienen observando desde la última década (Neuenschwander, 2010; MMA, 2017), provocando la ocurrencia de períodos extensos de sequía que han disminuido la disponibilidad del recurso hídrico para actividades productivas; tales como: la silvicultura y la agricultura (CR2, 2015; Rojas, 2016).

Para la actividad agrícola, las implicancias del cambio climático están relacionadas a las variaciones en los climas locales a través de la modificación de la temperatura (Santis *et al.*, 2017) y a la disminución en el régimen de precipitaciones (CR2, 2015) que alteran las condiciones de producción de los territorios (Neuenschwander, 2010; Fernández, 2013). El nivel de afectación de los sistemas y sus mecanismos de adaptación frente a estos nuevos escenarios climáticos, tienen directa relación con las características de cada territorio, pues estas particularidades determinan su nivel de vulnerabilidad y su capacidad de resiliencia ante condiciones de perturbación (Rojas, 2016).

En este sentido, los estudios asociados a la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas frente al cambio climático han implementado dos enfoques para su evaluación; el primero, a través de los componentes de la vulnerabilidad, declarados por el IPCC (2014a): exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Fritzsche *et al.*, 2019) y, el segundo, por medio de la clasificación de características sociales, económicas y productivas de la agricultura (Peredo *et al.*, 2016). En ambas aproximaciones se han utilizado indicadores para determinar el nivel de vulnerabilidad, cuya escala de interpretación ha sido definida por cada investigador.

En Chile, la evaluación de la vulnerabilidad de la agricultura nacional ante el cambio climático se ha realizado a través de ambos enfoques. Por un lado, Santibáñez *et al.* (2008) evaluaron las condiciones sociales, económicas y productivas para determinar la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas ante el cambio climático; mientras que, el MINAGRI (2016) utilizó la metodología empleada por el IPCC (2014a) para determinar los niveles de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas ante la sequía.

Respecto de la resiliencia y a diferencia de la vulnerabilidad, los estudios en el ámbito agrícola no consideran una metodología establecida para su evaluación en relación con la asignación de componentes, sino, que, la determinación de las categorías se realiza de acuerdo con el criterio del investigador (Balvanera *et al.*, 2017). En general, la evaluación de la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático ha sido medida de manera indirecta a través de la vulnerabilidad o del riesgo (Henoa, 2013), es decir, a mayor vulnerabilidad o riesgo, se estima que existe una menor resiliencia (Montalba *et al.*, 2013).

Si bien la evaluación de la resiliencia agrícola frente al cambio climático en Chile no ha sido masiva, es posible encontrar un estudio realizado por Montalba *et al.* (2013), quienes evaluaron la capacidad de resiliencia de una pequeña comunidad campesina de La Araucanía frente a condiciones de escasez hídrica, empleando el método indirecto a través de la estimación del riesgo para reconocer el nivel de resiliencia del sistema.

La relevancia de esta investigación es que aporta al incremento de los incipientes estudios sobre la vulnerabilidad y la resiliencia del sector agrícola en Chile, bajo condiciones de cambio climático, puesto que, la evidencia que hasta ahora se conoce expone que sus efectos pueden ser muy diferentes, dependiendo de la región que se evalúe, debido a los distintos tipos de clima existentes y a la diversidad cultivada a lo largo del país (CR2, 2018). En este sentido, es de especial interés el estudio de sus consecuencias de los territorios agrícolas de aquellas regiones de mayor protagonismo en el sector agropecuario, tales como; O'Higgins, La Araucanía, Maule y el Biobío, pues el 64,7% de la superficie cultivada para la producción que abastece a la población nacional se encuentran en estos lugares (ODEPA, 2020a). Dentro de estas regiones, la evaluación del comportamiento de la vulnerabilidad y resiliencia de los territorios agrícolas de la Región del Biobío frente al cambio climático es interesante, no solo por la importancia de su producción agropecuaria a nivel nacional, sino, también, porque se considera que esta región es de transición climática desde un clima templado seco hacia un clima templado lluvioso hacia el sur, por lo que los efectos pueden ser diferentes entre sus comunas y las producciones existentes en ellas (Molina, 2013).

En este contexto el objetivo de esta investigación es determinar el nivel de vulnerabilidad y de resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío ante el cambio climático. Con esta finalidad, la metodología investigativa se centró en la caracterización del rubro y el territorio agrícola de la Región del Biobío para determinar el nivel de vulnerabilidad frente al cambio climático a través de la evaluación de los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2014a) por medio de 19 indicadores clasificados de acuerdo con cada categoría, evaluados según la metodología de Fritzsche *et al.* (2019) e interpretados con los niveles propuestos por Monterroso *et al.* (2012). Del mismo modo, se determinó el nivel de resiliencia de los territorios agrícolas por medio de una propuesta metodológica, basada en la revisión bibliográfica, que consideró tres dimensiones que determinan la resiliencia agrícola: multifuncionalidad del territorio agrícola, interacciones dinámicas entre los actores y la capacidad de gestión y respuesta del territorio (Silva, 2010; Altieri y Nicholls, 2013a; Saquet, 2015). Estas dimensiones fueron evaluadas por 19 indicadores y su análisis se realizó a partir de la adaptación de la metodología propuesta por Torrico-Albino *et al.* (2017).

Finalmente, se explicita que la estructura de esta investigación se inicia con el marco teórico, luego, se presenta la metodología, la caracterización del rubro y territorio agrícola y la evaluación de cada indicador. A continuación, se analiza el aporte de cada componente de los índices de vulnerabilidad y resiliencia, se determinan los niveles finales de vulnerabilidad y resiliencia de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío y, finalmente, se exponen las recomendaciones y conclusiones de este estudio.

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Efectos del cambio climático en la agricultura

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (conocido por sus siglas en inglés, IPCC) definió el cambio climático como: “una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos” (IPCC, 2018). Estos cambios en las propiedades climáticas han sido observados en Chile, principalmente, en los patrones de la precipitación y temperatura respecto de sus valores medios anuales desde el siglo XX hasta la actualidad, observándose una disminución del régimen pluviométrico y un aumento de la temperatura superficial (Garreaud, 2011; Araya-Osses *et al.*, 2020).

El ascenso de las temperaturas a nivel del mar ha ocasionado alteraciones en la circulación atmosférica de las masas de aire, modificando la temporalidad de aparición del fenómeno de “La Niña” y contribuyendo a la disminución de las precipitaciones en la zona continental (CR2, 2015; Rojas, 2016; Agromet, 2017; Santibáñez, 2017). El aumento de la temperatura a nivel del mar y de los eventos meteorológicos extremos, como la sequía, se están volviendo cada vez más frecuentes en Chile (Neuenschwander, 2010 y MMA, 2017).

La sequía es el resultado de la disminución de las precipitaciones, atribuible en un 50% a los períodos fríos de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), sobre el 25% al cambio climático antrópico y al fenómeno de La Niña (CR2, 2015). Desde el 2010, Chile enfrenta un período de sequía entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía, acentuado por un descenso pluviométrico, por sobre el 30% de las precipitaciones anuales, en la zona central desde las regiones de Valparaíso al Biobío (CR2, 2019a). Este evento ha sido el más extenso y severo registrado en Chile, por lo que ha sido denominado como una “megasequía” (Garreaud, 2019), empujando al Estado a decretar emergencia agrícola y escasez hídrica entre las regiones de Atacama y el Maule durante el año 2021 (DGA, 2021).

La condición de sequía se agrava por el incremento de la temperatura que, en este último siglo, ha aumentado entre 0,8°C y 1,5°C en Chile. En este sentido, Santibáñez *et al.* (2017) proyectaron un aumento de sobre 2,0°C en la temperatura máxima al 2050, desde Arica a Coyhaique, provocando una menor incidencia de los sistemas frontales y una disminución de hasta el 50% en el régimen pluviométrico. Mientras que, Araya-Osses *et al.* (2020) señalaron que, en el futuro proyectado, entre el 2046 y 2065, las precipitaciones en época de verano disminuirán del 60 al 100% entre las regiones de Atacama y del Biobío.

El aumento en la temperatura y la disminución de las precipitaciones provocará el deterioro de la vegetación nativa y en la distribución del establecimiento de los cultivos entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía (CR2, 2015), impactando en la disponibilidad de los recursos hídricos y en la degradación de los suelos. En el rubro agrícola, el aumento en la temperatura promedio anual, a causa del cambio climático (Santis *et al.*, 2017), modificará los ciclos fenológicos de los cultivos, adelantando los períodos de cosecha (Fernández, 2013). A su vez, la alteración de las precipitaciones afectará la disponibilidad hídrica para los cultivos y su productividad (Neuenschwander, 2010), provocando la disminución de sus

rendimientos (CR2, 2015; Santibáñez, 2017); mientras que los deshielos, que influye sobre la disponibilidad hídrica, provocarán alteraciones negativas en el volumen de agua en los canales de riego y pozos (Pacheco y Valdés, 2012).

El cambio climático también influirá en la ocurrencia de plagas y enfermedades, debido a la modificación en los patrones de precipitación y temperatura (Santibáñez, 2017). La disminución de las lluvias puede reducir la incidencia de enfermedades como *Botrytis*, ya que afectará las condiciones de humedad para su desarrollo (Jadrijevic *et al.*, 2015), pero el aumento de temperatura favorecerá la proliferación y distribución de insectos considerados como plagas y de agentes patógenos (Valdés *et al.*, 2012; Santibáñez, 2017).

En relación con los requerimientos térmicos de los cultivos, el cambio de las temperaturas provocará una mayor acumulación de días grados (DG) disponibles para vegetales con temperatura base entre 5°C y 10°C (Graczyk y Kundzewicz, 2016) desde la zona central hacia el sur, debido al aumento de días con temperaturas máximas sobre 25°C. Por otro lado, el comportamiento de las temperaturas mínimas, con una tendencia a condiciones más cálidas, afectará la acumulación de horas frío (HF) y la incidencia de heladas, que tendrá un desplazamiento en la temporalidad de ocurrencia, cercanas a épocas de verano (Piticar, 2019; González *et al.*, 2020).

En términos productivos, se estima que las mayores pérdidas ocurrirían en las zonas con restricciones en el riego, específicamente, en el secano costero entre las regiones de Valparaíso y del Biobío por la disminución de las precipitaciones (Valdés *et al.*, 2012; Santibáñez, 2018; Centro UC Cambio Global, 2020; Araya-Osses *et al.*, 2020). Sin embargo, el desplazamiento desde el norte hacia el sur de las zonas productivas puede ser beneficioso para la producción de especies que actualmente tienen menor superficie cultivada; tales como las leguminosas (Pachauri y Meyer, 2014; Jadrijevic *et al.*, 2015).

Vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático de los territorios agrícolas

Según el IPCC, la vulnerabilidad al cambio climático es la “incapacidad actual para afrontar las presiones externas o los cambios, como las condiciones de clima cambiante” (IPCC, 2014a). Además, indica que la vulnerabilidad se compone de un elemento externo; exposición y de componentes internos; la sensibilidad o susceptibilidad al daño y a la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014b). La exposición corresponde a la “presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente” por efectos del cambio climático (IPCC, 2014a). La sensibilidad al cambio climático es el nivel en el que un sistema resulta afectado, ya sea negativa o positivamente, por estímulos relacionados con el clima (IPCC, 2014b), mientras que, la capacidad de adaptación es la facultad de un sistema para ajustarse al cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los cambios extremos, a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas o afrontar las consecuencias (IPCC, 2014c).

El IPCC considera esencial la incorporación de la capacidad antrópica en la gestión de la vulnerabilidad para afrontar los impactos adversos del cambio climático (IPCC, 2018). En

los territorios agrícolas estos efectos pueden ser ejemplificados en cambios de la productividad, la disminución de los ingresos agrícolas, el descenso de la oferta del empleo rural y el incremento de la migración hacia la ciudad (Vicuña *et al.*, 2012; IPCC, 2014b).

Las metodologías empleadas para la evaluación de la vulnerabilidad frente al cambio climático, generalmente, sugieren el cálculo de los factores descritos por el IPCC (2001a) exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación por medio de indicadores diseñados para el área de estudio (Teutsch, 2006; Ziaul *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020).

Monterroso *et al.* (2012), evaluaron la vulnerabilidad agrícola en México, a través de un índice de vulnerabilidad que incluyó 60 indicadores. Por su parte, la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN, 2013), evaluaron la vulnerabilidad agrícola de la Cuenca Alta del río Cauca en Colombia con un total de 15 indicadores repartidos en los componentes de vulnerabilidad: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación propuestos por el IPCC. Peredo *et al.* (2016) determinaron el nivel de vulnerabilidad de sistemas agroecológicos al suroeste de Andalucía mediante el uso de indicadores diferenciados por los componentes sociales, económicos y ecológicos. Mientras que, Ziaul *et al.* (2019) evaluaron la vulnerabilidad agrícola frente al cambio climático al este de la India a través de 36 indicadores clasificados en exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

En Chile, Santibáñez *et al.* (2008) evaluaron la vulnerabilidad del sector agrícola a través de la construcción de indicadores categorizados de acuerdo con los componentes social, económico y productivo. Mientras que, el Ministerio de Agricultura realizó un estudio de la vulnerabilidad ante la sequía del sector agrícola mediante 16 indicadores divididos en los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (MINAGRI, 2016). El estudio más reciente de vulnerabilidad lo realizó Aro (2020), quien evaluó la vulnerabilidad del sector frutícola de la Región de Coquimbo frente al cambio climático por medio de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Como pudo observarse previamente, existen dos aproximaciones metodológicas para la medición de la vulnerabilidad. La primera, empleando indicadores categorizados por componentes sociales, económicos y productivos (Santibáñez *et al.*, 2008; Monterroso *et al.*, 2012; Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013; Peredo *et al.*, 2016) y, la segunda, utilizando indicadores categorizados por exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (CDKN, 2013; MINAGRI, 2016; Ziaul *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). La primera de ellas solo estudia las condiciones globales que caracterizan la exposición del territorio; sociales, económicas y productivas, dejando de lado los otros factores de sensibilidad y capacidad de adaptación (CEPAL, 2012; CR2, 2018). En cambio, la segunda aproximación emplea la clasificación de indicadores según las características de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, entregando información sobre los componentes que se ven afectados por el cambio climático y los mecanismos de adaptación que se pueden emplear en estos territorios (IPCC, 2001a; 2001b; 2018).

El estudio de la vulnerabilidad en el sector agropecuario se realiza para reconocer la susceptibilidad de componentes como el suelo y la productividad que están expuestos a los cambios de los patrones climáticos en los territorios agrícolas (Jadrijevic *et al.*, 2015; Santibáñez, 2017; Von Bennewitz, 2018).

En relación con la susceptibilidad de los suelos silvoagropecuarios, en Chile se refleja en que solo el 3,3% de los suelos son adecuados para la actividad agrícola (clases de capacidad de uso I, II y III; Universidad de Chile, 2019), lo que significa que presentan pocas o moderadas limitaciones en el perfil de suelo para el establecimiento de cultivos (Casanova *et al.*, 2004). La disminución del porcentaje de suelo apto para la agricultura es consecuencia de la degradación de suelos, ocasionada por la actividad antrópica entre las regiones de Coquimbo y de Los Lagos (Jadrijevic *et al.*, 2015). El cambio climático, junto con los manejos antrópicos, provocan que los suelos agrícolas incrementen su vulnerabilidad al aumentar la magnitud y extensión de los procesos erosivos y disminuir la superficie adecuada para el desarrollo de la actividad agrícola (Jadrijevic *et al.*, 2015; Universidad de Chile, 2019).

La vulnerabilidad de la actividad agrícola al cambio del régimen pluviométrico será acentuada en los lugares de secano por ser su única fuente hídrica para los cultivos, originando variaciones en los rendimientos y en las especies que se pueden cultivar (Santibáñez, 2012; ODEPA, 2013; Von Bennewitz, 2018). El cambio de los patrones de temperatura ocasionará alteraciones en los ciclos fenológicos de las especies cultivadas, debido a la sensibilidad térmica que determina su desarrollo, provocando cambios en los manejos agronómicos; tales como: fechas de siembra, densidad de siembra y especies cultivadas (Fernández, 2013; Santibáñez, 2017).

Resiliencia ante los impactos del cambio climático en los territorios agrícolas

El cambio climático acentúa la vulnerabilidad de los territorios agrícolas y hace necesario que se vuelvan resiliente a través de mecanismos de respuesta y de adaptación (Rojas, 2019). La resiliencia es la “capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura y que conserven la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación” (IPCC, 2014a).

La capacidad de resiliencia de un territorio está determinada por su grado de vulnerabilidad (Berdegué *et al.*, 2012; Altieri y Nicholls, 2013a) y es dependiente de las condiciones de los recursos naturales existentes (Lin, 2011), del nivel de gestión (Saquet, 2015), del aprendizaje (Sánchez-Zamora *et al.*, 2015) y del conocimiento sobre las características y componentes del territorio y de los actores, tanto institucionales como locales (Astier *et al.*, 2011). La complejidad del estudio de la resiliencia en los territorios depende de las perturbaciones que ocurren a diferentes escalas espaciales y temporales; tales como: el cambio climático (Balvanera *et al.*, 2017).

Los métodos descritos para la valoración de la resiliencia ante el cambio climático se han hecho de manera indirecta a través de índices de riesgo o de vulnerabilidad (Henaó, 2013). Los resultados de resiliencia por medio del índice de riesgo o índice holístico de riesgo, se obtienen con indicadores de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta a partir de los que se realiza un análisis descriptivo de los resultados de cada indicador y se les otorga una valoración entre 0 y 8, correspondiendo el 0 a un nivel “muy bajo” de riesgo y 8 a un nivel

“muy alto” de riesgo, siendo inversamente proporcional con el nivel de resiliencia del área de estudio (Altieri *et al.*, 2012; Montalba *et al.*, 2013).

La evaluación de la resiliencia, a través del índice de vulnerabilidad, se realiza mediante la construcción de indicadores seleccionados por el investigador, sin estar categorizados por los factores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013). En este método de evaluación, los valores de los indicadores deben estar en el rango de 1 a 5 para ser promediados y analizados en el “sistema semáforo”: el 5 es el color verde que representa baja vulnerabilidad o alta resiliencia; 3 es el color amarillo y simboliza la vulnerabilidad y resiliencia media; mientras que, el 1 es el color rojo que da cuenta de la alta vulnerabilidad o baja resiliencia (Altieri, 2012; Cabañas, 2016).

Frente a escenarios de cambio climático se ha planteado el concepto de resiliencia climática para definir la habilidad de los territorios de absorber y recuperarse de perturbaciones y estreses climáticos (Lin, 2011), así como de adaptar y transformar sus estructuras y medios de vida a los cambios de largo plazo y a la incertidumbre (Mitchell, 2013). La comprensión de la perturbación climática; tales como la sequía y las variaciones de temperatura requieren del estudio de la respuesta del ecosistema en diversos niveles dentro del territorio (Valladares *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2010). Los indicadores de resiliencia climática permiten a los gobiernos gestionar mecanismos de monitoreo y de evaluación de los territorios a través de programas establecidos de adaptación al cambio climático (Briefing, 2014 y Bucheli, 2017).

Welle *et al.* (2014) señalaron que los indicadores de resiliencia climática otorgan una visión general del panorama con datos existentes y públicos. Estos indicadores climáticos se dividen en componentes sociales, ecológicos, económicos, físicos e institucionales (Mitchell, 2013; Welle *et al.*, 2014) y se agrupan según la capacidad de absorción, adaptación y transformación. La capacidad de absorción se entiende como la capacidad de preparación de un sistema para mitigar los impactos negativos usando respuestas predeterminadas, con el fin de preservar y restaurar funciones y estructuras básicas y esenciales (Cutter *et al.*, 2008; Béné *et al.*, 2012). La capacidad de adaptación se define como la capacidad de un sistema de ajustar, modificar o cambiar sus características y acciones para responder de mejor manera a perturbaciones y estreses climáticos existentes y futuros, y tomar ventaja de las oportunidades (Brooks, 2003; Béné *et al.*, 2012). Finalmente, la capacidad de transformación es entendida como la habilidad de un sistema para cambiar fundamentalmente sus características y acciones cuando las condiciones existentes se vuelven insostenibles de cara a perturbaciones y estreses climáticos (Walker *et al.*, 2004).

La resiliencia agrícola al cambio climático está definida por tres factores: multifuncionalidad agraria (Silva, 2010; Cavallo y Marino, 2014), interacciones dinámicas entre los actores (Aguilar-Gallegos *et al.*, 2016) y la capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola (Elizalde, 2003; Schejtman y Berdegué, 2004; Nahed *et al.*, 2014). Su objetivo es articular competitiva y sustentablemente la economía del territorio a mercados dinámicos e inclusivos a través de nuevas tecnologías, capacitaciones y accesibilidad a recursos (FAO, 2016; 2017), para así, tener la capacidad de proveer productos alimentarios ante escenarios futuros de cambio climático (Lin, 2011).

La multifuncionalidad agraria se refiere a los diversos roles de la actividad agrícola tradicional, más allá de la producción de alimentos, y le otorga atributos al territorio agrícola, como: el aporte sociocultural, patrimonial y paisajístico, obteniéndose así, productos agrícolas territorialmente diferenciados (Silva, 2010; Cavallo y Marino, 2014). Las interacciones dinámicas entre los actores, se refiere a los lazos y los tipos de redes sociales debido de la variabilidad de prácticas agrícolas y los niveles de confianza que se van adquiriendo por temporada (Aguilar-Gallegos *et al.*, 2016). Las interacciones entre los actores son modificadas, sustituidas y/o transformadas a causa de las perturbaciones voluntarias en el territorio: los cambios en prácticas de producción, innovación de tecnologías o impulsos de políticas públicas; entre otros (Saquet, 2015). Para estos lazos, se identifican dos tipos de relaciones entre actores: 1. La coordinación horizontal o la convivencia entre actores del mismo territorio y, 2. La articulación vertical comprendida como la interacción entre los actores locales y ubicados fuera de los límites territoriales y que ejercen una influencia determinante en el desarrollo (Soto *et al.*, 2007a). La capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola se refiere a la interacción de las características sociales, productivas y políticas que promueven el desarrollo agrícola, entendido como la transformación productiva de adaptación frente a cambios y el desarrollo institucional y cultural entre sus actores (Elizalde, 2003; Schejtman y Berdegué, 2004; Nahed *et al.*, 2014).

La resiliencia del territorio agrícola debe generar adaptabilidad ante perturbaciones climáticas. Para esto, el desarrollo de herramientas de evaluación de resiliencia climática a través de la construcción de indicadores (Constas *et al.*, 2014), ayudan a las comunidades y a los responsables de formular políticas públicas para planificar estrategias de adaptación frente a los nuevos escenarios por medio de estrategias de participación (Tyler *et al.*, 2013). Altieri y Nicholls (2013a) indicaron que la evaluación de resiliencia en los sistemas agrícolas se realiza, generalmente, en manejos agroecológicos a nivel de parcelas o superficies acotadas de producción y no a escalas territoriales más amplias.

Montalba *et al.* (2013) evaluaron la resiliencia a la escasez hídrica frente al cambio climático en una comunidad campesina de la Región de la Araucanía, Chile. Ellos utilizaron 10 indicadores categorizados en vulnerabilidad, amenaza y capacidad de adaptación por medio del índice holístico de riesgo. En cambio, en Cundinamarca, Colombia, se empleó el método del “sistema semáforo” para evaluar la resiliencia agrícola por medio de 64 indicadores para variables: físicas, suelos, manejo de suelos y de aguas, diversidad biológica, aspectos sociales, económicos, institucionales y políticos y nivel tecnológico (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013), mientras que, en comunidades campesinas de Veracruz, México, se realizó a través del uso de 6 indicadores cualitativos para vulnerabilidad, clasificados en paisajes y agrosistemas (Cabañas, 2016).

Torrice-Albino *et al.* (2017) evaluaron la resiliencia agrícola, mediante las variables absorción, adaptación y transformación de los sistemas, enfocado a lo productivo, los cuales se ponderan en una escala cualitativa que indica el nivel de resiliencia alcanzada por el sistema estudiado. Ruiz (2019), señaló que, en territorios rurales dedicados a la producción agrícola, es importante considerar indicadores ecológicos, socioeconómicos y de gobernanza para evaluar todas aquellas estrategias que promuevan la resiliencia en función a los impactos del cambio climático.

Los estudios de resiliencia agropecuaria en el contexto de cambio climático, generalmente, no consideran para su estimación la totalidad de las particularidades de un territorio agrícola como la multifuncionalidad agraria, interacciones dinámicas entre los actores y la capacidad de gestión y respuesta (Silva, 2010; Altieri y Nicholls, 2013a; Saquet, 2015). Los cambios globales y su efecto local sobre el territorio requieren de instrumentos que permitan un enfoque estratégico para cuantificar la resiliencia de las zonas agrícolas que consideren las características del territorio (Medina, 2018), los riesgos climáticos (ODEPA, 2013) y que faciliten una gestión integrada de mecanismos de adaptación ante las nuevas condiciones (Medina, 2018). De esta forma, se deben integrar las capacidades naturales del medio, el conocimiento de las personas y la implementación de políticas públicas, acordes a las nuevas necesidades (IPCC, 2014b). Por tal razón, es fundamental el desarrollo de metodologías y estudios que se focalicen en el rol y las estrategias de respuesta y adaptación de la agricultura frente al cambio climático, considerando la agrobiodiversidad, los servicios ecosistémicos y las comunidades rurales del territorio donde se desarrolla la actividad agrícola (Torres *et al.*, 2011; Briefing 2014; Constas *et al.*, 2014).

Territorios agrícolas

El territorio desde las ciencias sociales y geográficas es un espacio o lugar con delimitaciones físicas o geográficas (Lefebvre, 1975). Sin embargo, el territorio se apoya del espacio para su construcción, y está definido por aspectos socioculturales como las relaciones que se producen dentro de él, por la presencia de actores que le dan valor a las actividades que realizan dentro del lugar y forjan nudos y circuitos entre ellos (Raffestin, 1980; Capel 2016).

La construcción del territorio es el reflejo de las dimensiones históricas, culturales, sociales, espaciales y temporales en la experiencia y sentido de pertenencia simbólica de los actores (Haesbaert, 2004) y el poder que pueden ejercer sobre ese espacio físico (Herner, 2009), lo que se conoce como territorialidad (Raffestin, 2012; Monnet, 2013). Por lo tanto, si bien es posible delimitar el territorio de manera física, no existen límites en las características culturales y subjetivas de la comunidad (Romero, 2009 y Llanos-Hernández, 2010).

El territorio agrícola, por tanto, considera las influencias de sus actores, sus quehaceres culturales agrícolas, sus diferentes roles, su nivel organizacional y de sus cooperativas, comunidades y asociaciones, y las interacciones dinámicas entre ellos (Altieri y Nicholls, 2013a; Saquet, 2015). Estas características permiten la realización de diversas actividades relacionadas con la agricultura en un momento determinado y le concede el atributo de “multifuncionalidad agrícola”, concepto entendido como la forma de describir los diversos roles de la actividad agrícola tradicional, más allá de la producción de alimentos, sino que también, otorgándole atributos como: aporte sociocultural, patrimonial y paisajísticos, obteniéndose así, productos agrícolas “territorialmente diferenciados” (Silva, 2010).

Actividad agrícola en la Región del Biobío

El rubro silvoagropecuario aporta un 2,9% del producto interno bruto (PIB) nacional, y es considerado, junto a la minería e industria manufacturera, los sectores económicos más importantes de Chile (ODEPA, 2019a). La contribución económica de las actividades

complementarias al rubro agrícola, es decir, líneas de procesamiento, exportaciones y fuerza laboral, incrementan la participación del PIB silvoagropecuario en el PIB nacional, alcanzando un 14,36% (Gumucio y Amunátegui, 2018; ODEPA, 2019a).

A nivel nacional el PIB silvoagropecuario se concentra entre las regiones de O'Higgins y del Biobío, cuya suma corresponde al 46,9% del total (ODEPA, 2020a), siendo el sector agrícola el de mayor participación con un 55% del PIB silvoagropecuario del país (ODEPA, 2019a). En tanto, la Región del Biobío aporta 14.3% del PIB silvoagropecuario nacional, sólo por detrás de la Región de O'Higgins (INE, 2019; ODEPA, 2020a). En el Biobío existen 1.054.294 hectáreas de superficie silvoagropecuaria y el 13,1% está dedicada exclusivamente a la actividad agrícola, mientras que el restante es de uso pecuario y forestal (Yáñez, 2018; ODEPA, 2019b; 2019c; 2019d).

La Región del Biobío se caracteriza por ser una zona de transición, de clima templado cálido a templado lluvioso (Lozano *et al.*, 2010). El régimen pluviométrico tiene un gradiente desde los 1.000 mm año⁻¹ hasta sobre los 2.500 mm año⁻¹ de poniente a oriente, mientras que la temperatura media es de 0°C en las zonas cordilleranas (debido a la altitud), 17°C en los valles centrales y de 21°C en la zona costera (Uribe *et al.*, 2012). Estas características climáticas permiten el apropiado establecimiento y producción de especies de interés agrícola, principalmente, de trigo (*Triticum aestivum*; [Anexo I](#)) y el desarrollo de otras actividades silvoagropecuarias, como la producción ganadera y forestal (Yáñez, 2018).

Las proyecciones en las condiciones climáticas de la Región del Biobío indican un aumento de la temperatura por sobre 2°C y una disminución de la pluviometría de entre un 30% y 50% por efecto del cambio climático (Neuenschwander, 2010; Santibáñez *et al.*, 2017). Las alteraciones de estos patrones del clima provocarán cambios en la actividad agrícola regional, debido al incremento de los períodos secos y aumento de temperaturas (Santibáñez, 2016) y la disminución de precipitaciones (DGA, 2019a; DGA, 2020a). Los efectos adversos de la actividad agrícola por el cambio climático se verán acentuados por la condición de manejo intensivo de monocultivos (Fritz, 2012; Gligo, 2015), la degradación de suelos a causa de la erosión hídrica, a la expansión forestal y la sobreexplotación agrícola (Flores *et al.*, 2010; Infante e Infante, 2013) y por tener el 91,7% de su superficie productiva sin riego (ODEPA, 2019b).

OBJETIVO GENERAL

Estimar el nivel de vulnerabilidad y resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío ante el cambio climático

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el rubro y el territorio agrícola de la Región del Biobío.
2. Determinar indicadores, a escala comunal, para la vulnerabilidad y resiliencia del rubro agrícola, al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Región del Biobío se encuentra ubicada entre los 36°00' y 38°30' Latitud Sur con una superficie de 24.021 km², equivalente al 3,2% del territorio nacional (BCN, 2019). En términos administrativos, está dividida en tres provincias: Biobío, Arauco y Concepción y en 33 comunas (Yáñez, 2018; Figura 1). La unidad de estudio correspondió a la comuna, que es donde se determinó el índice de vulnerabilidad y de resiliencia frente al cambio climático (Figura 1. Se utilizó los conceptos de vulnerabilidad y resiliencia propuestos por el IPCC (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b).

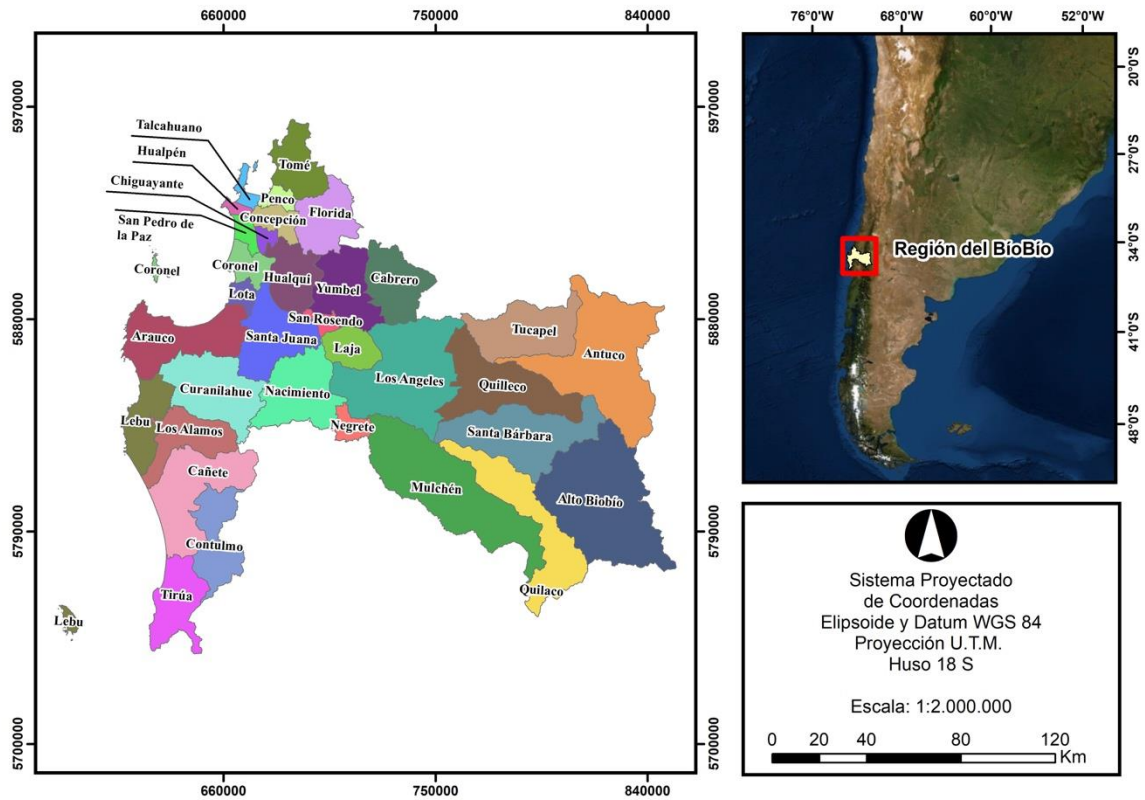


Figura 1. Región del Biobío

Caracterizar el rubro y el territorio agrícola de la Región del Biobío

Se realizó un análisis descriptivo del rubro y territorio agrícola de la Región del Biobío a través de una revisión bibliográfica de documentos y artículos, publicados entre los años 2010-2020 (López, 2020).

Los parámetros de clasificación regional se realizaron a través de la comparación cuantitativa entre la Región del Biobío y el promedio regional del país, descritas en el Cuadro 1. Los resultados de cada categoría se analizaron cualitativamente mediante la asignación de rangos alto, medio y bajo según el promedio en porcentaje (%) de cada categoría con respecto de la media nacional de cada una de ellas, según las fuentes de información disponibles. El nivel

medio corresponde al promedio del país en relación con la categoría evaluada (Cuadro 1; MINAGRI, 2016; INE, 2019; ODEPA, 2019a; ODEPA, 2019b; MINAGRI, 2019).

Cuadro 1. Criterios de asignación cualitativa para categorías de la caracterización del rubro agrícola de la Región del Biobío

Categoría	Descripción	Rangos	Referencia
Superficie producción regional	Se comparó el promedio (%) de superficie destinada exclusivamente a la producción agrícola regional en el país y la superficie (%) presente en la Región del Biobío	Alto: >6,67% Medio: 6,67% Bajo: <6,67%	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2019b)
Especies cultivadas	Se comparó el promedio (%) de especies agrícolas cultivadas regional en el país y con el promedio (%) de la Región del Biobío	Alto: >47% Medio: 47% Bajo: <47%	Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019)
Tecnologías de riego	Se comparó el promedio (%) de la superficie regada con riego tecnificado regional en el país con el promedio (%) de la Región de Biobío	Alto: >16% Medio: 16% Bajo: <16%	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2019b)
Trabajadores agrícolas	Se comparó el promedio (%) de trabajadores agrícolas regional en el país con el promedio (%) de la Región del Biobío	Alto: >6,2% Medio: 6,2% Bajo: <6,2%	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2019b)
Agroindustria	Se comparó el promedio (%) de participación de las plantas agroindustriales regional en el país con el promedio (%) de agroindustrias en la Región del Biobío	Alto: >9% Medio: 9% Bajo: <9%	Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019)
Exportación	Se comparó el promedio (%) de exportación agrícola regional en el país con el promedio (%) exportando en la Región del Biobío	Alto: >6,3% Medio: 6,3% Bajo: <6,3%	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2019b)
Producto Interno Bruto Silvoagropecuario (PIB)	Se comparó el promedio (%) de participación del PIB regional del país con la contribución (%) que realiza la Región del Biobío al total del PIB silvoagropecuario	Alto: >6,67% Medio: 6,67% Bajo: < 6,67%	Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019)
Institucionalidad agrícola	Se comparó el promedio (%) de participación de trabajadores de INDAP regional en el país con el promedio (%) presente en la Región del Biobío. Su participación se evaluó en función de la cantidad de profesionales y técnicos y el número de agricultores que requieren atención	Alto: >6% Medio: 6% Bajo: <6%	Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP, 2020a); Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2016;2019)

Para esta caracterización se recopilaron documentos oficiales y manuales, generados por el organismos del Estado, principalmente, del Ministerio de Agricultura (MINAGRI, 2016; 2019), tales como: Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP, 2020a), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2019b) y Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2019); y del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019) que tienen relación con el territorio agrícola de la Región del Biobío.

Finalmente, se consideró como territorio agrícola para el estudio, a aquel donde se desarrolla la agricultura de pequeños productores del Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) y del Programa de Desarrollo Territorial Indígena (PDTI) del INDAP de la Región del Biobío, identificados en la base de datos de la “Encuesta Diagnóstica” (INDAP, 2017).

Indicadores para determinar la vulnerabilidad y resiliencia del rubro agrícola al cambio climático

Se consideró la metodología de Fritzsche *et al.* (2019) para el análisis de vulnerabilidad (IPCC, 2014b), por medio de la exposición (IPCC, 2014a), la sensibilidad (IPCC, 2014b) y capacidad de respuesta o adaptación (IPCC, 2014a), mientras que, para la resiliencia, se realizó una adaptación de la metodología de Torrico-Albino *et al.* (2017) al incorporar como componente la multifuncionalidad del territorio agrícola, las interacciones dinámicas entre los actores y la capacidad de gestión y respuesta del territorio. Para la determinación del componente de exposición, sensibilidad y multifuncionalidad del territorio en los indicadores asociados a vulnerabilidad y resiliencia agrícola se consideró lo planteado por Gómez y Morales (s.f), Hargreaves y Samani (1982), Brouwer y Heibloem (1986), Mckee *et al.* (1993), Allen *et al.* (1998), Santibáñez *et al.* (2008), Uribe *et al.* (2012), CDKN (2013), Henao (2013), Sánchez (2013), Iermanó *et al.* (2015), Torrico-Albino *et al.* (2017), Araya-Osses *et al.* (2020) y Wang *et al.* (2020), quienes abordaron parámetros productivos, climáticos y de recursos naturales en sus estudios de vulnerabilidad y resiliencia ante el cambio climático. Para el componente de interacciones dinámicas entre actores, se empleó una adaptación de los indicadores propuestos por Córdoba-Vargas y León-Sicard (2013), Montalba *et al.* (2015) y Peredo *et al.* (2016), quienes abordaron aspectos sociales dentro de sus investigaciones de vulnerabilidad y resiliencia. Finalmente, para el componente de capacidad de adaptación y capacidad de gestión y respuesta del territorio, la elección y construcción de indicadores fue de acuerdo con los parámetros utilizados por Santibáñez *et al.* (2008), Córdoba-Vargas y León-Sicard (2013) y Montalba *et al.* (2015), quienes identificaron factores de respuesta ante perturbaciones.

Los indicadores utilizados para la medición de vulnerabilidad y resiliencia se adaptaron a una escala numérica entre 0 y 1 y fueron representativos al enfoque de la investigación, considerando la realidad comunal y de la región, las bases de datos históricas y actuales con información comunal disponibles para el cálculo y su representatividad de las dimensiones de resiliencia.

Se calcularon 19 indicadores en cada comuna de la Región del Biobío, según los conceptos de vulnerabilidad asociados a exposición (3), sensibilidad (9) y capacidad adaptativa (7) y a los factores de resiliencia: multifuncionalidad del territorio agrícola (12), interacción dinámica entre los actores del territorio agrícola (3) y capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola (4), diferenciados en la Figura 2.

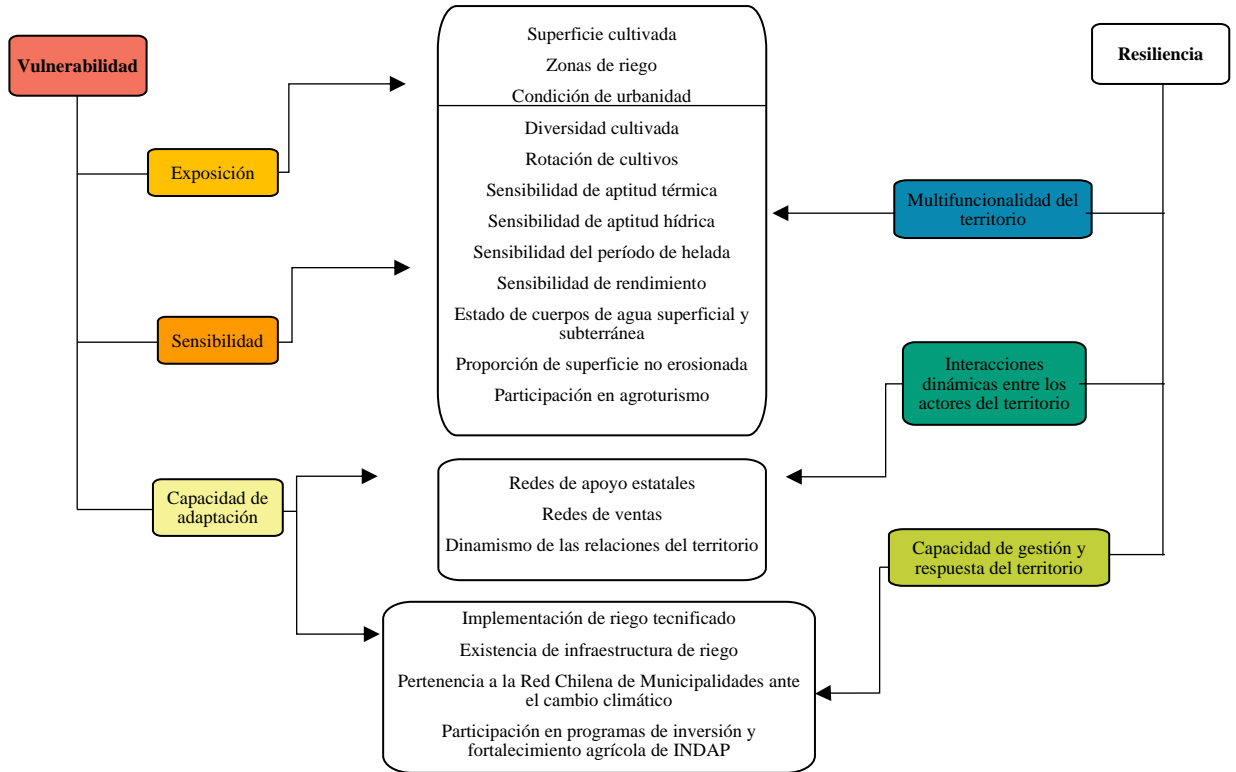


Figura 2. Clasificación de indicadores para los índices de vulnerabilidad y resiliencia

Indicadores para los componentes de Exposición y Multifuncionalidad del territorio agrícola

Superficie cultivada

Este indicador representó la superficie total cultivada en cada comuna de los 15 cultivos con mayor superficie en la Región del Biobío ([Anexo I](#)): papa (*Solanum tuberosum* L.), trigo (*Triticum durum* Desf), avena (*Avena Sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), lenteja (*Lens culinaris*), arveja (*Pisum sativum* L.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), vid (*Vitis vinífera* L.), frambuesa (*Rubus idaeus* L.), cerezo (*Prunus avium* L.), nogal (*Juglans regia* L.) y manzano (*Malus domestica* Borkh.); en relación con el área cultivada total de la región (Ecuación 1; Adaptado de CDKN, 2013). Esto se basa en que, a mayor área productiva utilizada por los 15 cultivos, menor proporción de producción tienen las otras especies ya establecidas (Altieri y Nicholls, 2013a; Cuadro 2). Finalmente, se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017)

$$SC = 1 - \frac{Stc}{Stf}$$

Ecuación 1: Superficie Cultivada (SC)

Donde:

Stc: Superficie total cultivada con papa, trigo, avena, maíz, lenteja, arveja, poroto, tomate, lechuga, cilantro, vid, frambuesa, cerezo, nogal y manzano (ha).

Stf: Superficie total cultivada en el territorio (ha).

Cuadro 2. Categorías de evaluación del indicador de “Superficie cultivada” en relación con la participación de los cultivos priorizados (IDEAM, 2010; García-Hidalgo, 2017).

Valor	Descripción
0,75-1,00	Muy alta participación
0,50-<0,75	Alta participación
0,25-<0,50	Moderada participación
>0,00 - <0,25	Baja participación
0,00	Sin participación

Zona de riego

Este indicador clasificó la condición de los territorios agrícolas de acuerdo con la producción bajo riego o seco. Los territorios cuyas superficies productivas sean mayoritariamente de tipo seco obtendrán valores cercanos a 0, mientras que aquellas producciones que cuenten con algún tipo de riego tendrán resultado próximos a 1 (Cuadro 3; Ecuación 2; Adaptado de Santibáñez *et al.*, 2008). Se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017).

$$ZR = \frac{SR}{ST}$$

Ecuación 2: Zona de riego (ZR)

Donde:

SR: Superficie total bajo riego

ST: Superficie total cultivada

Cuadro 3. Categorías de evaluación del indicador de “Zona de riego” (IDEAM, 2010; García-Hidalgo, 2017).

Valor	Descripción
0,75-1,00	Muy Alta zona de riego
0,50-<0,75	Alta zona de riego
0,25-<0,50	Moderada zona de riego
>0,00 - <0,25	Baja zona de riego
0,00	Sin zona de riego

Condición de urbanidad

El indicador de condición de urbanidad relacionó la cantidad de población urbana de cada comuna con el número de población total de ella. Se considera que la población urbana es menos vulnerable ante escenarios de cambio climático en comparación con la población rural (Santibáñez *et al.*, 2008). Los resultados cuyos valores se aproximan a 0 indicaron un alto nivel de población rural, mientras que, en los territorios con mayor urbanidad la respuesta del indicador tendió a 1. Para la evaluación del indicador se utilizó la base de datos "Población total por sexo y área urbana-rural, según grupos de edad" de los resultados definitivos del Censo 2017 (Ecuación 3; Adaptado de Santibáñez *et al.*, 2008).

$$CU = \frac{PU}{PTOT}$$

Ecuación 3: Condición de urbanidad (CU)

Donde:

PU: Población urbana comunal

PTOT: Población total comunal

Cuadro 4. Categorías de evaluación del indicador de “Condición de urbanidad” (Adaptado de Santibáñez *et al.*, 2008).

Valor	Descripción
0,75-1,00	Muy altos niveles de urbanidad
0,50- <0,75	Altos niveles de urbanidad
0,25-<0,50	Moderados niveles de urbanidad
0,00 - <0,25	Bajos niveles de urbanidad

Indicadores para los componentes de Sensibilidad y Multifuncionalidad del territorio agrícola

Diversidad cultivada

Se evaluó la proporción de superficie ocupada por todos los cultivos establecidos en los territorios agrícolas de cada comuna que determinó la diversidad presente según la proporción y distribución de cada uno dentro del área cultivada. Los valores cercanos a 0 indicaron una diversidad muy baja y valores próximos a 1 señalaron una mayor condición de diversidad (Cuadro 5; Ecuación 4, 5, 6 y 7; Moreno, 2001; Iermanó *et al.*, 2015). Se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017).

$$pi = \frac{\text{Superficie especie}}{\text{Superficie total}}$$

Ecuación 4: Proporción de área cultivada de cada especie (pi)

$$H \text{ máx} = \ln S$$

Ecuación 5: Índice de Shannon máximo (Hmax)

$$H \text{ obs} = - \sum pi \ln pi$$

Ecuación 6: Índice de Shannon observado (Hobs)

$$J = \frac{H \text{ obs}}{H \text{ máx}}$$

Ecuación 7: Diversidad cultivada (J)

Donde:

pi: Proporción de área cultivada de cada especie

H: Índice de Shannon

S: Número de especies cultivadas en el territorio

J: Índice de equidad de Pielou - Diversidad cultivada

Cuadro 5. Categorías de evaluación del indicador de “Diversidad cultivada” basado en el Índice de equidad de Pielou (Moreno, 2001; Iermanó *et al.*, 2015).

Valor de J	Descripción
1,00 – 0,76	Condición mayor diversidad
0,75 - 0,51	Diversidad moderada
0,50 – 0,26	Diversidad baja
0,25 – 0,00	Diversidad muy baja

Rotación de cultivos

Este indicador evaluó la práctica de rotación de cultivos de los agricultores de los territorios de las comunas de la Región del Biobío, cuyos rangos de evaluación fueron nulo, bajo, medio y alto (Cuadro 6). Se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017).

Cuadro 6. Categorías de evaluación para indicador “Rotación de cultivos” en pequeños agricultores de las comunas de la Región del Biobío (Iermanó *et al.*, 2015).

Valor	Descripción	Rango
1,00	Se realizan rotaciones planificadas entre cultivos de cosecha por lo menos en el 50 % de la superficie cultivada	Alto
0,50	Se realizan rotaciones planificadas entre cultivos de cosecha entre un 50% a un 40 % de la superficie cultivada	Medio
0,25	Se realizan rotaciones solamente entre cultivos de cosecha o solamente entre forrajes, entre el 40% y el 25 % de la superficie cultivada	Bajo
0,00	No se realizan rotaciones, o se realizan en una superficie menor al 25 % de la superficie cultivada.	Nulo

Sensibilidad de aptitud térmica

La sensibilidad de aptitud térmica está determinada por el inverso del promedio de la variación entre la acumulación de días grado (DG) del período actual y del proyectado (2046-2065) y por las diferencias entre las horas de frío (HF) actuales y las del escenario futuro. Estos factores fueron seleccionados pues son los determinantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Hoyos *et al.*, 2012).

Días Grado (DG)

El cálculo de la acumulación térmica, conocido como días grado (DG; Ecuación 8), permite definir y establecer las distintas etapas fenológicas del desarrollo de un vegetal, ayudando a determinar acciones y decisiones productivas (Potter *et al.*, 2013). Para la estimación de la acumulación de DG de los cultivos priorizados, se utilizaron las temperaturas medias observadas de cada mes y las temperaturas mensuales proyectadas para el período 2046 – 2065 del escenario RCP8.5 (Araya-Osses *et al.*, 2020), mientras que las temperaturas umbrales fueron las definidas por bibliografía para cada especie ([Anexo II](#)).

$$DG = [\sum(T^{\circ} - tu)] * n$$

Ecuación 8: Días-Grado anuales (DG)

Donde:

T° : Temperatura media del período ($^{\circ}\text{C}$)

tu : Temperatura umbral ($^{\circ}\text{C}$)

n : Número de días del período

Horas Frío (HF)

La acumulación de frío es un requerimiento necesario para los frutales caducifolios y algunos cultivos invernales para cumplir con el proceso de dormancia y posterior floración (Flores, 2016a). El cálculo de HF se realiza cuando las temperaturas descienden de los 7°C , lo que ocurre desde el 1 de mayo al 30 septiembre (Uribe *et al.*, 2012). Para la estimación de la acumulación de HF se utilizaron las temperaturas medias observadas de los meses de mayo a septiembre y las temperaturas mensuales proyectadas (2046 – 2046) para igual período del escenario RCP8.5 (Araya-Osses *et al.*, 2020; Gómez y Morales, s.f; Ecuación 9)

$$HF = 654,95 - (34,44 * T^{\circ})$$

Ecuación 9: Horas de Frío anuales (HF)

Donde:

T° : Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)

Para ambos requerimientos térmicos se calculó según la variación (aumento o disminución) porcentual en la acumulación de DG u HF por especie y por comuna en el período proyectado en relación con los DG u HF acumulados actuales para iguales parámetros. Para interpretar si la acumulación de ambos parámetros cumplió con los requerimientos de los cultivos ([Anexo III](#); [Anexo IV](#)), se realizó una escala valorativa para cada rango de restricción (Cuadro 7).

Cuadro 7. Categorías de restricción de los cultivos para la acumulación de DG y HF en las comunas de la Región del Biobío.

Valores	Parámetro de restricción
1,00	Sin restricción
0,75	Restricción leve
0,50	Restricción moderada
0,25	Restricción alta
0,00	Excluyente

La interpretación de la sensibilidad de aptitud térmica está descrita en el Cuadro 8 da cuenta que: a mayor variación, su inverso es menor y, por tanto, existe una mayor es la sensibilidad.

Cuadro 8. Categorías de evaluación para los indicadores de “Sensibilidad de aptitud térmica”; “Sensibilidad de aptitud hídrica”; “Sensibilidad el período de helada” y “Sensibilidad de rendimiento” de las comunas de la Región del Biobío.

Valor	Descriptor Sensibilidad de rendimiento
0,75-1,00	Baja Sensibilidad
0,50- <0,75	Moderada Sensibilidad
0,25-<0,50	Alta Sensibilidad
0,00 - <0,25	Muy alta Sensibilidad

Sensibilidad de aptitud hídrica

La sensibilidad de la aptitud hídrica se calculó a través del inverso de la variación (%) del requerimiento hídrico (RH) actual de cada cultivo y el requerimiento hídrico proyectado para el período 2046 – 2065 del escenario RCP8.5 (Araya-Osses *et al.*, 2020). El RH y sus componentes se calcularon de acuerdo con las Ecuaciones 10; 11 y 12.

$$RH = ETc - Pp$$

Ecuación 10. Requerimiento Hídrico (RH)

Donde:

ETc : Evapotranspiración de cultivo (Ecuación 11)

Pp : Precipitaciones

$$ETc = ET_0 * Kc$$

Ecuación 11. Evapotranspiración de cultivo (ETc)

Donde:

Kc : Coeficiente de cultivo ([Anexo V](#))

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (Ecuación 12)

$$ET_0 = 0,0023 * (T_m + 17,8)(T_x - T_n)^{0,5}R_a$$

Ecuación 12. Evapotranspiración de referencia (ETo)

Donde:

T_m : Temperatura media (°C)

T_x : Temperatura máxima (°C)

T_n : Temperatura mínima (°C)

R_a : Radiación Extraterrestre (mm/día)

Para el cálculo de la RH del período 2046-2065, se estimó la ETc y ETo de acuerdo con las temperaturas proyectadas y se utilizaron las precipitaciones estimadas de acuerdo con el escenario RCP8.5 (Araya-Osses *et al.*, 2020). Las interpretaciones de los niveles de RH se encuentran en el Cuadro 9 y el de sensibilidad en el Cuadro 8.

Cuadro 9. Categorías de requerimiento hídrico (RH) de los cultivos en los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.

Valores	Parámetro de RH
>40	Alto requerimiento
>20 - 40	Moderado requerimiento
0 - 20	Bajo Requerimiento hídrico

Sensibilidad del período de heladas

Se estimó la sensibilidad del período de heladas a través del inverso de la variación entre el número de días con heladas actual y el proyectado (2046-2065). Para dar cuenta de las heladas se representó el número de días al año en los cuales la probabilidad de heladas es mayor al 50% o temperatura mínima del aire está bajo los 0°C (Ecuaciones 13 y 14; de Uribe *et al.*, 2012).

$$Nh = 365 - N_{lh}$$

Ecuación 13: Número de días con heladas anuales (Nh)

Donde:

N_{lh} : N° de días libres de heladas

$$P_h = N_h/365$$

Ecuación 14: Probabilidad de heladas (Ph)

La interpretación de la sensibilidad del período de helada está descrita en el Cuadro 8.

Sensibilidad de rendimiento

Se determinó la sensibilidad de rendimiento a través del inverso de la variación (%) del rendimiento actual y el rendimiento proyectado para el escenario 2046-2065 de los cultivos priorizados, en función a la restricción hídrica y el factor de respuesta del rendimiento (Ky) de cada cultivo ([Anexo VI](#); Ecuaciones 15; Steduto *et al.*, 2012).

$$\left(1 - \frac{Ya}{Ym}\right) = Ky \left(1 - \frac{ETcaj}{ETc}\right)$$

Ecuación 15: Sensibilidad del rendimiento al déficit hídrico

Donde:

Ya: Rendimiento real (kg/ha)

Ym: Rendimiento potencial (kg/ha; [Anexo VII](#))

Ky: Factor de respuesta del rendimiento

ETcaj: Evapotranspiración de cultivo ajustada (Ecuación 16)

ETc: Evapotranspiración de cultivo

$$ETcaj = Ks * Kc * ET_o$$

Ecuación 16: Evapotranspiración de cultivo ajustada

Donde:

Ks : Factor de reducción de la transpiración dependiente de la cantidad de agua en el suelo (Ecuación 17)

Kc : Coeficiente de cultivo
 ET_o : Evapotranspiración de referencia

$$K_s = \left(\frac{ADT - D_r}{(1 - p)ADT} \right)$$

Ecuación 17: Factor de reducción de la transpiración dependiente de la cantidad de agua en el suelo (K_s)

Donde:

D_r : Agotamiento de humedad en la zona radicular (mm; [Apéndice I](#))

p : Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico (Ecuación 18; [Apéndice II](#) y [Apéndice III](#))

$$ADT = 1000(\theta_{FC} - \theta_{wp})Z_r$$

Ecuación 18: Total de agua disponible en la zona radicular del suelo (ADT)

Donde:

θ_{FC} : Contenido de humedad a capacidad de campo (m^3m^{-3})

θ_{wp} : Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (m^3m^{-3})

Z_r : Profundidad de raíces (m)

Los parámetros de p , θ_{FC} , θ_{wp} y Z_r fueron utilizados de acuerdo con las características de los suelos de las comunas y de los cultivos priorizados ([Anexo VIII](#) y [Anexo IX](#)).

La interpretación de la sensibilidad de rendimiento está descrita en el Cuadro 8.

Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea

Este indicador analiza el estado actual de los acuíferos y los cuerpos de agua superficial de la Región del Biobío, debido a la importancia del recurso hídrico para el desarrollo de la actividad agrícola (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011). Para su cálculo se utilizaron los datos entregados por la Dirección General de Aguas (DGA, 2020b; DGA, 2020c; DGA, 2020d) respecto de la condición de agotamiento, prohibición, restricción o sin prohibición ni restricción de extracción de los cuerpos de agua superficial y los acuíferos y se les asignaron valores entre el 0 y 1 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Categorías de evaluación para el indicador “Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea” de las comunas de la Región del Biobío (Henaó, 2013; Torrico-Albino *et al.*, 2017).

Valor	Estado del acuífero y/o cuerpo de agua superficial
1,00	Sin prohibición ni restricción
0,50	Restricción de extracción
0,00	Agotado - Prohibición de extracción

Proporción de superficie no erosionada

El indicador evaluó la superficie que no presentaba ningún grado de erosión de suelos que restringiera la agricultura, pues, a mayor erosión existen más dificultades para el desarrollo agrícola y mayor vulnerabilidad ante cambio climático (CDKN, 2013). Para su cálculo, se utilizaron los datos del último informe de la “Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: Región del Biobío” (Flores *et al.*, 2010), donde se presentan los valores separados en las categorías de: “Sin erosión” “Erosión ligera”, “Erosión Moderada”, “Erosión Severa”, “Erosión Muy Severa” y “Erosión no aparente”, considerándose para la evaluación la primera categoría (Ecuación 19; Cuadro 11).

$$Sne = \frac{STne}{ST}$$

Ecuación 19: Superficie no erosionada (*Sne*)

Donde:

STne: Superficie total no erosionada

ST: Superficie total comunal

Cuadro 11. Categorías de evaluación para el indicador “Superficie no erosionada” de las comunas de la Región del Biobío.

Valor	Estado erosión de los suelos
0,75-1,00	Bajos niveles de erosión
0,50- <0,75	Moderados niveles de erosión
0,25-<0,50	Altos niveles de erosión
0,00 - <0,25	Muy altos niveles de erosión

Participación en agroturismo

Se midió la participación de los agricultores como anfitriones de agroturismo en el territorio agrícola, pues este indicador representó la multifuncionalidad de la actividad agrícola (Silva, 2010). La participación fue evaluada e interpretada de acuerdo con la Ecuación 20 y el Cuadro 12 (Sánchez, 2013). Se utilizó como fuente la base de datos del programa Turismo Rural del INDAP entre el periodo 2016-2019 (INDAP, 2020a).

$$IA = \frac{ATTR}{AT}$$

Ecuación 20: Índice de agroturismo (IA)

Donde:

ATTR: Agricultores del programa Turismo Rural

AT: Agricultores total del INDAP

Cuadro 12. Categorías de evaluación para el indicador de “Índice de agroturismo” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Sánchez, 2013).

Valor	Descripción
1,00 – 0,71	Alta participación
0,70 – 0,41	Moderada participación
0,40 – >0,00	Baja participación
0,00	Sin participación

Indicadores para los componentes de Capacidad de adaptación e Interacción dinámica entre los actores del territorio

Redes de apoyo estatales

Se reconoció las comunas con presencia de institucionalidad estatal que aborde temáticas y estrategias de adaptación frente al cambio climático en el sector agrícola. Para su evaluación se consideró la presencia de las oficinas y agencias del INDAP y se le asignó valor 1,00 a aquellas comunas que cuentan con agencia de área, pues en ellas se encuentran los profesionales, técnicos y asesores de los programas, quienes pueden proporcionar ayuda de manera más directa e inmediata, mientras que, para los territorios donde existen oficinas, se le asignó el valor de 0,50, pues en ellas solo es posible encontrar un ejecutivo integral que, si bien puede dar respuesta a consultas, no cuenta con la disponibilidad de todos los profesionales, técnicos (Cuadro 13; Montalba *et al.*, 2015; Peredo *et al.*, 2016; INDAP, 2020a).

Cuadro 13. Categorías de evaluación para el indicador “Redes de apoyo estatales” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba *et al.*, 2015; Peredo *et al.*, 2016).

Valor	Descripción
1,00	Presencia de agencias de INDAP
0,50	Presencia de oficinas de INDAP
0,00	Ausencia apoyo estatal

Para la evaluación de este indicador, se utilizó las fuente de información disponible del INDAP con la presencia y distribución de las oficinas y agencias regionales (INDAP, 2019a).

Redes de venta

Se evaluó los tipos de redes de venta en la cadena de comercialización de los agricultores de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío de acuerdo con los criterios de “venta nacional/regional directa”, “venta local directa”, “venta nacional/regional indirecta”, “venta local indirecta” o “sin venta”, categorizadas y definidas de acuerdo con el Cuadro 14. Se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017).

Cuadro 14. Categorías de evaluación para el indicador de “Redes de ventas” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).

Valor	Criterio	Descripción
1,00	Venta nacional/regional directa	Comercialización de los productos agrícolas a nivel nacional y/o regional sin intermediarios
0,75	Venta local directa	Comercialización de los productos agrícolas a nivel local sin intermediarios
0,50	Venta nacional/regional indirecta	Comercialización de los productos agrícolas a nivel nacional y/o regional con intermediarios
0,25	Venta local indirecta	Comercialización de los productos agrícolas a nivel local con intermediarios
0,00	Sin venta	No existe comercialización, los productos agrícolas son de subsistencia

Para la declaración de cadena de comercialización directa o indirecta de cada agricultor de los territorios, se le asignó el valor correspondiente a su categoría y se ponderaron los resultados por comuna para obtener un único valor (Cuadro 14).

Dinamismo de relaciones del territorio

El indicador evaluó el dinamismo de relaciones entre los actores territoriales a través del número de presencia de agrupaciones gremiales, cooperativas, organizaciones no gubernamentales (ONG) y organizaciones campesinas en las comunas de la Región del Biobío como alternativa de diversificación y oportunidad de generar redes y nexos. La asignación de los valores del indicador se realizó según los criterios descritos en el Cuadro 15 (Montalba *et al.*, 2015).

Cuadro 15. Categorías de evaluación para el indicador de “Dinamismo de relaciones del territorio” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba *et al.*, 2015).

Valor	Descripción
1,00	Existencia de 3 o más redes
0,50	Existencia de 1 a 2 redes
0,00	Sin redes

Para su evaluación se utilizó las bases de datos de INDAP (2020b) del registro de asociaciones gremiales, cooperativas y organizaciones campesinas, mientras que, para las organizaciones no gubernamentales, se realizó una búsqueda bibliográfica para reconocer su relación con los territorios (CET, 2020).

Indicadores para los componentes de Capacidad de adaptación y Capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola

Implementación de riego tecnificado

Este indicador evaluó la existencia de riego tecnificado en relación con la superficie regada de cada territorio agrícola de la Región del Biobío. Se le asignó el valor 1,00 para las explotaciones que se declararon bajo sistema de riego con tecnología y 0,00 para aquellas producciones que presentaban riego gravitacional o no tenían empleado sistemas de regadío

(Cuadro 16; Santibáñez *et al.*, 2008). Se utilizó como base de datos la Encuesta Diagnóstica del INDAP (INDAP, 2017).

Cuadro 16. Categorías de evaluación para el indicador de “Implementación de riego tecnificado” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Santibáñez *et al.*, 2008).

Valor	Descripción
1,00	Utilización de riego tecnificado
0,00	Utilización de riego gravitacional/sin riego

Por último, el valor para cada territorio agrícola se obtuvo del promedio entre explotaciones con riego tecnificado (1,00) y explotaciones con riego de tipo gravitaciones o sin sistema de riego (0,00) y la asignación de los rangos obtenidos se analizaron a través de su descriptor señalado en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Categorías de evaluación para el indicador de “Redes de ventas” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).

Valor	Descripción
0,75-1,00	Altos niveles de riego tecnificado
0,50- <0,75	Moderados niveles de riego tecnificado
0,25-<0,50	Bajos niveles de riego tecnificado
0,00 - <0,25	Muy bajos niveles de riego tecnificado

Existencia de infraestructura para riego

Se establece la posibilidad de acceso al agua para riego a través de la evaluación de la existencia de embalses de acumulación para el abastecimiento de las zonas regadas de las comunas de la Región del Biobío. Para su evaluación se consideraron exclusivamente los embalses que tenían relación con el regadío, excluyendo aquellos que solo eran con fines de generación eléctrica. La asignación de los valores para cada comuna (Cuadro 18) se realizó según si esta se encontraba dentro de la zona de alcance del embalse de riego más cercano.

Cuadro 18. Categorías de evaluación para el indicador de “Existencia de infraestructura para riego” de las comunas de la Región del Biobío (Montalba *et al.*, 2015).

Valor	Descripción
1,00	Existencia infraestructura de riego
0,00	Sin infraestructura de riego

Finalmente, se utilizó la información del reporte de embalses entregado por la Dirección General de Aguas (DGA, 2020f) para el cálculo de indicador.

Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidades ante el cambio climático

El indicador “Pertenencia a la Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático” (REDMUNICC), evaluó la participación institucional local de cada comuna con el compromiso de medidas de adaptación al cambio climático a través de la participación de los municipios en la Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático.

Se consideró que la participación en REDMUNICC es un aspecto positivo para la resiliencia, pues esta red tiene como objetivo dar “apoyo y colaboración técnica abierta a todos los municipios de Chile que quisieran tomar el compromiso explícito de planificar y gestionar su territorio, considerando el cambio climático como el escenario que está determinando los desafíos del siglo XXI” (REDMUNICC, 2020). Para realizar la gestión de apoyo y colaboración, la red identificó 9 áreas de acción: agua, energía, ecosistemas, salud, gestión de residuos, transporte y movilidad, cultura e identidad, infraestructura crítica y gestión del riesgo de desastres.

La evaluación de la participación de cada comuna para el cálculo del indicador se realizó de acuerdo con los criterios descritos en el Cuadro 19, propuestos por Aro (2020).

Cuadro 19. Categorías de evaluación para el indicador de “Pertenencia a la Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático” de las comunas de la Región del Biobío de las comunas de la Región del Biobío (Aro, 2020).

Valor	Descripción
1,00	Participación en REDMUNICC
0,00	Sin Participación en REDMUNICC

Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP

Se midió la participación de los agricultores de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío en los programas de “Inversión PDTI” y “Fortalecimiento productivo PRODESAL” de acuerdo con los criterios de inversión asociados a la adaptación al cambio climático: construcción/reparación invernaderos, equipamiento de sistemas de riego, fuentes de acumulación y captación de aguas, utilización de sistemas fotovoltaicos e insumos.

La participación se evaluó en un período 2016-2019 y se comparó con el número de agricultores de cada comuna de la Encuesta Diagnóstica (INDAP, 2017). Para el cálculo del indicador se utilizó la Ecuación 21 y los criterios de análisis se realizaron según el Cuadro 20.

$$Pif = \frac{AP}{AT}$$

Ecuación 21: Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP (Pif)

Donde:

AP: Agricultores participantes

AT: Agricultores totales

Cuadro 20. Categorías de evaluación para el indicador de “Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP” de los territorios agrícolas de la Región del Biobío (Córdoba-Vargas y León-Sicard, 2013).

Valor	Descripción
1,00 – 0,71	Alta participación
0,70 – 0,41	Media participación
0,40 – >0,00	Baja participación
0,00	Sin participación

Evaluación del estado del territorio agrícola mediante los índices de vulnerabilidad y resiliencia

La evaluación de la vulnerabilidad frente al cambio climático en el territorio agrícola de las comunas de la región se realizó a través del índice acumulativo de vulnerabilidad que considera el promedio entre la exposición y sensibilidad, considerado como el impacto potencial (IP) y su relación con la capacidad adaptativa. El valor final de vulnerabilidad arrojó valores en una escala entre 0 y 1 (Ecuación 22; Fritzsche *et al.*, 2019).

$$I_{Vul} = \frac{\sum \left(\frac{I_E (i_1; i_n)}{n_{IE}} + \frac{I_S (i_1; i_n)}{n_S} + \frac{I_{Ca} (i_1; i_n)}{n_{Ca}} \right)}{n_{TC}}$$

Ecuación 22: Índice de vulnerabilidad de Fritzsche *et al.*, 2019.

Donde:

I_{Vul} : Índice de vulnerabilidad

I_E : Indicadores de Exposición

I_S : Indicadores de sensibilidad

I_{Ca} : Indicadores de capacidad de adaptación

N_{IE} : Total de indicadores de exposición

N_S : Total de indicadores de sensibilidad

N_{Ca} : Total de indicadores de capacidad de adaptación

N_{TC} : Total de componentes

Los valores cercanos a 0 se asociaron a condiciones de alta sensibilidad y baja capacidad adaptativa, lo que hace más vulnerable al territorio a los efectos del cambio climático (CDKN, 2013); mientras que valores cercanos a 1 se relacionaron a condiciones de baja exposición y sensibilidad, pero con alta capacidad adaptativa, es decir, con una menor vulnerabilidad al cambio climático. Finalmente, la vulnerabilidad fue categorizada mediante la adaptación de escala cualitativa de cinco niveles (Cuadro 21; Monterroso *et al.*, 2012).

Cuadro 21. Nivel de vulnerabilidad territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío (adaptado de Monterroso *et al.*, 2012).

Nivel de vulnerabilidad	Valor
Muy Alto	0,00 – 0,20
Alto	0,21 - 0,40
Medio	0,41 – 0,60
Bajo	0,61 – 0,80
Muy Bajo	0,81 - 1,00

La resiliencia frente al cambio climático para el territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío se determinó en función de los componentes de resiliencia: multifuncionalidad del territorio agrícola, interacción dinámica entre los actores del territorio agrícola y capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola (Silva, 2010; Altieri y Nicholls, 2013a; Saquet, 2015). El valor de cada componente se determinó a partir del promedio de sus indicadores (Ecuación 23).

$$I_{Res} = \frac{\sum \left(\frac{I_{MA}(i_1:i_n)}{n_{MA}} + \frac{I_{IA}(i_1:i_n)}{n_{IA}} + \frac{I_{CGR}(i_1:i_n)}{n_{CGR}} \right)}{n_{Tc}}$$

Ecuación 23: Índice de resiliencia agrícola adaptado de Torrico-Albino *et al.*, 2017

Donde:

I_{Res} : Índice de resiliencia

I_{MA} : Indicadores multifuncionalidad del territorio agrícola

I_{IA} : Indicadores de interacción dinámica entre los actores del territorio agrícola

I_{CGR} : Indicadores capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola.

n_{Tc} : Numero total de componentes

Para el análisis de los resultados de la resiliencia en el territorio agrícola, los valores cercanos a 0 indican un muy bajo nivel de resiliencia y los próximos a 1 un excelente estado resiliente del sistema (Torrico-Alvino *et al.*, 2017). La resiliencia fue clasificada de acuerdo con seis niveles diferentes, presentados a continuación (Cuadro 22).

Cuadro 22. Niveles de resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío (Adaptado de Torrico-Alvino *et al.*, 2017)

Nivel de Resiliencia	Valor
Muy bajo	0,00-0,30
Bajo	0,31-0,50
Medio	0,51-0,60
Bueno	0,61-0,70
Muy bueno	0,71-0,80
Excelente	0,81-1,00

El análisis de los índices se realizó a través de cartografías que incluyeron a los componentes de: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa; factores multifuncionalidad del territorio agrícola, interacciones dinámicas entre los actores, y capacidad de gestión y respuesta del territorio, como también, la vulnerabilidad y resiliencia final del sector agrícola a nivel de comuna (CDKN, 2013; Monterroso *et al.* 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del rubro y territorio agrícola de la Región del Biobío

El rubro agrícola de la Región del Biobío se caracterizó porque su superficie de producción agrícola (76.146,5 ha) es levemente menor a la media nacional de 79.156,2 hectáreas productivas (6,67%; Cuadro 23; CIREN y ODEPA, 2019; INE, 2019; ODEPA, 2020b) y siendo inferior respecto de regiones como La Araucanía y el Maule, quienes tienen el 22,12% y 19,8%; respectivamente, (CIREN y ODEPA, 2019). Esta condición se debió a que la producción silvoagropecuaria en la Región del Biobío se concentra en la producción forestal, praderas y pasturas para la producción de forraje de alimentación animal (ODEPA, 2019).

Los cultivos clasificados como anuales se destacan por ser los de mayor presencia en la Región del Biobío con 66.448 hectáreas, posicionando la región como la cuarta de mayor extensión de superficie en este tipo de cultivos agrícolas ([Anexo X](#); INE, 2019). Actualmente en el país se cultivan 122 especies agrícolas; 65 frutales, 28 anuales y 29 hortalizas, existiendo un promedio de establecimiento por región de 57,6 de ellas (47%; CIREN, 2019; INE, 2019). El Biobío se caracterizó por estar sobre la media nacional al producir 72 especies (59%; CIREN y ODEPA, 2019; INE, 2019; ODEPA, 2020b), siendo las hortalizas y los cultivos anuales las más relevantes, ya que, del total del tipo de especies presentes a nivel nacional, la región cultiva el 100% de hortalizas y 89% de los cultivos anuales ([Anexo XI](#); Yáñez, 2020b).

En relación con la implementación de tecnologías de riego, la superficie regada a nivel nacional corresponde a 1.108.559,1 hectáreas (Yáñez, 2020b). De ellas, 307.227,1 hectáreas presentan riego tecnificado de tipo aspersión tradicional, carrete o pivote, goteo o cinta, microaspersión y microjet (Yáñez, 2020a; 2020c; 2020d; 2020e; 2020f; 2020g; 2020h; 2020i; 2020j; 2020k; 2020l; 2020m; 2020n; 2020ñ; 2020o; 2020p). El promedio por región a nivel nacional de la superficie con riego tecnificado es 19.201,7 hectáreas (38% de la superficie regada total). Sin embargo, el Biobío estuvo por debajo de esta media, puesto que la superficie con implementación de tecnificación fue de 18.782,7 hectáreas a nivel regional (16% de la superficie regada en el Biobío), equivalente al 4,16% del área nacional con tecnificación de riego ([Anexo XII](#); Yáñez, 2020a). Esta condición de baja utilización de riego tecnificado se puede deber a que las explotaciones menores no tienen acceso a recursos para la implementación de esta tecnología, los cultivos producidos no son rentables para su introducción y por el arraigo cultural de la utilización de riegos tradicionales gravitacional (ODEPA, 2019a; ODEPA, 2019b).

Los trabajadores agrícolas en la temporada 2019 fueron 447.794 personas en el país, con un promedio de 27.987 de trabajadores por región (6,2%; ODEPA, 2019a; Yáñez, 2020b). La Región del Biobío tuvo una alta participación en relación con la media nacional, ya que la fuerza laboral en este rubro fue de 36.621 personas, representando el 8,3% del total nacional (Yáñez, 2020b) y siendo partícipe del 6,3% de los empleados totales de la región (Yáñez, 2020a).

En agroindustria, los principales productos fueron: conservas, congelados, deshidratados, jugos y aceites, existiendo 246 plantas de procesamiento a nivel nacional y con un promedio de presencia por región de 22 plantas (9%; ODEPA, 2019a). En la región del Biobío existen 12 plantas agroindustriales, equivalente al 5% del total de plantas del país, siendo menor al promedio nacional. Estas plantas se distribuyen en: 3 para deshidratados, 3 para conservas, 5 a congelados y 1 a aceites ([Anexo XIII](#); ODEPA, 2019a; ODEPA, 2019b).

La exportación de productos silvoagropecuarios anualmente es de 16.864.161 miles dólares (ODEPA, 2019a). El rubro agrícola es el de mayor participación con 10.348.058 miles de dólares (61,7% del total exportado), existiendo un promedio de participación regional de 646.754 miles de dólares en la categoría agrícola (6,3%; Yáñez y Cohen, 2020). Sin embargo, si bien el Biobío es la segunda en exportación silvoagropecuaria, solo participa con 356.071 miles de dólares (3,4% del valor exportado por el sector agrícola), debido a que el 88,3% de la exportación generada en la región proviene del rubro forestal ([Anexo XIV](#); ODEPA, 2019a; ODEPA, 2020b).

En términos económicos, el promedio de la participación de las regiones en el PIB silvoagropecuario corresponde al 6,67% (Gumucio y Amunátegui, 2018). La Región del Biobío es la segunda de mayor importancia para el PIB silvoagropecuario nacional con el 14,36% de participación, estando sobre la media del país debido a los grandes volúmenes de producción provenientes del rubro forestal (ODEPA, 2019a).

En relación con la institucionalidad agrícola, a nivel nacional está encabezada por el MINAGRI y está representado en cada región por la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Agricultura (MINAGRI, 2020a). Entre las redes de instituciones dedicadas al agro del MINAGRI, el INDAP es una de las más importante, pues es la entidad encargada de “desarrollar y gestionar una diversidad de programas de financiamiento, asesorías y capacitación, dirigidos a los pequeños productores agrícolas, campesinos y sus familias” (MINAGRI, 2020b). INDAP cuenta con 1.281 profesionales y técnicos a nivel nacional para el trabajo en terreno con los pequeños agricultores, teniendo en promedio por región 80,1 trabajadores (INDAP, 2020a).

La Región del Biobío tiene 142 profesionales y técnicos INDAP, siendo una de las cuatro regiones con mayor presencia de recurso humano asesor (INDAP, 2020a). Sin embargo, esta distribución no es proporcional respecto del número de beneficiarios que requieren atención en el Biobío, pues por cada 100,8 agricultores hay un profesional o técnico ([Anexo XV](#); INDAP, 2019a). Esta distribución es similar a regiones como O’Higgins y Los Ríos que tienen características similares en la proporción de agricultores que atiende INDAP y cuya relación son 118,6 y 123,3 agricultores por asesor, respectivamente (INDAP, 2019a).

Cuadro 23. Parámetros de participación del rubro agrícola de la Región del Biobío a nivel nacional para el año 2019.

Categoría	Participación regional/nacional	Media nacional
Superficie producción regional	6,41%	6,67%
Especies cultivadas	59%	47%
Tecnologías de riego	4,16%	16%
Trabajadores agrícolas	8,30%	6,2%
Agroindustria	5%	9%
Exportación	3,40%	6,3%
Producto Interno Bruto Silvoagropecuario	14,36%	6,67%
Institucionalidad agrícola	11%	6%

(Adaptado de Gumucio y Amunátegui, 2018; CIREN, 2019; CIREN y ODEPA, 2019; INDAP, 2019a; INE, 2019; ODEPA, 2019a; ODEPA, 2019b; INDAP, 2020a; ODEPA, 2020b; MINAGRI, 2020a; MINAGRI, 2020b; Yáñez, 2020a; Yáñez, 2020b; Yáñez y Cohen, 2020).

En términos generales, la Región del Biobío tiene una alta participación en el PIB silvoagropecuario nacional y en las exportaciones del sector, aportado, principalmente, por las plantas productivas forestales. El rubro agrícola de la región tiene una menor participación, en relación con la media nacional, en la superficie productiva a causa de la expansión forestal hacia sectores de uso agrícola. Del mismo modo ocurre con la presencia de plantas agroindustriales y las exportaciones agrícolas, que, debido al aumento de la producción silvícola, ha disminuido su presencia en la región, estando por debajo del promedio del país. No obstante, el Biobío se caracterizó por estar sobre la media nacional de: la fuerza laboral agrícola debido a la presencia de grandes producciones que requieren recurso humano para las diferentes labores, la cantidad de tipos de especies cultivadas y la presencia de profesionales y técnicos de INDAP.

Las características del rubro agrícola en la Región del Biobío son un desafío para las producciones locales ante eventos futuros. Potenciar el uso de riego tecnificado, es un ejemplo de incentivo que se debe realizar en los territorios para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Del mismo modo, la regulación de la expansión de forestales a suelos de uso agrícola es un factor fundamental que se debe considerar para evitar pérdidas de la identidad y espacio productivo de la región. Por otra parte, potenciar el trabajo agrícola local y la apertura de nuevas fuentes laborales dentro del rubro, permitirá aportar al protagonismo del Biobío en la cadena de abastecimiento agroalimentario en contextos de cambio climático. Finalmente, el rol de las instituciones estatales es fundamental para apoyar, asesorar, gestionar y cooperar con las pequeñas producciones locales y la transformación de los espacios productivos acordes a las nuevas necesidades.

Componentes Exposición y Multifuncionalidad del territorio agrícola

Superficie cultivada

En general, sobre el 90% del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío se encuentra utilizado por los cultivos priorizados, obteniendo una “baja” ($>0,00$ - $<0,25$) participación para especies diferentes a las producidas mayormente (0,10 de indicador promedio; Cuadro 24; [Apéndice IV](#)).

La comuna de Cabrero tiene una menor proporción de superficie utilizada por los 15 cultivos priorizados (0,42; Cuadro 24), por lo tanto, existe una mayor área disponible para el establecimiento de otras especies ([Apéndice IV](#)).

El caso contrario a Cabrero ocurre con las comunas de Arauco, Cañete, Contulmo, Florida, Lebu, Los Álamos, Negrete, Quilaco, Quilleco, San Rosendo, Santa Juana, Tirúa, Tomé y Yumbel, cuyos territorios agrícolas tienen menos del 10% de su superficie con producción de cultivos diferentes a los priorizados, obteniendo un indicador por debajo de 0,10 (Cuadro 24).

Por otro lado, las comunas de Laja, San Rosendo y Santa Juana son las únicas que tienen el establecimiento de las 15 especies agrícolas seleccionadas en todo su territorio (Cuadro 24), condición que es posible, debido a que las tres comunas se encuentran en el valle central de la Región del Biobío, favoreciendo a las condiciones climáticas que permiten el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Casas, 2012), tales como; temperaturas medias de 18,5°C anuales, acumulación de Días Grados (DG) sobre los 1200, Horas Frío (HF) superiores a 730 y precipitaciones anuales promedio de 800 mm (Uribe *et al.*, 2012).

Cuadro 24. Indicador de “Superficie cultivada” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Papa	Trigo	Avena	Maíz	Lenteja	Arvejas	Poroto	Tomate	Lechuga	Cilantro	Vid	Frambuesa	Cerezo	Nogal	Manzano	Sumatoria cultivos priorizados (ha)	Sumatoria otros cultivos (ha)	Superficie (ha) total cultivada	Indicador área cultivada
Alto Biobío	33,3	2,75	3,75	1,01	0,00	0,14	4,72	12,18	22,3	14,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,85	46,65	141,50	0,33
Antuco	2,6	4,03	2,25	1,01	0,00	0,16	1,07	0,14	1,40	0,77	0,01	0,00	0,63	0,00	0,26	14,32	1,75	16,07	0,11
Arauco	69,59	4,31	5,34	0,00	0,00	31,36	17,57	0,08	0,20	1,30	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	129,8	12,97	142,76	0,09
Cabrero	1,57	0,03	0,00	0,84	0,00	0,21	0,78	1,08	0,42	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,02	3,62	8,64	0,42
Cañete	279,00	114,5	55,60	0,02	0,68	8,3	8,76	0,45	2,80	4,91	0,00	5,50	0,00	0,00	0,16	480,63	10,92	491,54	0,02
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Concepción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Contulmo	59,13	11,65	3,50	0,00	0,00	1,36	0,62	0,38	0,59	0,59	0,00	0,22	0,20	0,25	0,20	78,69	4,65	83,34	0,06
Coronel	6,98	0,00	0,00	0,41	0,00	0,56	0,75	0,56	0,78	0,61	0,00	0,01	0,00	0,10	0,20	10,94	4,40	15,34	0,29
Curanilahue	12,18	1,10	2,01	0,00	0,00	0,27	1,98	1,16	1,49	1,77	0,00	0,00	0,06	0,00	0,57	22,59	2,81	25,40	0,11
Florida	16,47	17,59	19,89	2,96	3,43	18,77	14,51	1,68	0,78	0,49	32,8	0,07	2,47	0,00	0,79	132,7	7,17	139,87	0,05
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hualqui	44,74	23,1	25,28	1,77	0,07	0,72	5,48	6,90	2,45	1,60	10,08	0,06	0,00	0,10	0,00	122,37	19,46	141,83	0,14
Laja	7,00	5,08	7,85	5,71	0,30	3,32	7,85	7,55	2,40	1,19	8,65	0,80	0,38	0,77	0,36	59,20	17,09	76,29	0,22
Lebu	34,02	5,25	3,20	0,04	0,00	6,60	2,55	0,05	0,78	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,39	0,34	53,73	0,01
Los Álamos	60,94	29,44	16,35	0,10	0,00	14,38	3,35	0,03	0,72	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	126,74	4,59	131,33	0,03
Los Ángeles	14,96	13,86	16,88	7,96	1,75	10,32	39,79	5,22	5,89	7,47	3,11	7,48	0,06	1,57	0,00	136,32	22,53	158,85	0,14
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulchén	0,11	1,50	0,50	0,00	0,00	0,15	0,01	2,10	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	4,65	1,57	6,22	0,25
Nacimiento	39,65	6,80	4,45	4,85	0,00	0,00	5,25	4,67	1,00	2,29	5,22	0,00	5,86	1,05	0,16	81,25	11,78	93,02	0,13

(Continúa)

(Continuación Cuadro 24)

Comuna	Papa	Trigo	Avena	Maíz	Lenteja	Arvejas	Poroto	Tomate	Lechuga	Cilantro	Vid	Frambuesa	Cerezo	Nogal	Manzano	Sumatoria cultivos prioritizados (ha)	Sumatoria otros cultivos (ha)	Superficie (ha) total cultivada	Indicador área cultivada
Negrete	6,55	2,05	2,75	4,21	0,00	0,21	5,78	4,80	0,19	0,09	0,00	0,00	0,01	0,34	0,09	27,07	1,96	29,03	0,07
Penco	6,98	0,5	0,00	0,32	0,00	0,20	2,88	0,12	0,12	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,18	1,96	13,14	0,15
Quilaco	1,09	0,5	1,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	3,31	0,13	3,44	0,04
Quilleco	9,42	2,5	5,37	1,81	0,00	0,13	1,32	0,23	0,43	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,31	2,37	23,68	0,10
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
San Rosendo	2,50	9,12	4,43	1,34	2,02	3,80	4,48	0,19	0,27	0,27	10,5	0,25	0,51	0,14	0,25	40,03	2,85	42,89	0,07
Santa Bárbara	2,77	7,00	1,00	0,10	0,00	0,31	1,60	1,81	1,12	0,22	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	16,44	3,62	20,06	0,18
Santa Juana	78,36	21,17	18,85	4,22	0,25	4,17	24,53	4,91	3,39	5,44	16,8	0,11	0,11	0,10	0,03	182,42	11,50	193,92	0,06
Talcahuano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tirúa	205,9	133,08	72,62	0,04	0,00	23,22	1,38	0,10	0,12	0,12	0,00	0,50	0,00	0,00	0,60	437,69	1,26	438,95	0,00
Tomé	37,93	16,10	7,20	1,30	0,00	2,47	6,06	0,45	0,79	0,24	13,0	0,02	0,00	0,02	0,59	86,13	3,69	89,82	0,04
Tucapel	4,77	0,00	0,57	0,00	0,00	0,04	0,00	2,47	1,32	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	9,97	1,98	11,95	0,17
Yumbel	2,56	21,25	21,60	1,56	13,15	8,17	2,61	2,14	2,82	1,18	6,51	0,06	0,76	0,00	0,00	84,38	8,91	93,28	0,10
Total	1041,1	454,2	302,2	41,6	21,6	139,3	165,7	61,4	54,6	47,7	106,6	15,7	11,9	5,1	4,5	2473,4	212,5	2685,9	-
Promedio	31,5	13,8	9,2	1,3	0,7	4,2	5,0	1,9	1,7	1,4	3,2	0,5	0,4	0,2	0,1	75,0	6,4	81,4	-

La razón que explica la baja participación de cultivos distintos a los priorizados en las comunas en el nivel inferior ($>0,00 - <0,25$), se debe a que los pequeños agricultores tienen aprensión y arraigos históricos sobre las prácticas culturales y como producir los cultivos tradicionales de la zona; cereales, leguminosas, papas, vid, manzanos y carozos, entre otros (Betancur, 2001). Por tal razón, el uso del espacio para establecer especies diferentes a las conocidas ancestralmente se dificulta al no ser parte de lo que tradicionalmente se cultiva en estos territorios, limitándose la producción a los mismos cultivos temporada tras temporada (CNCA, 2015).

Finalmente, la explicación que se atribuye a las comunas que tienen una mayor diversificación de superficie con especies cultivada, es el progresivo aumento de la expansión forestal que ha utilizado suelo con aptitud agrícola (Infante, 2010), disminuyendo el espacio productivo y obligando a los pequeños productores a cambiar sus producciones y diversificar sus especies en un menor espacio, para así asegurar la alimentación de subsistencia (Muñoz y Rebolledo, 2017).

Zona de riego

En promedio, el 59% de la superficie de las comunas de la Región del Biobío tiene producción de secano, considerándose como una condición moderada ($0,25 - <0,50$) al obtener un valor medio del indicador de 0,41 para la relación entre la superficie regada y la superficie total cultivada comunal (Cuadro 25; [Apéndice V](#)). Por otro lado, en 22 comunas se registró que sobre el 50% de su superficie productiva se encontró bajo condiciones de riego ($> 0,50$; Cuadro 25), mientras que, las comunas de Lebu, Cañete, Los Álamos y Tirúa fueron las con menores proporciones de áreas regadas registraron ($< 0,10$; Cuadro 25), lo que indica que estos territorios cuentan con más del 90% de su superficie bajo condición de secano, por lo tanto, son más sensibles a las variaciones de precipitaciones en contexto de cambio climático (Santibáñez, 2018).

Cuadro 25. Indicador de “Zona de riego” para el territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Superficie secano (ha)	Superficie bajo riego (ha)	Superficie total productiva (ha)	Indicador Zona de riego
Alto Biobío	5,98	134,22	140,19	0,96
Antuco	2,56	13,50	16,06	0,84
Arauco	117,59	25,06	142,66	0,18
Cabrero	0,39	8,26	8,65	0,95
Cañete	451,21	39,42	490,64	0,08
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00
Concepción	0,00	0,00	0,00	0,00
Contulmo	72,20	11,13	83,3	0,13
Coronel	4,03	11,30	15,33	0,74
Curanilahue	12,01	13,38	25,39	0,53

(Continúa)

(Continuación Cuadro 25)

Comuna	Superficie secano (ha)	Superficie bajo riego (ha)	Superficie total (ha)	Indicador Zona de riego
Florida	105,43	34,42	139,86	0,25
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00
Hualqui	83,26	58,51	141,77	0,41
Laja	51,11	25,17	76,28	0,33
Lebu	48,92	4,81	53,73	0,09
Los Ángeles	15,83	143,01	158,85	0,90
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulchén	1,04	5,68	6,71	0,85
Nacimiento	41,25	51,87	93,12	0,56
Negrete	4,48	24,49	28,97	0,85
Penco	3,86	9,28	13,14	0,71
Quilaco	1,5	1,93	3,43	0,56
Quilleco	12,82	10,85	23,67	0,46
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,00	0,00
San Rosendo	37,08	5,50	42,58	0,13
Santa Bárbara	1,78	18,27	20,05	0,91
Santa Juana	58,55	135,46	194,02	0,7
Talcahuano	0,00	0,00	0,00	0,00
Tirúa	435,31	2,74	438,05	0,01
Tomé	65,86	25,43	91,30	0,28
Tucapel	1,46	10,48	11,94	0,88
Yumbel	79,49	13,79	93,28	0,15

El sector agrícola más vulnerable a los efectos del cambio climático es aquel que depende, exclusivamente, del aporte de las lluvias para la producción de sus cultivos (Roudier *et al.*, 2011). La tendencia a la disminución de las precipitaciones afecta directamente a los rendimientos de las especies establecidas en secano a causa de los eventos prolongados de sequía que se han registrado los últimos años (Sidibé *et al.*, 2018; Mahmood *et al.*, 2019).

El promedio del RH anual de las especies agrícolas priorizadas, indican que para el grupo de cultivos anuales se requieren 500 mm (García-Huidobro, 1980; Faiguenbaum, 2003; Ruiz *et al.*, 2013; INTA, 2016; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; Inostroza *et al.*, 2017), para las hortalizas 462 mm (Hernández, 2003; López-López *et al.*, 2009; Marín, 2010; Molina-Montenegro *et al.*, 2011; Cárdenas *et al.*, 2014; Mejía *et al.*, 2014) y para los frutales 1130 mm (Ferreira *et al.*, 2010; Ortega, 2015; Lobos, 2019; Volschenk, 2021). Las condiciones descritas de precipitación actuales para Cañete y Tirúa señalan montos sobre los 798 mm (Uribe *et al.*, 2012) con concentraciones de lluvia en los meses de invierno. Por lo tanto, de acuerdo con las proyecciones de disminución entre un 30% a 50% de la pluviometría para el 2030 (Santibáñez, 2017), la disponibilidad hídrica para los cultivos se verá perjudicada para el crecimiento y desarrollo de estas especies, traducido en pérdidas de rendimiento (Sidibé *et al.*, 2018).

El descenso en el régimen pluviométrico se exagera en zona de secano costero por efecto del cambio climático (Valdés *et al.*, 2012; Santibáñez, 2018; Centro UC Cambio Global, 2020) y se agrava al considerar que algunos cultivos: maíz, papa, trigos primaverales, arveja, tomate, poroto y cilantro son de exclusiva producción de primavera-verano (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011), en que los montos de precipitaciones son menores comparadas a las invernales (Uribe *et al.*, 2012). En escenario de cambio climático las proyecciones para la época estival estiman un descenso de la pluviometría entre el 60% al 100% para el período 2064-2065 en la Región del Biobío (Araya-Osses *et al.*, 2020).

Por otra parte, Wassmann *et al.* (2019), indicaron qué para la mitigación de los efectos del cambio climático en las zonas de secano, es necesario implementar tecnologías de riego que permitan evitar pérdidas de rendimiento y así asegurar la alimentación de la población. Por esta razón, es importante que comunas que se encuentren con superficies extensas en condición de secano se adhieran a las políticas públicas que impulsen el recambio a riegos tecnificados, especialmente si se considera que la pequeña agricultura es proveedora fundamental de las frutas y hortalizas que se comercializan y se consumen a nivel local (Tejada, 2014; Boza *et al.*, 2019).

Condición de urbanidad

En las comunas de la Región del Biobío, la población es principalmente urbana (0,70 en el indicador de urbanidad; Cuadro 26; [Apéndice VI](#)), por lo tanto, 29 comunas tienen una población urbana igual o superior al 50%, destacándose Chiguayante (1,00), Concepción (0,98), Coronel (0,97), Hualpén (0,99), Lota (1,00), Penco (0,99); San Pedro de la Paz (1,00), Talcahuano (0,99) y Tomé (0,90); todas ellas pertenecientes a la sectorización “pencopolitano-reconversión” de la Cuenca del Río Biobío (Everis Chile S.A. e Infraestructura y Ecología S.A., 2017; Cuadro 26).

Cuadro 26. Indicador de “Índice de urbanidad” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Población urbana	Población rural	Población total	Indicador Condición de urbanidad
Alto Biobío	0	5.923	5.923	0,00
Antuco	2.077	1.996	4.073	0,51
Arauco	27.320	8.937	36.257	0,75
Cabrero	21.564	7.009	28.573	0,75
Cañete	19.494	15.043	34.537	0,56
Chiguayante	85.863	75	85.938	1,00
Concepción	219.057	4.517	223.574	0,98
Contulmo	3.061	2.970	6.031	0,51
Coronel	113.074	3.188	116.262	0,97
Curanilahue	30.174	2.114	32.288	0,93
Florida	4.560	6.064	10.624	0,43

(Continúa)

(Continuación Cuadro 26)

Comuna	Población urbana	Población rural	Población total	Indicador Condición de urbanidad
Hualpén	90.985	788	91.773	0,99
Hualqui	20.889	3.444	24.333	0,86
Laja	16.222	6.167	22.389	0,72
Lebu	23.477	2.045	25.522	0,92
Los Álamos	18.726	2.309	21.035	0,89
Los Ángeles	15.1087	51.244	202.331	0,75
Lota	43.427	108	43.535	1,00
Mulchén	24.149	5.478	29.627	0,82
Nacimiento	23.031	3.284	26.315	0,88
Negrete	6.055	3.682	9.737	0,62
Penco	46.900	467	47.367	0,99
Quilaco	1.870	2.118	3.988	0,47
Quilleco	5.586	4.001	9.587	0,58
San Pedro de la Paz	131.684	124	131.808	1,00
San Rosendo	2.907	505	3.412	0,85
Santa Bárbara	7.986	5.787	13.773	0,58
Santa Juana	9.594	4.155	13.749	0,70
Talcahuano	150.320	1.429	151.749	0,99
Tirúa	3.738	6.679	10.417	0,36
Tomé	49.540	5.406	54.946	0,90
Tucapel	11.887	2.247	14.134	0,84
Yumbel	12.711	8.487	21.198	0,60

Por otro lado, las comunas de Alto Biobío, Florida, Quilaco y Tirúa fueron las que tienen menor población urbana, siendo particularmente destacable la primera de ellas al tener “0” población urbana (INE, 2017).

Berdegúe *et al.* (2010), indicaron que la principal actividad económica de las comunas rurales está basada en la extracción de recursos naturales y la agricultura, mientras que para las áreas urbanas la importancia recae en las industrias y servicios. Sin embargo, ambas realidades dependen unas de las otras para su desarrollo, pues para las zonas rurales, el perímetro urbano representa los mercados de comercialización de sus productos agrícolas y suministros de insumos básicos, mientras que, el área urbana depende del comercio local para el abastecimiento de alimentos (OCDE, 2016).

A pesar de la dependencia de ambas áreas, la migración rural-urbana es un fenómeno que se registra desde la década de los 70’ en Chile, producto de la falta de políticas de desarrollo rural que fortalezcan la calidad de vida de las personas (Oyarzún y Miranda, 2011). En el caso de la Región del Biobío, la población rural correspondía al 12,6% en el Censo 2002 mientras que en el Censo 2017 bajó a 11,4% (INE, 2017). Esto se debe al deterioro socio-

espacial por falta de acceso a infraestructura básica como: alimentación, salud, accesibilidad y educación, a la pobreza, la indigencia, la desigualdad y la precarización del espacio productivo (Oyarzún y Miranda, 2011; Cazzuffi *et al.*, 2019).

La precarización de los sistemas agrícolas manejados por pequeños agricultores se debe por el contraste que existe en los sectores productivos en las zonas rurales (Cazzuffi *et al.*, 2019). Por un lado, se encuentran grandes extensiones dedicadas a la agricultura con altos niveles de tecnologías, cadenas de comercialización establecidas y conducidas por los grandes y medianos productores quienes están desvinculados de políticas públicas de desarrollo e inclusión social (Toro, 2016). Por otra parte, están las pequeñas porciones de terreno en que se desarrolla agricultura de subsistencia o de comercio local, quienes no cuentan con la tecnología necesaria para hacer crecer sus explotaciones y rendimientos (Oyarzún y Miranda, 2011).

La falta de políticas públicas para el desarrollo de los territorios rurales no solo vulnera en términos sociales a su población; sino, también, hace más vulnerable a la actividad agrícola frente al cambio climático, debido a que los agricultores no tienen mecanismos ni conocimientos de adaptación para enfrentar el futuro escenario (Toro, 2016).

Actualmente, el Ministerio de Agricultura impulsó la “Política Nacional de Desarrollo Rural”, que integra diversos aspectos característicos de los territorios rurales, no solo enfocado en la agricultura; sino, además, su base se fundamenta en el “bienestar social, diversidad de oportunidades, equidad, integración territorial, identidad, descentralización, sustentabilidad, eficiencia, participación, resiliencia, gradualidad e integralidad” (ODEPA, 2020). De esta manera, se busca el desarrollo sostenible de las zonas rurales y la contribución para un mayor equilibrio territorial frente a las nuevas condiciones de cambio (Diario Oficial, 2020).

En este escenario, la importancia de reconocer el rol agroalimentario y cultural que cumplen las comunas rurales en la Región del Biobío es fundamental para la integración entre territorios urbano-rural y el desafío del desarrollo equitativo para ambas realidades, que, en conjunto, le dan sentido a la identidad de la región.

Componente Exposición

En promedio, en la Región del Biobío el componente de exposición presentó participación “media” en la vulnerabilidad (0,42; Figura 3; [Apéndice VII](#)). El indicador superficie cultivada fue el que obtuvo el rango más crítico, considerado como “muy alto” (0,10), pues la mayor parte de la superficie cultivada se encuentra utilizada por los cultivos priorizados, debido a la baja diversificación a causa de los arraigos culturales de los agricultores en la producción de cultivos típicos. Por otro lado, el indicador zona de riego estuvo en la categoría “media” (0,41), es decir, el 59% del territorio agrícola de las comunas de la región tienen una producción de secano, por lo tanto, son dependientes de las precipitaciones y vulnerables ante las proyecciones de descenso pluviométrico. Por último, la condición de urbanidad

alcanzó un rango “bajo” de vulnerabilidad (0,75), pues la concentración de población rural se encuentra en menor medida comparada con la urbana, respondiendo al fenómeno de la migración rural-urbano.

En 16 comunas el componente exposición de la vulnerabilidad estuvo en el rango considerado “alto” (0,21 – 0,40), pues, en promedio, la superficie de los cultivos priorizados fue del 97% en estos territorios, acotando el espacio productivo para el establecimiento de otras especies. De la misma manera, la condición de secano predominó en estas comunas pues el valor medio del indicador de riego fue de 0,13 (Figura 3), por lo tanto, se encuentran más expuestos a la variabilidad pluviométrica. En este sentido, la mayor parte de estas comunas, responden al patrón común de pertenecer al secano costero o interior, por lo que la producción en estas condiciones responde a una práctica histórica. Por otra parte, la condición de urbanidad fue la que mejor respuesta obtuvo, debido a que menos del 25% de la población de estos territorios fue considerada como rural, debido a la cercanía de grandes ciudades como Concepción y Los Ángeles que han permitido el mayor desarrollo urbano.

Las 11 comunas que se encontraron en el rango “medio” (0,41 – 0,60) de la participación del componente exposición en la vulnerabilidad, se destacaron porque la superficie cultivada bajo sistemas de riego fue sobre el 62%, a pesar de pertenecer en gran medida al secano interior. Esta circunstancia es explicada por la inversión en equipamiento e infraestructura de riego en estos sectores y a la disposición de los agricultores al recambio de estas prácticas. Sin embargo, a causa del uso intensivo del área productiva con los cultivos priorizados, la superficie cultivada alcanzó una vulnerabilidad “muy alta” (0,13; Figura 3), por lo que la respuesta del componente exposición en estas comunas solo alcanzó el nivel medio de vulnerabilidad. En este sentido, es posible atribuir que, si las iniciativas de diversificación del espacio productivo con nuevas especies agrícolas se incentivan, los rangos de exposición para estos territorios podrían alcanzar niveles bajos o muy bajos de vulnerabilidad frente a las condiciones de cambio climático.

En el nivel considerado como “bajo” (0,61 – 0,80), 5 comunas se encontraron en esta condición (Figura 3), destacándose Cabrero como la que obtuvo el menor nivel de vulnerabilidad en el aporte del componente de exposición (0,71) de la Región del Biobío. La razón que explica este comportamiento se debe a que los indicadores zona de riego y condición de urbanidad estuvieron en los rangos “muy bajo” (0,95) y “bajo” (0,75), respectivamente, de vulnerabilidad. En este contexto, la comuna se encuentra menos expuesta al descenso de precipitaciones, pues el 95% de su superficie productiva cuenta con algún tipo de riego, por lo que, ante condiciones adversas, es posible tener alternativas más rápidas y efectivas de suministro hídrico; como, por ejemplo, la utilización de estanques de acumulación de aguas. Por último, el indicador superficie cultivada, en Cabrero, fue el de mejor respuesta de la región al encontrarse en una condición media de vulnerabilidad (0,42). Este nivel se debe a que existe una mayor cantidad de cultivos distintos de los priorizados en la superficie agrícola de la comuna, atribuible a mejores condiciones de producción; como el uso de riego, que permite el establecimiento de otras especies.

Por último, Tirúa fue la única comuna que obtuvo el rango “muy alto” (0,00 – 0,20; Figura 3) en el aporte del componente de exposición para la vulnerabilidad. Este nivel de puede atribuirse a la utilización completa de la superficie agrícola para la producción exclusiva de

los cultivos priorizados en condiciones de secano en el 99,9% del territorio, alcanzando tanto para el indicador de superficie cultivada como para el de zona de riego, valores cercanos a 0,00. Esta condición impide el uso del espacio agrícola en el establecimiento de otras especies que permiten diversificar el número de cultivos existentes dentro de la comuna, por lo tanto, la exposición a eventos adversos es más crítica cuando el grupo de especies es acotado. Del mismo modo ocurre con la producción de secano, que, si bien, su producción bajo esta condición se explica porque la comuna es la que se encuentra más al sur de la región, con características de clima templado lluvioso que permite sustentar las producciones exclusivamente por el aporte de lluvias, al depender únicamente del régimen pluviométrico, está más expuesta y vulnerable a la disminución de las precipitaciones. Finalmente, la mayor parte de la población de Tirúa es rural, siendo la segunda comuna con menor proporción urbana después de Alto Biobío, alcanzando el rango “alto” (0,36) para el indicador de condición de urbanidad.

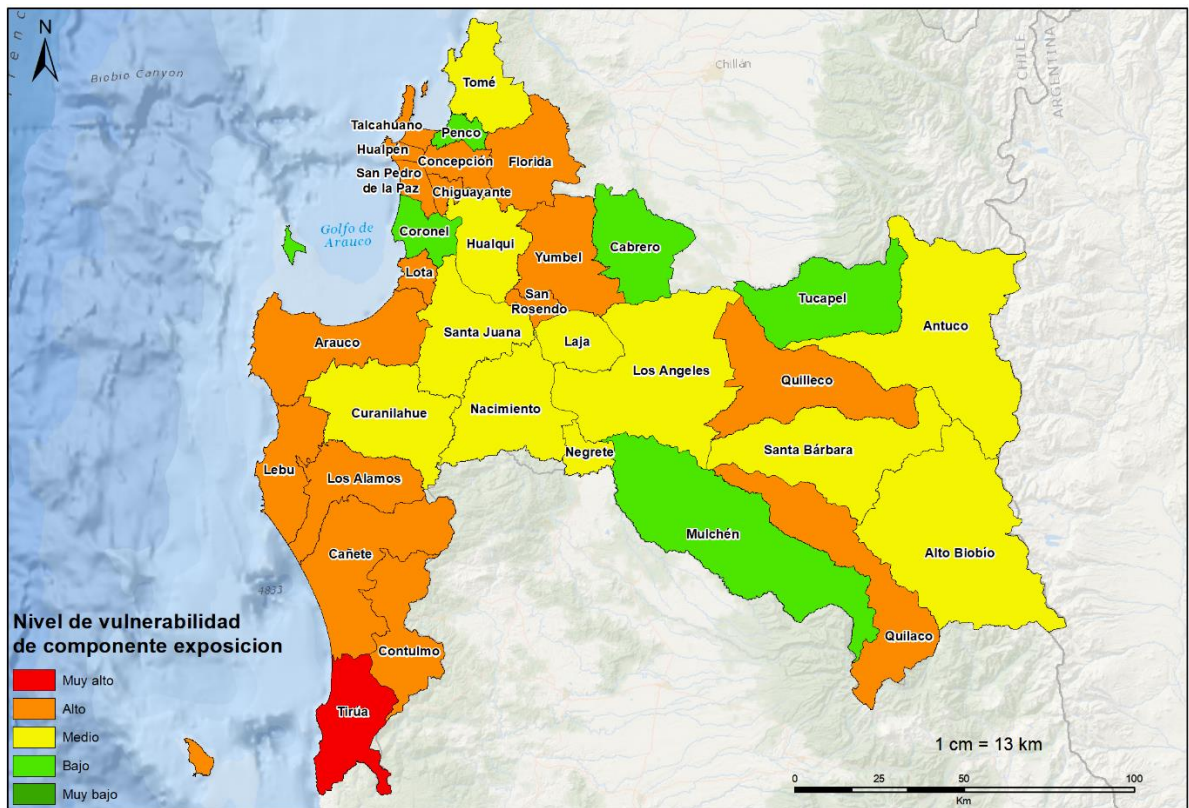


Figura 3. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición en los territorios agrícolas de la Región del Biobío.

Componentes Sensibilidad y Multifuncionalidad del territorio agrícola

Diversidad cultivada

La mayor parte de las comunas del Biobío (19), tienen un nivel moderado (0,50 - <0,75) de diversidad de cultivos, según el “Índice de equidad de Pielou”, alcanzando un valor promedio del indicador de 0,50 (Cuadro 27; [Apéndice VIII](#); Moreno, 2001; Iermanó *et al.*, 2015).

Las comunas de Cabrero, Laja y Los Ángeles son las que presentaron una mayor diversidad (0,79; 0,77 y 0,77 respectivamente), mientras que, Cañete, Contulmo, Los Álamos, Tirúa y Tomé son las de menor diversidad (0,36; 0,35; 0,44; 0,40 y 0,49 respectivamente; Cuadro 27).

Cuadro 27. Indicador de “Diversidad cultivada” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Número total de cultivos	H observado	H máximo	Indicador Diversidad cultivada
Alto Biobío	30	2,56	3,41	0,75
Antuco	33	2,51	3,49	0,72
Arauco	33	1,79	3,49	0,51
Cabrero	33	2,74	3,49	0,79
Cañete	44	1,36	3,78	0,36
Chiguayante	0	0,00	0,00	0,00
Concepción	0	0,00	0,00	0,00
Contulmo	30	1,21	3,4	0,35
Coronel	41	2,39	3,72	0,64
Curanilahue	25	1,99	3,22	0,62
Florida	48	2,47	3,88	0,64
Hualpén	0	0,00	0,00	0,00
Hualqui	60	2,34	4,10	0,57
Laja	65	3,22	4,18	0,77
Lebu	17	1,67	2,84	0,59
Los Álamos	34	1,57	3,53	0,44
Los Ángeles	55	3,08	4,01	0,77
Lota	0	0,00	0,00	0,00
Mulchén	13	1,89	2,57	0,74
Nacimiento	34	2,35	3,53	0,66
Negrete	30	2,32	3,41	0,68
Penco	19	1,54	2,95	0,52
Quilaco	10	1,63	2,31	0,71
Quilleco	24	1,95	3,18	0,61
San Pedro de la Paz	0	0,00	0,00	0,00
San Rosendo	35	2,57	3,56	0,72
Santa Bárbara	28	2,36	3,34	0,71
Santa Juana	58	2,29	4,07	0,56
Talcahuano	0	0,00	0,00	0,00
Tirúa	22	1,24	3,10	0,40

(Continúa)

(Continuación Cuadro 27)

Comuna	Número total de cultivos	H observado	H máximo	Indicador Diversidad cultivada
Tomé	49	1,90	3,90	0,49
Tucapel	14	1,85	2,64	0,70
Yumbel	45	2,45	3,81	0,64

González *et al.* (2018), indicaron que la “agrodiversidad” hace alusión a “la variabilidad entre los organismos vivos que contribuyen a la alimentación y la agricultura”. Sin embargo, esta característica no es habitual en la actividad agrícola, pues se reconoce que tiene bajos niveles de agrodiversidad a causa de la fuerte producción de monocultivos que hacen a los sistemas particularmente vulnerables al cambio climático (Nicholls y Altieri, 2019), acrecentándose, especialmente en los sistemas de producción para auto consumo o la agricultura familiar campesina (AF) con tradiciones de manejo caracterizada por los bajos niveles de rotación de cultivos, ya que no son solo vulnerables por pérdidas productivas y económicas; sino, también, sensibles en su seguridad alimentaria local (Briones, 2016).

Por otra parte, Cardozo (2014), indicó que la baja agrodiversidad productiva aumentará a causa del cambio climático, debido a las variaciones en la distribución de las producciones en los territorios. Por esta razón, los territorios agrícolas de las comunas con “baja” diversidad cultivada (0,25 - <0,50) son especialmente sensibles a los cambios de los patrones del clima por tener mayor proporción de áreas con monocultivos y bajas superficies establecidas con otras especies, por lo tanto, la diversificación de los cultivos agrícolas en los territorios agrícolas de Cañete, Contulmo, Los Álamos, Tirúa y Tomé es fundamental para tener mayores niveles de resiliencia frente a las nuevas condiciones de cambio (Altieri y Nicholls, 2013b).

Las comunas de la región cuyos niveles de diversidad cultivada se encuentran en rangos moderados (0,50 – 0,75), se atribuye un mayor conocimiento en la forma de cultivar especies distintas a los que tradicionalmente se producen. Por tal motivo, se debe potenciar la producción diversa de especies agrícolas para asegurar productos alimentarios para la población y el autoconsumo bajo los contextos futuros del clima (Iermanó *et al.*, 2015).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos de las comunas de la Región del Biobío, en promedio, se encontró en un nivel “alto” (0,50 - <0,75) de intercambio de cultivos por temporada (0,57; Cuadro 28; [Apéndice IX](#)), obteniéndose extremos comunales de 0,96 en Quilaco y 0,07 en Coronel (Cuadro 28).

Para los rangos de “muy alta” y “alta” rotación, 23 comunas se encontraron en esta condición con valores entre 0,5 y 1, destacándose Negrete, Penco, Quilaco y Tucapel cuyos resultados estuvieron por sobre 0,9 (Cuadro 28). Estas cifras indicaron que la mayoría de los cultivos

establecidos en los territorios agrícolas de estas zonas son parte del sistema de rotación por temporada.

Por otra parte, las comunas de Alto Biobío, Coronel, Laja y Santa Bárbara obtuvieron los valores más bajos: 0,38; 0,071; 0,28 y 0,29, respectivamente (Cuadro 28). Estos resultados se deben a que la rotación de cultivo es baja o no se realiza al término de la temporada a causa del desconocimiento de los productores y al bajo apoyo técnico local (Ramírez *et al.*, 2016), por lo tanto, los valores tienden a aproximarse a 0.

Cuadro 28. Indicador de “Rotación de cultivos” para el territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	N° Agricultores sin rotación	N° Agricultores baja rotación	N° Agricultores mediana rotación	N° Agricultores Alta rotación	Total Agricultores	Indicador Rotación de cultivos
Alto Biobío	181	2	0	111	294	0,38
Antuco	9	0	2	75	86	0,89
Arauco	48	0	2	275	325	0,85
Cabrero	25	3	5	82	115	0,75
Cañete	102	4	12	788	906	0,88
Chiguayante	0	0	0	0	0	0,00
Concepción	0	0	0	0	0	0,00
Contulmo	100	1	1	141	243	0,59
Coronel	103	0	2	7	112	0,07
Curanilahue	20	2	1	59	82	0,74
Florida	45	8	16	230	299	0,81
Hualpén	0	0	0	0	0	0,00
Hualqui	71	10	21	240	342	0,74
Laja	136	6	3	52	197	0,28
Lebu	58	1	0	111	170	0,66
Los Álamos	25	2	6	197	230	0,88
Los Ángeles	48	3	13	345	409	0,87
Lota	0	0	0	0	0	0,00
Mulchén	14	0	0	18	32	0,57
Nacimiento	109	3	16	123	251	0,53
Negrete	10	0	1	89	100	0,90
Penco	2	0	1	39	42	0,95
Quilaco	1	0	0	20	21	0,96
Quilleco	47	0	3	76	126	0,62
San Pedro de la Paz	0	0	0	0	0	0,00
San Rosendo	25	1	1	90	117	0,78
Santa Bárbara	63	0	2	24	89	0,29
Santa Juana	93	7	22	272	394	0,73

(Continúa)

(Continuación Cuadro 28)

Comuna	N° Agricultores sin rotación	N° Agricultores baja rotación	N° Agricultores mediana rotación	N° Agricultores Alta rotación	Total Agricultores	Indicador Rotación de cultivos
Talcahuano	0	0	0	0	0	0,00
Tirúa	111	1	12	656	780	0,85
Tomé	63	2	9	135	209	0,67
Tucapel	3	0	2	69	74	0,95
Yumbel	57	7	6	201	271	0,76
Promedio	47,55	1,91	4,82	137,12	191,39	-

La importancia de la rotación de cultivos en los escenarios de cambio climático se debe a que esta práctica permite el incremento de la biodiversidad (Cary y Frey, 2020), mejora la biomasa subterránea del suelo, la capacidad de retención de carbono y el aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Liu *et al.*, 2020), como también así, ayuda a la disminución de la incidencia de plagas específicas de los monocultivos (COAG, 2008).

Los estudios de adaptación de los sistemas agrícolas han demostrado que la modificación de los componentes de la producción: sistemas de riego, manejo de suelos y la rotación de cultivos, obtienen resultados positivos frente a las variaciones climáticas (Teixeira *et al.*, 2018). Por tal razón, la transformación en las prácticas agrícolas de las comunas con mayores niveles de monocultivos es fundamental para permitir que los agro-sistemas sean resilientes antes los efectos del cambio climático para asegurar el acceso a los alimentos (Degani *et al.*, 2019).

La rotación con especies que se adapten a las condiciones edafoclimáticas de los territorios debe cumplir dos propósitos: 1. dar beneficios a la cadena alimentaria para los consumidores y, 2. mejorar las condiciones físicas y biológicas del sistema producción (Liu *et al.*, 2020). Un ejemplo de especies de doble propósito son las leguminosas, cuyo establecimiento en la línea de rotación no solo ayudan a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y mejoran nivel proteico para el siguiente cultivo, generalmente cereales (Baginsky y Ramos, 2018; Farina *et al.*, 2018), sino, también, son una fuente importante de carbohidratos y proteínas para alimentación (Sánchez *et al.*, 2016).

El promover la rotación de cultivos de leguminosas-cereales y de otras especies entre los pequeños agricultores, no solo permite adaptar de mejor manera a los territorios frente al cambio climático; sino, también, promueve la producción de leguminosas, cuya superficie en el país ha disminuido considerablemente los últimos 30 años debido a los costos de producción y bajos rendimientos por falta de tecnologías (Baginsky y Ramos, 2018).

Sensibilidad de Aptitud Térmica

La mayor parte de las comunas de la Región del Biobío (31 de 33) presentaron un nivel “bajo” (0,75 - 1,00) de sensibilidad térmica (Cuadro 29; [Apéndice X](#)), es decir, la

acumulación de DG aumentará menos del 25% en relación con los requerimientos de temperatura umbral (T_u) de los cultivos priorizados y las HF disminuyeron entre los rangos óptimos de las necesidades de las especies entre el período actual y el proyectado (Cuadro 29). Por otra parte, las comunas de Quilaco y Santa Bárbara fueron las que obtuvieron menores valores; 0,69 y 0,73, respectivamente, encontrándose en un nivel moderado (0,50 - <0,75; Cuadro 29).

Cuadro 29. Variación promedio del de los días grados (DG) y horas frío (HF) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Aptitud Térmica”.

Comuna	Días Grados Variación Actual - Proyectado	Sensibilidad Días Grados	Horas Frío Variación Actual -Proyectado	Sensibilidad Horas Frío	Indicador Sensibilidad Aptitud Térmica
Alto Biobío	0,23	0,77	0,24	0,76	0,76
Antuco	0,28	0,72	0,22	0,78	0,75
Arauco	0,10	0,90	0,22	0,78	0,84
Cabrero	0,00	1,00	0,39	0,61	0,81
Cañete	0,10	0,90	0,23	0,77	0,84
Chiguayante	0,12	0,88	0,26	0,74	0,81
Concepción	0,08	0,92	0,28	0,72	0,82
Contulmo	0,10	0,90	0,25	0,75	0,83
Coronel	0,10	0,90	0,25	0,75	0,82
Curanilahue	0,05	0,95	0,26	0,74	0,84
Florida	0,02	0,98	0,35	0,65	0,82
Hualpén	0,08	0,92	0,23	0,77	0,85
Hualqui	0,05	0,95	0,31	0,69	0,82
Laja	0,00	1,00	0,37	0,63	0,81
Lebu	0,10	0,90	0,18	0,82	0,86
Los Álamos	0,10	0,90	0,23	0,77	0,83
Los Ángeles	0,00	1,00	0,36	0,64	0,82
Lota	0,10	0,90	0,26	0,74	0,82
Mulchén	0,17	0,83	0,29	0,71	0,77
Nacimiento	0,02	0,98	0,34	0,66	0,82
Negrete	0,00	1,00	0,34	0,66	0,83
Penco	0,10	0,90	0,28	0,72	0,81
Quilaco	0,37	0,63	0,24	0,76	0,70
Quilleco	0,13	0,87	0,30	0,70	0,78
San Pedro de la Paz	0,17	0,83	0,25	0,75	0,79
San Rosendo	0,00	1,00	0,36	0,64	0,82
Santa Bárbara	0,25	0,75	0,28	0,72	0,74
Santa Juana	0,03	0,97	0,31	0,69	0,83
Talcahuano	0,15	0,85	0,25	0,75	0,80
Tirúa	0,13	0,87	0,18	0,82	0,84
Tomé	0,08	0,92	0,30	0,70	0,81
Tucapel	0,20	0,80	0,27	0,73	0,76
Yumbel	0,00	1,00	0,37	0,63	0,82

El rol de la temperatura en los sistemas agrícolas es fundamental para la determinación de los estados fenológicos y los períodos de labores de campo; tales como: elección de variedades o cultivares, fechas de siembra y cosecha (Hoyos *et al.*, 2012). Para determinar la necesidad térmica de las diferentes especies agrícolas, se emplea el concepto de días grados (DG) que relaciona la temperatura media de una localidad con la temperatura base de desarrollo del vegetal seleccionado, la que puede variar entre 4° a 10°C (Uribe *et al.*, 2012; Potter *et al.*, 2013). Por otro lado, el requerimiento de frío, HF, en frutales caducifolios y algunos cultivos anuales invernales, también tiene un rol fundamental para cumplir el receso y alcanzar niveles productivos óptimos (Flores, 2016a).

La acumulación de DG para el período actual de los cultivos priorizados ([Apéndice XI](#)) indicó que, para las comunas de Alto Biobío y Antuco, el maíz, el poroto, el tomate, el cilantro, la vid, el frambueso y el nogal no lograron acumulación térmica (0), considerando una T_u igual a 10, debido a que estas localidades son cordilleranas, por lo que las temperaturas no alcanzan a suplir el requerimiento térmico para estas especies. Del mismo modo, el manzano de T_u igual a 7 no acumuló DG en Alto Biobío. En relación con la evaluación entre los DG acumulados actuales y los rangos óptimos y de restricción para el desarrollo de cada cultivo ([Anexo III](#); [Apéndice XII](#)), se destaca que la mayoría de las comunas (30) presentaron rangos correspondientes a nivel de “sin restricción” ($>0,75$) ([Apéndice X](#)). Sin embargo, Alto Biobío, Antuco y Quilaco tuvieron en promedio, niveles “leve” y “moderado”, debido a que 8 de los 15 cultivos priorizados se encontraron restringidos por la acumulación de DG necesarios para su óptimo desarrollo.

En relación con la evaluación entre los DG acumulados proyectados para cada cultivo por comuna ([Apéndice XIII](#)), todas las comunas lograron acumulación térmica para las T_u de cada cultivo priorizado. La comparación entre los resultados de DG proyectados y los rangos óptimos y de restricción para su desarrollo ([Apéndice XII](#)), se destaca que 32 comunas alcanzan el nivel de “sin restricción” ($>0,75$) y solo Alto Biobío presentó rango en la categoría de “leve” (0,70). A pesar de que en el escenario proyectado todos los cultivos acumulan DG en todas las comunas, en Alto Biobío y Antuco la acumulación térmica para la vid y nogal queda en rangos excluyentes, mientras que en Quilaco ocurre de la misma forma con el nogal ([Apéndice XII](#)).

El aumento de las temperaturas para el período 2046-2065 origina una mayor acumulación de DG para los diversos requerimientos de las especies de interés agrícola ([Apéndice XIV](#)). Sin embargo, el estrés por el alza de temperaturas es uno de los factores más importantes que influyen en la productividad de los cultivos, debido a que ocasiona daños irreversibles en el metabolismo de la planta (Porch y Hall, 2013), altera su desarrollo al modificar la relación suelo-planta, afecta el balance fotosintético y de respiración e interfiere en la eficiencia del uso del agua (EUA) y de la radiación (EUR; Bolger *et al.*, 2014; Asseng *et al.*, 2015).

Los efectos del estrés térmico se pueden analizar en los cultivos priorizados y sus respectivos umbrales de daño ([Anexo XVI](#)), pues al verse afectados pueden ocasionar pérdidas en los territorios agrícolas del Biobío debido a que son los principales cultivos producidos en relación con la superficie que abarca ([Anexo I](#)). En este sentido, el efecto del aumento de temperatura en la papa puede ocasionar la inhibición del crecimiento vegetativo y la baja calidad de los tubérculos (Van Dam *et al.*, 1996). En casos más extremos se provoca un

descenso en el proceso de tuberización, cambios en la distribución de la acumulación de biomasa: baja el índice de cosecha al disminuir la biomasa en tubérculos y aumenta la biomasa aérea (Hancock *et al.*, 2014).

En cereales, el aumento de temperaturas afecta principalmente a la producción de los granos (Asseng *et al.*, 2015), ocasionando descensos del rendimiento, del área foliar y de la elongación y densidad de las raíces, además de incrementar el consumo hídrico tanto en el trigo como en la avena (Argente *et al.*, 2017; Cordero *et al.*, 2020). Por otro lado, el efecto de estrés térmico en el maíz está relacionada a la inhibición de la actividad fotosintética, reducción del ciclo fenológico y afectación al llenado de granos (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017).

El grupo de las leguminosas, como la lenteja, arveja y poroto, es considerado como moderadamente resistente al calor y el período en que se observan daños por aumento de temperaturas puede ser extenso y diverso a causa de los hábitos de crecimiento indeterminados y determinados presentes en estos tipos de cultivos (Street *et al.*, 2008). En lentejas, se incrementa el gasto respiratorio, disminuyendo el peso de las semillas y afectando al rendimiento (Cárdenas *et al.*, 2014). Por otro lado, tanto en la arveja como en el poroto el alza de temperaturas inhibe el desarrollo, disminuye el período de floración y favorece la senescencia del cultivo (Galindo y Clavijo, 2009; Ruiz, 2019).

En cultivos como la lechuga y el cilantro, se han observado desordenes fisiológicos, tales como: enanismo, asociado al bajo desarrollo del follaje, y floración temprana con emisión de tallos florales altos y débiles para la lechuga (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; Saavedra *et al.*, 2017), mientras que, en el cilantro, se ha identificado que altas temperaturas acortan su ciclo vegetativo y disminuye la biomasa aérea (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017).

El efecto del estrés térmico en el tomate es la aceleración de la maduración de los frutos e induce el déficit hídrico de forma drástica a causa del aumento de las necesidades de ETC (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017). Además, se ha estudiado el decrecimiento de la germinación de las semillas, la afectación en la viabilidad del polen provocando efectos sobre la fertilización de frutos, aborto floral, cuaje de frutos y se origina una menor producción de follaje, obteniendo frutos más pequeños, por tanto, provoca pérdidas de rendimiento (Allende *et al.*, 2017; Baudoin *et al.*, 2017; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017).

En relación los frutales como la vid, el frambueso, el cerezo, el nogal y el manzano, se estima que los daños originados por un estrés térmico están relacionados con la alteración de los procesos fotosintéticos, la distribución de azúcares, ácidos orgánicos, la firmeza y la actividad antioxidante de los frutos (Moretti *et al.*, 2010; Cárdenas, 2015). Además, Hafidi *et al.* (2014), indicaron que el aumento de temperaturas provoca desórdenes fenológicos como cambios en la fecha de floración, aparición de brotes en otoño, adelantamiento de la maduración y aumento en los requerimientos de agua.

En relación con el parámetro de acumulación de HF para el período actual, el frambueso y el nogal cumplen con su requerimiento de frío en la categoría de “sin restricción” en todas las comunas, mientras que, para la vid, el cerezo y el manzano las comunas presentan niveles de

“restricción moderada”, “restricción leve” y “sin restricción” ([Apéndice XV](#)). Sin embargo, el incremento de las temperaturas para el período 2046-2065 provocaría una disminución en la acumulación de las HF, afectando a la disponibilidad de frío para el receso invernal en todos los frutales, cambiando a categorías de restricción “leve” y “moderada” ([Apéndice XV](#)). Alto Biobío y Antuco, fueron las únicas comunas que la variación de HF para el escenario proyectado no generará problemas de restricción para el establecimiento de la fruticultura priorizada ([Apéndice XVI](#)).

Las HF en cultivos anuales invernales, principalmente cereales, y en frutales caducifolios son de vital importancia para el receso cuando las temperaturas descienden de los 7°C y los días se acortan (FEADER, 2010). Sin embargo, en algunas ocasiones el requerimiento de acumulación de frío se ve afectado por el alza de temperaturas que impiden cumplir con las HF necesarias para salir del receso (Flores, 2016b). Los efectos de falta de frío pueden ser diversos; brotación y floración desuniforme y retrasada, crecimiento débil de brotes, desarrollo lateral de brotes, desenfrenado crecimiento vegetativo, afectación en el cuaje, poca viabilidad del polen, bajo desarrollo foliar, retraso en la entrada de producción, excesivo uso de las reservas, maduración irregular, baja calidad de la fruta y disminución de los rendimientos (FEADER, 2010; Rodríguez y Muñoz, 2015; Flores, 2016a).

Finalmente, para el período proyectado 2046-2065 en escenario de cambio climático, la producción de cultivos anuales, hortalizas y frutales se ve amenazada por el alza de la temperatura, lo que ocasionará estrés térmico afectando el crecimiento y desarrollo de los vegetales, aumentará el requerimiento de ETC e interferirá en la acumulación de HF para los frutales de algunas comunas de la región. En este sentido, las propuestas de adaptación al cambio climático apuntan a la utilización de nuevos cultivares adaptados a las condiciones proyectadas con genotipos que permitan producir polen con mayor viabilidad a la exposición de altas temperaturas, que resistan a los golpes de sol continuos y que sus ciclos fenológicos estén adaptados a la acumulación temprana de DG (Ahumada *et al.*, 2014; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017). En el caso de la compensación de la falta de HF, se sugiere la utilización de especies o variedades con bajos requerimientos que estén adaptadas a las nuevas condiciones ambientales de las zonas de establecimiento o la utilización de productos como la cianamida hidrogenada para la salida del receso invernal y así cumplir con los objetivos productivos (González-Herranz y Ortega, 2015).

Sensibilidad de Aptitud Hídrica

En general, el promedio de variación entre el RH actual y el proyectado de los cultivos priorizados se encuentra en el nivel “moderado” (0,50 - <0,75; [Apéndice XVII](#)) para 22 comunas de la región, mientras que 9 comunas estuvieron en el rango considerado “bajo” (0,75 - 1,00; Cuadro 30). En tanto, las comunas de Cabrero, Laja, Los Ángeles y Negrete se destacaron por obtener los valores más altos del indicador, al registrar variaciones del RH inferiores al 15%. Por otra parte, Coronel y San Pedro de la Paz son las comunas cuya sensibilidad de aptitud térmica se encontró en el nivel “alto” (0,25 – <0,50; Cuadro 30).

Cuadro 30. Variación promedio del requerimiento hídrico (RH) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Aptitud Hídrica”.

Comuna	Requerimiento Hídrico Variación Actual -Proyectado	Indicador Sensibilidad Hídrica
Alto Biobío	0,31	0,69
Antuco	0,38	0,62
Arauco	0,42	0,58
Cabrero	0,12	0,88
Cañete	0,32	0,68
Chiguayante	0,48	0,52
Concepción	0,39	0,61
Contulmo	0,34	0,66
Coronel	0,53	0,47
Curanilahue	0,37	0,63
Florida	0,41	0,59
Hualpén	0,33	0,67
Hualqui	0,39	0,61
Laja	0,13	0,87
Lebu	0,26	0,74
Los Álamos	0,32	0,68
Los Ángeles	0,15	0,85
Lota	0,50	0,50
Mulchén	0,26	0,74
Nacimiento	0,23	0,77
Negrete	0,14	0,86
Penco	0,35	0,65
Quilaco	0,21	0,79
Quilleco	0,26	0,74
San Pedro de la Paz	0,54	0,46
San Rosendo	0,17	0,83
Santa Bárbara	0,32	0,68
Santa Juana	0,33	0,67
Talcahuano	0,28	0,72
Tirúa	0,20	0,80
Tomé	0,34	0,66
Tucapel	0,28	0,72
Yumbel	0,20	0,80

Si bien la variación de RH entre el período actual y el proyectado (2046-2065) se encuentra en un nivel “moderado” ([Apéndice XVII](#)), la disminución de precipitaciones obliga al recambio de la producción de secano a sistemas de riego que permitan suplir el déficit hídrico de las distintas especies agrícolas establecidas y así asegurar niveles de producción que garanticen la alimentación de la población.

El RH en el período actual para los cultivos de: avena, lenteja y arveja es igual a 0 para todas las comunas ([Apéndice XVIII](#)), debido a que las precipitaciones suplen las pérdidas ([Apéndice XIX](#)) por ETc ([Apéndice XX](#)). No obstante, para el resto de los cultivos: papa, trigo, maíz, lechuga, cilantro, tomate, poroto, vid, cerezo, frambueso, nogal y manzano, es necesaria la implementación del riego para compensar la demanda a lo largo de su ciclo ([Apéndice XVIII](#)). Sin embargo, la condición de estar bajo riego no se cumple debido a que la mayor parte de la producción de los pequeños agricultores es de secano o tienen acceso limitado a tecnologías de riego (INDAP, 2017). Por tal motivo, uno de los principales factores que explica la diferencia entre el rendimiento promedio de la región de cada cultivo y el rendimiento real por localidad en especies como; papa, maíz, arveja, tomate, vid, frambueso, cerezo, nogal y manzano ([Anexo VII](#)), es el desbalance entre la ETc y el monto de precipitaciones acumuladas del período de crecimiento y desarrollo de las especies.

La proyección para el período 2046-2065 da cuenta de un descenso, en promedio, del 48,6% de las precipitaciones en todas las comunas de la Región del Biobío ([Apéndice XXI](#); Araya-Osses *et al.*, 2020). En este escenario y, considerando la ETc proyectada ([Apéndice XXII](#)) para cada especie en función de la variación de temperaturas ([Apéndice XIV](#)), el RH para el período futuro aumentan, en promedio, 4 veces en relación con el RH actual, para todos los cultivos priorizados, a excepción de la lenteja ([Apéndice XXIII](#)). Si se comparan estos resultados con los requerimientos hídricos actuales, la variación es “moderada” (Cuadro 30). Sin embargo, si solo se observa la ETc modelada y las precipitaciones proyectadas ([Apéndice XXIV](#)), la necesidad de suplir los requerimientos hídricos a través del riego puede alcanzar hasta el 95% de la ETc, como es en el caso de la lechuga en la comuna de Coronel ([Apéndice XXV](#)).

El efecto del estrés hídrico en los cultivos depende de la etapa de desarrollo en que se presente el déficit y de la tolerancia de cada especie ante estos eventos (Giménez, 2012). Cuando ocurren períodos de menor disponibilidad de agua, los estomas se cierran y la transpiración disminuye, ocasionando un aumento de la temperatura de las hojas (López-López *et al.*, 2009).

Para los cultivos priorizados, el efecto del déficit hídrico en períodos críticos ([Anexo XVII](#)) alteran las condiciones para obtener óptimos rendimientos. En la papa, se puede generar una disminución en el número y tamaño de los tubérculos debido a que su sistema radicular tiene un escaso desarrollo y limitada capacidad de profundización (Díaz, 2016; Pino, 2016). Por tal motivo, el cultivo de la papa es considerado como una especie sensible a los períodos de sequía, especialmente en las etapas de tuberización y llenado de tubérculos, en donde las pérdidas no solo son de rendimientos, sino, también de la calidad del tubérculo producido (Pino, 2016; Mane *et al.*, 2008).

En el caso de los cereales; trigo, avena y maíz, el déficit hídrico afecta principalmente al número y peso de los granos (Cifuentes, 2014). Para el trigo, los efectos son: el descenso del polen fértil y la interferencia en el crecimiento de la espiga, afectando el número de granos y el peso de ellos por espiga y, por lo tanto, reduciendo el rendimiento (INIA, 1998; López-Olivari *et al.*, 2019). En la avena, sus efectos son similares a los del trigo, en relación con la afectación sobre la formación del número de granos y el peso de ellos, como también así, en la pérdida de turgencia (Dellacanónica *et al.*, 2014). Por último, en el maíz se observa la

disminución de la biomasa, problemas en la liberación del polen y la emergencia de los estigmas, ocasionando dificultades en la polinización y limitaciones en la determinación del número de granos (Faiguenbaum, 2003; Giménez, 2012).

En relación con las leguminosas, se considera que la lenteja, arveja y poroto son moderadamente sensibles a períodos de sequía (INIA, 1998; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017). La restricción hídrica induce al aborto de flores o vainas, inhibe el llenado de granos, y disminuye su número y tamaño por vaina, originando un descenso en los rendimientos (Street *et al.*, 2008; Cárdenas *et al.*, 2014).

En tanto, la lechuga se considera un cultivo muy sensible al estrés hídrico y que cuyos eventos prolongados o intensos afectan la fisiología y productividad (Molina-Montenegro *et al.*, 2011). Cuando la restricción es sobre el 50% el cultivo no es capaz de recuperarse, impidiendo obtener rendimientos comerciales adecuados para la demanda actual (Tarqui, 2017; Saavedra *et al.*, 2017). En el cilantro se experimenta un descenso en el número de hojas basales y en el diámetro del tallo, disminuyendo el rendimiento sobre el 40% (Marín, 2010; Mejía *et al.*, 2014). Mientras que, en el cultivo del tomate, cuando la restricción hídrica ocurre de manera leve, se observan limitaciones en la expansión foliar y en el crecimiento radicular, también disminuye la biomasa aérea e inhibe el crecimiento (López-López *et al.*, 2009; Florido y Bao, 2014).

Para los frutales, el déficit hídrico ocasiona problemas en la fisiología, fenología, crecimiento vegetativo y de frutos, rendimientos y calidad de la fruta, siendo particularmente vulnerables al estrés en época de floración y cuaje (Volschenk, 2021). En la vid, el efecto provocado por una disminución en la disponibilidad hídrica en estas etapas ocasiona una lenta e irregular brotación, floración desuniforme, bayas pequeñas y rendimientos bajos (Ferreyra *et al.*, 2010).

El cultivo del frambueso es medianamente tolerable a períodos de sequía, sin embargo, la exposición prolongada a una restricción hídrica origina disminución del tamaño foliar, la reducción de la tasa fotosintética, del crecimiento y del rendimiento final (Ortega, 2015). En el caso del cerezo, su afectación está relacionada directamente con el rendimiento, no obstante, en momentos previos al período crítico ([Anexo XVII](#)), se ha estudiado la deficiencia controlada de agua para obtener mejores estándares de calidad en la fruta (Ferreyra *et al.*, 2010).

Para el nogal, el descenso de agua afecta al crecimiento de los árboles, disminución de la producción y afectación en la calidad del fruto (Ferreyra *et al.*, 2010; Lobos, 2019). Mientras que para el cultivo del manzano se ve afectado el crecimiento vegetativo y reproductivo, presentando problemas en la calidad de la fruta a causa de desórdenes fisiológicos como el corazón acuoso y el “*bitter pit*” (Ferreyra *et al.*, 2010; Zhong *et al.*, 2019).

Por último, dadas las consecuencias del déficit hídrico en cada especie, será necesario implementar estrategias de adaptación que permitan el óptimo desarrollo de los cultivos. En este sentido, la importancia de la creación de nuevos cultivares resistentes al déficit hídrico, la identificación de vegetales que se adapten a las condiciones ambientales futuras y la adopción de tecnologías de riego, son fundamentales para proponer recambios en los sistemas

productivos actuales de la Región del Biobío, especialmente si se tiene en consideración que para escenario proyectado, 12 cultivos priorizados se encuentran en el rango de alto requerimiento hídrico (>40%; [Apéndice XXIII](#)). En este escenario, la restricción de agua, debido a la disminución de precipitaciones como consecuencia del cambio climático, dificulta que se aseguren producciones capaces de abastecer a las necesidades de la población y a los requerimientos del mercado.

Sensibilidad del Período de Heladas

La variación entre el período de heladas actual y el proyectado muestra una baja sensibilidad para 29 comunas (0,75 – 1,00; Cuadro 31). En Alto Biobío, Cañete y Contulmo la sensibilidad se encontró en un rango medio (0,25 - <0,50; Cuadro 31; [Apéndice XXVI](#)).

Cuadro 31. Variación promedio del período de helada (PH) entre el período actual y el proyectado e indicador de “Sensibilidad de Período de Helada”.

Comuna	Período de Helada Variación Actual-Proyectado	Indicador Sensibilidad de Período de Helada
Alto Biobío	0,55	0,45
Antuco	0,00	1,00
Arauco	0,00	1,00
Cabrero	0,21	0,79
Cañete	0,69	0,31
Chiguayante	0,00	1,00
Concepción	0,43	0,57
Contulmo	0,64	0,36
Coronel	0,00	1,00
Curanilahue	0,00	1,00
Florida	0,00	1,00
Hualpén	0,00	1,00
Hualqui	0,00	1,00
Laja	0,00	1,00
Lebu	0,00	1,00
Los Álamos	0,00	1,00
Los Ángeles	0,00	1,00
Lota	0,00	1,00
Mulchén	0,00	1,00
Nacimiento	0,00	1,00
Negrete	0,00	1,00
Penco	0,00	1,00
Quilaco	0,00	1,00
Quilleco	0,00	1,00
San Pedro de la Paz	0,00	1,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 31)

Comuna	Período de Helada Variación Actual-Proyectado	Indicador Sensibilidad de Período de Helada
San Rosendo	0,00	1,00
Santa Bárbara	0,00	1,00
Santa Juana	0,00	1,00
Talcahuano	0,04	0,96
Tirúa	0,24	0,76
Tomé	0,00	1,00
Tucapel	0,00	1,00
Yumbel	0,00	1,00

En 26 comunas de la Región del Biobío no hubo variación entre el período actual y el proyectado debido a que el número de días con heladas fue de 0 (Cuadro 31), mientras que, en las comunas que, si existió variación, se debió por la disminución en el número de días con heladas en el escenario proyectado comparado con el observado ([Apéndice XXVI](#)). Este escenario de menor probabilidad de ocurrencia de temperaturas bajo 0°C se relaciona con el aumento de temperatura a causa del cambio climático, lo que sería beneficioso para los cultivos y su exposición ante eventos adversos para la producción (Bascopé, 2013). Sin embargo, los estudios relacionados con los períodos de heladas indican que, a pesar de la disminución anual de días con temperaturas inferiores a 0°, la ocurrencia de heladas tardías, especialmente en primavera, se pueden incrementar a causa de las nuevas condiciones climáticas, provocando daños en la actividad agrícola (Snyder y Melo-Abreu, 2010; MGAP-FAO, 2013; Bravo y Vidal, 2020).

Las heladas son uno de los grandes problemas de la agricultura, pues sus efectos pueden ser tan severos que llegan a ocasionar la muerte de los cultivos con mayor sensibilidad, especialmente si ocurren de manera tardía (Bravo *et al.*, 2016). Por tal razón, es importante que, a pesar de existir una disminución en los días con heladas para la proyección del 2046-2065, se consideren la incidencia en la ocurrencia de heladas en períodos de primavera-verano por efecto del cambio climático, que podría dañar a los cultivos priorizados de los territorios.

La sensibilidad de los cultivos varía de acuerdo con la especie, variedad, estado de desarrollo, la temperatura tolerable del cultivo, duración e intensidad de la helada ([Anexo XVIII](#); Coma, 2009; Bravo y Vidal, 2020). Por un lado, el cultivo de la papa es especialmente sensible a bajas temperaturas y se estima que la ocurrencia de una helada tardía podría reducir los rendimientos entre un 30% a 80% (Chang *et al.*, 2014; Pino y Chen, 2016). Por otra parte, en trigos, los efectos ocasionados por heladas desfasadas son: daños en polen y estigma, esterilidad floral, abscisión de espiguillas y reducción de rendimiento (Coma, 2009; Faiguenbaum, 2003). El cultivo de avena se caracteriza por ser susceptible heladas en períodos críticos, provocando efectos irreversibles en el rendimiento y hasta la muerte del cultivo (Faiguenbaum, 2003). Por último, el maíz no es tolerante a las heladas, ya que un

descenso de la temperatura en época primaveral puede llegar a ocasionar la muerte de la planta (Faiguenbaum, 2003; Robles *et al.*, 2012).

Al igual que en los cereales, en las leguminosas el nivel de susceptibilidad a las heladas dependerá si las especies, variedades o cultivares son de invierno o verano (Coma, 2009). El cultivo de lenteja es tolerante a las heladas en período vegetativo, soportando heladas primaverales de hasta -5°C , sin embargo, su susceptibilidad aumenta cuando las temperaturas decrecen en período de floración y formación de los granos (CIREN, 1989). Del mismo modo, el cultivo de la arveja es altamente susceptible a períodos de helada en floración y cuaje de vainas; el desarrollo desciende, mientras que cercano a madurez las vainas se deterioran (Ruiz y Jeldres, 2008). Finalmente, el poroto no tolera las heladas en ninguna etapa de su desarrollo; de emergencia a floración (CIREN, 2017c).

Las hortalizas son consideradas como el grupo de cultivos más susceptibles a las heladas, pues la ocurrencia de ellas origina pérdidas completas en la producción (Bravo *et al.*, 2016). En el tomate, las heladas tardías ocasionan problemas con la floración y deformidades en la planta y el fruto (Allende *et al.*, 2017). En el cultivo de la lechuga, el mayor daño por helada se produce cercano a la madurez, deteniéndose el crecimiento (Ruiz y Jeldres, 2008; Saavedra *et al.*, 2017). Del mismo modo ocurre con el cilantro que, a pesar de soportar heladas ligeras, con heladas primaverales se interrumpe el desarrollo y se detiene la floración (IICA, 2007; Saavedra *et al.*, 2017).

La vid, es considerada como una especie resistente a los períodos de heladas ocurridos durante el receso invernal (Dami, 2007). Sin embargo, cuando las temperaturas descienden a inicios de primavera, cuando ocurre la floración, existe un daño irreversible en las yemas, provocando mermas importantes en los rendimientos (Reyes y Salazar-Parra, 2020). Por otro lado, el frambueso también es resistente a bajas temperaturas invernales, no obstante, la ocurrencia de heladas en períodos de botón floral o floración en primavera origina daños en la formación del fruto, pérdidas de rendimiento y bajas de la calidad de la frambuesa (CIREN, 2017g).

En cerezos, la resistencia en dormancia es similar a la de la vid, sin embargo, el descenso de temperaturas en primavera ocasiona la formación de hielos en las células, necrosis de los tejidos, deshidratación y deformaciones de frutos (Leiva, 2017; Arribillaga, 2020). Por último, tanto el nogal como el manzano son medianamente sensibles a las heladas, presentando el período crítico en floración o cuaja y fruto pequeño, respectivamente, cuando (CIREN, 2017j; CIREN, 2017i). Los efectos asociados a daño por heladas son problemas en cuaje, formación y calidad de los frutos y mermas de rendimiento (Tassara, 2007; Rodríguez *et al.*, 2018).

Sensibilidad de rendimiento

La sensibilidad de rendimiento fue “baja” para 18 comunas de la región (0,75 – 1,00; Cuadro 32), mientras que para 13 de ellas el rango “moderado” predominó (0,50 - <0,75). Solo Antuco y Laja experimentaron variaciones consideradas en el rango de “alta” sensibilidad

(0,25-<0,5; Cuadro 32). Estos resultados dan cuenta que la mayor parte de las comunas experimentaron disminución de los rendimientos en un 25% de acuerdo con la comparación entre el escenario actual y el proyectado ([Apéndice XXVII](#)).

Si bien la mayor parte de las comunas presentaron niveles “bajos” o “moderados” de sensibilidad (Cuadro 32), los rendimientos basales para cada comuna mostraron una gran amplitud respecto de la media regional para cada cultivo ([Anexo VII](#)). En este sentido, si se realiza la comparación entre el rendimiento proyectado y el promedio del Biobío, los descensos de rendimientos son altos y, en algunas localidades, inviábiles a causa de la restricción hídrica ([Apéndice XXVIII](#)).

Cuadro 32. Disminución de rendimiento (%) de especies priorizadas entre el escenario actual y proyectado e indicador de sensibilidad de rendimiento.

Comuna	Papa (%)	Trigo (%)	Avena (%)	Maíz (%)	Lenteja (%)	Arvejas (%)	Poroto (%)	Tomate (%)	Lechuga (%)	Cilantro (%)	Vid (%)	Frambuesa (%)	Cerezo (%)	Nogal (%)	Manzano (%)	Indicador Sensibilidad de rendimiento
Alto Biobío	84,12	51,21	26,62	42,68	1,99	77,38	81,97	94,71	99,03	84,73	0,71	2,25	1,33	2,67	1,97	0,56
Antuco	57,27	35,63	34,64	50,34	1,70	68,74	49,63	76,18	99,02	84,58	76,64	2,11	56,43	2,81	63,13	0,49
Arauco	77,24	33,70	11,21	1,35	1,36	0,81	18,10	0,97	17,17	40,73	0,62	75,10	0,56	2,03	1,48	0,81
Cabrero	47,92	1,06	1,92	2,38	2,11	1,58	2,29	10,12	9,58	0,21	0,73	2,09	1,25	3,47	2,60	0,94
Cañete	75,14	23,86	8,19	23,96	1,26	70,26	1,37	18,49	43,06	0,62	0,71	40,46	0,60	2,15	91,40	0,73
Chiguayante	1,06	0,94	1,26	1,44	1,49	1,09	1,38	1,39	1,02	0,38	0,45	1,39	0,81	2,16	1,58	0,99
Concepción	1,21	1,07	1,33	1,78	1,63	1,13	1,71	1,58	1,20	0,43	0,54	1,58	0,93	2,65	1,95	0,99
Contulmo	79,59	0,77	60,98	1,55	1,60	56,31	29,71	71,81	82,23	58,04	0,77	1,23	99,01	2,33	99,02	0,57
Coronel	40,14	0,94	1,26	55,74	1,65	47,26	1,57	59,95	2,30	0,61	0,62	1,39	0,81	99,02	99,02	0,73
Curanilahue	60,76	0,00	1,26	1,46	1,63	0,95	74,14	91,18	2,65	21,55	0,68	1,17	99,01	2,17	99,02	0,69
Florida	1,06	1,06	1,26	2,83	16,05	58,08	50,85	1,97	1,12	0,49	50,91	3,15	66,09	3,23	99,02	0,76
Hualpén	0,90	0,90	0,99	1,10	1,11	0,85	1,05	1,18	0,41	0,25	0,27	1,18	0,69	1,65	1,21	0,99
Hualqui	54,23	1,16	1,60	1,94	1,92	15,78	1,86	1,68	1,49	1,61	0,67	89,17	0,99	90,29	2,12	0,82
Laja	30,90	63,77	79,92	44,62	2,15	63,25	28,51	58,17	0,62	8,79	81,31	61,10	78,67	90,32	99,02	0,47
Lebu	73,66	21,23	0,59	1,02	1,07	45,79	30,89	38,07	58,09	31,76	0,57	0,60	0,35	1,54	1,12	0,80
Los Álamos	78,94	35,94	50,45	79,14	1,47	80,38	75,38	91,35	53,95	23,84	0,68	0,96	0,56	2,00	99,01	0,55
Los Ángeles	1,26	1,26	36,39	2,27	0,00	11,37	30,92	39,67	4,10	12,12	82,48	2,00	80,62	40,41	2,47	0,77
Lota	0,98	0,90	1,30	1,49	1,70	1,00	1,42	1,29	2,00	0,56	0,60	1,29	0,75	2,23	1,63	0,99
Mulchén	58,50	1,60	1,80	2,02	68,41	73,97	1,94	2,23	10,39	73,08	0,60	2,23	1,32	81,61	2,21	0,75
Nacimiento	0,00	0,00	0,00	33,34	2,05	1,36	8,98	66,00	74,91	59,58	99,01	1,56	20,35	99,03	66,25	0,65
Negrete	41,01	1,28	38,30	40,01	2,19	49,87	1,95	51,90	44,49	36,09	0,69	1,75	1,04	92,04	99,02	0,67
Penco	81,78	1,16	1,47	48,90	1,72	81,67	32,71	58,81	17,55	0,53	0,62	1,85	1,09	2,98	2,19	0,78

(Continúa)

(Continuación Cuadro 32)

Comuna	Papa (%)	Trigo (%)	Avena (%)	Maíz (%)	Lenteja (%)	Arvejas (%)	Poroto (%)	Tomate (%)	Lechuga (%)	Cilantro (%)	Vid (%)	Frambuesa (%)	Cerezo (%)	Nogal (%)	Manzano (%)	Indicador Sensibilidad de rendimiento
Quilaco	15,19	18,64	4,88	53,22	2,18	1,55	1,68	65,26	71,76	0,58	0,60	19,91	1,29	2,59	1,92	0,83
Quilleco	64,34	1,42	1,80	30,96	2,21	55,30	48,37	35,79	46,33	70,49	0,75	2,17	1,29	3,31	2,46	0,76
San Pedro de la Paz	1,14	0,94	1,30	1,82	1,83	1,00	1,75	1,50	3,22	0,79	0,71	1,50	0,88	2,74	2,00	0,98
San Rosendo	55,97	1,24	1,80	45,02	2,09	18,67	2,01	10,10	1,10	0,35	53,87	75,32	77,79	99,03	98,85	0,64
Santa Bárbara	34,87	16,45	37,85	2,15	2,26	64,81	53,61	57,62	68,41	51,40	0,67	2,24	1,32	86,71	2,35	0,68
Santa Juana	43,90	1,06	1,55	46,61	75,82	17,28	46,78	0,00	1,73	0,48	78,39	1,53	0,90	99,36	56,82	0,69
Talcahuano	1,30	1,08	1,34	2,01	1,82	1,04	1,93	1,70	2,30	0,80	0,71	1,70	1,00	3,01	2,21	0,98
Tirúa	77,82	51,23	59,50	78,13	0,99	73,47	82,23	57,19	20,36	22,10	0,61	96,62	0,47	1,88	99,01	0,52
Tomé	18,97	30,96	32,15	2,15	1,68	59,31	2,06	2,90	1,56	0,49	70,18	2,05	1,20	3,19	99,34	0,78
Tucapel	53,24	1,29	41,87	2,31	1,97	72,38	2,21	68,17	82,02	0,41	0,80	2,23	99,01	3,39	2,52	0,71
Yumbel	85,57	64,98	69,07	19,74	15,30	54,51	2,13	1,91	0,89	0,30	89,49	82,45	26,33	3,25	2,42	0,65
Promedio	42,42	14,20	18,66	21,98	6,80	37,22	23,43	34,57	28,06	20,87	21,14	17,68	21,96	28,40	39,59	-

La estimación de la variación de rendimientos ante situaciones de estrés ambiental, pueden ser medidas de diversas formas; una de ellas corresponde a la sensibilidad que tienen los vegetales ante condiciones de déficit hídrico y que cuyo el factor de respuesta del rendimiento (Ky) dependerá de cada especie (Steduto *et al.*, 2012). En este sentido, la disminución del rendimiento para el escenario proyectado (2046-2065) caracterizado por el aumento de temperaturas ([Apéndice XIV](#)) y descenso de precipitaciones ([Apéndice XXI](#)), determinó que los cultivos con mayor descenso, en promedio, fueron; la papa (42,2%; [Apéndice XXVIII](#)), el manzano (39,59%; [Apéndice XXVIII](#)), la arveja (37,22%; [Apéndice XXVIII](#)) y el tomate (34,57%; [Apéndice XXVIII](#)), pues el desbalance entre la ETC y las precipitaciones fue más acentuado. El resto de las especies descendieron sus rendimientos en rangos inferiores a 30%, siendo la lenteja la que experimentó una menor variación de disminución con un 6,8% ([Apéndice XXVIII](#)).

La reducción de los rendimientos en diferentes cultivos es una de las consecuencias más importantes del cambio climático y dentro de las áreas más estudiadas en la agricultura por sus efectos sobre la seguridad alimentaria para la población y las formas de adaptación que son necesarias para suplir la demanda (Malikov *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2021).

La menor disponibilidad de alimentos esenciales para el futuro es crítica para cultivos como: cereales, leguminosas y algunas hortalizas. En este sentido, la papa es considerada una importante fuente de nutrientes para suelos pobres e ideal para pequeños productores de subsistencia, pues no solo mejora las condiciones nutritivas del sustrato, sino, también, su consumo aporta almidón, potasio y vitamina C con bajos niveles de calorías y libres de grasas (Muñoz, 2014).

Otro grupo de importancia para la alimentación son los cereales, pues son una de las principales fuentes de energía, nutrientes, vitaminas, ácidos grasos insaturados y fibra dietética, además de que sus costos de producción son bajos, siendo importante este factor para los pequeños agricultores (Ortega *et al.*, 2015; Urango, 2018). Del mismo modo, las leguminosas son consideradas como los cultivos que deben ser potenciados por el aporte de nitrógeno que realiza a suelos con bajos niveles y por ser aporte proteico en las dietas humanas, especialmente en las poblaciones de menores ingresos que las utilizan como sustituto de las proteínas de origen pecuarios (Cardenas *et al.*, 2014; García *et al.*, 2018).

Por otra parte, la lechuga es la hortaliza más consumida en el mundo debido a que se puede producir durante todo el año, por lo que potenciar su producción bajo diferentes condiciones es fundamental para obtener los rendimientos necesarios para abastecer a la población (Saavedra *et al.*, 2017). De la misma manera, el tomate es otra hortaliza que tiene altos niveles de consumo y su aporte nutricional son las vitaminas, minerales, proteínas, fibras y carbohidratos, siendo, también, una alternativa importante como fuente para la alimentación en contextos futuros (Baudoin *et al.*, 2017).

Si bien el consumo de frutas y verduras permiten mantener una alimentación sana, los cultivos de papa, cereales, leguminosas y algunas hortalizas, son considerados como esenciales para suplir la demanda futura ante el aumento de la población y la disminución en la disponibilidad de alimento. Por esta razón, es necesario que la Región del Biobío potencie los mecanismos de adaptación que permita aumentar los niveles de producción y de

rendimientos, considerando las limitaciones proyectadas en relación con las nuevas condiciones climáticas. Para lograr esto, la vinculación y transferencia de conocimiento de los actores del territorio es fundamental para que la productividad permita alcanzar niveles que aseguren la alimentación tanto de subsistencia como para la demanda de los consumidores, como también así, la implementación de tecnologías y nuevos cultivares que permitan avanzar en un recambio en los sistemas productivos que se adapten al cambio climático.

Estados de cuerpos de agua superficial y subterránea

La categoría de sin prohibición ni restricción de extracción fue la que predominó en 30 comunas de la Región del Biobío, obteniendo un resultado igual a 1 (Cuadro 33; [Apéndice XXIX](#)). Antuco y Tucapel son las únicas comunas con restricción (0,00), ya que, de acuerdo con la DGA (2020d) fueron declaradas con agotamiento de aguas superficiales en el año 1952. De igual modo, la equivalencia al agotamiento de agua superficiales en aguas subterráneas corresponde a la declaración de zona de prohibición de extracción, circunstancia que cumple Coronel, pues presentó un valor 0,00 (DGA, 2020c; Cuadro 33).

Cuadro 33. Indicador de “Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea
Alto Biobío	1,00
Antuco	0,00
Arauco	1,00
Cabrero	1,00
Cañete	1,00
Chiguayante	1,00
Concepción	1,00
Contulmo	1,00
Coronel	0,00
Curanilahue	1,00
Florida	1,00
Hualpén	1,00
Hualqui	1,00
Laja	1,00
Lebu	1,00
Los Álamos	1,00
Los Ángeles	1,00
Lota	1,00
Mulchén	1,00
Nacimiento	1,00
Negrete	1,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 33)

Comuna	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea
Penco	1,00
Quilaco	1,00
Quilleco	1,00
San Pedro de la Paz	1,00
San Rosendo	1,00
Santa Bárbara	1,00
Santa Juana	1,00
Talcahuano	1,00
Tirúa	1,00
Tomé	1,00
Tucapel	0,00
Yumbel	1,00

Si bien Antuco y Tucapel están dentro del listado de comunas con menor número de agricultores pequeños, debido a que los principales rubros son el forestal y la ganadería, la actividad agrícola es la principal fuente de abastecimiento de la población de cada comuna, (SIMEF, 2018; Oliva, 2016). Tucapel, a diferencia de Antuco posee un segundo río de abastecimiento de agua proveniente del Río Cholguán que no tiene prohibición ni restricción de extracción de aguas, por lo que es una alternativa para los agricultores que no tienen derechos de aguas concedidos (Ilustre Municipalidad de Antuco, 2014; Oliva, 2016; DGA, 2019b). La condición de agotamiento para las comunas de Tucapel y Antuco se agrava aún más al considerar que los usuarios de las aguas no tienen derechos y utilizan los recursos gracias a intermediarios.

En el caso de Tucapel, existe la organización de regantes “Comité de Riego de Huépil”, quienes no cuentan con derechos de agua, debido a que la mayoría de los derechos de la zona son pertenecientes a los canales “El Laja” y “Laja Diguillín”, los cuales se encuentran ocupados o están agotados, por lo tanto, hacen uso del recurso hídrico a través del municipio que tiene derechos de agua en el Río Laja y concede su utilización a los regantes (Everis Chile S.A. e Infraestructura y Ecología S.A., 2017).

Por otro lado, en Antuco, la empresa Endesa tiene el 100% de los derechos de agua no consuntivos, no obstante gracias a un acuerdo entre la comunidad y la empresa, desde 1967, los usuarios reciben el recurso por medio de una bomba, gracias a la administración de la “Asociación de Canalistas de Antuco” (DGA, 2017).

Coronel es la única comuna dentro de la región y, considerada la más al sur de Chile, con prohibición de extracción de aguas subterráneas (DGA, 2020c). Al igual que Antuco y Tucapel, la agricultura desarrollada en este territorio es fuente de abastecimiento para el autoconsumo y para el comercio local (Ilustre Municipalidad de Coronel, 2012). Sin embargo, al ser considerada entre las comunas “urbanas” de la región, la agricultura se limita

a pequeñas superficies, debido que las grandes extensiones disponibles para producir se encuentran ocupadas por actividad industrial (Everis Chile S.A. e Infraestructura y Ecología S.A., 2017).

Coronel no tiene asociaciones de canalistas ni comité de regantes, por lo que la organización de aguas se lleva a cabo por medio de una acción voluntaria a través de PRODESAL con las asociaciones gremiales de horticultores, floristas, fruticultores y viñateros (Everis Chile S.A. e Infraestructura y Ecología S.A., 2017).

Finalmente, las condiciones hidrológicas reportadas para la Cuenca del Río Biobío indican que los caudales superficiales del Río Biobío se mantienen por sobre sus promedios, mientras que, el comportamiento de las aguas subterráneas no existe una tendencia definida al alza ni a la baja en sus niveles, por lo que la condición de disponibilidad hídrica para los agricultores no se encuentra en riesgo (DGA, 2020a). A pesar de aquello, las proyecciones de disminución de precipitaciones para el período 2046-2065 podrían generar un desbalance en la recarga de acuíferos y en la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que su uso responsable es fundamental para mantener niveles óptimos que no modifiquen en gran medida las condiciones actuales.

Proporción de superficie no erosionada

La mayor parte de la superficie de las comunas se encuentra con algún grado de erosión y una baja proporción presenta suelos no erosionados, debido a que, en promedio el indicador para la Región del Biobío fue de 0,17 (Cuadro 34; [Apéndice XXX](#)).

Las comunas de Cabrero, Los Ángeles y Negrete fueron las que obtuvieron los valores más altos en el indicador de superficie no erosionada: 0,62; 0,70 y 0,75, respectivamente (Cuadro 34). Estos resultados indican que sobre el 60% de la superficie no presenta ningún tipo de erosión que pueda afectar el desarrollo de la actividad agrícola. Por el contrario, 17 comunas obtuvieron un valor por debajo de 0,10, señalando de esta manera que más del 90% de su superficie se encuentra con algún grado de erosión (Cuadro 34). Esta condición de alta erosión se atribuye a la expansión forestal que ha ido progresivamente aumentando en las últimas décadas y ha deteriorado el uso de suelo con aptitud agrícola (Infante, 2010). De la misma forma, la sobreexplotación agrícola histórica, a través del manejo de monocultivos por un tiempo prolongado, también ha contribuido a la degradación del suelo en la región (Muñoz y Rebolledo, 2017).

Cuadro 34. Indicador de “Proporción de superficie no erosionada” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Suelos sin erosión (ha)	Total superficie de suelo (ha)	Indicador superficie no erosionada
Alto Biobío	17	169.348	0,00
Antuco	854	188.701	0,00
Arauco	21.870	96.933	0,23
Cabrero	40.538	65.859	0,62
Cañete	35.279	109.124	0,32
Chiguayante	83	7.455	0,01
Concepción	1.523	22.136	0,07
Contulmo	2.268	63.902	0,04
Coronel	3.026	28.442	0,11
Curanilahue	1.012	100.572	0,01
Florida	294	60.637	0,00
Hualpén	1.674	5.539	0,30
Hualqui	3.373	53.594	0,06
Laja	12.231	34.386	0,36
Lebu	10.303	51.721	0,20
Los Álamos	5.419	60.273	0,09
Los Ángeles	123.265	175.065	0,70
Lota	163	11.422	0,01
Mulchén	28.207	192.551	0,15
Nacimiento	2.439	90.956	0,03
Negrete	11.678	15.660	0,75
Penco	697	10.900	0,06
Quilaco	2.187	112.993	0,02
Quilleco	24.428	112.242	0,22
San Pedro de la Paz	1.046	11.263	0,09
San Rosendo	1.074	9.254	0,12
Santa Bárbara	10.468	168.263	0,06
Santa Juana	3.767	77.811	0,05
Talcahuano	2.051	9.637	0,21
Tirúa	6.931	63.443	0,11
Tomé	88	50.444	0,00
Tucapel	21.678	91.178	0,24
Yumbel	19.961	72.875	0,27

Los graves problemas de erosión registrado en 17 comunas ($<0,1$), se debe a la deforestación, las quemas o incendios forestales, los cambios de uso de suelo y las prácticas agrícolas intensivas (Flores *et al.*, 2010). Esta condición no queda exenta de las comunas, cuyos valores del indicador fue menor a 0,5; tales como: Arauco, Coronel, Mulchén, San Rosendo, Yumbel, entre otras, dado que su condición de vulnerabilidad es alta, debido al rápido aumento de las

industrias forestales y a las futuras condiciones climáticas que amenazan la producción agrícola (Fritz, 2012; Gligo, 2015).

La erosión de suelos es uno de los problemas más importante en Chile, no solo por la pérdida de biodiversidad, disminución de la superficie arable para la producción y efectos ambientales adversos (Bonilla *et al.*, 2010); sino, también, por ser un recurso no renovable a escala humana y altamente vulnerable a los efectos del cambio climático (Flores *et al.*, 2010). La Región del Biobío, junto con la del Maule y de Los Lagos, son las regiones que presentan mayores rasgos de erosión identificada (Centro de Análisis de Políticas Públicas, 2018), debido a diferentes prácticas intensivas prolongadas en el tiempo; tales como: tala de bosque nativo, plantaciones forestales, monocultivos y utilización de suelos con alto nivel de pendiente, que han originado la modificación de la superficie de los suelos, incrementando la escorrentía (Carretier *et al.*, 2018).

Luetzenburg *et al.* (2020) determinaron que la erosión de suelos es una de las grandes problemáticas para la agricultura debido a que las condiciones de pérdidas de estructura del suelo, disminución de los nutrientes disponibles, contaminación de napas subterráneas por agroquímicos y el descenso de los rendimientos, amenazan el suministro de alimentos para la población (Han *et al.*, 2020). A su vez, los efectos del cambio climático podrían acrecentar la erosión de los suelos, debido al aumento de temperaturas y las anomalías de las precipitaciones que favorecen los procesos de sedimentación, cambios de uso de suelo y actividades antrópicas (Chuenchum *et al.*, 2020).

La implementación de políticas públicas y la capacitación en recuperación de suelos, especialmente, de pequeños agricultores, es fundamental para asegurar el comercio local y los alimentos de la población, considerando la amenaza climática futura (Degani *et al.*, 2019). En este sentido, el Ministerio de Agricultura, impulsado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), llevan a cabo el “Programa de Recuperación de Suelos Degradados” (SIRSD-S), cuyo objetivo es “recuperar el potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y mantener los niveles de mejoramiento alcanzado” (SAG, 2020), el que ha permitido que actualmente 1.241 pequeños agricultores de la Región del Biobío, operativizados por 116 profesionales, corrijan los problemas de degradación del suelo para obtener mejores resultados productivos y, así, hacer más resilientes los territorio agrícolas (INDAP, 2019b; INDAP, 2020b).

Participación en agroturismo

La participación de los agricultores de los territorios agrícolas de las comunas del Biobío en turismo rural es inferior al 10%, considerándose como un nivel bajo (>0,00 - <0,40; Cuadro 35; [Apéndice XXXI](#)). Las comunas de Alto Biobío, Contulmo, Lebu y Mulchén destacaron por tener participación del agroturismo igual o superior a 0,1; mientras que las comunas de Coronel, Florida, Hualqui, Los Ángeles, San Rosendo y Tucapel no registraron participación de agricultores en el programa de “Turismo Rural” (Cuadro 35).

Cuadro 35. Indicador de “Índice de agroturismo” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Agricultores con agroturismo	Total agricultores	Indicador Participación Agroturismo
Alto Biobío	35	294	0,12
Antuco	3	86	0,04
Arauco	6	325	0,02
Cabrero	3	115	0,03
Cañete	8	906	0,01
Chiguayante	0	0	0,00
Concepción	0	0	0,00
Contulmo	24	243	0,10
Coronel	0	112	0,00
Curanilahue	5	82	0,06
Florida	0	299	0,00
Hualpén	0	0	0,00
Hualqui	0	342	0,00
Laja	1	197	0,01
Lebu	18	170	0,11
Los Álamos	4	230	0,02
Los Ángeles	0	409	0,00
Lota	0	0	0,00
Mulchén	3	32	0,10
Nacimiento	5	251	0,02
Negrete	0	100	0,00
Penco	2	42	0,05
Quilaco	1	21	0,05
Quilleco	2	126	0,02
San Pedro de la Paz	0	0	0,00
San Rosendo	0	117	0,00
Santa Bárbara	5	89	0,06
Santa Juana	0	394	0,00
Talcahuano	0	0	0,00
Tirúa	41	780	0,05
Tomé	1	209	0,01
Tucapel	0	74	0,00
Yumbel	1	271	0,01

El surgimiento del agroturismo es una oportunidad para vincular la actividad agrícola con el turismo para la diversificación de ingresos de las zonas rurales (Blanco y Riveros, 2010). Esta actividad no solo involucra aspectos de la producción de cultivos; sino, además, es espacio para compartir el patrimonio, la cultura, las prácticas ancestrales, tradiciones, actividades recreativas, espacios gastronómicos y artesanías locales (Szmulewicz y

Gutiérrez., 2012; Rodríguez, 2019), revalorizando los territorios agrícolas desde diferentes perspectivas productivas y multidimensionales (Pérez, 2010; Silva, 2010).

El agroturismo permite desarrollar mecanismos de adaptación frente al cambio climático, ya que, al ser una actividad complementaria a los ingresos agrícolas, mejora la calidad de vida de la población rural (Valdivia y Barbieri, 2014). A su vez, promueve la asociatividad entre agrupaciones de productores al construir relaciones equitativas y de trabajo en conjunto que aportan a la cadena productiva, a los servicios que se ofrecen y a la revalorización de las prácticas, costumbres y saberes del campo (Szmulewicz y Gutiérrez, 2012; Rodríguez, 2019), haciendo más resiliente a los territorios al fortalecer los nexos de cooperación tanto a nivel de agricultores como las instituciones y los turistas (Rodríguez, 2019).

En relación con la institucionalidad, Vence (2010), señaló que Chile ha desarrollado una de las políticas más “activas en materia de promoción de establecimientos rurales que brindan alimentación y artesanías a los turistas” de Latinoamérica por medio del programa “Turismo Rural” del INDAP. Dentro de los fines de esta política pública se encuentra “articular su apoyo como plataforma de relacionamiento técnico de la agricultura familiar campesina con el sector turístico a nivel nacional, regional y local, debido a su connotación única de representación de una oferta genuina y de calidad” (INDAP, 2018), es decir, reconoce al territorio agrícola como una fuente única de convergencia de distintos valores patrimoniales, culturales, ancestrales, productivos y agrícolas.

Componente Sensibilidad

En general, el aporte del componente de sensibilidad de la Región del Biobío estuvo en la categoría “media” (0,59; Figura 4) para la vulnerabilidad. Esto se debe a que la mayor parte de las comunas (30) no tiene ningún tipo de prohibición, restricción o agotamiento en el estado de los cuerpos de agua superficial y subterránea (0,92), la sensibilidad del período de heladas presentó poca variación (<0,10) y porque la sensibilidad de aptitud térmica se encontró en niveles “muy bajos” de vulnerabilidad (0,81), ya que la diferencia de DG y HF entre el período actual y proyectado estuvo por debajo del 20% ([Apéndice XXXII](#)).

Por otra parte, tanto la sensibilidad hídrica (0,74) como la de rendimiento se categorizaron con vulnerabilidad “baja” (0,61 – 0,80), pues la variación entre el período observado y el proyectado, para ambas condiciones, obtuvo cambios inferiores al 40%. La diversidad cultivada (0,64) y la rotación de los cultivos en los territorios (0,74) fue menor al 40% en ambos casos, considerándose dentro del nivel “medio” de vulnerabilidad (0,41 – 0,60), situación explicada por el bajo recambio existente en la producción de nuevos cultivos. Sin embargo, si bien 7 de los 9 indicadores que forman parte del componente de sensibilidad presentaron niveles de vulnerabilidad por sobre la categoría “medio”, la erosión de los suelos superior al 80% en los territorios de las comunas y la participación, en promedio, de solo el 3% de los agricultores en agroturismo, hacen que la vulnerabilidad del componente sensibilidad se encuentren en un nivel medio y no en rangos superiores como la mayoría de los indicadores que lo componen.

Para el componente sensibilidad de las comunas del Biobío, 18 de ellas estuvieron en el rango “bajo” (0,61 – 0,81; Figura 4), siendo Los Ángeles, la comuna con el nivel de vulnerabilidad más bajo de la región (sensibilidad igual a 0,75). Este nivel de vulnerabilidad se explica porque estos territorios se caracterizaron porque ninguno presentó prohibición, restricción o agotamiento de extracción de aguas superficiales y subterráneas (1,00). Además, la sensibilidad del período de heladas fue muy baja en los territorios (0,99) a causa de que la variación entre la probabilidad de ocurrencia de heladas del período actual y el escenario proyectado (2046-2065) fue “0” (indicador igual a 1,00), a excepción de Cabrero que varió en un 21%. Del mismo modo, ocurrió con la sensibilidad de aptitud térmica, pues la diferencia entre la acumulación de DG y HF actuales y proyectadas no superó el 19%. Por otro lado, la alta diversidad cultivada (0,64) y rotación de cultivos (0,74), en conjunto con la baja sensibilidad de rendimiento (0,72) y sensibilidad hídrica (0,74), fueron características de estos territorios, pues todos estos parámetros se encontraron en niveles “bajo” de vulnerabilidad. Por último, al igual que en el panorama general de la Región, la superficie erosionada (0,22) y la baja participación en agroturismo (0,03) alcanzaron los niveles más críticos de vulnerabilidad, con rangos entre la categoría “alta” (0,21 – 0,40) y “muy alta” (0,00 – 0,20).

En 15 comunas la participación del componente sensibilidad en la vulnerabilidad estuvo en el nivel “medio” (0,41 – 0,60; Figura 4), siendo los territorios de Concepción y Coronel los que obtuvieron la vulnerabilidad más alta de la región (0,45 para ambas). Las características que explican el comportamiento medio de vulnerabilidad para el componente sensibilidad de las comunas en esta categoría, corresponden a que menos del 20% de ellas presentaron algún nivel de prohibición, restricción o agotamiento de sus aguas superficiales o subterráneas, mientras que la sensibilidad del período de helada fue considerada como baja, con una variación inferior al 17% (indicador 0,83). Las sensibilidades de aptitud térmica, hídrica y de rendimiento, también fueron características en estas comunas al presentar una variabilidad inferior al 40% entre el período actual y el proyectado (2046-2065) en la acumulación de DG y HF. Las condiciones con mayor vulnerabilidad fueron la baja diversidad y rotación de cultivos de estos territorios (indicadores 0,34 y 0,37, respectivamente) y los altos niveles de erosión de suelos y baja participación de los agricultores en programas de agroturismo (0,10 y 0,03 en los indicadores).

Finalmente, las condiciones de alta erosión de suelos y baja participación de los agricultores en el agroturismo condicionaron los niveles de vulnerabilidad de las comunas, pues en todos los casos, sus valores fueron considerados en la categoría de “muy alta” vulnerabilidad (0,00 – 0,20), mientras que el resto de las características estuvieron en rangos “medio”, “bajo” o “muy bajo”. Por tal razón, la identificación de variables críticas que hacen a los territorios más sensibles y vulnerables es importante para la creación de estrategias de adaptación. En este escenario, se requiere la intervención de programas de recuperación de suelos a través del uso de prácticas amigables con el entorno, en que además de entregar financiamiento, se enseñe a los agricultores los diferentes procesos de recuperación, nuevas prácticas agrícolas, beneficios y cuidados del recurso suelo. Del mismo modo, el incentivo de participación en programas de agroturismo debe estar acompañado de la motivación y enseñanza sobre esta manera de diversificación de la agricultura, trabajando de manera conjunta con las instituciones locales, tanto para el financiamiento como para el aprendizaje, siendo la

difusión no solo una herramienta de divulgación, sino, también, de vinculación con las realidades de cada territorio y sus necesidades.

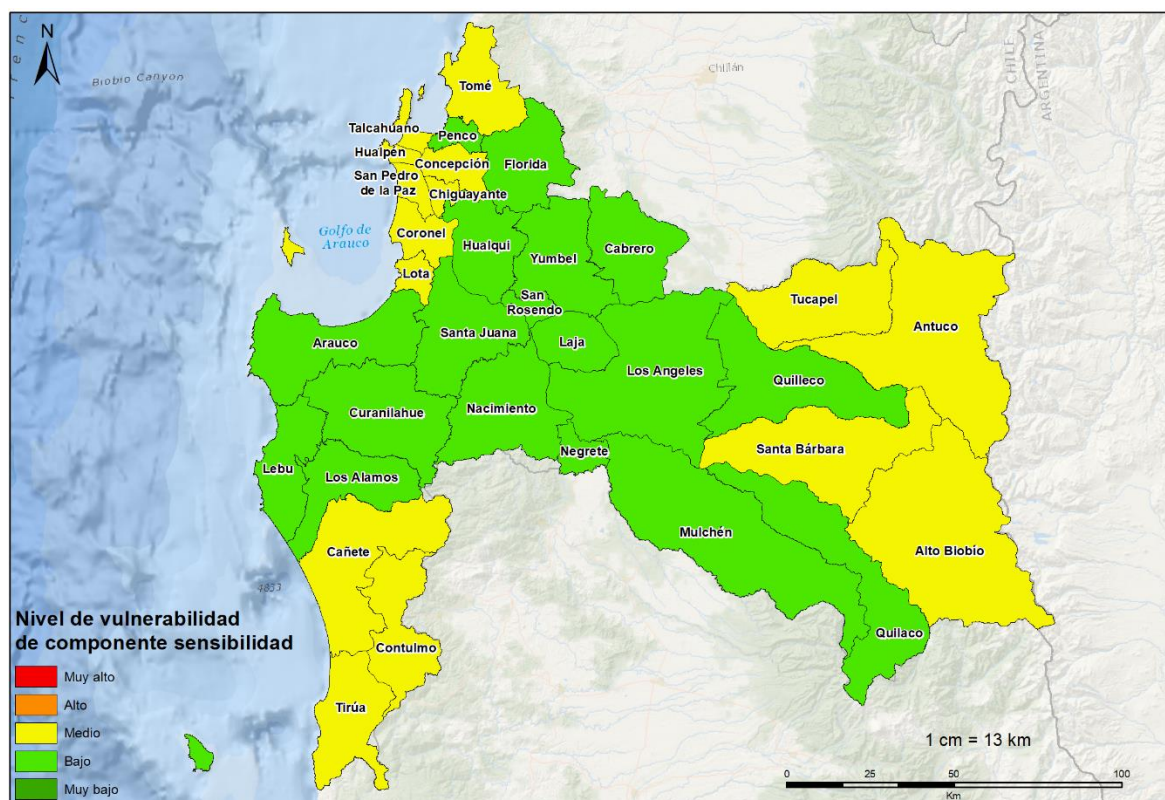


Figura 4. Nivel de vulnerabilidad del componente sensibilidad de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.

Componente Multifuncionalidad del territorio agrícola

El aporte del componente multifuncionalidad del territorio agrícola para la Región del Biobío en la resiliencia estuvo en un nivel “medio” (0,55; Figura 5). Esta condición fue alcanzada gracias a que 30 comunas se encuentran libres de declaración de agotamiento, prohibición o restricción de extracción de los cuerpos de agua superficial y subterránea (0,92) y porque las sensibilidades para el período de heladas (0,91) y de aptitud térmica (0,81) presentaron baja variabilidad respecto del escenario actual y el proyectado (2046-2065), catalogándose todas estas características en el rango de resiliencia “excelente” (0,81 – 1,00). Además, la sensibilidad de rendimiento (0,75) y la condición de urbanidad de la población (0,75) se caracterizaron por tener un comportamiento considerado como “muy bueno” de resiliencia (0,71 – 0,80), siendo un aporte positivo para la región. Por último, la respuesta obtenida por la evaluación de la sensibilidad de la aptitud hídrica (0,69), fue otra característica positiva del Biobío, pues su nivel estuvo en el rango considerado como “bueno” (0,61 – 0,70; [Apéndice XXXIII](#)).

Las características del componente multifuncionalidad que debilitaron la resiliencia del territorio agrícola en la Región del Biobío, fueron la rotación de cultivos (0,57) que alcanzó niveles “medios” de resiliencia (0,51 – 0,60), la diversidad cultivada en los territorios (0,50) y los bajos niveles de utilización de riego para los cultivos (0,41), categorizados como con “baja” resiliencia (0,31 – 0,50). Los aspectos más críticos evaluados correspondieron a la alta proporción de superficie erosionada, existiendo, en promedio, más del 83% del suelo con algún grado de degradación (0,17), la baja disponibilidad de superficie para cultivos diferentes a los priorizados (0,10) y la escasa participación de agricultores en programas de agroturismo (0,03), considerándose en la categoría de “muy baja” resiliencia (0,00 – 0,30).

La evaluación de las comunas de la Región del Biobío para el componente multifuncionalidad del territorio agrícola, identificó que 11 de ellas se encontraron en el nivel considerado “bajo” (0,31 – 0,50; Figura 5). Las particularidades que se atribuyen a estos territorios para obtener este nivel de resiliencia son; la baja participación en agroturismo (0,03), la baja proporción de superficie para cultivar especies distintas a las priorizadas (0,05), los bajos niveles de superficie regada (0,20), de diversidad cultivada (0,22) y de rotación de cultivos (0,27). A pesar del “muy bajo” nivel de resiliencia de estas características (0,00 – 0,30), existen otros rasgos que aportan positivamente a estos territorios, como: las bajas sensibilidades que se obtuvieron para la aptitud hídrica (0,61), para el período de heladas (0,76), para la aptitud térmica (0,81) y para el rendimiento (0,83), además de la libertad de agotamiento, prohibición y restricción de extracción de los cuerpos de agua superficial y subterránea (0,90).

En 17 comunas la participación del componente de multifuncionalidad del territorio agrícola fue de “media” (0,51 – 0,60; Figura 5). Esto se debe porque la participación en agroturismo (0,02), el espacio productivo para cultivos diferentes a los priorizados (0,10) y las áreas de suelo no erosionado (0,12) alcanzaron el rango “muy bajo” (0,00 – 0,30), mientras que, la diversidad de los cultivos establecidos (0,61), la rotación de los cultivos por temporada (0,68), la sensibilidad de la variación de la aptitud hídrica (0,70), la sensibilidad de los rendimientos entre el período actual y el escenario proyectado (0,70; 2046-2065) y la alta

condición de urbanidad de estas comunas (0,75), lograron tener una resiliencia considerada como “buena” (0,61 – 0,70) y “muy buena” (0,71 – 0,80). Por último, las características con “excelente” respuesta a la resiliencia (0,81 – 1,00) fueron las que consideraron la sensibilidad de la variación de los DG y HF (0,81), el positivo estado de cuerpos de agua superficial y subterránea en relación con las declaraciones de agotamiento, prohibición o restricción de extracción (0,90) y a la baja sensibilidad del período con probabilidad de ocurrencia de heladas (0,99).

Por otro lado, en Mulchén, Negrete y Penco se alcanzó el rango “bueno” en el aporte del componente de multifuncionalidad del territorio agrícola para la resiliencia (0,61 – 0,70; Figura 5). Lo que caracterizó a estas comunas para obtener este nivel, fue que solo la escasa participación de los agricultores en agroturismo (0,05), la baja proporción de superficie para cultivos diferentes a los priorizados (0,16) y la baja superficie no erosionada (0,32) estuvieron en el nivel de resiliencia entre “muy bajo” (0,00 – 0,30) y “bajo” (0,31 – 0,50). Mientras que, la alta diversificación de cultivos (0,65) y las bajas sensibilidades obtenidas para el rendimiento (0,73), para la aptitud hídrica (0,75), para la aptitud térmica (0,80) y para el período de heladas (1,00), lograron rangos de resiliencia entre “bueno” (0,61 – 0,70), “muy bueno” (0,71 – 0,80) y “excelente” (0,81 – 1,00). Del mismo modo, la alta superficie regada (0,80), la intensa rotación de cultivos en los territorios (0,81), la alta población urbana (0,81) y el excelente estado de los cuerpos de agua superficial y subterránea (1,00), también estuvieron dentro de los niveles más positivos de resiliencia, permitiendo lograr que estas comunas tengan una mayor capacidad de recuperarse ante condiciones de desequilibrio.

Finalmente, Cabrero (0,73) y Los Ángeles (0,71) cuyo aporte del componente de multifuncionalidad del territorio agrícola en la resiliencia alcanzó el nivel “muy bueno” (0,71 – 0,80; Figura 5). En estos territorios, todas las características correspondientes a: prohibición, restricción o agotamiento de extracción de aguas superficiales y subterráneas (1,00), superficie agrícola regada (0,93), sensibilidad del período de helada (0,89), sensibilidad de aptitud hídrica (0,87), sensibilidad de rendimiento (0,85), sensibilidad de aptitud térmica (0,81) y rotación de cultivos (0,81), se encontraron en una condición “excelente” de resiliencia (0,81 – 1,00). Mientras que, la alta diversidad cultivada (0,78), la condición de urbanidad (0,75) y la gran proporción de superficie no erosionada (0,66) estuvieron consideradas dentro de las categorías “muy buena” (0,71 – 0,80) y “buena” (0,61 – 0,70). Por último, la baja disponibilidad de superficie para la producción de cultivos diferentes a los priorizados (0,28) y la poca participación en agroturismo (0,02) fueron los puntos críticos de resiliencia que obtuvieron estos territorios al alcanzar el nivel “muy bajo” (0,00 – 0,30).

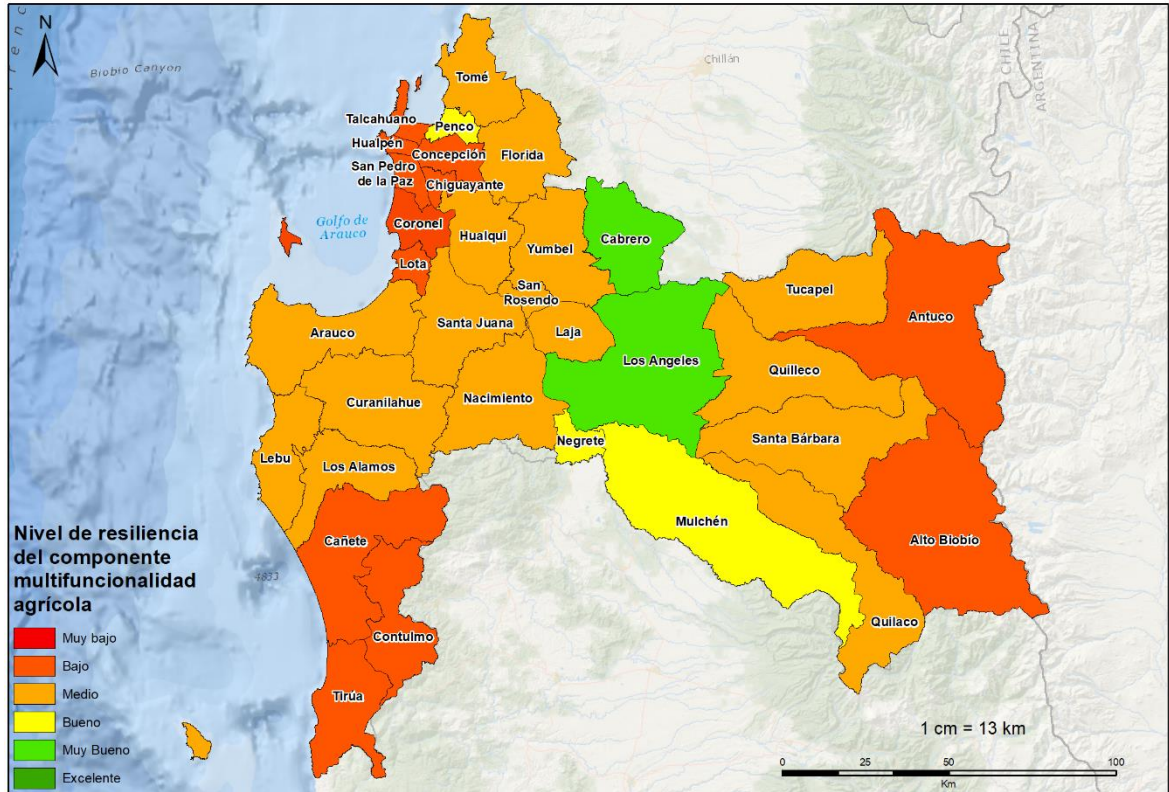


Figura 5. Nivel de resiliencia del componente multifuncionalidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Componentes Capacidad de adaptación e Interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola

Redes de apoyo estatales

En las comunas de Alto Biobío, Arauco, Cañete, Concepción, Los Ángeles, Santa Bárbara, Tirúa y Yumbel existe la presencia de apoyo estatal a través de las agencias áreas de INDAP (1,00; Cuadro 36; [Apéndice XXXIV](#)). Cabrero y Mulchén fueron las únicas que reportaron la presencia de oficinas de área (indicador de 0,5) mientras que, las 23 comunas restantes no tienen representación estatal a nivel local (INDAP, 2019a; Cuadro 36).

Cuadro 36. Indicador de “Redes de apoyo estatales” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Redes de apoyo estatales
Alto Biobío	1,00
Antuco	0,00
Arauco	1,00
Cabrero	0,50
Cañete	1,00
Chiguayante	0,00
Concepción	1,00
Contulmo	0,00
Coronel	0,00
Curanilahue	0,00
Florida	0,00
Hualpén	0,00
Hualqui	0,00
Laja	0,00
Lebu	0,00
Los Álamos	0,00
Los Ángeles	1,00
Lota	0,00
Mulchén	0,50
Nacimiento	0,00
Negrete	0,00
Penco	0,00
Quilaco	0,00
Quilleco	0,00
San Pedro de la Paz	0,00
San Rosendo	0,00
Santa Bárbara	1,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 36)

Comuna	Indicador Redes de apoyo estatales
Santa Juana	0,00
Talcahuano	0,00
Tirúa	1,00
Tomé	0,00
Tucapel	0,00
Yumbel	1,00

Si bien INDAP declara que existe asociación a 27 municipalidades de la Región del Biobío para el trabajo en conjunto y coordinación de la prestación de servicios y apoyo a los pequeños agricultores beneficiarios de los programas (INDAP, 2019a), la presencia de agencias u oficinas de áreas solo se encuentra en 10 comunas de la región. Por un lado, la agencia de área se caracteriza por tener encargados técnicos de todos los programas, asesores financieros, encargados de proyectos y, en algunos casos, abogados para resolver y orientar las diferentes circunstancias presentadas por los beneficiarios, tomando un rol local más directo con la dirección regional (INDAP, 2020a). En cambio, en las oficinas de áreas solo existe un ejecutivo integral que ayuda a resolver dudas y gestiona de manera más rápida los requerimientos de los agricultores para que sean evaluados en las agencias regionales (INDAP, 2019a).

En este escenario, aquellos agricultores que forman parte de los programas del INDAP en las comunas donde no existe agencia u oficina, pueden solicitar información a su municipalidad, si esta se encuentra asociada al organismo ministerial, o dirigirse a la comuna más cercana en que se encuentre un asesor. Esta circunstancia impide la fácil obtención de información tanto de los beneficiarios como de aquellos agricultores que tienen interés por ser parte del INDAP, impidiendo el mayor acceso de programas de adaptación al cambio climático a causa de las dificultades de la entrega de la información.

Para reducir los impactos negativos del cambio climático en los sistemas agrícolas, será necesaria la adaptación de los sistemas a través de mecanismos que incrementen la productividad, las redes de confianza y el rol de los actores en el territorio (Wheelet *et al.*, 2013). Para lograr adaptabilidad, el rol de la institucionalidad es fundamental en el apoyo técnico y financiero que se requieren para la implementación de tecnologías, compra de insumos, vinculación y transferencia de conocimientos, que fortalezcan la capacidad de respuesta frente a los eventos climáticos (Ntuchu *et al.*, 2020). Sin embargo, la centralización de las políticas públicas, la falta de capacidad técnica y el déficit de presupuesto para el financiamiento de temáticas asociadas al cambio climático, se han convertido en una barrera para la adaptación de la pequeña agricultura y sus contextos locales (Turikul y Nursey-Bray, 2017).

El funcionamiento de la institucionalidad en materias de cambio climático en la Región del Biobío se encuentra a cargo del Comité Regional de Cambio Climático (CORECC), quienes

tienen por objetivo “promover la integración de la temática del cambio climático en las políticas públicas regionales, buscando la coherencia y posibles sinergias con las políticas nacionales, las Estrategias Regionales de Desarrollo y las políticas y actividades sectoriales regionales” (MMA, 2017). Los planes de adaptación propuestos desde los niveles centrales son transferidos al Comité Regional de Cambio Climático para ser implementados en el sector agrícola por medio del INDAP a través de sus programas (Jadrijevic *et al.*, 2015). De las propuestas de adaptación al cambio climático se destaca la mejora de la gestión del recurso hídrico, la conservación de las funciones productivas del suelo, la estabilización y maximización de los rendimientos de los cultivos y el mejoramiento de la eficiencia energética (AGRIMED, 2011; MMA, 2017).

El modelo implementado tanto en el Biobío como en el resto de las regiones del país obedece a la centralización de políticas públicas sin considerar las realidades de cada territorio para sus implementaciones. En este sentido, Birchall y Bonnett (2021), proponen que la adaptación de las comunidades que desarrollan la agricultura frente al cambio climático sea a través de tomadores de decisiones que propongan e implementen estrategias de mitigación, enfocadas en las realidades locales y en la preparación de los actores para enfrentar la variabilidad climática. Además, Turikul y Nursey-Bray (2017), indicaron que la participación ciudadana, la integración de los actores a las acciones de mitigación, la consideración de las culturas locales y la vinculación eficaz entre las instituciones y los actores, permitirán que los mecanismos de adaptación actuales y futuros tengan una mayor efectividad.

Finalmente, si bien los resultados indicaron que existe la presencia de al menos una entidad institucional estatal en cada comuna de la Región del Biobío, la estructura centralizada de la aplicación de políticas públicas no permite desarrollar la adaptación y fortalecer la resiliencia de acuerdo con las necesidades propias de cada territorio y de sus características.

Redes de venta

En 23 comunas de la Región al menos el 50% de los agricultores tienen redes de venta directa tanto a nivel local, regional o nacional (> 0,50; Cuadro 37; [Apéndice XXXV](#)). Las comunas de Los Ángeles y Penco se destacan por tener los niveles más bajos, debido a que su producción agrícola, generalmente, es de autoconsumo o subsistencia, por lo que no tienen redes de venta (0,01 y 0,02 respectivamente; Cuadro 37).

Cuadro 37. Indicador de “Redes de venta” del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	N° ventas nacional/regional directa	N° ventas local directa	N° ventas nacional/regional indirecta	N° ventas local indirecta	Sin venta	Total	Indicador Redes de venta
Alto Biobío	0	396	0	0	350	746	0,40
Antuco	0	110	0	0	82	192	0,43
Arauco	0	424	1	77	61	563	0,61
Cabrero	0	152	0	38	52	242	0,52
Cañete	0	826	61	517	139	1.543	0,51
Chiguayante	0	0	0	0	0	0	0,00
Concepción	0	0	0	0	0	0	0,00
Contulmo	0	284	0	43	15	342	0,66
Coronel	0	336	0	0	104	440	0,58
Curanilahue	0	134	0	4	33	171	0,60
Florida	100	682	10	7	75	874	0,71
Hualpén	0	0	0	0	0	0	0,00
Hualqui	1	1.154	6	0	43	1.204	0,73
Laja	0	652	0	3	193	848	0,58
Lebu	0	226	2	0	19	247	0,69
Los Álamos	0	317	63	53	58	491	0,58
Los Ángeles	2	0	0	9	994	1005	0,01
Lota	0	0	0	0	0	0	0,00
Mulchén	0	21	9	8	2	40	0,56
Nacimiento	19	685	0	0	77	781	0,69
Negrete	0	200	0	0	4	204	0,74
Penco	0	0	0	9	86	95	0,02
Quilaco	0	23	0	0	8	31	0,56
Quilleco	0	213	0	2	35	250	0,64
San Pedro de la Paz	0	0	0	0	0	0	0,00
San Rosendo	0	244	0	0	23	267	0,69
Santa Bárbara	0	117	2	0	33	152	0,59
Santa Juana	88	1.199	16	8	22	1.333	0,75
Talcahuano	0	0	0	0	0	0	0,00
Tirúa	3	700	27	116	459	1.305	0,44
Tomé	0	519	2	40	63	624	0,65
Tucapel	0	170	0	0	1	171	0,75
Yumbel	0	537	2	0	84	623	0,65

Las comunas que tienen redes mayores redes de venta de tipo local y directa fueron: Florida (0,71), Hualqui (0,73), Negrete (0,74), Santa Juana (0,75) y Tucapel (0,75; Cuadro 37). Por otro lado, a pesar de que las explotaciones de la AF de estos territorios son de pequeña escala, Florida y Santa Juana presentaron el número de ventas más altos en la categoría de

comercialización nacional/regional directa, siendo parte de las 6 comunas que tienen este tipo de redes de venta dentro de la Región del Biobío (Cuadro 37).

Para entender la heterogeneidad de la AF y el porqué de las diferencias entre comunas con altos niveles de comercialización y otras sin participación, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha clasificado la agricultura familiar de acuerdo con su nivel de comercialización, espacios productivos, implementación de tecnologías y rentabilidad; 1. la agricultura familiar de subsistencia (AFS), quienes se caracterizan por tener explotaciones para el autoconsumo y de baja aplicación de tecnologías y rentabilidad; 2. la agricultura familiar de transición (AFT), que se distingue porque, además de la producción para el autoconsumo, también pueden comercializar sus productos, sin embargo, no generan excedentes y; 3. la agricultura familiar consolidada (AFC), que se destaca porque la producción es sustento familiar para autoconsumo y para la venta en mercados que le permiten contar con el capital necesario para la implementación de tecnologías y la generación de excedentes (Soto *et al.*, 2017b).

En este escenario, las redes de venta de la pequeña agricultura en el país se caracterizan por el alto nivel de intermediarios existentes dentro de la cadena, por la falta de canales directos que diversifiquen la comercialización y por ser informales al no tener ningún sistema de control tributario (Uslar *et al.* 2018; Maffra y Boza, 2020). Esto favorece la vulnerabilidad de los territorios, pues la baja eficiencia de las cadenas de comercialización a causa de la fluctuación de precios, la baja rentabilidad de los cultivos y la dificultad de acceder a comercios formales no permite la modernización de los pequeños agricultores que mejoren la productividad y tecnologías asociadas a la producción (Araneda, 2016).

Si bien los estudios de vulnerabilidad y resiliencia en el sector agrícola frente al cambio climático han sido materia de estudio de los últimos años, la investigación asociada a las cadenas de comercialización no ha sido masificada como otras aristas productivas (Liverpool-Tasie *et al.*, 2020). Sin embargo, las publicaciones que abordan esta temática han señalado la importancia de modernizar las formas de venta de los pequeños agricultores a través de políticas públicas estatales que valoren la importancia de la producción a pequeña escala como fuente de seguridad alimentaria local (Hidalgo *et al.*, 2019).

En este sentido, el fortalecimiento de las cadenas de comercialización en la Región del Biobío debe apuntar a asegurar el trato directo que tienen los agricultores con los consumidores finales; pues, si bien la mayoría de los territorios agrícolas tienen ventas asociadas al ámbito local de manera directa, el surgimiento de mercados formales y grandes productores y la necesidad de negociación con intermediarios que desfavorecen al producto, podrían poner en riesgo este tipo de redes (Rodríguez y Oddone, 2019).

Por otra parte, el fortalecimiento en la cadena de comercialización debe estar acompañado del incentivo de cooperación entre los actores del territorio para la formación de alianzas productivas y el establecimiento de circuitos cortos de comercialización (Andrade, 2014), en

conjunto con el apoyo económico para la innovación de nuevas prácticas y tecnologías y para la inversión en la compra de insumos para la producción (Rodríguez y Oddone, 2019).

Por último, es importante que, a través de políticas públicas, exista una transición de las comunas en que los indicadores presentaron los valores más bajos, debido a la alta presencia de agricultura familiar de subsistencia (AFS) hacia una agricultura familiar consolidada (AFC), para disminuir los niveles de vulnerabilidad frente al cambio climático y fortalecer la resiliencia de estos territorios.

Dinamismo de relaciones del territorio

La presencia de 1 o 2 tipos de organizaciones sociales relacionadas con la agricultura, correspondiente al valor 0,50 se registró en 15 comunas de la Región del Biobío (Cuadro 38; [Apéndice XXXVI](#)), mientras que, Antuco, Chiguayante, Coronel, Hualpén, Lota, Quilaco y Talcahuano no poseen asociaciones gremiales, cooperativas, organizaciones no gubernamentales u organizaciones campesinas relacionadas, alcanzando un indicador de 0 (Cuadro 38). El resultado para las comunas de Antuco, Coronel y Quilaco, puede estar asociado a la existencia de organización informales que no se encuentran registradas según los criterios utilizados para la evaluación del indicador (Synthesis, 2020).

Cuadro 38. Indicador de “Dinamismo de relaciones del territorio” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	N° Asociaciones gremiales	N° Cooperativas	N° Organizaciones No Gubernamentales	N° Organizaciones campesinas	Total Relaciones	Indicador Dinamismo de relaciones
Alto Biobío	0	1	0	2	3	1,00
Antuco	0	0	0	0	0	0,00
Arauco	0	2	0	3	5	1,00
Cabrero	0	0	0	2	2	0,50
Cañete	3	4	0	3	10	1,00
Chiguayante	0	0	0	0	0	0,00
Concepción	6	4	0	1	11	1,00
Contulmo	0	1	0	0	1	0,50
Coronel	0	0	0	0	0	0,00
Curanilahue	0	2	0	2	4	0,50
Florida	1	0	0	0	1	0,50
Hualpén	0	0	0	0	0	0,00
Hualqui	0	0	0	5	5	1,00
Laja	0	0	0	1	1	0,50
Lebu	0	1	0	3	4	1,00
Los Álamos	0	2	0	0	2	0,50

(Continúa)

(Continuación Cuadro 38)

Comuna	N° Asociaciones gremiales	N° Cooperativas	N° Organizaciones No Gubernamentales	N° Organizaciones campesinas	Total Relaciones	Indicador Dinamismo de relaciones
Los Ángeles	1	6	0	3	10	1,00
Lota	0	0	0	0	0	0,00
Mulchén	0	3	0	0	3	1,00
Nacimiento	0	1	0	2	3	0,50
Negrete	0	0	0	1	1	0,50
Penco	0	0	0	1	1	0,50
Quilaco	0	0	0	0	0	0,00
Quilleco	0	1	0	0	1	0,50
San Pedro de la Paz	1	0	0	0	1	0,50
San Rosendo	0	0	0	2	2	0,50
Santa Bárbara	0	4	0	2	6	1,00
Santa Juana	0	0	0	1	1	0,50
Talcahuano	0	0	0	0	0	0,00
Tirúa	2	3	0	5	10	1,00
Tomé	0	1	0	1	2	0,50
Tucapel	0	0	0	1	1	0,50
Yumbel	1	4	1	3	9	1,00

El contexto adverso de la pequeña agricultura, debido al cambio climático, requiere el fortalecimiento de las organizaciones campesinas para la implementación de estrategias que rescaten las técnicas tradicionales que se encuentran adaptadas a las condiciones locales y se reconozca a los actores como fuente del conocimiento de las características de cada territorio, para así promover la capacidad resiliente del sistema (AECID, 2018; Veas y Chia, 2020).

A pesar de la importancia de las conformaciones agrícolas, estas no son visibilizadas para el diseño de estrategias que adapten a los sistemas de producción a los efectos del cambio climático, ni son frecuentemente consideradas para los estudios relacionados a esta temática, por lo que es difícil encontrar planes de adaptación exclusivamente a cada territorio (Santiago-Vera *et al.*, 2018).

La inclusión de las comunidades agrícolas para el diseño de planes de adaptación en el contexto de cambio climático es importante, ya que son capaces de canalizar las necesidades, dificultades y la información local para la implementación de políticas públicas enfocadas en las realidades particulares de los territorios (Hernández *et al.*, 2015). Del mismo modo, las organizaciones son quienes ejecutan las actividades de adaptación y forman parte del proceso de la toma de decisiones y de acciones de acuerdo con el conocimiento entregado por la vivencia, cultura y patrimonio ancestral de cada uno de los actores que la conforman (Santiago-Vera *et al.*, 2018).

La vinculación entre las comunidades rurales campesinas y la variabilidad climática está relacionada con la capacidad de revalorizar las variedades locales de los cultivos, pues estas se encuentran mejor adaptadas a las diversas condiciones ambientales de los territorios, debido a su producción histórica y al manejo asociado a prácticas ancestrales (Veas y Chia, 2020). Esta vinculación entre los agricultores y las nuevas condiciones de producción ha ocasionado el concepto de “nueva ruralidad” para proponer la adopción colectiva de prácticas y la implementación de tecnologías asociadas a la adaptación climática que involucra la implementación de políticas públicas, considerando las dimensiones social, económica y ambiental, y las opiniones de los actores locales (AECID, 2018; Santiago-Vera *et al.*, 2018; Veas y Chia, 2020).

En el caso de la Región del Biobío, el 78% de las comunas tienen algún tipo de asociación, cooperativa u organización campesina (Cuadro 38), esto permite a los pequeños agricultores diversificar sus relaciones y hacerlas dinámicas de acuerdo con las necesidades productivas. En este sentido, las experiencias, los requerimientos y las prácticas que se comparten en estas comunidades agrícolas no solo permiten actuar de manera colectiva en las acciones de adaptación al cambio climático; sino, también, reúnen el conocimiento para aportar en planes locales que reconozcan las vulnerabilidades del territorio y ejecuten propuestas de mitigación que fortalezcan la pequeña agricultura.

Finalmente, es fundamental que en las comunas en que no existen organizaciones debe incentivarse la participación y la asociatividad entre pequeños agricultores para la diversificación de las relaciones de ayuda y cooperación. De esta manera, se podrán desarrollar mecanismos de adaptación de forma colectiva que reconozcan las necesidades y saberes locales y, en consecuencia, disminuir el riesgo potencial de inseguridad alimentaria, particularmente, si se considera que la producción en estas comunas es para el consumo interno.

Componente interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola

En general, el componente interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola de la Región del Biobío obtuvo un nivel “bajo” (0,43) en su participación en la resiliencia (Figura 6). La explicación que se atribuye a la obtención de este rango es que la presencia de redes de apoyo estatales, a través de las agencias y oficinas del INDAP (0,27), fue “muy baja” (0,00 – 0,30). A su vez, las redes de ventas oscilaron entre la venta local directa e indirecta obteniendo un indicador promedio de 0,46, considerado como “bajo” (0,31 – 0,50). Por último, el dinamismo de las relaciones entre los actores, a través de la presencia de asociaciones gremiales, cooperativas, ONG y organizaciones campesinas (0,56), lograron encontrarse en un rango “medio” de resiliencia (0,51 – 0,60; [Apéndice XXXVII](#)).

En 9 comunas del Biobío el nivel “muy bajo” (0,00 – 0,30) del aporte del componente interacciones dinámicas entre los actores predominó. Esta condición se debe a la ausencia de apoyo estatal con agencias u oficinas de INDAP (0,00), el bajo nivel de ventas tanto locales,

regionales, nacionales, locales e indirectas por parte de los productores (0,13) y a la falta de la vinculación entre los actores a través de diferentes organizaciones u asociaciones (0,13).

Por otra parte, el nivel “bajo” este componente para la resiliencia (0,31 – 0,50; Figura 6) fue el que mayor número de comunas registró en la región (12). La explicación de la obtención de este rango bajo se debe a que en estos territorios no existe la presencia local del INDAP (0,00). Además, la participación de organizaciones, asociaciones y ONG fue en promedio de 1 por comuna (0,5 del indicador), estando en un nivel “bajo” de resiliencia. Sin embargo, a pesar de estos niveles inferiores, se realiza el rango considerado como “bueno” (0,61 -0,70) por la existencia de una alta participación en redes de venta de tipo local y regional directa (0,67) por parte de los productores.

Cabrero, Hualqui y Lebu fueron las comunas que lograron que el aporte del componente de interacciones dinámicas entre los actores del territorio se encontrara en una condición “media” (0,51 – 0,60; Figura 6) para la resiliencia. En estas comunas, la presencia del INDAP a nivel local (0,17) solo se encontró en Cabrero con la existencia de un área de oficina, por lo que en general, esta característica estuvo en el rango “muy bajo” (0,00 – 0,30). El caso contrario ocurrió con la participación de los agricultores en las ventas de tipo local y regional directa (0,65), ya que estuvo en el nivel “bueno” de resiliencia (0,61 – 0,70). Del mismo modo, la alta presencia de asociaciones gremiales, cooperativas, ONG y organizaciones campesinas promediaron un indicador de 0,83 (categoría de “excelente”; 0,81 – 1,00), queriendo decir que en estas comunas existen al menos 2 redes de interacción para la participación de los actores territoriales.

Para Concepción, Los Ángeles y Mulchén, el componente de interacciones dinámicas entre los actores territoriales se encontró en el nivel “bueno” (0,61 – 0,70; Figura 6). Las particularidades para que estos territorios alcanzaran este rango de aporte a la resiliencia, fue que en todas las comunas se registró la presencia tanto de organismos o asociaciones de vinculación (1,00) como también así, de agencias u oficinas del INDAP (0,83), logrando la condición de “excelente” (0,81 – 1,00) para ambas características. El rasgo de estas comunas con el nivel más crítico de resiliencia, la obtuvo la participación de los agricultores en las redes de venta (0,19), pues la mayoría vendía a través de intermediario o simplemente solo producía alimentos para el auto consumo, estando en un nivel “muy bajo” (0,00 – 0,30).

En la categoría considerada como “muy buena” (0,71 – 0,80; Figura 6), solo Alto Biobío alcanzó este nivel para el componente de interacciones dinámicas entre los actores del territorio en la resiliencia. Esta comuna se caracterizó porque en ella existen más de 3 redes de vinculación de asociaciones, ONG u organizaciones (1,00) y cuenta con la presencia de una agencia del INDAP (1,00) para la asesoría de sus beneficiarios. Por último, las ventas a través de intermediarios tanto a nivel local como regional y la producción de autoconsumo predominó en esta comuna, pues el indicador (0,40) estuvo en el rango “bajo” de resiliencia (0,31 – 0,50).

Finalmente, 5 comunas del Biobío lograron el nivel de “excelente” (0,81 – 1,00; Figura 6) para este componente, destacándose Yumbel como la que obtuvo el nivel más alto (0,88). Para la obtención de este rango de resiliencia en las interacciones dinámicas entre los actores del territorio, se observó la presencia de agencias de INDAP en todas las comunas (1,00) y

la vinculación de más de 3 organizaciones y asociaciones en los territorios (1,00). El nivel más bajo para estas comunas lo aportó las redes de ventas, pues existe una heterogeneidad entre los agricultores que venden de manera local, regional y nacional directa con otros que lo realizan a través de intermediarios (0,56).

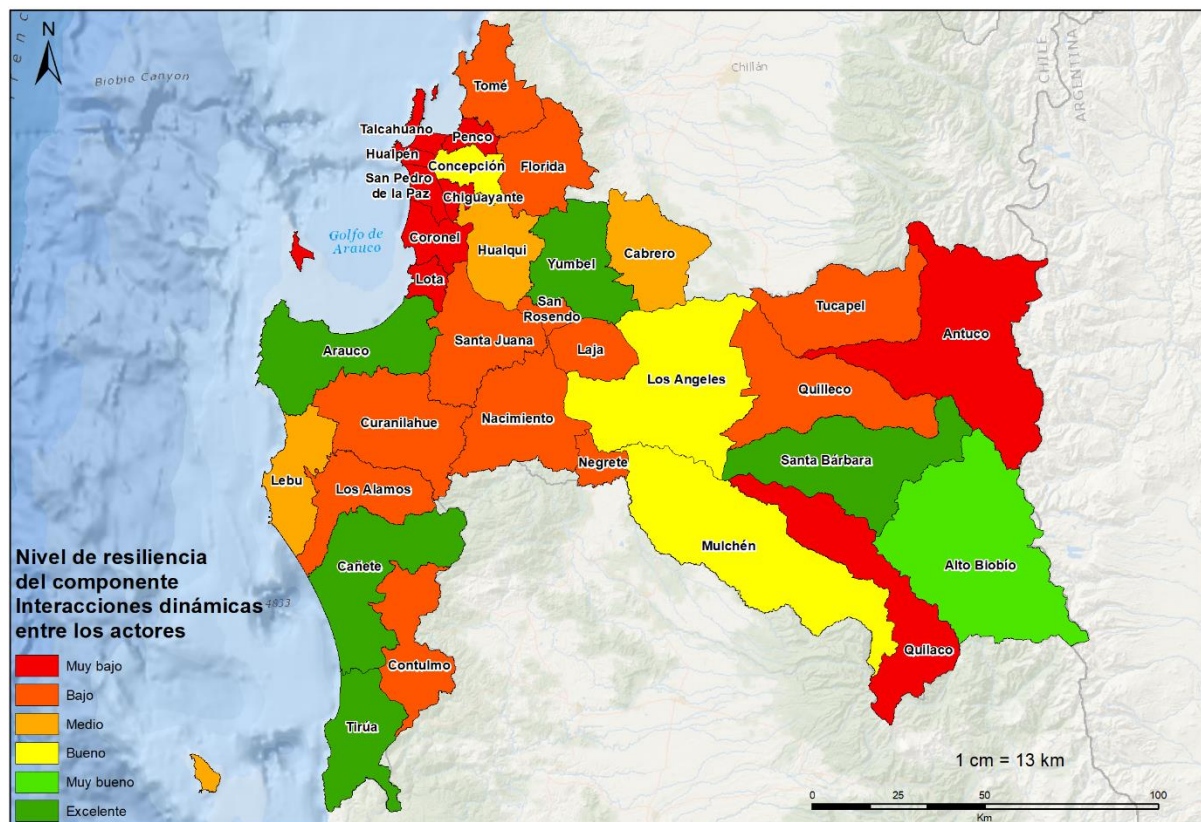


Figura 6. Nivel de resiliencia del componente interacciones dinámicas entre de los actores del territorio de las comunas de la Región del Biobío.

Componentes Capacidad de adaptación y Capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola

Implementación de riego tecnificado

Las comunas de la Región del Biobío presentaron una muy baja implementación de tecnologías de riego, obteniéndose 23 de ellas, con valores iguales o inferiores a 0,10 (Cuadro 39; [Apéndice XXXVIII](#)). Las comunas de Nacimiento, Quilaco, Tomé y Tucapel destacaron por obtener los resultados más altos (> 0,20); sin embargo, estas cifras siguen indicando una baja proporción de explotaciones agrícolas con sistema de riego tecnificado (Cuadro 39).

Cuadro 39. Indicador de “Implementación de riego tecnificado” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	N° explotaciones con riego	N° explotaciones con riego tecnificado	N° Explotaciones totales	Indicador Riego Tecnificado
Alto Biobío	713	56	746	0,07
Antuco	184	4	192	0,02
Arauco	170	34	563	0,06
Cabrero	225	25	242	0,10
Cañete	430	101	1.542	0,07
Chiguayante	0	0	0	0,00
Concepción	0	0	0	0,00
Contulmo	115	33	342	0,10
Coronel	389	20	440	0,05
Curanilahue	116	16	171	0,10
Florida	527	71	874	0,082
Hualpén	0	0	0	0,0
Hualqui	790	155	1.204	0,13
Laja	416	72	848	0,08
Lebu	65	33	247	0,14
Los Álamos	156	20	491	0,04
Los Ángeles	950	100	1.005	0,10
Lota	0	0	0	0,00
Mulchén	37	2	40	0,05
Nacimiento	572	150	781	0,20
Negrete	182	12	204	0,06
Penco	81	10	95	0,12
Quilaco	28	8	31	0,26
Quilleco	171	2	250	0,01
San Pedro de la Paz	0	0	0	0,00
San Rosendo	121	43	267	0,17
Santa Bárbara	145	26	152	0,18

(Continúa)

(Continuación Cuadro 39)

Comuna	N° explotaciones con riego	N° explotaciones con riego tecnificado	N° Explotaciones totales	Indicador Riego Tecnificado
Santa Juana	1.155	130	1.333	0,10
Talcahuano	0	0	0	0,00
Tirúa	32	5	1.305	0,01
Tomé	317	126	624	0,21
Tucapel	165	31	171	0,20
Yumbel	371	79	623	0,13

La disminución proyectada de las precipitaciones y el aumento de un 55% de la demanda hídrica para el 2050, obligará a la implementación de tecnologías que optimicen el uso del agua en los procesos productivos de la agricultura (Lee *et al.*, 2020). El uso de sistemas de riego tecnificado permite aumentar los rendimientos de los cultivos al proporcionar el agua requerida para la producción; también, aumenta la eficiencia en la utilización del recurso hídrico al proporcionar el volumen demandado, disminuyendo las pérdidas por percolación y escurrimiento, característica fundamental para disminuir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia en contextos de sequía (Jorisch *et al.*, 2018; UPA, 2019).

A pesar de la importancia y los beneficios del riego tecnificado, la mayor parte de la superficie regada a nivel nacional tiene riego gravitacional o tradicional, siendo la Región del Biobío la tercera con la proporción más alta; 85%, explicado por la falta de financiamiento, de asesorías y la resistencia al recambio a nuevas tecnologías de pequeños agricultores con tradiciones ancestrales y métodos tradicionales de riego (Aprey, 2012). La condición de vulnerabilidad de los sistemas sin tecnologías de riego, se incrementa en escenarios con disminución de precipitación (Reyes *et al.*, 2018), pues la eficiencia de los tipos de riego tradicionales se encuentran entre el 30-35% si es por tendido, 45-50% si es por surco o 50-60% si es por borde, utilizando volúmenes de agua superiores a los requeridos por los cultivos, mientras que, con la implementación de la tecnificación, las eficiencias alcanzan el 90-95% (Antúnez *et al.*, 2009).

La baja implementación de riego tecnificado en la pequeña agricultura se debe al costo de instalación y mantención, además del bajo retorno que tienen los cultivos como las hortalizas o anuales que no alcanzan a cubrir los costos de su utilización (Kelley, 2017). Otro factor considerado para entender el uso de riego tradicional es el desconocimiento de los agricultores sobre los beneficios de la tecnologización y el arraigo a las tradiciones culturales de manejo que impiden la transformación de nuevas prácticas que se adapten de mejor manera al cambio climático y haga a los territorios agrícolas más resilientes (Jorisch *et al.*, 2018).

Para implementar tecnologías de riego para los pequeños agricultores, son necesarios programas públicos que incentiven el financiamiento y el conocimiento sobre la importancia de la tecnificación del riego bajo las nuevas condiciones climáticas (Ortiz, 2012). En este sentido, en Chile existen políticas asociadas al fomento de la tecnificación del riego de la pequeña agricultura beneficiaria del INDAP a través del “Programa de estudio de riego y drenaje”, el que otorga una pre-inversión a los usuarios para la formulación de proyectos

asociados al riego tecnificado (INDAP, 2020c). Del mismo modo, la Comisión Nacional de Riego (CNR) está a cargo de operativizar los programas asociados a la “Ley de fomento al riego y drenaje” en que la ayuda se centra en la construcción y mantención de obras de acumulación de aguas, revestimiento de canales y obras civiles de conducción, impulsión y puesta en riego (INDAP, 2020d).

Actualmente, en la Región del Biobío existen 137 proyectos asociados a la Ley de fomento de riego y drenaje, abarcando 27 comunas (INDAP, 2020d). Sin embargo, esta cifra es baja, considerando que la región tiene altos niveles de utilización de riego gravitacional, de producción de secano y que la pequeña agricultura es la principal fuente de abastecimiento local.

Existencia de infraestructura para riego

En la Región del Biobío 14 comunas poseen infraestructura para regadío (1,00), pues todas ellas tienen asociadas un embalse de acumulación de agua para riego cercano para su abastecimiento (Cuadro 40; [Apéndice XXXIX](#)).

Cuadro 40. Indicador de “Existencia de infraestructura para riego” de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Infraestructura de riego
Alto Biobío	1,00
Antuco	1,00
Arauco	0,00
Cabrero	1,00
Cañete	0,00
Chiguayante	0,00
Concepción	0,00
Contulmo	0,00
Coronel	0,00
Curanilahue	0,00
Florida	0,00
Hualpén	0,00
Hualqui	0,00
Laja	1,00
Lebu	0,00
Los Álamos	0,00
Los Ángeles	1,00
Lota	0,00
Mulchén	1,00
Nacimiento	1,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 40)

Comuna	Indicador Infraestructura de riego
Negrete	1,00
Penco	0,00
Quilaco	1,00
Quilleco	1,00
San Pedro de la Paz	0,00
San Rosendo	1,00
Santa Bárbara	1,00
Santa Juana	0,00
Talcahuano	0,00
Tirúa	0,00
Tomé	0,00
Tucapel	1,00
Yumbel	1,00

La inseguridad hídrica por efecto del cambio climático y el aumento de la demanda de agua para la producción de alimentos es un desafío que requiere el mejoramiento de la infraestructura hídrica existente, la recuperación de embalses pequeños y locales, así como la inversión en la construcción de nuevas obras que se adapten a las futuras condiciones sin perjudicar el medio ambiente (Stehr *et al.*, 2019). En este sentido, los embalses juegan un rol fundamental en la adaptación de la pequeña agricultura frente a la incerteza de la disponibilidad del recurso hídrico para los sistemas agrícolas, al proporcionar una fuente de abastecimiento en los períodos críticos de producción y asegurar la alimentación local (Vicuña *et al.*, 2013).

En la Región del Biobío existen tres embalses; Lago Laja, Ralco y Pangue, con capacidades de acumulación hídrica de 5.582 hm³, 1174 hm³ y 83 hm³; respectivamente. Sin embargo, solo “Lago Laja” tiene como uso principal el abastecimiento para riego, puesto que Ralco y Pangue se utilizan exclusivamente para la generación de energía (DGA, 2020f).

El embalse “Lago Laja” es la principal fuente de acumulación de aguas para riego de la región y responsable del abastecimiento de toda la Provincia del Biobío, equivalente a más de 100.000 hectáreas productivas (Toro, 2017). Según DGA (2020f), este embalse se encontraba a 21% de su capacidad a octubre del 2020, equivalente a 1.184 hm³ y con un déficit de 64% respecto del promedio histórico mensual de 3.336 hm³.

La condición de déficit de los embalses es una situación que se repite desde la zona norte hasta la zona sur del país y que se seguirá acentuando a medida que las condiciones climáticas se vayan modificando (DGA, 2020a). A raíz de esto, es que las propuestas de adaptación en temáticas del uso del agua apuntan al mejoramiento y construcción de nuevos embalses, considerando las condiciones, necesidades y realidades locales de los agricultores beneficiarios, para de esta manera reconocer de mejor manera los territorios que requieren de este tipo de infraestructura (Vicuña *et al.*, 2013; Stehr *et al.*, 2019).

En la Región del Biobío no existen proyectos de establecimiento de nuevos embalses que aseguren el riego de la pequeña agricultura en el futuro. En este contexto, es necesario que la orientación de las políticas públicas de adaptación al cambio climático, consideren la construcción de infraestructura que no solo asegure la disponibilidad del recurso hídrico, sino, también abarque territorios en los que actualmente no tienen acceso a embalses, teniendo siempre en consideración las repercusiones y opiniones de los actores territoriales locales. De esta manera, se incentiva la vinculación y participación en la toma de decisiones y se promueve la transformación de los sistemas de riego tradicionales a tecnificados, al presentar opciones de disponibilidad de abastecimiento. Del mismo modo, se permite que la agricultura de secano cambie a una producción bajo riego y se incrementen los niveles de resiliencia al ser menos vulnerables frente a la condición de disminución de precipitaciones.

Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidades ante el cambio climático

Cañete, Concepción, Los Ángeles, Penco, San Pedro de la Paz y Talcahuano fueron las únicas comunas pertenecientes a la Red Chilena de Municipalidades ante el cambio climático, (REDMUNICC; Cuadro 41; [Apéndice XL](#)). De ellas, se destacan Penco y San Pedro de la Paz por ser las únicas que presentan un “Plan local de cambio climático”, mientras que el resto de los municipios pertenecientes a la red aún no declaran los lineamientos a seguir a nivel comunal (Cuadro 41).

Cuadro 41. Indicador de “Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad” de las comunas de la Región del Biobío (Aro, 2020).

Comuna	Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad ante el cambio climático
Alto Biobío	0,00
Antuco	0,00
Arauco	0,00
Cabrero	0,00
Cañete	1,00
Chiguayante	0,00
Concepción	1,00
Contulmo	0,00
Coronel	0,00
Curanilahue	0,00
Florida	0,00
Hualpén	0,00
Hualqui	0,00
Laja	0,00
Lebu	0,00
Los Álamos	0,00
Los Ángeles	1,00
Lota	0,00
Mulchén	0,00

(Continúa)

(Continuación Cuadro 41)

Comuna	Pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad ante el cambio climático
Nacimiento	0,00
Negrete	0,00
Penco	1,00
Quilaco	0,00
Quilleco	0,00
San Pedro de la Paz	1,00
San Rosendo	0,00
Santa Bárbara	0,00
Santa Juana	0,00
Talcahuano	1,00
Tirúa	0,00
Tomé	0,00
Tucapel	0,00
Yumbel	0,00

La REDMUNICC tiene como misión posicionarse “como un referente nacional en las dimensiones políticas, técnicas y comunicacionales relacionadas con la adaptación y mitigación al cambio climático a nivel local” (REDMUNICC, 2017). En este sentido, la red ha establecido ejes transversales de adaptación y mitigación abarcados en nueve áreas de acción: Agua; Energía; Ecosistemas; Salud; Gestión de residuos; Transporte y Movilidad; Gestión de Riesgos de Desastres; Identidad y Cultura; e Infraestructura, siendo todas ellas importantes en las discusiones actuales sobre los efectos del cambio climático (Adapt Chile, 2019).

Sobre la base de las definiciones señaladas por REDMUNICC, Penco ha desarrollado una “Plan Local de Cambio Climático” para el desarrollo de actividades relacionada a proyectos y acciones climáticas en 7 de las 9 áreas definidas: agua, energía, ecosistemas, gestión de residuos, transporte y movilidad, gestión de riesgos de desastres e identidad y cultura, destacándose las acciones de “conversatorios y charlas participativas, “modificación del Plan Regulador Comunal” y el “Sistema de Certificación Ambiental Municipal”, sin embargo, aún no existen actividades en relación con temáticas agrícolas (Ilustre Municipalidad de Penco, 2018).

Por otra parte, el municipio de San Pedro de la Paz también ha desarrollado el “Plan Local de Cambio Climático”, quienes han declarado la implementación de acciones para las 9 áreas definidas por la red, destacándose los “talleres comunitarios sobre el uso eficiente del agua”, el “mejoramiento de infraestructura para acumulación de agua y mitigación de inundaciones”, “programa de eficiencia hídrica en establecimientos escolares”, “construcción de ruta del agua”, “programa de prevención de incendios forestales y agrícolas”, “Plan Maestro de Áreas Naturales”, “Elaboración guía de Conservación, Protección y Gestión del Patrimonio Ambiental Comunal”, “Formación de red de apoyo ante impactos de eventos climáticos extremos” y “Programa de educación ambiental” (Ilustre Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2019).

Si bien los municipios de Cañete, Concepción, Los Ángeles y Talcahuano no han presentado un “Plan local de cambio climático”, su participación en la red fue evaluada con el valor de 1 para el indicador, pues se considera relevante la presencia de estas comunas dentro del lineamiento a nivel local para disminuir los efectos del cambio climático. Sin embargo, se espera que los planes de acción y estrategias no solo sean declarados por estos municipios, sino, además se incorporen a la red el resto de las comunas de la Región del Biobío, especialmente, aquellas de actividad agrícola, para así tener participación en la toma de decisiones de institucionalidades locales que representen las necesidades de los territorios y hagan visibles las vulnerabilidades de ellos para establecer medidas de mitigación.

Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP

Los territorios agrícolas de la Región del Biobío tienen un “bajo” nivel de participación en los programas de ayuda ofrecidos a los beneficiarios de PDTI y PRODESAL, pues el promedio del indicador alcanzó un valor de 0,24 (Cuadro 42; [Apéndice XLI](#)).

Las comunas de Quilaco y Mulchén fueron las únicas que obtuvieron una “alta participación” en los programas de inversión y fortalecimiento (indicador 0,80 y 0,72, respectivamente; Cuadro 43). Este resultado se debió a que, en el caso de Quilaco, se logró un alto alcance de beneficiarios de PRODESAL (17 de 21) debido a que las comunas colindantes; Alto Biobío, Mulchén y Santa Bárbara tienen agencias del INDAP con asesores que son capaces de ir a localidades cercanas a generar instancias de vinculación, participación y difusión. En el caso de la comuna de Mulchén, el apoyo fue otorgado a 23 de los 32 pequeños productores del PRODESAL, atribuyéndose este alcance a la existencia de la agencia de área del INDAP a nivel local, que facilita la difusión de la información y la resolución de dudas.

Por otra parte, las comunas de Cabrero, Florida, Penco, Santa Juana, Tomé y Yumbel obtuvieron una “participación media” (0,41 – 0,70) en los programas de inversión y fortalecimiento agrícola. A su vez, 18 comunas se encontraron con un “baja participación” (0,00 – 0,40) en los programas del INDAP (Cuadro 42), atribuido a que posiblemente los agricultores que no participaron no tenían información sobre estos programas de inversión y fortalecimiento o se encontraban en uno diferente a lo relacionado con adaptación al cambio climático.

Por último, el territorio agrícola de la comuna de Tirúa fue el único que no registró beneficiarios para incentivos o fortalecimientos de la producción en el período 2016-2019, encontrándose en la categoría considerada como “sin participación” (0,00). La explicación para este rango se debe a que los agricultores que solicitaron algún tipo de financiamiento o apoyo técnico para el fortalecimiento de sus producciones no estuvieron relacionados con actividades de adaptación al cambio climático, ya que las inversiones se enfocaron en la compra de insumos y herramientas agrícolas y en la asesoría sobre su utilización (INDAP, 2020e).

Cuadro 42. Indicador de “Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP” de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	N° Agricultores en programas de inversión agrícola	N° Agricultores en programas de fortalecimiento agrícola	Total Agricultores en los programas de inversión y fortalecimiento	Total Agricultores	Indicador Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP
Alto Biobío	77	0	77	294	0,26
Antuco	0	18	18	86	0,21
Arauco	2	17	19	325	0,06
Cabrero	0	58	58	115	0,50
Cañete	51	67	118	906	0,13
Chiguayante	0	0	0	0	0,00
Concepción	0	0	0	0	0,00
Contulmo	0	33	33	243	0,14
Coronel	0	33	33	112	0,29
Curanilahue	0	19	19	82	0,23
Florida	0	180	180	299	0,60
Hualpén	0	0	0	0	0,00
Hualqui	0	129	129	342	0,38
Laja	0	28	28	197	0,14
Lebu	0	8	8	170	0,05
Los Álamos	0	25	25	230	0,11
Los Ángeles	0	80	80	409	0,20
Lota	0	0	0	0	0,00
Mulchén	0	23	23	32	0,72
Nacimiento	0	36	36	251	0,14
Negrete	0	25	25	100	0,25
Penco	0	22	22	42	0,52
Quilaco	0	17	17	21	0,81
Quilleco	0	8	8	126	0,06
San Pedro de la Paz	0	0	0	0	0,00
San Rosendo	0	46	46	117	0,39
Santa Bárbara	0	19	19	89	0,21
Santa Juana	0	171	171	394	0,43
Talcahuano	0	0	0	0	0,00
Tirúa	0	0	0	780	0,00
Tomé	0	92	92	209	0,44
Tucapel	0	3	3	74	0,04
Yumbel	0	160	160	271	0,59

La información del financiamiento entregado por INDAP para los programas vinculados a la adaptación al cambio climático en los pequeños agricultores, dio cuenta de que la mayor

parte de las inversiones o fortalecimientos para la producción fue para el rubro hortícola; en menor medida para frutales y flores y casi nula participación para los cultivos anuales (INDAP, 2020e). Entre los proyectos adjudicados, se destaca la alta convocatoria para la construcción o mejoras de invernaderos y sistemas hidropónicos, instalación o insumos para riego, utilización de energía fotovoltaica y construcción de fuentes de acumulación de aguas. En menor medida, se solicitaron semillas certificadas, mecanismos para el control de helada y construcción de infraestructura para postcosecha; tales como: lugares de acopio, *packing* y regulación de cadena de frío.

La opción de financiamiento para adaptar las condiciones productivas a nuevos desafíos climáticos, por parte de los programas de INDAP, es una medida que ayuda a la mitigar los efectos del cambio climático y disminuir la incertidumbre sobre la seguridad alimentaria (LEDS LAC y EUROCLIMA, 2015). Si bien, es positivo que las comunidades estén adoptando nuevas prácticas para desarrollar la agricultura como el uso de sistemas forzados y tecnologías de riego, los resultados en el Biobío señalan una baja participación de los agricultores en este tipo de beneficios, situación que es preocupante, debido a los cambios productivos forzados que deberá realizar la pequeña agricultura local a causa del cambio climático. Por esta razón, es imprescindible generar estrategias que no solo estén enfocadas a difusión de estas políticas públicas, sino que, también, sean de fácil acceso, comprensibles y adaptadas a la realidad de todos los actores de la pequeña agricultura. Del mismo modo, es necesario que el presupuesto de inversión no solo esté acompañado de medidas monetarias; sino, también, de asesorías que vinculen el proceso de aprendizaje de la comunidad y haga sistemas más resilientes a medidas que los actores van tomando en conocimientos los diferentes procesos y transformaciones que van ocurriendo en sus territorios (FIDA, 2013).

Componente capacidad de adaptación

En promedio, la Región del Biobío obtuvo un nivel “alto” (0,21 – 0,40; Figura 7) para el componente de capacidad de adaptación en la vulnerabilidad, debido a la muy baja implementación de sistemas de riego tecnificados en las producciones (0,09) y la escasa participación en la REDMUNICC (0,18), ambas con un rango “muy alto” de vulnerabilidad (0,00 – 0,20). Además, la baja participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP (0,24) y la poca presencia de agencias u oficinas de la institución ministerial (0,27), fomentaron a la obtención de una alta vulnerabilidad a nivel regional. Por último, la existencia de embalses de abastecimiento para el riego cercano a las comunas en menos del 60% de ellas (0,42), las ventas de tipo local y regional directa e indirecta (0,46) y la existencia, en promedio, de 2 redes de organizaciones o asociaciones en las comunas (0,56), también aportaron a la caracterización de la vulnerabilidad del componente de capacidad de adaptación de la Región del Biobío ([Apéndice XLII](#)).

En 7 comunas la capacidad de adaptación fue “muy alta” (0,00 – 0,20; Figura 7) en su vulnerabilidad, explicada por la inexistencia de infraestructura de abastecimiento para el riego (0,00) y la ausencia de agencias y oficinas de área del INDAP (0,00). Otros factores que favorecen a la “muy alta” vulnerabilidad en estas comunas, son la baja implementación

de riego tecnificado (0,03), la escasa participación de los agricultores en los programas de inversión y fomento agrícola para la adaptación al cambio climático (0,09), la baja presencia de comunas en la REDMUNICC (0,14), la falta de organizaciones gremiales, cooperativas, ONG y asociaciones campesinas (0,14) y la alta producción de autoconsumo y venta a través de intermediarios (0,25) de los agricultores de estos territorios.

El nivel “alto” del componente capacidad de adaptación (0,21 – 0,40; Figura 7) predominó en 18 comunas de la Región del Biobío. En estos territorios la pertenencia a la REDMUNICC (0,11), la implementación de riego tecnificado (0,11) y la red de apoyo estatales con la presencia de INDAP a nivel local (0,11), obtuvieron una baja participación y una “muy alta” vulnerabilidad (0,00 – 0,20). Por otro lado, la convocatoria a los programas de inversión y fortalecimiento agrícola entregado por el INDAP (0,26) logró una “alta” vulnerabilidad (0,21 – 0,40), mientras que, la existencia de infraestructura para el abastecimiento del riego en el 44% de las comunas (0,44), la presencia de 2 redes de organizaciones o agrupaciones (0,56) y la comercialización de los productos agrícolas a nivel local y regional de manera directa e indirecta (0,57), predominaron en estas comunas, logrando un nivel de vulnerabilidad considerado como “medio” para estas características (0,41 – 0,60).

Por otra parte, en 6 comunas de la Región del Biobío el nivel del componente de capacidad de adaptación se encontró en el rango “medio” en relación con la vulnerabilidad (0,41 – 0,60; Figura 7). La obtención de este nivel se debe a la presencia de más de 3 organizaciones gremiales, cooperativas, ONG o asociaciones campesinas (0,92), que predominaron en estos territorios, de la misma forma que ocurrió con la presencia de las agencias y oficinas del INDAP (0,83) y la existencia de embalses cercanos para la utilización de agua en sistemas de riego (0,67). Los niveles más bajos que caracterizaron a estas comunas correspondieron a las redes de venta de tipo local directo e indirecto (0,43), la baja pertenencia a la REDMUNICC (0,33), la escasa participación en los programas de inversión y fortalecimiento agrícola entregados por el INDAP (0,30) y la muy baja implementación de sistemas de riego tecnificados en la zonas productivas (0,0).

Los Ángeles y Yumbel fueron las comunas con mejor respuesta del componente de adaptación, ya que alcanzaron un nivel “bajo” (0,61 – 0,80; Figura 7) en su participación dentro del índice de vulnerabilidad. En ambos territorios hubo presencia local de agencias de área del INDAP (1,00), existió una vinculación de más de 3 organizaciones o asociaciones relacionadas con la agricultura (1,00) y tuvieron acceso a embalses cercanos para el abastecimiento del riego (1,00). Las características más bajas que tienen estas comunas corresponden a la parcial pertenencia a la REDMUNICC (0,5), ya que solo Los Ángeles forma parte de esta red, a la participación inferior al 60% de los agricultores en los programas de inversión y fortalecimiento del INDAP (0,40), a las ventas de tipo local indirecta y de producción de autoconsumo (0,33) y a los bajos niveles de implementación de riego tecnificado (0,12).

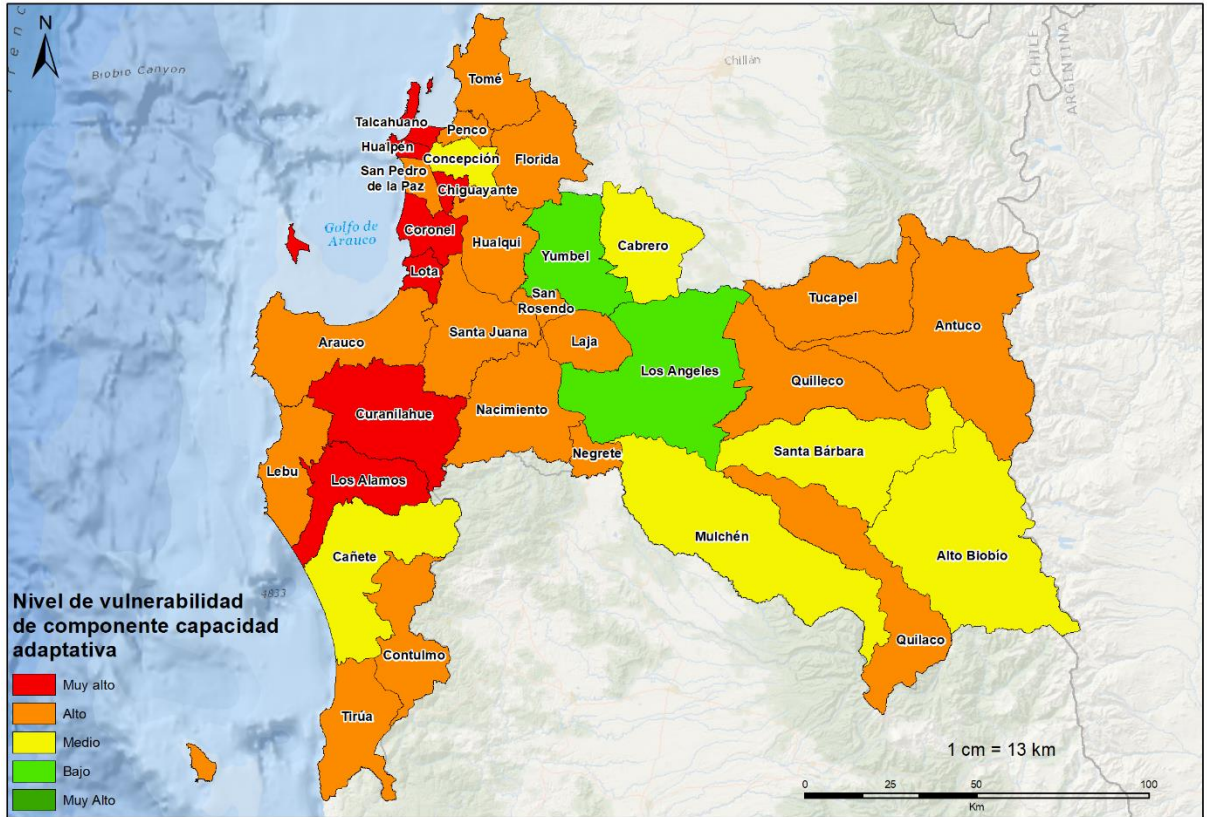


Figura 7. Nivel de vulnerabilidad del componente capacidad de adaptación de los territorios agrícolas de la Región del Biobío.

Componente capacidad de gestión y respuesta del territorio agrícola

En general, la baja implementación de sistemas de riego (0,09); la poca participación de las comunas en la REDMUNICC (0,18), la baja participación de los agricultores en los programas de inversión y fortalecimiento agrícola para adaptarse a nuevas condiciones climáticas entregados por el INDAP (0,24) y el bajo acceso a embalses de acumulación de agua para riego (0,42) promovieron a un nivel “muy bajo” (0,00 - 0,30) de la capacidad de gestión y respuesta en los territorios de la Región del Biobío en relación con la resiliencia (Figura 8; [Apéndice XLIII](#)).

Por otro lado, a nivel comunal, 19 comunas que obtuvieron el nivel “muy bajo” del componente (0,00 – 0,30; Figura 8), se destacaron por tener niveles críticos en las características de capacidad de gestión y respuesta del territorio, pues el acceso a infraestructura para riego (0,05), la implementación de tecnificación en el riego para las producciones (0,06), la participación de los programas del INDAP (0,15) y la asociación de las comunas a la REDMUNICC (0,21), alcanzaron menos del 21% de participación en estos territorios.

La segunda categoría que predominó en la Región del Biobío para la capacidad de gestión y respuesta del territorio fue la considerada como “baja” (0,31 - 0,50; Figura 8), pues 12

comunas se caracterizaron por tener una baja pertenencia a la REDMUNIC (0,08), un registro inferior al 15% en la implementación de riego tecnificado (0,12) y una participación de los agricultores menor al 40% en los programas de inversión y fortalecimiento del INDAP (0,33). No obstante, el aspecto positivo de estos territorios fue que cuentan con cobertura para el acceso a infraestructura para riego, al tener un embalse cercano a sus localidades (0,92).

Finalmente, Quilaco y Los Ángeles fueron las comunas que mejor comportamiento obtuvieron para el componente la capacidad de gestión y respuesta, pues se encontraron en el rango “medio” en su participación en la resiliencia (0,51 - 0,60; Figura 8). Este nivel es explicado porque en ambas comunas hay acceso a embalses de acumulación de agua para riego (1,00), tienen bajos niveles de implementación de riego tecnificado (0,18) y una participación de sobre el 50% en los programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP (0,51). En relación con la participación en la REDMUNIC, solo Los Ángeles fue identificada como parte de ella (1,00), mientras que, Quilaco no se encuentra registrada en esta red (0,00).

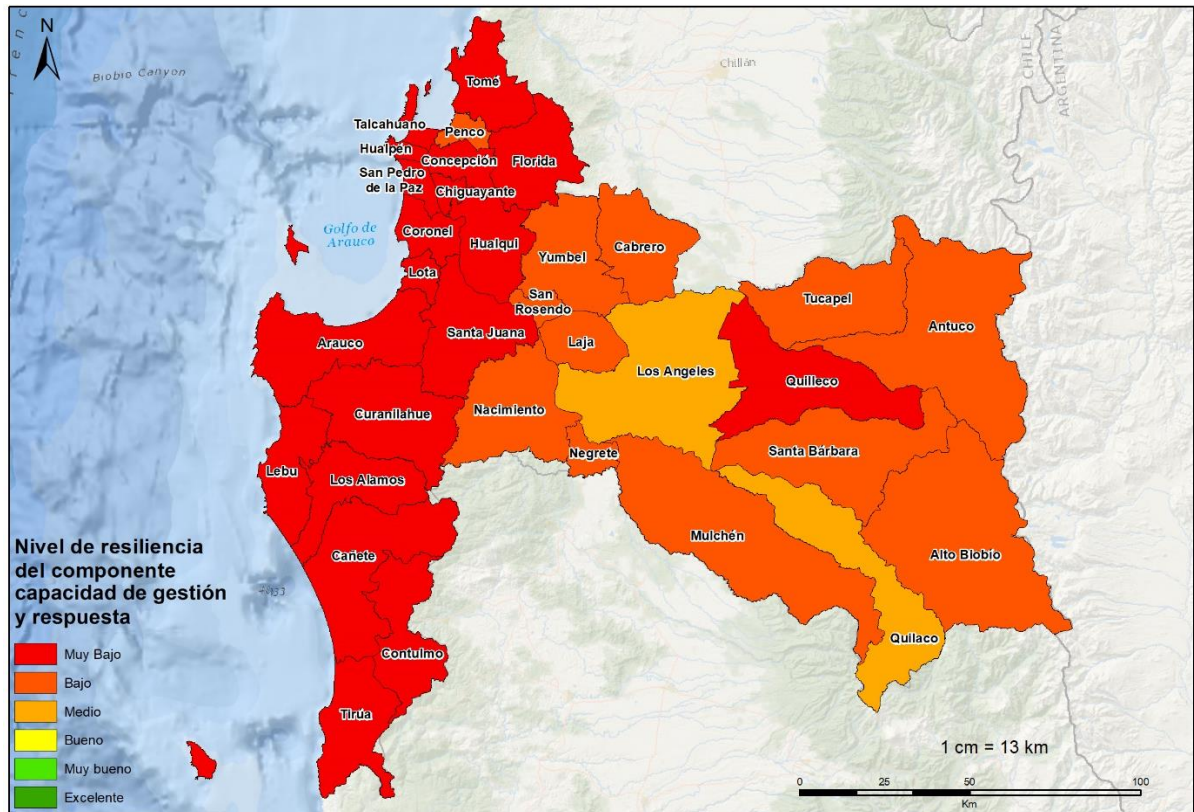


Figura 8. Nivel de resiliencia del componente capacidad de gestión y respuesta del territorio.

Evaluación del estado del territorio agrícola mediante los índices de vulnerabilidad y resiliencia

Índice de vulnerabilidad del territorio agrícola

La vulnerabilidad del territorio agrícola de la Región del Biobío alcanzó un nivel “medio” (0,41 – 0,60; Cuadro 43), pues el impacto potencial (0,51), determinado por el componente de exposición (0,42) y sensibilidad (0,59), logró un nivel “medio” de vulnerabilidad en los territorios de la región, mientras que, la capacidad de adaptación (0,32) no logró alcanzar rangos que permitiera asegurar respuestas que enfrenten las condiciones adversas del cambio climático (0,21 – 0,40; Figura 9).

A nivel comunal, la vulnerabilidad de los territorios agrícolas frente al cambio climático obtuvo el nivel más “alto” (0,21 – 0,40; Cuadro 43) en 10 comunas de la Región del Biobío. Este rango se debe a que los componentes de la vulnerabilidad no alcanzaron los niveles suficientes para enfrentar adecuadamente las nuevas condiciones climáticas, pues la exposición (0,29) se halló en un nivel “alto”, la sensibilidad en un rango “medio” (0,41 – 0,60) y la capacidad de adaptación en una categoría de “muy alta” vulnerabilidad (0,00 – 0,20; Figura 9).

Las comunas con alta vulnerabilidad se caracterizaron por presentar agricultura de secano con alta producción de cultivos priorizados en desmedro de otras especies y, por tanto, con baja diversidad cultivada y rotación de cultivos. A su vez, el suelo productivo se encuentra altamente erosionado y los agricultores no participan de instancias de inversión o fortalecimiento de sus producciones en temáticas relacionadas al cambio climático. Del mismo modo, no tienen diversificación de sus actividades tanto en la participación de agroturismo, ventas directas como también, en instancias de asociatividad con otros actores; agrupaciones y organizaciones relacionadas con la agricultura, INDAP o REDMUNICC. Sin embargo, a pesar de estos aspectos negativos, existen fortalezas que pueden impulsar a estos territorios a mejorar su condición de vulnerabilidad a través de mecanismos adaptados a la realidad local. En este sentido, se destaca que todas las comunas presentaron altos niveles de población urbana, tienen la posibilidad del acceso a una fuente de abastecimiento de agua para reconvertir las producciones de secano a sistemas de riego tecnificados y las sensibilidad de parámetros como: DG, HF, RH, período de heladas y rendimiento, no presentaron altas variaciones ante el escenario 2046-2065 de cambio climático (Figura 9).

Por otra parte, los territorios agrícolas de las comunas con un nivel alto de vulnerabilidad, se caracterizó porque la capacidad de adaptación (0,18) no logra enfrentar el nivel del impacto potencial alcanzado (0,41), pues los mecanismos como: apoyo de redes estatales, participación en la vinculación con organizaciones y redes, participación en programas de inversión y fortalecimiento de la agricultura y utilización de recursos de mayor eficiencia, son muy bajos.

El nivel “alto” de vulnerabilidad alcanzado por estas comunas coinciden con el panorama general del país en relación con la alta vulnerabilidad al cambio climático declarada, debido al cumplimiento de 7 de las 9 características consideradas para esta condición; entre las que se encuentran: poseer áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas, zonas de

bosques, territorio susceptible a desastres, áreas propensas a sequía y desertificación, zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica, y ecosistemas montañoso (MMA, 2017).

Por otro lado, en 20 comunas el nivel de vulnerabilidad para los territorios agrícolas se encontró en el rango “medio” (0,41 – 0,60; Cuadro 43). Esta categoría se debió a que tanto el componente de exposición (0,45) y capacidad de adaptación (0,36) estuvieron en la categoría “media”, mientras que el componente de sensibilidad (0,61) obtuvo una categoría “baja”.

En las comunas de vulnerabilidad “media”, la superficie cubierta por los cultivos priorizados fue protagonista en relación con la producción de otras especies. A pesar de aquello, la rotación de cultivos se produjo en el 68% del territorio, bajo condiciones equitativas de riego y secano. Por otra parte, los bajos niveles del uso de riego tecnificado y la alta erosión de los suelos fueron características negativas de estas comunas. Del mismo modo, se observó una baja participación en instancias de diversificación de la actividad agrícola asociada al agroturismo, así como, la escasa vinculación con organizaciones estatales y redes nacionales de apoyo al cambio climático, que contribuyeron a una mayor vulnerabilidad. La baja variación de las sensibilidades en contexto de cambio climático, la participación en organizaciones y asociaciones relacionadas a la agricultura y la alta presencia de redes de venta de tipo local directa, fueron particularidades positivas de estas comunas, como también así la excelente condición de los cuerpos de agua superficial y subterránea para su extracción en el uso de riego (Figura 9).

Para los territorios con vulnerabilidad en el rango medio, si bien la capacidad de adaptación (0,36) se considera equilibrada con el impacto potencial (0,53), ya que ambas están en el nivel mediano de vulnerabilidad, los mecanismos de adaptación se encuentran más cercanos a los rangos críticos (valores próximos a 0), por lo tanto, están propensos a que, si no existen planes que reduzcan su vulnerabilidad, puedan cambiar su nivel a una condición que no permita enfrentar los impactos del cambio climático.

Por el contrario, las comunas de Cabrero, Los Ángeles y Mulchén fueron las que mejor respuesta a la vulnerabilidad obtuvieron frente al cambio climático, en sus territorios agrícolas, al alcanzar el nivel “bajo” (0,61 – 0,80; Cuadro 44). Este rango se debe porque tanto la exposición (0,65) como la sensibilidad (0,71) obtuvieron niveles bajos, por lo tanto, el impacto potencial fue menor. Mientras, la capacidad de adaptación (0,56) logró un nivel “medio” (0,41 – 0,60).

Estas comunas se caracterizaron por la alta diversificación de sus cultivos bajo condiciones de riego, a la rotación de cultivo al término de la temporada, estar cerca a embalses de acumulación hídrica y no tener declaraciones de agotamiento, prohibición o restricción de extracción de sus cuerpos de agua superficial y subterráneas. A su vez, el apoyo por parte de instituciones estatales y la participación en agrupaciones relacionadas con la agricultura, obtuvieron resultados positivos que aportaron a que los territorios fueran menos vulnerables, de la misma forma, que ocurrió con la baja variación de las sensibilidades de los DG, HF, RH, probabilidad de heladas y rendimientos entre el período actual y proyectado (2046-2065).

Por otra parte, los aspectos negativos que caracterizaron a las comunas con “bajo” nivel de vulnerabilidad fueron las relacionadas a la diversificación de la agricultura a través del agroturismo, las bajas redes de venta sin intermediarios y la escasa participación en la REDMUNICC. Del mismo modo, si bien sobre el 90% de la superficie productiva se encontró bajo condiciones de riego, estos territorios no contaron con tecnologías asociadas al regadío, utilizando métodos tradicionales (gravitacional) de baja eficiencia.

Como consecuencia de lo anterior, en las comunas con una vulnerabilidad baja, la capacidad de adaptación (0,56) se encontró en rangos inferiores respecto del impacto potencial (0,68), aun cuando ambas categorías están en el rango “medio” y “bajo” de vulnerabilidad, respectivamente. A pesar de aquello, si bien el impacto potencial no será tan severo como en otras comunas, la capacidad de adaptación frente a estos eventos no posee factores que aseguren mecanismos aptos para enfrentar el cambio climático.

Estos resultados, demuestran que el reconocimiento de las debilidades de cada comuna es una información fundamental para el diseño de mecanismos de adaptación que permitan una menor vulnerabilidad. En este sentido, es relevante identificar aquellas características que conforman la exposición y la sensibilidad de los territorios, pues su combinación determina el impacto potencial que tendrá el cambio climático sobre ellos (Fifame *et al.*, 2021). Para poder contrarrestar los efectos de estos impactos, la capacidad de adaptación de los sistemas cumple un rol fundamental, pues el conjunto de factores que la componen determinará la capacidad del sistema a enfrentar las consecuencias del cambio climático (Fritzsche *et al.*, 2019).

Por esta razón, es necesario que las políticas de adaptación al cambio climático estén enfocadas a aquellos territorios, en donde, la capacidad de adaptación no logre enfrentar los impactos potenciales de los eventos futuros. De igual forma, la identificación de los aspectos que generan mayor exposición y sensibilidad de cada territorio es fundamental para generar planes que tengan como objetivo reducir los niveles de vulnerabilidad (Dong *et al.*, 2015). Para lograr esta adaptación es necesario que se involucren a todos los actores en la participación de recambios y aprendizajes no solo a nivel productivo, sino, también en el reconocimiento sobre su entorno y realidad local. De esta forma, los efectos del cambio climático podrán disminuir y afectar con menor intensidad los territorios agrícolas, especialmente si se tiene en consideración que, de los sectores económicos, la agricultura es más vulnerable ante los efectos de la variabilidad climática. (Tao *et al.*, 2011).

Finalmente, es importante que para la Región del Biobío esta herramienta de evaluación de la vulnerabilidad permita a los tomadores de decisiones enfocar los planes de adaptación a aquellos territorios agrícolas más susceptibles a daños por el cambio climático, ya que, de esta manera, no solo mejorarán las condiciones de los actores territoriales y su entorno, sino que, también, ayudará a fortalecer la agricultura que abastece a la población, considerando nuevas formas de producción.

Cuadro 43. Valor final de los componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa y vulnerabilidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Componente Exposición	Componente Sensibilidad	Componente de Capacidad Adaptativa	Impacto Potencial	Índice de vulnerabilidad
Alto Biobío	0,43	0,52	0,53	0,48	0,50
Antuco	0,49	0,50	0,24	0,49	0,41
Arauco	0,34	0,65	0,39	0,49	0,46
Cabrero	0,71	0,73	0,50	0,72	0,65
Cañete	0,22	0,57	0,53	0,40	0,44
Chiguayante	0,33	0,48	0,00	0,41	0,27
Concepción	0,33	0,45	0,43	0,39	0,40
Contulmo	0,23	0,50	0,22	0,37	0,32
Coronel	0,67	0,43	0,13	0,56	0,41
Curanilahue	0,52	0,62	0,20	0,57	0,45
Florida	0,24	0,62	0,27	0,43	0,38
Hualpén	0,33	0,53	0,00	0,43	0,29
Hualqui	0,47	0,62	0,32	0,55	0,47
Laja	0,42	0,62	0,33	0,52	0,46
Lebu	0,34	0,66	0,27	0,50	0,42
Los Álamos	0,32	0,61	0,18	0,47	0,37
Los Ángeles	0,60	0,75	0,61	0,68	0,66
Lota	0,33	0,48	0,00	0,41	0,27
Mulchén	0,64	0,65	0,55	0,64	0,61
Nacimiento	0,52	0,61	0,36	0,57	0,50
Negrete	0,51	0,74	0,36	0,63	0,54
Penco	0,62	0,65	0,31	0,63	0,52
Quilaco	0,36	0,67	0,38	0,51	0,47
Quilleco	0,38	0,64	0,32	0,51	0,44
San Pedro de la Paz	0,33	0,48	0,21	0,41	0,34
San Rosendo	0,35	0,66	0,39	0,50	0,47
Santa Bárbara	0,56	0,58	0,57	0,57	0,57
Santa Juana	0,49	0,61	0,25	0,55	0,45
Talcahuano	0,33	0,52	0,14	0,42	0,33
Tirúa	0,12	0,59	0,35	0,36	0,36
Tomé	0,41	0,60	0,26	0,50	0,42
Tucapel	0,63	0,56	0,36	0,60	0,52
Yumbel	0,28	0,66	0,62	0,47	0,52

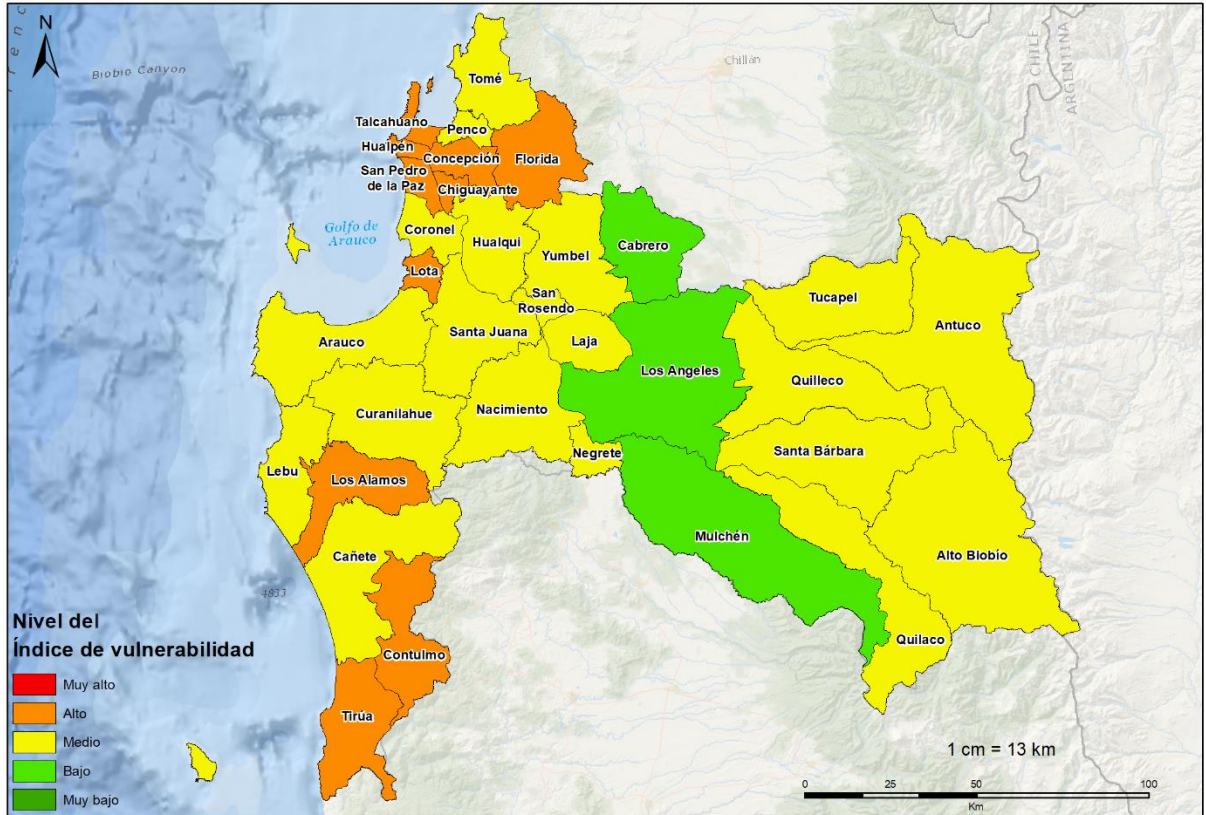


Figura 9. Nivel del índice vulnerabilidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

Índice de resiliencia del territorio agrícola

La resiliencia frente al cambio climático de los territorios agrícolas de la Región del Biobío alcanzó el nivel “bajo” (0,31 – 0,50; Cuadro 44), debido a que el componente de multifuncionalidad del territorio agrícola alcanzó un rango “medio” (0,51 – 0,60), el componente de interacciones dinámicas entre los actores del territorio agrícola estuvo en el nivel “bajo” y la capacidad de gestión y respuesta del territorio se categorizó con una “muy baja” resiliencia (0,00 – 0,30; Figura 10).

En términos comunales, el nivel “muy bajo” de resiliencia de los territorios agrícolas se encontró en 7 comunas (0,00 – 0,30; Cuadro 44). Este resultado se debe a que, tanto las interacciones dinámicas existente entre los actores (0,11), como la capacidad de gestión y respuesta del territorio (0,09), estuvieron en el rango “muy bajo”, mientras que, la multifuncionalidad agrícola (0,46) alcanzó la categoría de “bajo” nivel de resiliencia frente al cambio climático (0,31 – 0,50; Figura 10).

Los territorios con muy baja capacidad resiliente frente al cambio climático tuvieron como características comunes un uso intensivo de la superficie agrícola en la producción de especies priorizadas en condiciones de secano y de baja diversidad y rotación al término de la temporada. A su vez, el 90% del suelo disponible en estas comunas se encuentran con

algún tipo de erosión, mientras que la participación en programas de inversión y fortalecimiento para la producción agrícola tuvo prácticamente nula adherencia. Por otro lado, los agricultores de estos territorios se caracterizaron por no participar en programas de agroturismo ni en instancias de vinculación tanto para su ventas de modo directa ni con organizaciones o asociaciones relacionadas con la agricultura. Del mismo modo, no existió la presencia de agencias u oficinas del INDAP para el apoyo a sus beneficiarios y la participación de estas comunas en la REDMUNICC fue muy baja, por lo que carecen de otra red que colabore con la adaptación al cambio climático. Los parámetros positivos de estas localidades corresponden a la alta población urbana y a la baja variación que existió en las sensibilidades relacionadas con los DG, HF, RH, el período de heladas y los rendimientos entre el período actual y el proyectado (2046-2065).

El nivel de resiliencia considerado como “bajo” fue el de mayor frecuencia en los territorios agrícolas de la Región del Biobío, pues se presentó en 19 comunas (0,31 – 0,50; Cuadro 44). Este nivel estuvo caracterizado por la resiliencia “media” (0,51 – 0,60) del componente multifuncionalidad del territorio agrícola (0,57) y la “baja” (0,31 – 0,50) y “muy baja” resiliencia (0,00 – 0,30) de los componentes relacionados con las interacciones dinámicas entre los actores (0,44) y la capacidad de gestión y respuesta (0,22), respectivamente (Figura 10).

Las particularidades de los territorios con baja resiliencia fue la alta utilización de la superficie agrícola para cultivos priorizados tanto en condiciones de secano como con uso de riego, pero con bajos niveles de tecnologización. Además, los agricultores registraron una baja participación en programas relacionados con el cambio climático para la inversión o fortalecimiento agrícola, como también en la diversificación de sus actividades a través del agroturismo. Esta poca participación se atribuye a la baja presencia de agencias y oficinas de área del INDAP en estas comunas y a la escasa adherencia a redes de apoyo transversales ante los efectos del cambio climático como la REDMUNICC. Como aspectos positivos que ayudan a la resiliencia, se destaca el manejo de rotación de cultivos, la participación en organizaciones y asociaciones relacionadas con la agricultura, la diversificación de venta de tipo local y regional directa, la excelente condición de los cuerpos de agua superficial y subterránea para su extracción y las bajas variaciones registradas en las sensibilidades relacionadas con las necesidades de los cultivos y sus rendimientos.

Para el rango “medio” de resiliencia (0,51 - 0,60; Cuadro 44), se registraron 5 comunas en este nivel en la evaluación de sus territorios agrícolas frente al cambio climático. Este rango fue alcanzado porque el componente multifuncionalidad del territorio agrícola alcanzó un nivel “medio” (0,59) y las interacciones dinámicas entre los actores (0,74) estuvo en el rango “muy bueno” (0,71 – 0,80). Por otro lado, la capacidad de gestión y respuesta (0,36) fue el componente que contrarrestó la resiliencia al estar en la categoría de “bajo” (0,31 – 0,50; Figura 10).

La caracterización de estos territorios estuvo determinada por: la alta proporción regada de la superficie agrícola (75%), la alta diversidad cultivada y rotación de cultivos, la cercanía a embalses de acumulación de agua para riego, las bajas variaciones de sensibilidades de DG, HF, RH, período de heladas y rendimiento, la alta participación en cooperativas, asociaciones y organizaciones agrícolas y el alto dinamismo de redes de venta sin participación de

intermediarios. Otro aspecto positivo de estos territorios es la presencia de las agencias y oficinas del INDAP y el excelente estado de los cuerpos de agua superficial y subterráneas para su uso en el otorgamiento de derechos de agua. Los factores que redujeron la resiliencia en estas comunas estuvieron dados por la baja implementación de sistemas de riego tecnificados, la baja superficie para la producción de especies diferentes a las priorizadas, los altos niveles de erosión de los suelos y la baja participación en agroturismo, REDMUNICC y en los programas de inversión y fortalecimiento agrícola del INDAP.

Por último, Los Ángeles y Yumbel fueron las comunas que mejor respuesta a la resiliencia de sus territorios agrícolas obtuvieron al alcanzar el nivel “bueno” (0,61 – 0,72; Cuadro 44). Para la obtención de este rango, se destaca que tanto el componente multifuncionalidad del territorio (0,64) como el de interacciones dinámicas entre los actores (0,78), estuvieron en las categorías de “bueno” (0,61 – 0,70) y “muy bueno” (0,71 – 0,80), mientras que, la capacidad de gestión y respuesta (0,50) estuvo en el nivel “bajo” de resiliencia (0,31 – 0,50; Figura 10).

Estas comunas se caracterizaron porque sus territorios agrícolas son utilizados para la producción intensiva de cultivos priorizados en sistemas de secano y de riego con baja tecnificación y alta intensidad de rotación de cultivos. Por otra parte, se identificó la presencia en ambas comunas de agencias del INDAP y una alta convocatoria en la participación en organizaciones, cooperativas y asociaciones agrícolas, no obstante, la adherencia a programas de inversión y fortalecimiento para las producciones solo se logró en el 40% de los actores. Otros aspectos positivos, son la existencia a infraestructura de riego, la alta urbanidad de su población, la baja variación de las sensibilidades relacionadas con los DG, HF, RH, período de heladas y rendimientos y el excelente estado de los cuerpos de agua superficial y subterránea. Los factores negativos de estos territorios fue la nula participación en el agroturismo, las bajas ventas de manera directa y solo el registro de Los Ángeles en la REDMUNICC.

Considerando la baja resiliencia de la mayor parte de las comunas de la Región del Biobío, es necesario mejorar esta condición a través de mecanismos que permitan tener una mejor respuesta frente a las nuevas condiciones climáticas, enfocándose en la vinculación y capacitación en el conocimiento de todos los actores e implementar políticas públicas que incentiven la apertura a nuevas técnicas de producción, siempre basándose en el aprendizaje de las personas, en el desarrollo sustentable y el respeto por el medio ambiente (Lin, 2011; Sánchez-Zamorano *et al.*, 2015; Banwell *et al.*, 2020). De esta forma, la capacidad de gestión de los actores territoriales involucra tanto los conocimientos sobre su realidad local, como también la preparación para enfrentar escenarios climáticos de acuerdo con las características de su entorno (Saquet, 2015).

Para lograr la integración entre las políticas públicas y las necesidades de cada lugar, es necesario identificar la vinculación que existe entre el nivel de vulnerabilidad de un territorio y su capacidad de resiliencia. En este sentido, la Región del Biobío se puede destacar que las comunas con mayor vulnerabilidad son también las que presentan menor capacidad de resiliencia frente al escenario de cambio climático. Esta situación de similitud entre ambos índices está directamente relacionada con lo que postulan Berdegué *et al.* (2013), quienes señalan que la capacidad de sobreponerse ante una perturbación climática está estrechamente

determinada por el grado de vulnerabilidad de los territorios, por lo que la acción de medidas debe estar enfocadas en abarcar ambas condiciones.

Finalmente, aquellos territorios que presentaron mejores de niveles de resiliencia también obtienen rangos de menor vulnerabilidad. En este sentido, el rol que cumplen las comunas más resilientes es ser promotor de la realización de acciones que permiten mejorar las condiciones territoriales para producción agrícola tanto en sus territorios como en aquellos de la región, sin descuidar las características que les permiten estar mejor preparado ante los eventos climáticos (Astier *et al.*, 2011; Rojas, 2019).

Cuadro 44. Valor final de los componentes: multifuncionalidad del territorio agrícola, interacciones dinámicas de los actores del territorio, capacidad de gestión y respuesta y resiliencia del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío

Comuna	Componente Multifuncionalidad del territorio agrícola	Componente Interacciones Dinámicas	Componente Capacidad de adaptación y respuesta	Índice de Resiliencia
Alto Biobío	0,50	0,80	0,33	0,54
Antuco	0,50	0,14	0,31	0,32
Arauco	0,57	0,87	0,03	0,49
Cabrero	0,73	0,51	0,40	0,54
Cañete	0,48	0,84	0,30	0,54
Chiguayante	0,44	0,00	0,00	0,15
Concepción	0,42	0,67	0,25	0,45
Contulmo	0,43	0,39	0,06	0,29
Coronel	0,49	0,19	0,09	0,26
Curanilahue	0,60	0,37	0,08	0,35
Florida	0,53	0,40	0,17	0,37
Hualpén	0,48	0,00	0,00	0,16
Hualqui	0,59	0,58	0,13	0,43
Laja	0,57	0,36	0,31	0,41
Lebu	0,58	0,56	0,05	0,40
Los Álamos	0,54	0,36	0,04	0,31
Los Ángeles	0,71	0,67	0,58	0,65
Lota	0,44	0,00	0,00	0,15
Mulchén	0,65	0,69	0,44	0,59
Nacimiento	0,59	0,40	0,34	0,44
Negrete	0,69	0,41	0,33	0,48
Penco	0,64	0,17	0,41	0,41
Quilaco	0,59	0,19	0,52	0,43
Quilleco	0,57	0,38	0,27	0,41
San Pedro de la Paz	0,44	0,17	0,25	0,29
San Rosendo	0,58	0,40	0,39	0,46

(Continúa)

(Continuación Cuadro 44).

Comuna	Componente Multifuncionalidad del territorio agrícola	Componente Interacciones Dinámicas	Componente Capacidad de adaptación y respuesta	Índice de Resiliencia
Santa Bárbara	0,57	0,86	0,35	0,59
Santa Juana	0,58	0,42	0,13	0,38
Talcahuano	0,47	0,00	0,25	0,24
Tirúa	0,48	0,81	0,00	0,43
Tomé	0,55	0,38	0,16	0,37
Tucapel	0,58	0,42	0,31	0,44
Yumbel	0,57	0,88	0,43	0,63
Promedio	0,55	0,43	0,23	0,41

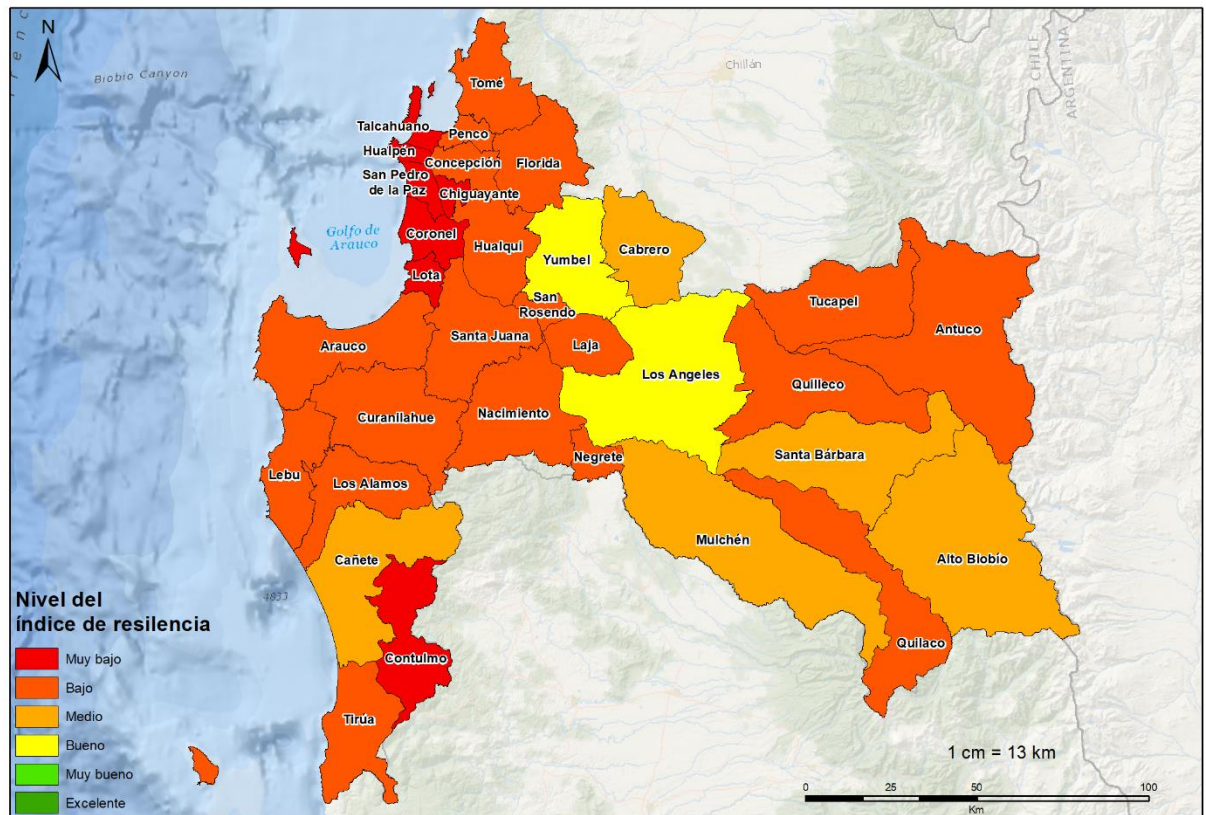


Figura 10. Nivel del índice de resiliencia de los territorios agrícolas de las comunas de la Región del Biobío.

RECOMENDACIONES GENERALES

Es necesario que la evaluación de la vulnerabilidad y la resiliencia en los territorios agrícolas frente al cambio climático no solo considere aspectos relacionados con el clima y la productividad, sino, también tenga en consideración los aspectos sociales de la agricultura como la vinculación entre los actores y las asociatividades y relaciones que se van conformando con sus pares y con instituciones estatales.

Frente al escenario de disminución de precipitaciones y el aumento de temperatura a causa del cambio climático, los requerimientos hídricos de los cultivos se elevarán, por lo que será necesaria la inversión en infraestructuras de acumulación de aguas y la reconversión de la agricultura de secano en sistemas de utilización de riego tecnificados eficientes, pues su utilización será clave para evitar un uso excesivo y desmedido del recurso hídrico.

Desde el foco productivo, si bien la variación de rendimientos no alcanzó altos niveles, esto no quiere decir que no existirá un déficit en la disponibilidad de alimentos en el período proyectado (2046-2065). Por tal motivo, es necesario que los sistemas agrícolas utilicen cultivos adaptados a condiciones más extremas y, si es necesario, se realicen recambios en las especies o cultivares establecidos hacia aquellos que sean un aporte a la alimentación de la población y, a la vez, tengan la capacidad de producir en condiciones de alta temperatura y baja disponibilidad hídrica.

Por otra parte, es necesario fomentar la diversificación de las especies cultivadas y la rotación por temporada, pues esta ayudará a mejorar las condiciones de los suelos degradados y permitirá una mayor agrodiversidad de los sistemas, haciéndolos menos vulnerables y más resilientes ante las condiciones de cambio climático.

Las instituciones conformadas por los actores, por el estado y por organizaciones municipales, cumplen un rol de apoyo fundamental para la adaptación de los territorios ante el cambio climático. En este sentido, es importante que las políticas de difusión de todas estas organizaciones estén vinculadas y adaptadas a los actores objetivos, es decir, deben ser de fácil acceso, comprensión y adecuadas a las necesidades de cada comuna.

Finalmente, los indicadores evaluados no pueden ser considerados para seleccionar indicadores proxy, pues la alta especificidad de la información que se utilizó no cumple con el principio de una medición indirecta que se aproxima o representa la ocurrencia de un fenómeno ante la ausencia de datos de medición directa (CONEVAL, 2019).

Para recomendar la evaluación de los índices de vulnerabilidad y de resiliencia a través de indicadores proxy, es necesario tener en consideración que la metodología más empleada sugiere la utilización de tasas de variación de los parámetros conocidos del fenómeno en estudio (Carvalho *et al.*, 2018). En el caso de la Región del Biobío, la evaluación de estos dos índices a través de indicadores proxy deben considerar la tasa de variación de las temperaturas y precipitaciones entre el período actual y el proyectado (2046-2065), la tasa de variación de rendimientos a nivel regional reportadas por organismos estatales y la evaluación de la participación de políticas públicas a través de la inversión destinada a

programas relacionados con el cambio climático. De esta manera, se abordan de manera general aspectos climáticos, productivos y relacionados con la vinculación a organizaciones que aportan a la adaptación de escenarios adversos en el territorio agrícola.

CONCLUSIONES

La Región del Biobío es de gran importancia para el sector silvoagropecuario ya que tiene altos niveles de participación en este sector. Sin embargo, en el rubro agrícola su protagonismo decae en relación con la participación de regiones como La Araucanía, Maule y O'Higgins, debido a que los espacios productivos han ido disminuyendo por la venta de predios para el establecimiento de industrias forestales. Este panorama es general para todas las comunas de la Región del Biobío, pues los agricultores han necesitado cambiar su fuente laboral a causa de los bajos retornos monetarios de sus producciones debido a la disminución de los rendimientos, el descenso de las precipitaciones, la erosión de los suelos y la escasa disponibilidad de recurso humano para las labores agrícolas.

La Región del Biobío presentó un nivel de vulnerabilidad medio de sus territorios agrícolas al cambio climático, ya que 30 comunas no se encuentran suficientemente preparadas para enfrentar sus efectos. A pesar de esto, la comuna de Los Ángeles es la mejor preparada (0,66), gracias a que posee una alta diversidad agrícola, bajos niveles de producción de secano, elevada utilización de prácticas de rotación de cultivos, baja sensibilidad en la variación de los requerimientos climáticos de los cultivos, alta participación en instancias de vinculación con agrupaciones locales e institucionales y la pertenencia a la REDMUNICC.

La Región del Biobío presentó un bajo nivel de resiliencia de sus territorios agrícolas al cambio climático debido a que 26 comunas no son capaces de generar una respuesta de adaptación para recomponerse ante los efectos adversos. No obstante, Los Ángeles es la comuna que tiene mejor capacidad de sobreponerse (0,65), ya que su multifuncionalidad territorial, su capacidad de generar interacciones dinámicas entre los actores y la existencia de mecanismos de gestión y respuesta locales, alcanzaron niveles que permiten que esta comuna se encuentre mejor preparada para los eventos climáticos proyectados en el período 2046-2065.

El aumento de temperatura y el descenso de precipitaciones para el período 2046-2065 modifica la acumulación de DG y HF y la probabilidad de ocurrencia de heladas en todas las comunas de la Región del Biobío. Esta condición altera los requerimientos hídricos de los cultivos y origina decrementos en los rendimientos de todas las especies establecidas en los territorios agrícolas de la región, haciéndolos más vulnerables y menos resilientes.

La importancia de la vinculación, cooperación y asociación entre los actores territoriales, tanto a nivel institucional como local en el rubro agrícola, no ha sido visualizada en la región, pues el interés de participación no se reflejó en este estudio, al obtener bajos niveles de adherencias a este tipo de organizaciones.

Las comunas cuyos territorios agrícolas tienen manejos más eficientes en sus producciones al utilizar riego tecnificado, implementar sistemas de rotación de cultivos, diversificar sus especies productivas e invertir en tecnologías que mejoran las condiciones de sus predios, son las menos vulnerables y las más resilientes ante el cambio climático. Por este motivo, los factores que componen la eficiencia en la producción agrícola son determinantes para enfrentar los efectos adversos de la variabilidad climática.

Los territorios en que los agricultores tienen diversificación de sus actividades agrícolas a través del agroturismo y poseen redes de ventas que no dependen de intermediarios, son menos vulnerables y más resilientes ante la afectación de su producción, ya que poseen rutas alternativas relacionadas con la agricultura para obtener sus ingresos. A su vez, tienen la capacidad de negociación directa para la venta de sus productos con los consumidores finales, por lo que no dependen de terceros para la fijación de precios.

El desarrollo de esta investigación aportó a la integración de factores claves para la evaluación de la vulnerabilidad y la resiliencia de los territorios agrícolas, al considerar que los componentes que determinan estos niveles están relacionados tanto a los sistemas de producción y la variabilidad climática; como también, al involucramiento de aspectos territoriales que caracterizan la vinculación de actores, la participación de las instituciones con programas estatales y la conformación de organizaciones que fomentan el cooperativismo. Estas características se diferencian de los estudios realizados previamente, pues en ellos no se evalúan las condiciones territoriales del entorno agrícola, ya que solo se consideran aspectos de productividad y de variación climática para establecer niveles de vulnerabilidad y resiliencia.

Los indicadores construidos en esta investigación establecen una metodología innovadora que evalúa los aspectos territoriales de la agricultura para la determinación de los niveles de vulnerabilidad y resiliencia, los que pueden ser aplicados a todos los territorios de las regiones del país, al estar integrados los criterios de evaluación sin la subjetividad de la elección de los componentes que, generalmente, queda a criterio de cada investigador.

Por último, los resultados de este estudio pueden ser de utilidad para el diseño y la implementación de políticas públicas agrícolas acordes a cada territorio de la región, que permita adaptar los sistemas agroalimentarios a las condiciones adversas del cambio climático a través de la disminución de sus vulnerabilidades y el aumento de su capacidad resiliente.

LITERATURA CITADA

- Adapt Chile. 2019. Implementación de Proyectos Climáticos Locales. Santiago, Chile: Adapt Chile. 17p.
- AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo). 2018. Cultivando la resiliencia frente al cambio climático. Madrid, España: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 95p.
- AGRIMED (Centro de Agricultura y Medio Ambiente). 2011. Portafolio de propuestas para el programa de adaptación del sector silvoagropecuario al cambio climático en Chile. Santiago, Chile: Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 305.
- Agromet. 2017. La actual Mega-Sequía en Chile Central: Actualización y Perspectivas. Santiago, Chile: Agromet. 24p.
- Aguilar-Gallegos, N.; E. Martínez-González; J. Aguilar-Ávila; H. Santoyo-Cortés; M. Muñoz-Rodríguez y E. García-Sánchez. 2016. Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola de los vínculos directos a la integración y radialidad. *Estudios Gerenciales*, 32(2016): 197-207.
- Ahumada, R.; G. Velázquez; E. Flores y J. Romero. 2014. Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*, 61(2014): 48-53.
- Altieri, M. and C. Nicholls. 2013a. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climate Change*, 120(3): 33-45.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2013b. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1): 7-20.
- Altieri, M.; F. Funes; A. Henao; C. Nicholls; T. León; L. Vásquez *et al.* 2012. Hacia una metodología para la identificación, diagnóstico y sistematización de sistemas agrícolas resilientes a eventos climáticos extremos. Chile: RedAgred. 21p.
- Allen, R.; L. Pereira; D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Roma, Italy. 300p.
- Allende, M.; L. Salinas; F. Rodríguez; N. Olivares; J. Riquelme y A. Antúnez. 2017. Manejo de cultivo del tomate bajo invernadero. Santiago Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 112p.
- Andrade, A. 2014. Las centrales mayoristas de abasto y los circuitos cortos en América Latina. (cap 11, 69-74). En: Sotomayor, O.; M. Rodrigues y A. Rodríguez (coord.) Agricultura familiar y circuitos cortos: Nuevos esquemas de producción, comercialización

- y nutrición. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 112p.
- Antúnez, A.; S, Ferlmer y D. Mora. 2009. Boletín del Nodo Tecnológico de Riego en el Secano. (Bol. N°190). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Litueche, Chile: INIA. 122p.
- Aprey, A. 2012. Cambios territoriales y tecnológicos en el riego agrícola en Chile entre los años 1997 y 2007. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 16p.
- Araneda, R. 2016. Dinámicas locales y organizaciones de pequeños agricultores de territorios socioeconómicamente vulnerables del secano de la comuna de Chépica de la Región de O'Higgins. Tesis para optar al grado de Magister en Desarrollo Humano Local y Regional. Temuco, Chile: Instituto de Desarrollo local y regional, Universidad de la Frontera. 125h.
- Araya-Osses, D.; A. Casanueva; C. Román-Figueroa; J. Uribe and M. Paneque. 2020. Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, (2020).
- Argentel, L.; J. Garatuza; M. Armendáriz; E. Yépez; J. Arredondo y J. González. 2017. Estrés térmico en cultivo del trigo: Implicaciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas. *Cultivos Tropicales*, 38(1): 57-67.
- Aro, E. 2020. Determinación de la vulnerabilidad del sector frutícola al cambio climático en las comunas de la Región de Coquimbo. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 90h.
- Arribillada, D. 2020. Efecto de las bajas temperaturas en el desarrollo del cultivo del cerezo en la Región de Aysén. En: Bravo, R.; J. Quintana y M. Reyes. Heladas: Factores, tendencias y efectos en frutales y vides. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 102p.
- Asseng, S.; F. Ewert; P. Martre; R. Rötter; D. Lobell; D. Cammarano *et al.* 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2): 143-147.
- Astier, M; E. Speelman; S. López-Ridaura; O. Masera and C. González-Esquivel. 2011. Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in peasant agroecosystems: analyzing 15 case studies from Latin America. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(3): 409-422.
- Baginsky, C. y L. Ramos. 2018. Situación de las legumbres en Chile: Una mirada agronómica. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(S): 21-31.

- Balvenera, P; M. Astier; F. Gurri e I. Zermeño-Hernández. 2017. Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2017): 141-149.
- Banwell, N.; A. Stehr; O. Rojas and S. Hostettler. 2020. Barriers to the implementation of international agreements on the ground: Climate change and resilience building in the Araucanía Region of Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50(2020): 101703.
- Bascopé, A. 2013. Cambio climático: impacto en la agricultura, heladas y sequía. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 38p.
- Baudoin, A.; M. Carvajal; O. Achu y M. Vilela. 2017. Manual Técnico de Producción de Tomate con Enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas. La Paz, Bolivia: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT). 200p.
- BCN (Biblioteca del Congreso Nacional). 2019. Región del Biobío. [en línea]. Recuperado en <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region8/>> Consultado el 19 de diciembre de 2019.
- Béné, C.; R. Wood; A. Newsham and M. Davies. 2012. Resilience: New Utopia or New Tyranny? Reflection About the Potentials and Limits of the Concept of Resilience in Relation to Vulnerability Reduction Programmes. *IDS Working Paper*, 2012(405):1-61.
- Berdegú, J.; A. Bebbington; J. Escobal; A. Favareto; M. Fernández; P. Ospina *et al.* 2012. Territorios en Movimiento: Dinámicas Territoriales Rurales en América Latina. Santiago, Chile: Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 118p.
- Berdegú, J.; E. Jara; F. Modrego; X. Sanclemente y A. Schejtman. 2010. Comunas rurales de Chile. Santiago, Chile: Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 43p.
- Birchall, S. and N. Bonnett. 2021. Climate change adaptation policy and practice: The role of agents, institutions and systems. *Cities*, 108(2021): 103001.
- Blanco, M. y H. Riveros. 2010. El agroturismo como diversificación de la actividad agropecuaria y agroindustrial. (cap 1, 21-29). En: Rodríguez, D. 2010. Desarrollo de los agronegocios y la agroindustria rural en América Latina y el Caribe: Conceptos, instrumentos y casos de cooperación técnica. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 270p.
- Bolger, A.; F. Scossa; M. Bolger; C. Lanz; F. Maumus; T. Tohge *et al.* 2014. The genome of the stress-tolerant wild tomato species *Solanum pennellii*. *Nature Genetics*, 46(9): 1034-1038.

- Bonilla, C.; J. Reyes and A. Magri. 2010. Water erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS Framework, Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1): 159-169.
- Boza, S.; M. Cortés; C. Prieto y T. Muñoz. 2019. La horticultura en la zona central de Chile: Caracterización y actitudes de los pequeños agricultores. *Chilean J. Agric. Anim. Sci, ex Agro-Ciencia*, 35(1): 57-67.
- Bravo, R. y M. Vidal. 2020. Climatología de las heladas. En: Bravo, R.; J. Quintana y M. Reyes. Heladas: Factores, tendencias y efectos en frutales y vides. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 102p.
- Bravo, R.; J. Quintana; R. Adonis; A. Soto; R. Chacón; P. Flores *et al.* 2016. Heladas: tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño, guía de uso del sitio. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 16p.
- Briefing. 2014. Indicadores para el monitoreo y evaluación de la adaptación. Inglaterra: Briefing. 4p.
- Briones F. 2016. La agrobiodiversidad y la resiliencia climática de la agricultura familiar: los campesinos Choles de Chiapas, México. (cap 3, pp. 35-42). En: Rodríguez, A. y L. Meza. Agrobiodiversidad, agricultura familiar y cambio climático. Naciones Unidas: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 92p.
- Brooks, N. 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Reino Unido: Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. 18p.
- Brouwer, C. y M., Heibloem. 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. (3t), Roma, Italy: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 66p.
- Bucheli, B. 2017. Estado del arte del monitoreo y evaluación de la adaptación al cambio climático. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente. 89p.
- Cabañas. E. 2016. Resiliencia ante el Cambio Climático de los Sistemas Agrícolas en la Comunidad Rural de Santa Cruz Moxolahuac, Puebla. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. 526p.
- Capel, H. 2016. Las ciencias sociales y el estudio del territorio. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(1149): 1-38.
- Cárdenas, R.; R. Ortiz; O. Rodríguez; C. de la Fe y A. Lamz. 2014. Comportamiento agronómico de la lenteja (*Lens culinaris Medik.*) en la localidad de Tapaste, Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 92-99.
- Cárdenas, Z. 2015. Efecto del calentamiento global en la producción de frutales. Monografía para optar al título de agrónomo, Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del medio ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 72h.

- Cardozo, C. 2014. Cambio climático y agrobiodiversidad. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1(2014): 72-79.
- Carretier, S.; V. Tolorza; V. Regard; G. Aguilar; M. Bermúdez; J. Martinod *et al.* 2018. Review of erosion dynamics along the major N-S climatic gradient in Chile and perspectives. *Geomorphology*, 300(2018): 45-68.
- Carvalho, P.; C. Vera; C. de Camino y J. Sánchez. 2018. Metodología para la construcción de un indicador adelantado de flujos de capitales para 14 países de América Latina. Naciones Unidas: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 133p.
- Cary, M. And G. Frey. 2020. Alley cropping as an alternative under changing climate and risk scenarios: A Monte-Carlo simulation approach. *Agricultural Systems*, 185(2020): 102938.
- Casanova, M.; W. Vera; W. Luzio y O. Salazar. 2004. Edafología: Manual de Clases Prácticas. (Bol. Tec. N°1), Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 74p.
- Casas, R. 2012. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Paraninfo. Madrid, España.
- Cavallo, A. e D. Marino. 2014. L'analisi della dimensione territoriale dell'agricoltura: una proposta di lettura. *Scienze del Territorio*, 2(2014): 159-168.
- Cazzuffi, C.; D. López y V. Del Valle. 2019. Crecimiento e inclusión en los territorios rurales-urbanos de Chile. (Bol. Tec. N°255). Santiago, Chile: Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 51p.
- CDKN (Alianza, Clima y Desarrollo & Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación). 2013, ago. Análisis interinstitucional y multisectorial de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para el sector agrícola de la Cuenca del Río Cauca impactando políticas de adaptación. Colombia; CDKN. 85 p.
- Centro de Análisis de Políticas Públicas. 2018. Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2018. Santiago, Chile: Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile. 602p.
- Centro UC Cambio Global. 2020. Impactos y Adaptación al cambio climático en Chile. [en línea]. Recuperado en: < <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/impactos-y-adaptacion-al-cambio-climatico-en-chile>>. Consultado el 22 de abril de 2020.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2012. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Vulnerabilidad y exposición. Santiago, Chile: CEPAL. 176p.

- CET (Centro de Educación y Tecnología). 2020. Central de Capacitación, Demostración e Investigación. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.corporacioncet.cl/ima/afiche%20cet%202.JPG>>. Consultado el 10 de noviembre de 2020.
- Cifuentes, M. 2014. Efecto del estrés hídrico en el rendimiento y la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*). Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 36h.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales) y ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2019. Castro Frutícola: Principales Resultados Región del Biobío/ Julio 2019. Santiago, Chile: CIREN y ODEPA. 38p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1982. Manual hortalizas y flores: requerimientos clima y suelo, especies y sus variedades. Santiago, Chile: CIREN. 70p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1989. Cereales, cultivos industriales y flores. Santiago, Chile: CIREN. 50p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017a. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo de papa. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017b. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo de la arveja. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017c. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del poroto. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017d. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo de la lechuga. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017e. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del tomate. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017f. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies

- hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo de la vid. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017g. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del frambueso. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017h. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del cerezo. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017i. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del manzano. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2017j. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío: Ficha cultivo del nogal. Santiago, Chile: CIREN. 2p.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. Informal 84. (Doc. Tec. N°84). CMNUCC. 27p.
- COAG (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos). 2008. Agricultura Socioconsciente: El modelo de COAG para combatir el cambio climático. Madrid, España: COAG. 56p.
- Coma, C. 2009. Heladas y Trigo: Reconocimiento y consecuencias. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 6p.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2019. Guía para el establecimiento y cálculo de líneas base y metas. Ciudad de México, México: CONEVAL. 65p.
- Constas, M.; T. Frankenberger.; J. Hoddinott y J. Luma. 2014. Principios sobre la medición de la resiliencia. (Bol. Tec. N°1). Food Security Information Network (FSIN). España: FSIN. 40p.
- Cordero, K.; I. Matu; J. Gonzalez y D. Castillo. 2020. Cultivo de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 36p.

- Cordero, K.; I. Matus; J. González y D. Castillo. 2020. Cultivo de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 36p.
- Córdoba-Vargas, C. y T. León-Sicard. 2013. Resiliencia de Sistemas Agrícolas Ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). *Agroecología*, 8(1):21-32.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia). 2015. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Santiago, Chile: CR2. 28p.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia). 2018. Marco de evaluación de la vulnerabilidad. Santiago, Chile: CR2. 30p.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia). 2019a. Análisis: Sequía, escasez hídrica y vegetación. [en línea]. Recuperado en: < <http://www.cr2.cl/sequia-escasez-hidrica-y-vegetacion/>> Consultado el 3 de diciembre de 2019.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia). 2019b. La megasequía 2010-2019: Una lección para el futuro. [en línea]. Recuperado en: < <http://www.cr2.cl/megasequia/>>. Consultado el 4 de enero de 2020.
- Cutter, S.; L. Barnes; M. Berry; C. Burton; E. Evans; E. Tate *et al.* 2008. A Place-Based Model for Understanding Community Resilience to Natural Disasters. *Global Environmental Change*, 18(4):598-606.
- Chang, D.; H. Sohn; J. Cho; J. Im; Y. Jin; G. Do *et al.* 2014. Freezing and Frost Damage of Potato Plants: a Case Study on Growth Recovery, Yield Response, and Quality Changes. *Potato Research*, 57(2): 99-110.
- Chaves-Barrantes, N. y M. Gutiérrez-Soto. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. *Agron. Mesoam*, 28(1): 255-271.
- Chuenchum, P.; M. Xu and W. Tang. 2020. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(2020): 213-227.
- Dami, I. 2007. Freezing and survival mechanisms of grapevine. En: Understanding and preventing freeze damage in vineyards, Workshop Proceedings. Columbia, USA: University of Missouri-Columbia. 108p.
- Degani, E.; S. Leigh; H. Barber; H. Jones; M. Lukac; P. Sutton *et al.* 2019. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 285(2019): 106625.

- Dellacaná, C.; A. Bermejillo y J. Morabito. 2014. Rendimiento y calidad de un cultivo de avena (*Avena sativa* L.), bajo distintas láminas de riego en el noroeste de Chubut (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 11p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2017. Acuerdo de operación y recuperación del algo laja complementa convenio de 1958. Concepción, Chile: DGA. 16p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2019a, mayo. Reporte anual de la evolución del clima en Chile. Santiago, Chile: DGA. 58p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2019b. Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío. Santiago, Chile: DGA. 197p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020a, enero. Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. (Bol. Tec. N°504). Santiago, Chile: DGA. 55p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020b. Zonas de prohibición de aguas subterráneas: Febrero 2020. Santiago, Chile: DGA. 1p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020c. Zonas de restricción de aguas subterráneas: Febrero 2020. Santiago, Chile: DGA. 1p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020d. Declaración de agotamiento de aguas superficiales. Santiago, Chile: DGA. 1p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020e. Resolución N°181 Coronel Norte y Coronel Sur. Coronel, Chile: DGA. 6p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2020f, octubre. Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. (Bol. Tec. N°504). Santiago, Chile: DGA. 56p.
- DGA (Dirección General de Aguas). 2021. Actualización de los Decretos de escasez hídrica. [en línea]. Recuperado en: <<https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=737>>. Consultado el 9 de marzo de 2021.
- Diario Oficial. 2020. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Subsecretaría del Interior: Aprueba Política Nacional de Desarrollo Rural. Santiago, Chile: Diario Oficial. 15p.
- Díaz, P. 2016. Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias agrarias. Colombia: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. 102h.

- Dong, Z.; Z. Pan; P. An; L. Wang; J. Zhang; D.He *et al.* 2015. A novel method for quantitatively evaluating agricultural vulnerability to climate change. *Ecological Indicators*, 48(2015): 49-54.
- Elizalde. A. 2003. Planificación estratégica territorial y políticas públicas para el desarrollo local. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 70p. (Serie Gestión Pública N°29).
- Everis Chile S.A. e Infraestructura y Ecología S.A. 2017. Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Río Biobío. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Riego (CNR). 552p.
- Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Santiago, Chile: Vivaldi y Asociados. 760p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Desarrollo Territorial, Innovación y Comunicación Rural: Hacia un enfoque integrado en apoyo a la agricultura familiar. Brasilia, Brasil: FAO. 78p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. Trabajo estratégico de la FAO para incrementar la resiliencia de los medios de vida. Roma, Italia: FAO. 28p.
- FEADER (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural). 2010. Necesidades de frío invernal de los frutales caducifolios. Aragón, España: FEADER. 8p.
- Fernández, I.; N. Morales; L. Olivares; J. Salvatierra; M. Gómez; G. Montenegro. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Santiago, Chile: Facultad de Agronomía e Ingeniería Foresta, Pontificia Universidad Católica de Chile. 149p.
- Fernández, M. 2013. Efecto del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Bogotá, Colombia: Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 50p.
- Ferreira, R.; G. Selles; L. Burgos; P. Villagra; P. Sepúlveda y G. Lemus. 2010. Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica. (Bol. Tec. N°214). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 102p.
- FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola). 2013. Programa de Adaptación para la Agricultura en Pequeña Escala. Roma, Italia: FIDA. 12p.
- Fifame, J.; X. Xiang; M. Sadek; M. Adou and E. Mostafa. 2021. Hybrid model for ecological vulnerability assessment in Benin. *Scientific Reports*, 11(2021): 2449.

- Flores, J.; E. Martínez; M. Espinosa; G. Henríquez; P. Avendaño; P. Torres *et al.* 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: Región del Biobío. Santiago, Chile: Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 51p.
- Flores, P. 2016a. Requerimiento de frío en frutales efectos negativos sobre la producción de fruta: Primera parte. *Agromensajes*, 44(2016): 13-14.
- Flores, P. 2016ab. Requerimiento de frío en frutales modelos para predecir la ruptura de la dormición defoliación anticipada compuestos que ayudan a suplir la falta de frío: Segunda parte. 57(2016): 17-18.
- Florido, M. y L. Bao. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3): 70-88.
- Fritz, M. 2012. Informe Final Sistematización Proyecto: Reconstrucción y Patrimonio Región del Biobío. Concepción, Chile: Fundación Superación de la Pobreza. 18p.
- Fritzsche, K.; S. Schneiderbauer; P. Bubeck; S. Kienberger; M. Buth; M. Zebisch *et al.* 2019. El Libro de la Vulnerabilidad: Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Berlin, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 178p.
- Galindo, J. y J. Clavijo. 2009. Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1): 5-15.
- García, J.; O. Pérez; J. Cos; L. Ruiz y E. Sánchez. 2018. Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas. Murcia, España: Compobell, S.L. 345p.
- García-Hidalgo, Y. 2017. Índice de vulnerabilidad del recurso hídrico con fines de riego en la cuenca hidrográfica del Río Naranjo, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58).
- García-Huidobro, J. 1980. El riego en el cultivo de la papa. (Bol. Tec. N°32). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 29p.
- Garreaud, R. 2011. Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*, 2011(93): 1-14.
- Garreaud, R. 2019. ¿Adiós a la laguna de Aculeo?. Santiago, Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). 3p.
- Giménez, L. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 16(2): 92-102.
- Gligo, N. 2015. Problemática Agrícola y Socioeconómica del Secano en Chile. Chile: Academia Chilena de Ciencias Agronómicas. 48p.

- Gómez, J. y L. Morales. s.f. Algunas consideraciones sobre el concepto de Horas-frío y sus métodos de cálculo. 25 p.
- González, C.; C. Vidal y S. Alvear. 2020. Boletín Agroclimático y perspectiva abril 2020. (Bol. Tec. N°13). Santiago, Chile: Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). 22p.
- González-Herranz, R. y L. Ortega. 2015. Reguladores de la brotación, alternativos a la cianamida hidrogenada, para suplir la falta de horas de frío en viñedos tropicales del litoral ecuatoriano. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1): 92-99.
- González, E. y P. Meira. 2020. Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio?. *Perfiles Educativos*, 42(168): 157-174.
- Gonzálvez, C.; H. Cifre; M. Raigón y M. Gómez. 2018. Prácticas Agroecológicas de Adaptación al Cambio Climático. Madrid, España: Sociedad Española de Agricultura Ecológica/Agroecológica (SEAE). 92p.
- Graczyk, D. and Z. Kundzewicz. 2016. Changes of temperature-related agroclimatic indices in Poland. *Theor Appl Climatol*, 124(2016):401–410.
- Gumucio, A. y R. Amunátegui. 2018. Aporte del sector a la economía de Chile al 2030. En: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Agricultura chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030. Santiago, Chile: ODEPA. 298p.
- Haesbaert, R. 2004. O mito da desterritorialização: do “fim dos territórios” á multiterritorialidade. Río de Janeiro, Brasil. 90p.
- Hafidi, M.; J. Legave; G. Malagi; A. Oukabli and A. Yaacoubi. 2014. Global warming impact on floral phenology of fruit trees species inMediterranean región. *Scientia Horticulturae*, 180(2014): 243-253.
- Han, J.; W. Ge; Z. Hei; C. Cong; C. Ma; M. Xie *et al.* 2020. Agricultural land use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 301(2020): 107047.
- Hancock, R.; W. Morris; L. Ducreux; J. Morris; M. Usman; S. Verrall *et al.* 2014. Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. *Plant, Cell and Environment*, 37(2014): 439–450.
- Hargreaves, G. and Z. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Proceedings of ASCE*, 108: 223-230.
- Henao, A. 2013. Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: Un estudio de caso en Los Andes colombianos. *Agroecología*, 8(1): 85-91.

- Hernández, J. 2003. Crecimiento y desarrollo del cilantro (*Coriandrum sativum* L.) por efecto del fotoperíodo y la temperatura y su control con fitoreguladores. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. México: Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. 194h.
- Hernández, J.; E. Carazo y T. García. 2015. Informe de Investigación Fortalecimiento organizativo de organizaciones campesinas, Costa Rica. San José, Costa Rica: CICDE (Centro de Investigación en Cultura y Desarrollo). 172p.
- Herner, M. 2009. Territorio, desterritorialización y reterritorialización: un abordaje teórico desde la perspectiva de Deleuze y Guattari. *Huellas*, 13(2009): 158-171.
- Hidalgo, M.; N. Díaz; M. Icaza; M. Etchegaray y C. Rey. 2019. Innovaciones para la adaptación de la agricultura familiar al cambio climático en América Latina y el Caribe: Estudios de casos de éxito. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 200p.
- Hoyos, D.; J. Morales; H. Chavarría; A. Montoya; G. Correa and S. Jaramillo. 2012. Growing Degree Days Accumulation in a Cucumber (*Cucumis sativus* L.): Crop Grown in an Aeroponic Production Model. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1): 6389-6398.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2010. Propuesta de indicadores del régimen hidrológico Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. s.p.
- Iermanó, M.; S. Sarandón; L. Tamagno y A. Maggio. 2015. Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del “potencial de regulación biótica” en agroecosistema del sudeste bonaerense. *Revista Facultad de Agronomía La Plata*, 114(1): 1-14.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2013. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2014. San José, Costa Rica: IICA. 209p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2007. Guía práctica para la exportación a EE.UU: Cilantro. Managua, Nicaragua: IICA. 11p.
- Ilustre Municipalidad de Antuco. 2014. Plan regulador comunal de Antuco. Antuco, Chile: Ilustre Municipalidad de Antuco. 45p.
- Ilustre Municipalidad de Coronel. 2012. Plan de Desarrollo Comunal 2012-2016. Coronel, Chile: Sigma Consultores. 264p.
- Ilustre Municipalidad de Penco. 2018. Plan Local de Cambio Climático. Penco, Chile: Adapt Chile. 62p.

- Ilustre Municipalidad de San Pedro de la Paz. 2019. Plan Local de Cambio Climático. Penco, Chile: Adapt Chile. 62p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2017. Base de datos Encuesta Diagnóstica. Santiago, Chile: INDAP. s.p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2019a. INDAP en cifras: 2019. Santiago, Chile: INDAP. 95p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2019b. Registro de operadores SIRSD-S: Región del Biobío. Santiago, Chile: INDAP. 5p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2020a. Organizaciones de representación nacional. [en línea]. Recuperado en: < <https://www.indap.gob.cl/Organizaciones-de-Representación-Nacional>>. Consultado el 28 de abril de 2020.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2020b. Resolución exenta N°044144. Concepción, Chile: INDAP. 23p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2020c. Programa de Estudios de Riego y Drenaje. [en línea]. Recuperado en: < <https://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento/!k/programa-de-estudios-de-riego-y-drenaje>>. Consultado el 17 de noviembre de 2020.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2020d. Programa Especial de Pequeña Agricultura: Ley de Fomento al Riego y Drenaje, Ley N° 18450. Santiago, Chile: INDAP. 29p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2020e. Base de Datos Inversiones 2017-2018-2019-2020. Santiago, Chile: INDAP. 1p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). Aprueba definiciones y marco técnico del rubro turismo rural, programa incorporado en diversos instrumentos y convenios. Santiago, Chile. 15p.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2018. Estudio de intenciones de siembra de cultivos anuales: Año agrícola 2017/2018.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017. Población total e indicadores sociodemográficos, Región del Biobío. Santiago, Chile: INE. 1p.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2019. Encuestas Intercensales 2018-2019: Síntesis de Resultados. Santiago, Chile: INE. 21p.
- Infante, A. y F. Infante. 2013. Percepciones y estrategias de los campesinos del secano para mitigar el deterioro ambiental y los efectos del cambio climático en Chile. *Agroecología*, 8(1): 71-78.

- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 1998. Efecto del déficit de agua sobre algunos cultivos. Chillán, Chile: INIA. 2p.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2020. Región del Biobío. [en línea]. Recuperado en: < <https://www.inia.cl/?s=region+biobio>>. Consultado el 28 de abril de 2020.
- Inostroza, J.; P. Méndez; N. Espinoza; I. Acuña; P. Navarro; E. Cisternas *et al.* 2017. Manual del cultivo de la papa. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 144p.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2016. Consumo y disponibilidad de agua en cultivo de trigo. Riego y drenajes, (2016): 56-57.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001a. Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza: 173p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001b. Anexo B: Glosario de términos. Watson, R.; D. Albritton; T. Barker; I. Bashmakov; O. Canziani; R. Christ *et al.* Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza: IPCC. 27p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014a. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Ginebra, Suiza: IPCC. 218p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014b. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza: IPCC. 176p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014c. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Ginebra, Suiza: IPCC. 40p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2018. Glosario. (Anexo I). En: Matthews, J.; V. Masson-Delmotte; P. Zhai; H. Pörtner; D. Roberts; J. Skea *et al.* Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Ginebra, Suiza: IPCC. 24p.
- Jadrijevic, M.; G. Santis; K. Muck y F. Farías. 2015. Plan Nacional de Adpatación al Cambio Climático. Santiago, Chile: Ministerio de Medio Ambiente. 80p.
- Jorisch, D.; C. Mallin; M. Accurso; A. García y E. Iglesias. 2018. Tecnología para la acción climática en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 131p.

- Kelley, P. 2017. Las TIC y el cambio climático. Francia: ITU. 82p.
- LEDS LAC y EUROCLIMA. 2015. Desarrollo resiliente y bajo en emisiones en América Latina: integrando mitigación y adaptación. San José, Costa Rica: LEDS LAC y Programa EUROCLIMA de la Comisión Europea. 68 p.
- Lee, S.; J. Choi; S. Hur; M. Taniguchi; N. Masuhara; K. Soo *et al.* 2020. Food-centric interlinkages in agricultural food-energy-water nexus under climate change and irrigation management. *Resources, Conservation and Recycling*, 163(2020): 105099.
- Lefebvre, H. 1975. L'État dans le monde moderne. France: 10/18. 389p.
- Leiva, M. 2017. Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío. Santiago, Chile: CIREN. s.p.
- Lin, B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61(3): 183-193.
- Liu, Ch.; L. Wang; K. Le Cocq; C. Chang; Z. Li; F. Chen *et al.* 2020. Climate change and environmental impacts on and adaptation strategies for production in wheat-rice rotations in southern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292–293(2020): 108136.
- Liverpool-Tasie, L.; H. Pummel; J. Tambo; L. Schmitt and O. Osuntade. 2020. Perceptions and exposure to climate events along agricultural value chains: Evidence from Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 264(2020): 110430.
- Lobos, G. 2019. Estrategias de riego en nogal cv. Serr, bajo escenario de escasez hídrica. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 4p.
- Loewe, V. y M. González. 2001. Nogal común (*Juglans regia*): Una alternativa para producir madera de alto valor. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 165p.
- López- López, R.; R. Arteaga-Ramírez; M. Vázquez-Peña; I. López-Cruz; I. Sánchez-Cohen y A. Ruiz-García. 2009. Índice de estrés térmico del cultivo de tomate de cáscara. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3): 259-267.
- López, F. 2002. El análisis de contenido como método de investigación. *Revista de Educación*, 4(2002): 167-179.
- López-Olivari, R.; C. Jobet; M. Mathias y R. Espinoza. 2019. Déficit hídrico, requerimiento hídrico, y su variabilidad temporal en cereales para el Valle Central de la provincia de Cautín, Región de la Araucanía. Temuco, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 6p.

- Lozano, P.; G. Inostroza y C. Salgado. 2010. Región del Biobío: Diagnóstico de las capacidades y oportunidades de desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación. Santiago, Chile: IdeaConsultora Ltda. 100p.
- Luetzenburg, G.; M. Bittner; A. Calsamiglia; C. Renschler; J. Estrany and R. Poepl. 2020. Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz – Austria, Can Revull – Spain. *Science of the Total Environment*, 704(2020): 135389.
- Llanos-Hernández, L. 2010. El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 7(3): 207-220.
- Maffra, L. y S. Boza. 2020. Influencia de Brasil en la Política Alimentaria Latinoamericana: el programa de compras públicas a la agricultura familiar de Chile. *Estudios Internacionales*, 195(2020): 65-85.
- Mahmood, N.; M. Arshad; H. Kächele; H. Ma; A. Ullah and K. Müller. 2019. Wheat yield response to input and socioeconomic factors under changing climate: Evidence from rainfed environments of Pakistan. *Science of the Total Environment*, 688(2019): 1275-1285.
- Malikov, E.; R. Miao and J. Zhang. 2020. Distributional and temporal heterogeneity in the climate change effects on U.S. agricultura. *Journal of Environmental Economics and Management*, 104(2020): 102386.
- Mane, S.; P. Robinet; C. Ulanov; A. Schafleitner; R. Tincopa; L. Gaudin, *et al.* 2008. Molecular and physiological adaptation to prolonged drought stress in the leaves of two Andean potato genotypes. *Functional Plant Biology*, 35(8): 669-688.
- Marín, G. 2010. Determinación de los requerimientos hídricos del cilantro (*Coriandrum Sativum*), variedad unapal precoso y su relación con el desarrollo del cultivo, la producción y la calidad, comparando un período seco y húmedo de siembra del cultivo en el año. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agrarias. Colombia: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. 188h.
- Martínez, F. 2017. Estrategias vitícolas frente a las altas temperaturas y al cambio climático. *Agricultura*, (2017): 28-35.
- Martínez, P.; S. Díaz y C. Prieto. 2012. Estudiando la sequía: una experiencia para el aula de informática. *Enseñanza en ciencias de la tierra*, 20(3): 270-279.
- McKee, T; N. Doesken y J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179–184.
- Medina, J. 2018. Cultivando resiliencia frente al cambio climático: Lecciones aprendidas para contribuir a la seguridad alimentaria y al derecho a la alimentación en América Latina

- y El Caribe. Madrid, España: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). 95p.
- Mejía, M.; G. Marín y J. Menjivar. 2014. Respuesta fisiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 63(2): 246-252.
- Merlet, H.; A. Navarro y C. Rosales. 2016a. Manual Técnico, Productivo y Económico: Cerezo. Santiago, Chile: Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 78p.
- Merlet, H.; A. Navarro y C. Rosales. 2016b. Manual Técnico, Productivo y Económico: Nogal. Santiago, Chile: Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 62p.
- Merlet, H.; A. Navarro y C. Rosales. 2016c. Manual Técnico, Productivo y Económico: Manzana. Santiago, Chile: Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 52p.
- MGAP-FAO (Ministerio de Ganadería, agricultura y Pesca; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Montevideo, Uruguay: FAO. 62p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2016. Análisis de vulnerabilidad ante la sequía agrícola en Chile. Santiago, Chile: MINAGRI y Universidad de Birmingham. 48p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2019. Ministerio de Agricultura declara emergencia agrícola por escasez hídrica en 9 comunas de la Región del Maule. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.gob.cl/noticias/ministerio-de-agricultura-declara-emergencia-agricola-por-escasez-hidrica-en-9-comunas-de-la-region-del-maule/>> Consultado el 28 de noviembre de 2019.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2020a. Regiones. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.minagri.gob.cl/region/>>. Consultado el 26 de octubre de 2020.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2020b. Instituto de Desarrollo Agropecuario. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.minagri.gob.cl/institucion/indap/>>. Consultado el 26 de octubre de 2020.
- Mitchell, A. 2013. Risk and Resilience: From Good Idea to Good Practice. *OECD Development Co-operation Working Papers*, 13(2013). 1-63.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2017. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Santiago, Chile: Ministerio de Medio Ambiente. 250p.
- Molina, V. 2013. Descripción y capacidad adaptativa a la variabilidad climática de la pequeña y mediana viticultura de la Región del Biobío. Memoria para optar a título de contador público y auditor: Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad del Biobío. 61h.

- Molina-Montenegro, M.; A. Zurita-Silva and R. Oses. 2011. Effect of water availability on physiological performance and lettuce crop yield (*Lactuca sativa*). *Cien. Inv. Agr*, 38(1):65-74.
- Monnet, J. 2013. Territorio Reticular. *Anthropos*, 227: 91-104.
- Montalba, R.; F. Fonseca; M. García; L. Vieli y M. Altieri. 2015. Determinación de los niveles de riesgo socioecológico ante sequías en sistemas agrícolas campesinos de La Araucanía chilena. Influencia de la diversidad cultural y la agrobiodiversidad. *Papers*, 100(4): 607-624.
- Montalba, R.; M. García; M. Altieri; F. Fonseca y L. Vieli. 2013. Utilización de Índice Holístico de Riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de Recursos Hídricos. Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de La Araucanía, Chile. *Agroecología*, 8(1): 63-70.
- Monterroso, A.I.; A. C. Conde; C. Gay; J.D. Gómez y J. López. 2012. Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 8 p.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas). 2015. Plan de Infraestructura Hidráulica. Santiago, Chile: MOP. 46p.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. (Vol. N°1). Zaragoza, España: M&T-Manuales y Tesis SEA. 84p.
- Moretti, C.; L. Matos; A. Calvo and S. Sargent. 2010. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, 43(2010): 1824 – 1832.
- Muñoz, M. 2014. Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola*, 10(2014): 36-37.
- Muñoz, M.; C. Montano; A. Valenzuela y C. Salazar. 2017. Efecto del aumento de la temperatura y estrés hídrico sobre el desarrollo vegetativo de *Vitis vinífera* cv. Cabernet Sauvignon. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 4p.
- Nahed, J; J. Palma y E. González. 2014. La adaptación como atributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante las perturbaciones. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(3):7-34.
- Neuenschwander, A. 2010. El Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile. Santiago: Chile: Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 126p.
- Nicholls, C. y M. Altieri. 2019. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal*, 11(1): 55-61.

- Ntuchu, P.; K. Kwabena and B. Mareme. 2020. A decision support system for institutional support to farmers in the face of climate change challenges in Limpopo province. *Heliyon*, 6(2020): e04989.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). 2016. Estudios de Política Rural Chile. Santiago, Chile: OCDE. 206p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2013. Cambio Climático: Impacto en la Agricultura, heladas y sequía. Santiago, Chile: ODEPA. 38p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2019a. Panorama de la Agricultura chilena. Santiago, Chile: ODEPA. 152p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2019b. Región de Biobío: Informativo regional. Santiago, Chile: ODEPA. 8p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2020a. Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario silvícola, por región. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/noticias/agro-en-la-prensa/producto-interno-bruto-pib-por-region>>. Consultado el 23 de abril de 2020.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2020b. Vides: superficie y producción. [en línea]. Recuperado en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/09/Vides_superficie_y_produccion2020.xls>. Consultado el 15 de octubre de 2020.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2020c. Desarrollo Rural: Política Nacional de Desarrollo Rural. [en línea]. Recuperado en: <<https://www.odepa.gob.cl/desarrollo-rural-2>>. Consultado el 5 de noviembre de 2020.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2019c. Región del Biobío: Cultivos Agrícolas. Concepción, Chile: ODEPA. 1p. Color.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). 2019d. Región del Biobío: Superficie Hortícola Regional. Concepción, Chile: ODEPA. 1p. Color.
- Ojeda-Bustamante, W.; E. Sifuentes-Ibarra; M. Íñiguez-Covarrubias y M. Montero-Martínez. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimiento hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(2011): 1-11.
- Oliva, C. 2016. Actualización Plan de Desarrollo Comunal Tucapel 2016-2020. Tucapel, Chile: Ilustre Municipalidad de Tucapel. 227p.
- Ortega, P. 2015. Análisis del estado del arte en nutrición y riego bajo sistema de manejo orgánico en Frambueso. Memoria de Título para optar al Título profesional de Ingeniera Agrónoma: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 92h.

- Ortega, R.; A. Aparicio; A. Jiménez y E. Rodríguez. Cereales de grano completo y sus beneficios sanitarios. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1):25-31.
- Ortiz, R. 2012. El cambio climático y la producción agrícola. México: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 41p.
- Oyarzún, E. y B. Miranda. 2011. La economía rural en Chile: entre la pobreza y el desarrollo. *Estudios de Economía Aplicada*, 29(2011): 31-56.
- Pachauri, R. y L. Meyer. 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 176p.
- Pacheco, S. y C. Valdés. 2012. Efecto ambiental del derretimiento del Ártico y su impacto en el turismo. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 8(1): 8-16.
- Peredo, S.; M. Vela y A. Jiménez. 2016. Determinación de los niveles de resiliencia/vulnerabilidad en iniciativas de agroecología urbana en el suroeste andaluz. *IDESIA*, 34(2): 5-13.
- Pérez, S. 2010. El valor estratégico del turismo rural como alternativa sostenible de desarrollo territorial rural. *Agronomía Colombiana*, 28(3): 507-513.
- Pino, M. 2016. Efectos del estrés hídrico y de altas temperaturas en el cultivo de papa. (Bol. Tec. N°331). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 11p.
- Pino, M. y T. Chen. 2016. Efectos de las heladas en el cultivo de papa, y desafíos del mejoramiento genético. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 22p.
- Pitcar, A. 2019. Changes in agro-climatic indices related to temperature in Central Chile. *International Journal of Biometeorology*, 63(2019):499-510.
- Porch, T. and A. Hall. 2013. Heat tolerance. In: C. Kole, Genomics and breeding for climate-resilient crops. (Vol. 2). Berlin, Germany: Springer-Verlag. 167-202pp.
- Potter, W.; R. Sepúlveda y M. Allende. 2013. Los días grados y su importancia en la obtención de productos hortícolas primos de contra estación, en la Región de Arica y Parinacota. Arica, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 4p.
- Raffestin, C. 1980. Pour une géographie du pouvoir. París, Francia: Lexis Nexis. 250p.
- Raffestin, C. 2012. Space, territory and territoriality. *Environment and Planning D: Society and Space*, 30(1): 121-141.
- Ramírez, J.; C. Rodríguez; M. Hidalgo-Guerra y C. Rey. 2016. Agenda de Innovación Agraria Territorial: Región del Biobío. Santiago, Chile: FIA (Fundación para la Investigación Agraria). 90p.

- REDMUNICC (Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático). 2017. Agenda para municipios ante el cambio climático. Santiago, Chile: REDMUNICC. 56p.
- REDMUNICC (Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático). 2020. Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático. [en línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: <<https://actionlac.net/redmunicc/>> Consultado el: 17 de mayo de 2020.
- Reyes, G.; S. Adame y E. Cadena. 2018. Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y Ambiente*, 6(17): 93-113.
- Reyes, M. y C. Salazar-Parra. 2020. Heladas en vides. En: Bravo, R.; J. Quintana y M. Reyes. Heladas: Factores, tendencias y efectos en frutales y vides. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 102p.
- Robles, M.; L. Bonelli; A. Irigoyen; R. Rizzalli y A. Della Maggiora. 2012. Riesgo de heladas en siembras tempranas de maíz en Balcarce. Argentina: Asociación Argentina de Agrometeorología. 227-228.
- Rodríguez, A. y A. Muñoz. 2015. Requerimiento de frío invernal en frutales de hoja caduca. Alto Valle, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 4p.
- Rodríguez, A.; E. Benítez y A. Muñoz. 2018. Tolerancia a las heladas por superenfriamiento en cultivares de nogal (*Juglans regia*) y almendro (*Prunus amygdalus*). Argentina: RIA. 10p.
- Rodríguez, G. 2019. El agroturismo, una visión desde el desarrollo sostenible. *Revista Centro Agrícola*, 46(1): 62-65.
- Rodríguez, H. y N. Oddone. 2019. Sostenibilidad, mercados y cadenas de valor agropecuarias: Recomendaciones para políticas públicas y decisiones privadas ante el cambio climático en Centroamérica. El Salvador: Departamento de Estado de los Estados Unidos, Programa Centroamérica Resiliente (ResCA) y The Nature Conservancy. 20p.
- Rojas, M. 2016. Escenarios climáticos y la vulnerabilidad de Chile. Santiago, Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). 11p.
- Roman-Figueroa, C.; R. Padilla; J. Uribe and M. Paneque. 2017. Land suitability assessment for camelina (*Camelina sativa* L.) development in Chile. *Sustainability-Basel*, 9 (1):154.
- Romero, H. 2009. Desarrollo local a escala humana. *Polis*, 8(22): 137-158.
- Roudier, P.; B. Sultan; P. Quirion and A. Berg. 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?. *Global Environmental Change*, 21(2011): 1073–1083.

- Ruiz, C. y M. Jeldres. 2008. Emergencias climáticas en la agricultura. Recomendaciones para la Región del Bio-Bio. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 247.
- Ruiz, J. 2019. Introducción de variedades mejoradas de arveja (*Pisum sativum* L.) en condiciones del distrito de Huando –Huancavelica. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Perú: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú. 88h.
- Ruiz, J.; G. Medina; I. González; H. Flores; G. Ramírez; C. Ortiz *et al.* 2013. Requerimientos agroecológico de cultivos. Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 578p
- Ruiz, M. 2019. Resiliencia climática rural en América Latina: Una reseña de experiencias, lecciones aprendidas y escalamiento. Quito, Ecuador: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 20p.
- Saavedra, G.; F. Corradini; A. Antúnez; S. Felmer; P. Estay y P. Sepúlveda. 2017. Manual de producción de lechuga. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 150p.
- SAG (Servicio Agrícola Ganadero). 2020. Programa de Recuperación de Suelos Degradados. [en línea]. Recuperado en: <<http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/programa-de-recuperacion-de-suelos-degradados>>. Consultado el 5 de noviembre de 2020.
- Salvo, J. 2020. El Palto y las heladas. En: Bravo, R.; J. Quintana y M. Reyes. Heladas: Factores, tendencias y efectos en frutales y vides. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 102p.
- Sánchez, D. 2013. Un sistema de indicadores turísticos básicos: Primer aproximación. Río Negro, Argentina: Universidad Nacional de Río Negro. 24p.
- Sánchez, N.; C. Jiménez; A. Cardador; S. Del Campo y G. Dávila. 2016. Caracterización física, nutricional y no nutricional de las semillas de Inga paterno. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4): 400-407.
- Sánchez-Zamora, P.; R. Gallardo-Cobos y F. Ceña. 2015. La noción de resiliencia en el análisis de las dinámicas territoriales rurales: una aproximación al concepto mediante un enfoque territorial. *Cuadernos de desarrollo rural*, 13(77): 93-116.
- Santiago-Vera, T.; M. García-Millán y P. Michael-Rosset. 2018. Enfoques de la resiliencia ante el cambio climático. *ASyD*, 15(2018):531-539.
- Santibáñez, F. 2012. El clima, la producción agrícola y los cambios que vienen. Santiago, Chile: Sociedad Nacional de Agricultura (SNA). 58p.

- Santibáñez, F. 2017. Los desafíos del cambio climático. Santiago, Chile: Sociedad Nacional de Agricultura (SNA). 33p.
- Santibáñez, F. 2018. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. En: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Agricultura chilena: Reflexiones y Desafíos al 2030. Santiago, Chile: ODEPA. 298p.
- Santibáñez, F.; P. Santibáñez y L. Solis. 2008, dic. Análisis de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a escenarios de Cambio Climático. (Cap. 4). Santiago, Chile: AGRIMED, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 92p.
- Santibáñez, F.; P. Santibáñez; C. Caroca y P. González. 2017. Atlas Agroclimático de Chile Tomo IV: Regiones del Biobío y de La Araucanía. Santiago, Chile: Centro de Agricultura y Medioambiente (AGRIMED). 140p. Color.
- Santis, G.; M. Jadrijevic; P. Muck y F. Farías. 2017. Plan de Adaptación y mitigación de los servicios de infraestructura al cambio climático 2017-2022. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas y Ministerio de Medio Ambiente. 126p.
- Saquet, M. 2015. Por una geografía de las territorialidades y las temporalidades: Una concepción multidimensional orientada a la cooperación y el desarrollo territorial. La Plata, Argentina: Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata. 153p.
- Schejtman, A. y J. Berdegué. 2004. Desarrollo Territorial Rural. Santiago, Chile: Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). 53p.
- Sepúlveda, A.; L. Arenas y J. Yuri. 2019. Clima y calidad de manzanas: Guía para enfrentar la incertidumbre climática. Talca, Chile: Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 93p.
- Sidibé, Y.; S. Foudi; U. Pascual and M. Termansen. 2018. Adaptation to Climate Change in Rainfed Agriculture in the Global South: Soil Biodiversity as Natural Insurance. *Ecological Economics*, 146(2018): 588–596.
- Silva, R. 2010. Multifuncionalidad agraria y territorio. Algunas reflexiones y propuestas de análisis. *Eure*, 36(104): 5-33.
- SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales). 2018. Informe comunal: Comunal de Antuco. Antuco, Chile: SIMEF. 9p.
- Snyder, R. y J. Melo-Abreu. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Roma, Italia: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 257p.

- Soto, F.; L. Beduschi y C. Falconi. (Eds). 2007a. Desarrollo Territorial Rural: Análisis de Experiencias en Brasil, Chile y México. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 292p.
- Soto, F.; M. Rodríguez y C. Falconi. (Eds). 2007b. Políticas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 34p.
- Stehr, A.; S. Vicuña; X. Vargas; T. Gómez; J. Cepeda; P. Mendonza et al. 2019. Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático. Informe de la mesa Agua. Santiago, Chile: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. 65p.
- Street, K.; N. Rukhkyan y A. Ismail. 2008. Guías para la regeneración de germoplasma: lenteja. Bonn, Alemania: Global Crop Diversity Trust. 10p.
- Synthesis. 2020. “Actualización Plan de Desarrollo Comunal PLADECO Quilaco 2020-2025”. Quilaco, Chile: Synthesis. 348p.
- Szmulewicz, P. y C. Gutiérrez. 2012. Asociatividad y Agroturismo: Evaluación de las habilidades asociativas en redes de Agroturismo del sur de Chile. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 21(2012): 1013-1034.
- Tarqui, M.; R. Chipana; F. Mena; J. Quino; R. Tallacagua y S. Gutiérrez. 2017. Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1): 7-18.
- Tassara, M. 2007. Las heladas primaverales: Protección en frutales de clima templado – frío. Argentina:). 164p.
- Teixeira, E.; J. de Ruitter; A. Ausseil; A. Daigneault; P. Johnstone; A. Holmes *et al.* 2018. Adapting crop rotations to climate change in regional impact modelling assessments. *Science of the Total Environment*, 616–617(2018): 785-795.
- Tejada, H. 2014. Venta directa en ferias locales: el proceso de modernización de las ferias libres en Chile. (cap 15, 93-96). En: Sotomayor, O.; M. Rodrigues y A. Rodríguez (coord.) Agricultura familiar y circuitos cortos: Nuevos esquemas de producción, comercialización y nutrición. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 112p.
- Torikul, M. and M. Nursey-Bray. 2017. Adaptation to climate change in agriculture in Bangladesh: The role of formal institutions. *Journal of Environmental Management*, 200(2017): 347-358.
- Toro, D. 2016. Hacia un nuevo modelo de desarrollo rural en Chile. *Revista Eltopo*, 7(2016): 96-121.

- Toro, I. 2017. Incorporación del objetivo del uso en riego en la operación de largo plazo de embalses hidroeléctricos Maule y Laja en el sistema eléctrico nacional, Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 91h.
- Torres, P.; J. Cruz; R. Acosta. 2011. Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático. Agendas de adaptación y sistemas institucionales. *Políticas Públicas*, 2011(36): 205-232.
- Torrice-Albino, J.; C. Peralta-Rivero y P. Élise. 2017. Evaluación de la capacidad de resiliencia de sistemas de producción agroforestales, agricultura bajo riego y ganadería semi intensiva. *CienciAgro*, 2017(1): 37-48.
- Tyler, S.; M. Keller; D. Swanson; L. Bizikova; A. Hammill y A. Zamudio. 2013. Resiliencia climática y seguridad alimentaria: Un marco para la planificación y el monitoreo. Winnipeg, Canadá: Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD). 34p.
- Umanzor, M. 2015. Influencia del uso de malla perla y roja en las condiciones microclimáticas, daño por sol y desarrollo de color de frutos en huertos de manzanos cvs. Gala y Fuji. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agronómicas Mención Producción Vegetal. Concepción, Chile: Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 28h.
- Universidad de Chile. 2019. Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2018. Santiago, Chile: Instituto de Asuntos Públicos, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile. 20p.
- UPA (Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos). 2019. Adaptación al cambio climática en el sector agrario. Madrid, España: UPA. 60p.
- Urango, L. 2018. Componentes del maíz en la nutrición humana. (Cap. N°9). En: Hoyos, G.; H. Rodríguez; J. Mendoza; B. Peraza; J. Torres; J. Ocampo *et al.* Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México. Colombia: Fondo Editorial Biogénesis. 25p.
- Uribe, H. y Morales, C. 2017. Riego en Frambueso. En: Morales, C.; J. Riquelme; J. Hirzel y A. France. Manual de manejo agronómico del frambueso. (Bol. Tec. N°7). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 114p.
- Uribe, J.; R. Cabrera; A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Universidad de Chile, Ministerio de Bienes Nacionales. Santiago, Chile. 229 p.
- Uslar, N.; J. Arumí; L. Lagos; J. Contreras; C. Manríquez; W. Valdivia *et al.* Manual de Adaptación al Cambio Climático en la Pequeña Agricultura: Zona Sur. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Riego (CNR). 72p.

- Valdivia, C. and C. Barbieri. 2014. Agritourism as a sustainable adaptation strategy to climate change in the Andean Altiplano. *Tourism Management Perspectives*, 11(2014): 18-25.
- Valladares, F.; J. Peñuelas y E. De Luis. 2005. Impactos sobre los ecosistemas terrestres. (cap. 2, pp. 65-112). En: Ministerio de Medio Ambiente España. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático Proyecto ECCE - Informe Final. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente. 846p.
- Van Dam, J.; P. Kooman and P. Struik. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, 39(1996): 51-62.
- Veas, C. y E. Chia. 2020. Nuevas determinantes para comprender los alcances de la ruralidad: representaciones del cambio climático en la agricultura familiar campesina. *Boletín de Estudios Geográficos*, 113(2020): 111-132.
- Vence, J. 2010. Panamá le apuesta al agroturismo para apoyar el desarrollo rural. (cap 11, 32-34). En: Riveros, H.; A. Lucio-Paredes y M. Blanco. Una mirada a experiencias exitosas de agroturismo en América Latina. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 35p.
- Vicuña, S.; F. Meza; G. Donoso; E. Demaria; C. Chadwick y M. Camaño. 2013. Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático. Santiago, Chile: Centro de Cambio Global UC. 156p.
- Vicuña, S.; F. Meza; M. Rojas; X. Vargas; J. McPhee; O. Melo *et al.* 2012. La Economía del Cambio Climático en Chile. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 367p.
- Volschenk, T. 2021. Effect of water deficits on pomegranate tree performance and fruit quality – A review. *Agricultural Water Management*, 246(2021): 106499.
- Von Bennowitz, E. 2018. Efectos del cambio climático sobre el desarrollo frutícola. Ejemplos de regiones frutícolas en Chile Central (Maule y Araucanía). En: Cuarto Seminario de Recursos Hídricos y Cambio Climático. (4ª, agosto de 2018, Los Ríos, Chile).
- Walker, B.; C. Holling; S. Carpenter and A. Kinzig. 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2):5.
- Wang, B.; P. Feng; D. Liu and C. Waters. 2020. Modelling biophysical vulnerability of wheat to future climate change: A case study in the eastern Australian wheat belt. *Ecological Indicators*, 114(2020): 106290.
- Wassmann, R.; J. Villanueva; M. Khounthavong; B. Okumu; T. Vo and B. Sander. 2019. Adaptation, mitigation and food security: Multi-criteria ranking system for climate-smart

- agriculture technologies illustrated for rainfed rice in Laos. *Global Food Security*, 23(2019): 33–40.
- Welle, T.; M. Witting y J. Birkmann. 2014. Valoración y Seguimiento de la Resiliencia Climática. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 20p.
- Wheeler, S.; A. Zuo and H. Bjornlund. 2013. Farmers' climate change beliefs and adaptation strategies for a water scarce future in Australia. *Global Environmental Change*, 23(2013): 537-547.
- Xiao, D.; D. Liu; P. Feng; B. Wang; C. Waters; Y. Shen *et al.* 2021. Future climate change impacts on grain yield and groundwater use under different cropping systems in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 246(2021): 106685.
- Yáñez, L. 2018. Región del Biobío: Información regional 2018. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 16p.
- Yáñez, L. 2020a. Región del Biobío: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020b. Ficha nacional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020c. Región de Arica y Parinacota: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020d. Región de Tarapacá: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020e. Región de Antofagasta: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020f. Región de Atacama: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020g. Región de Coquimbo: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020h. Región de Valparaíso: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020i. Región Metropolitana: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020j. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.

- Yáñez, L. 2020k. Región del Maule: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020l. Región del Ñuble: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020m. Región de La Araucanía: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020n. Región de Los Ríos: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020ñ. Región de Los Lagos: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020o. Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. 2020p. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena: Información regional 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 17p.
- Yáñez, L. y D. Cohen. 2020. Boletín regional y nacional de exportaciones silvoagropecuarias: Avance mensual enero a septiembre de 2020. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 27p.
- Zhong, Y.; L. Fei; Y. Li; J. Zeng and Z. Dai. 2019. Response of fruit yield, fruit quality, and water use efficiency to waterdeficits for apple trees under surge-root irrigation in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 222(2019): 221-230.
- Ziaul, M.; S. Cui; L. Xu; I. Islam; J. Tang and S. Ding. 2019. Assessing Agricultural Livelihood Vulnerability to Climate Change in Coastal Bangladesh. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22): 4552.
- Zúñiga, M. 2013. Consumo de agua por la planta de siete especies frutales producidas en Chile. Memoria de Título para optar al Título profesional de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 60h.

ANEXOS

Anexo I. Principales especies cultivadas en la Región del Biobío

Especies	Superficie (ha)
Trigo Harinero (<i>Triticum aestivum</i> L.)	18.454
Trigo Candeal (<i>Triticum durum</i> Desf.)	13.959
Avena (<i>Avena sativa</i> L.)	10.270
Maíz Consumo (<i>Zea mays</i> L.)	9.796
Raps (<i>Brassica napus</i> L.)	7.542
Vides (<i>Vitis vinifera</i> L.)	12.277
Arándano americano (<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait)	1.941,2
Nogal (<i>Juglans regia</i> L.)	1426,5
Avellano (<i>Corylus avellana</i> L.)	1.031,8
Manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	575,1
Arveja verde (<i>Pisum sativum</i> L.)	287,4
Choclo (<i>Zea mays</i> L.)	226,7
Poroto Verde (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	116,0
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	115,6
Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	93,6

Fuente: Adaptado de ODEPA, 2019b; 2019c; 2019d.

Anexo II. Temperaturas umbrales de cultivos priorizados

Cultivo	Temperatura umbral °C (Tu)
Papa	7
Trigo	4
Avena	4
Maíz	10
Lenteja	5
Arvejas	5
Poroto	10
Tomate	10
Lechuga	6
Cilantro	10
Vid	10
Frambuesa	10
Cerezo	7
Nogal	10
Manzano	7

Fuente: Hernández, 2003; CIREN, 2017a; CIREN, 2017b; CIREN, 2017c; CIREN, 2017d; CIREN, 2017e; CIREN, 2017f; CIREN, 2017g; CIREN, 2017h; CIREN, 2017i; CIREN, 2017j.

Anexo III. Parámetros de requerimiento y restricción de acumulación de días grados (DG) de cultivos priorizados.

Cultivo	Sin Restricción (DG)	Restricción limitada (DG)	Restricción media (DG)	Restricción Alta (DG)	Excluyente (DG)
Papa	>700	650-700	500-650	400-500	<400
Trigo	>1300	1000-1300	760-1000	600-760	<600
Avena	>1000	700-1000	500-700	300-500	<300
Maíz	>800	600-800	550-600	500-550	<500
Lenteja	>370	350-370	250-350	100-250	<100
Arvejas	>450	250-450	150-250	50-150	<50
Poroto	>540	400-540	250-400	100-250	<100
Tomate	>800	700-800	600-700	400-600	<400
Lechuga	>400	300-400	220-300	150-220	<150
Cilantro	>900	700-900	400-700	300-400	<300
Vid	>1500	1200-1500	900-1200	800-900	<800
Frambueso	>600	400-600	200-400	150-200	<150
Cerezo	>700	600-700	400-600	250-400	<250
Nogal	>1400	1300 - 1400	1200 - 1300	1100 - 1200	<1100
Manzano	>1300	1200-1300	900-1200	800-900	<800

Fuente: Hernández, 2003; CIREN, 2017a; CIREN, 2017b; CIREN, 2017c; CIREN, 2017d; CIREN, 2017e; CIREN, 2017f; CIREN, 2017g; CIREN, 2017h; CIREN, 2017i; CIREN, 2017j.

Anexo IV. Parámetros de requerimiento y restricción de acumulación de horas frío (HF) de frutales priorizados.

Cultivo	Sin Restricción (HF) Variedades de alto Requerimiento	Sin Restricción (HF)	Restricción leve (HF)	Excluyente (HF)
Vid	>1500-1400	1400-500	500-100	<100
Frambueso	>1300-1200	1200-750	750-250	<250
Cerezo	>1500-1200	1200-400	400-300	<300
Nogal	>1300-1100	1100-600	600-400	<400
Manzano	>1700-1600	1600-800	800-500	<500

Fuente: CIREN, 2017f; CIREN, 2017g; CIREN, 2017h; CIREN, 2017i; CIREN, 2017j.

Anexo V. Coeficiente de cultivo (Kc) de especies priorizadas

Cultivo	Kc inicial	Kc medio	Kc final
Papa	0,50	1,15	0,75
Trigo	0,30	1,15	0,25
Avena	0,30	1,15	0,25
Maíz	0,30	1,20	0,35
Lenteja	0,40	1,10	0,30
Arvejas	0,50	1,15	0,30
Poroto	0,40	1,15	0,35
Tomate	0,60	1,15	0,70
Lechuga	0,70	1,00	0,95
Cilantro	0,20	1,20	0,20
Vid	0,15	0,35	0,30
Frambuesa	0,45	0,75	0,61
Cerezo	0,25	1,00	0,70
Nogal	0,58	1,07	0,20
Manzano	0,40	1,00	0,70

Fuente: Allen *et al.*, 1998.

Anexo VI. Factor de respuesta de rendimiento (Ky) de cultivos priorizados

Cultivo	Ky
Papa	1,10
Trigo	1,15
Avena	1,05
Maíz	1,25
Lenteja	1,15
Arvejas	1,15
Poroto	1,15
Tomate	1,05
Lechuga	0,95
Cilantro	1,15
Vid	0,85
Frambuesa	1,00
Cerezo	0,85
Nogal	0,85
Manzano	0,85

Fuente: Steduto *et al.*, 2012.

Anexo VII. Rendimientos por comunas de especies priorizadas y rendimiento regional (potencial).

Comuna	Papa (kg/ha)	Trigo (kg/ha)	Avena (kg/ha)	Maíz (uni/ha)	Lenteja (kg/ha)	Arvejas (kg/ha)	Poroto (kg/ha)	Tomate (kg/ha)	Lechuga (uni/ha)	Cilantro (ata/ha)	Vid (kg/ha)	Frambueso (kg/ha)	Cerezo (kg/ha)	Nogal (kg/ha)	Manzano (kg/ha)
Alto Biobío	7.000	2.100	4.180	13.430	-	1.000	580	326	153	1.610	-	-	-	-	-
Antuco	34.000	3.000	3.680	10.718	-	1.870	4.180	9.863	2.531	1.702	7.000	-	6.300	-	32.900
Arauco	13.700	3.090	5.080	-	-	10.542	7.640	64.500	47.275	32.179	-	2.000	-	-	-
Cabrero	43.400	6.000	-	32.826	-	11.519	12.450	43.866,8	50.251	69.177,8	-	-	-	-	-
Cañete	15.800	3.660	5.270	20.000	970	1.697,6	11.850	39.104,9	33.430,8	88.046	-	4.900	-	-	15.700
Chiguayante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Concepción	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contulmo	11.400	23.540	2.080	-	-	3.110	6.370	11.987,2	12.304,3	20.115,1	-	9.800	300	-	9.000
Coronel	50.900	-	-	8.750	-	4.025	16.160	18.072,3	339.010,6	102.795,3	-	10.000	-	300	2.000
Curanilahue	30.200	5.100	9.430	-	-	8.700	1.440	2.097,3	93.208,3	45.481,6	-	-	176	-	9.640
Florida	122.400	7.030	9.230	27.773	750	2.946,3	4.060	69.036,1	76.906,2	59.913,7	11.400	8.100	5.300	-	7.400
Hualpén	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hualqui	36.900	8.750	10.140	39.591,7	5.670	7.230	16.190	62.444,2	63.925,6	59.195,5	39.600	830	-	500	-
Laja	60.400	1.360	940	12.808,8	3.660	2.427,4	6.550	19.081,4	59.512,3	54.081,4	6.200	3.200	4.000	195,5	3.400
Lebu	17.200	3.800	13.350	30.000	-	4.150	6.200	29.000	25.263	38.376,6	-	-	-	-	-
Los Álamos	12.000	2.960	2.710	400	-	675,3	1.300	2.000	27.558	43.901,3	-	-	-	-	2.300
Los Ángeles	108.300	33.280	3.600	40.142,1	975	7.709	6.290	28.627,2	53.003	51.726,9	6.000	9.600	3.800	3.032,4	-
Lota	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mulchén	32.800	5.000	8.000	-	200	1.340	26.930	55.084	50.000	9.633,2	-	-	-	1.400	-
Nacimiento	167.200	9.620	22.780	16.772,5	-	-	8.700	15.008,2	16.024,9	18.990,3	2.200	-	10.000	442	31.000
Negrete	50.200	5.500	3.480	14.433,9	-	3.786,7	11.500	22.276,1	31.848,2	35.166,7	-	-	24.000	988,9	3.900
Penco	9.300	10.170	-	11.250	-	550	6.070	1.8750	46.577,8	85.716,7	-	-	-	-	-
Quilaco	76.400	4.000	5.500	9.666,7	-	-	-	15.500	17.857,2	-	-	6.700	-	-	-
Quilleco	26.900	6.880	11.630	17.721	-	3.243,8	4.340	30.679,5	31.132,4	11.428,6	-	-	-	-	-
San Pedro de la Paz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
San Rosendo	35.200	6.110	12.130	12.657,2	2.310	6.947,8	11.000	43.746,6	66.929,8	97.557	10.900	2.000	4.090	1.071,5	11.200
Santa Bárbara	56.600	4.130	3.500	30.000	-	2.277,8	3.750	19.445,9	19.514	24.677,8	-	-	-	1.200	-

(Continúa)

(Continuación Anexo VII)

Comuna	Papa (kg/ha)	Trigo (kg/ha)	Avena (kg/ha)	Maíz (uni/ha)	Lenteja (kg/ha)	Arvejas (kg/ha)	Poroto (kg/ha)	Tomate (kg/ha)	Lechuga (uni/ha)	Cilantro (ata/ha)	Vid (kg/ha)	Frambuesa (kg/ha)	Cerezo (kg/ha)	Nogal (kg/ha)	Manzano (kg/ha)
Santa Juana	47.200	12.560	16.290	12.024,7	120	7.070	4.490	49.355,3	87.281,7	119.176,5	6.700	20.900	38.000	700	36.700
Talcahuano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tirúa	13.100	2.070	2.160	750	-	1.369,9	540	19.355,6	45.000	44.888,9	-	200	-	-	1.700
Tomé	72.500	3.270	3.840	33.217,4	-	2.818,7	10.570	47.561,6	87.446,7	119.464,6	8.100	10.800	-	8.666,7	10.900
Tucapel	38.100	-	3.250	-	-	1.500	-	14.009,6	12.304,3	-	-	-	1.200	-	-
Yumbel	5.500	1.290	1.600	21.729,2	760	3.313,3	11.780	63.643,2	109.226,5	90.986,1	4.800	1.400	9.400	-	-
Rendimiento Regional	90.000	5.000	5.700	28.000	900	8.700	9.500	48.000	55.000	60.000	20.000	8.200	12.000	4.500	70.000

Fuente: INDAP, 2017

Anexo VIII. Características de los suelos de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Serie de suelos predominante	Textura suelo superficial (0-15cm)	0fc-0wp
Alto Biobío	Antuco	Franco arenosa	0,13
Antuco	Antuco	Franco arenosa	0,13
Arauco	Carampangue	Franco arenosa	0,13
Cabrero	Cabrero	Franco arcillosa limosa	0,16
Cañete	cañete	Franco arcillosa limosa	0,16
Chiguayante	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Concepción	Treguaco	Franco arcillosa limosa	0,16
Contulmo	Cañete	Franco arcillosa limosa	0,16
Coronel	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Curanilahue	Curanilahue	archilloso	0,16
Florida	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Hualpén	Franco arcillosa	Franco arcillosa	0,16
Hualqui	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Laja	Collipulli	Franco arcillosa limosa	0,16
Lebu	Antihuala	Franco arcillo arenosa	0,10
Los Álamos	Antihuala	Franco arcillo arenosa	0,10
Los Ángeles	Coreo	arenosa	0,08
Lota	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	0,10
Mulchén	Collipulli	Franco arcillosa limosa	0,16
Nacimiento	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Negrete	Coreo	arenosa	0,08
Penco	Curanipe	arcillo limoso	0,16
Quilaco	Santa Bárbara	Franco limosa	0,16
Quilleco	Santa Bárbara	Franco limosa	0,16
San Pedro de la Paz	Nahuelbuta	arcillosa	0,16
San Rosendo	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Santa Bárbara	Santa Bárbara	Franco limosa	0,16
Santa Juana	San Esteban	Franco arcillo arenosa	0,10
Talcahuano	Tomé	Franco arcillosa	0,16
Tirúa	Franco arcillosa	Franco arcillosa	0,16
Tomé	Tomé	Franco arcillosa	0,16
Tucapel	Antuco	Franco arenosa	0,13
Yumbel	Coreo	arenosa	0,08

Fuente: CIREN, 1999.

Anexo IX. Profundidad de raíces de cultivos priorizados (Zr).

Cultivo	Zr (m)
Papa	0,60
Trigo	1,20
Avena	1,20
Maíz	1,00
Lenteja	0,70
Arvejas	0,80
Poroto	0,75
Tomate	1,00
Lechuga	0,40
Cilantro	0,30
Vid	1,50
Frambuesa	0,80
Cerezo	1,50
Nogal	1,70
Manzano	1,50

Fuente: Steduto *et al.*, 2012.

Anexo X. Superficie cultivada en Chile por sector agrícola temporada 2019.

Regiones	Superficie Vides (ha)	Superficie Frutales (ha)	Superficie Hortalizas (ha)	Superficie Cultivos anuales (ha)	Participación total	Participación total (%)
Arica y Parinacota	15,0	950,8	3.310,40	0	4.276,2	0,36
Tarapacá	3,1	241,8	0	0	244,9	0,02
Antofagasta	5,0	0	0	0	5,0	0,00
Atacama	577,3	9.266,60	705,6	0	10.549,5	0,89
Coquimbo	11.798,9	27.177,80	11.271,20	2.226	52.473,9	4,42
Valparaíso	9.874,5	49.635	8.653,70	2.690	70.853,2	5,97
Metropolitana	11.948,4	52.467	24.090	14.519	103.024,4	8,68
O'Higgins	45.782,2	85.284,70	10.828,90	52.459	194.354,8	16,37
Maule	53.686,7	76.374,40	10.301,20	94.714	235.076,3	19,80
Ñuble	10.014,1	14.184,50	2.967,80	79.076	106.242,4	8,95
Biobío	2.523,7	5.843	1.331,80	66.448	76.146,5	6,41
La Araucanía	84,6	14.440	1.914,60	246.232	262.671,2	22,12
Los Ríos	18,5	3.992,90		23.177	29.040,0	2,45
Los Lagos	9,3	2.571,60	1.851,60	36.070	38.650,9	3,26
Resto del país	0,0	240,5		3.494	3.734,5	0,31
Total	146.341	342.671,40	77.226,8	621.105	1.187.344,3	100,00

Fuente: ODEPA, 2019c; ODEPA, 2019d.

Anexo XI. Número de frutales, cultivos anuales y hortalizas cultivadas en Chile.

Regiones	N° Frutales	N° Cultivos anuales	N° Hortalizas	Participación Total Regional	Participación del total nacional (%)
Arica y Parinacota	24	0	24	48	0,39
Tarapacá	14	0	0	14	0,11
Atacama	21	0	23	44	0,36
Coquimbo	32	3	26	61	0,50
Valparaíso	39	7	28	74	0,61
Metropolitana	38	10	29	77	0,63
O'Higgins	39	17	25	81	0,66
Maule	42	23	27	92	0,75
Ñuble	35	24	27	86	0,70
Biobío	18	25	29	72	0,59
La Araucanía	17	21	29	67	0,55
Los Ríos	16	9	0	25	0,20
Los Lagos	13	9	0	22	0,18
Resto de país	6	12	26	44	0,36
Total	65,0	28	29	122	-

Fuente: ODEPA, 2019c; ODEPA, 2019d.

Anexo XII. Distribución de la superficie regada por tipos de riego a nivel nacional y regional.

Regiones	Superficie Riego gravitacional (ha)	Superficie Aspersión tradicional (ha)	Superficie Carrete o pivote (ha)	Superficie Goteo o cinta (ha)	Superficie Micro aspersión y microjet (ha)	Total Superficie regada (ha)	Total superficie riego tecnificado (ha)	% Participación
Arica y Parinacota	8.993,5	29,0	0,0	2.015,6	139,0	11.177,1	2.183,7	0,71
Tarapacá	808,4	24,8	0,3	308,4	20,0	1.161,9	353,5	0,12
Antofagasta	2.301,0	27,3	0,2	17,7	0,6	2.346,8	45,8	0,01
Atacama	7.506,4	9,5	60,0	11.999,9	61,4	19.637,2	12.130,8	3,95
Coquimbo	38.541,4	273,1	897,9	35.008,5	1.097,7	75.818,5	37.277,1	12,13
Valparaíso	36.408,7	1.765,3	1.085,2	32.925,7	14.702,7	86.887,6	50.478,9	16,43
Metropolitana	91.875,4	881,5	3.022,7	38.079,4	4.834,8	138.693,8	46.818,4	15,24
O'Higgins	153.765,6	1.155,0	1.657,9	51.295,4	5.301,7	213.175,7	59.410,1	19,34
Maule	261.947,0	3.442,7	2.163,0	27.713,8	10.262,7	305.529,2	43.582,2	14,19
Ñuble	76.791,1	2.763,6	4.740,7	3.050,6	747,2	88.093	11.302,1	3,68
Biobío	67.720,2	3.215,5	6.758,5	2.426,3	382,5	80502,89	12.782,7	4,16
La Araucanía	33.425,0	9.407,6	2.906,8	3.615,6	751,6	50.106,7	16.681,6	5,43
Los Ríos	490,6	3.905,7	2.367,0	1.290,9	147,7	8.201,9	7.711,3	2,51
Los Lagos	78,1	2.180,7	826,2	1.376,5	9,9	4.471,4	4.393,3	1,43
Aysén	1.239,5	1.487,8	0,1	51,4	182,0	2.960,9	1.721,3	0,56
Magallanes	19.440,1	338,0	0,0	14,0	2,1	19.794,3	354,2	0,12
Total	801.332,0	30.907,1	26.486,6	211.189,8	38.643,6	1.108.559,1	307.227,1	-

Fuente: Yáñez, 2020b.

Anexo XIII. Distribución de plantas agroindustriales a nivel nacional.

Región	Conservas	Deshidratados	Congelados	Jugos	Aceites	Total	Participación respecto del total nacional (%)
Arica y Parinacota	2	0	0	0	0	2	0,01
Atacama	4	0	0	0	3	7	0,03
Coquimbo	7	1	0	3	6	17	0,07
Valparaíso	9	20	1	1	8	39	0,16
Metropolitana	9	32	9	5	7	62	0,25
O'Higgins	3	17	6	3	10	39	0,16
Maule	12	8	20	7	8	55	0,22
Ñuble y Biobío	3	3	5	0	1	12	0,05
La Araucanía	1	2	2	0	0	5	0,02
Los Ríos	0	1	2	1	0	4	0,02
Los Lagos	0	1	2	1	0	4	0,02
Total	50	85	47	21	43	246	-

Fuente: ODEPA, 2019a.

Anexo XIV. Exportaciones sector silvoagropecuario por rubro a nivel nacional.

Región	Valor exportaciones Agrícolas (Miles US)	Valor exportaciones Forestal (Miles US)	Valor exportaciones Pecuario (Miles US)	Total (Miles US)	Participación exportaciones respecto del total nacional (%)	Participación agrícola respecto del total nacional (%)
Arica y Parinacota	7.152	7	180	7.339	0,00	0,07
Tarapacá	2.880	67	1.697	4.644	0,00	0,03
Antofagasta	1.816	142	1.661	3.618	0,00	0,02
Atacama	180.287	-	143	180.430	1,10	1,74
Coquimbo	537.080	6.568	698	544.346	3,20	5,19
Valparaíso	1.318.521	3.606	72.539	1.394.666	8,30	12,74
Metropolitana	2.068.724	47.878	183.892	2.300.494	13,60	19,99
O'Higgins	3.425.520	9.277	799.570	4.234.367	25,100	33,10
Maule	1.934.247	348.111	96.387	2.378.746	14,10	18,69
Ñuble	110.052	605.372	132	715.556	4,20	1,06
Bíobío	356.071	3.149.262	59.512	3.564.845	21,10	3,44
La Araucanía	230.271	343.233	23.414	596.918	3,50	2,23
Los Ríos	60.502	385.924	45.394	491.820	2,90	0,58
Los Lagos	109.369	103.060	95.931	308.360	1,80	1,06
Aysén	4.997	-	444	5.440	0,00	0,05
Magallanes	571	1.385	72.254	74.210	0,40	0,01
Otras Operaciones	-	-	-	58.361	0,30	0,00
Total	10.348.058	5.003.891	1.453.850	16.864.160	100	100

Fuente: ODEPA, 2020a.

Anexo XV. Presencia de profesionales y técnicos INDAP a nivel nacional.

Región	Agencias/Oficinas Áreas INDAP	N° Agricultores Beneficiarios	Profesionales INDAP	Técnicos INDAP	N° Agricultores por profesionales o técnicos	Participación profesionales y técnicos regionales respecto del total nacional (%)
Arica y Parinacota	2	1.220	21	5	46,9	2,03
Tarapacá	1	1.220	15	4	64,2	1,48
Antofagasta	1	994	13	2	66,3	1,17
Atacama	2	1.358	20	6	52,2	2,03
Coquimbo	5	9.828	61	19	122,9	6,25
Valparaíso	10	8.638	77	17	91,9	7,34
Metropolitana	4	4.788	50	12	77,2	4,84
O'Higgins	10	11.740	77	22	118,6	7,73
Maule	11	19.715	126	22	133,2	11,55
Ñuble	9	10.603	20	9	365,6	2,26
Biobío	10	14.312	123	19	100,8	11,09
La Araucanía	24	45.844	178	32	218,3	16,39
Los Ríos	12	11.369	76	16	123,6	7,18
Los Lagos	16	20.849	115	49	127,1	12,80
Aysén	8	2.046	48	10	35,3	4,53
Magallanes	3	378	14	3	22,2	1,33
Total	128	164.902	1.034	247	-	100,00

Fuente: INDAP, 2020^a.

Anexo XVI. Umbrales y efectos del estrés térmicos en cultivos priorizados.

Cultivo	T° óptimas (°C)	T° Umbral de daño(°C)	Efectos
Papa	18 - 22	>22	Disminución de rendimientos a causa de la inhibición del crecimiento vegetativo y la baja calidad de los tubérculos
		>30	Descenso en el proceso de tuberización, cambios en la distribución de la acumulación de biomasa: baja el índice de cosecha al disminuir la biomasa en tubérculos y aumenta la biomasa aérea
Trigo	18 - 24	>24	Descenso del rendimiento de hasta 6% por cada °C que aumenta la temperatura, reduciendo el área foliar, la elongación y la densidad de las raíces
Avena	19 - 26	>26	Afecta el rendimiento e incrementa el consumo hídrico
Maíz	24 - 32	>32	Inhibición de la actividad fotosintética, reducción del ciclo fenológico y afectación al llenado de granos, reduciendo el rendimiento entre un 54% y 74% cuando las temperaturas extremas son continuas por un período de 8 o más días
Lenteja	18 - 24	>30	Incrementan el gasto respiratorio, disminuyendo el peso de las semillas y afectando al rendimiento
Arvejas	15 - 20	>35	Se inhibe el desarrollo, disminuye el período de floración y favorece la senescencia del cultivo
Poroto	20 - 26	>24	Aceleración de la maduración de los frutos e inducción del déficit hídrico de forma drástica a causa del aumento de las necesidades de evapotranspiración del cultivo
Tomate	20 - 24	>35	La germinación de las semillas decrece sobre un 54%, se afecta la viabilidad del polen provocando efectos sobre la fertilización de frutos, aborto floral, cuaje de frutos y se origina una menor producción de follaje, obteniendo frutos más pequeños, por tanto, provoca pérdidas de rendimiento Sobre los 36° a 40°C la germinación de las semillas se inhibe y en estados más desarrollados de la planta se detiene la floración y ocurre la senescencia del cultivo
Lechuga	14 - 18	>18	Se provocan desordenes fisiológicos, tales como: enanismo, asociado al bajo desarrollo del follaje, y floración temprana con emisión de tallos florales altos y débiles
Cilantro	15 - 18	>27	Se acorta el ciclo vegetativo y disminuye la biomasa aérea
Vid	18 - 24	>24	Reducción de la concentración de azúcares en el mosto y aumento de la demanda hídrica en un 40%
Frambuesa	18 - 24	>24	Reducción de la materia seca, baja de rendimientos y cambios en la fenología
Cerezo	18 - 24	>24	Alteraciones importantes desde floración hasta cosecha, afectando al cuajado y la calidad del fruto y a los tiempos de cosecha
Nogal	20 - 30	>38	Defoliación parcial de la planta, quemaduras y deshidratación de los frutos y pérdidas productivas
Manzano	18 - 24	>30	Problemas productivos a nivel de la epidermis de los frutos, por el cierre de estomas, disminuyendo la tasa fotosintética, afectando la floración, el cuaje de los frutos y el rendimiento

Fuente: Elaborado a partir de CIREN, 1982; CIREN, 1989; Van Dam et al., 1996; Loewe y González, 2001; Hernández, 2003; Faiguenbaum, 2003; Galindo y Clavijo, 2009; Cárdenas et al., 2014; Hancock et al., 2014; Merlet et al., 2016a; Merlet et al., 2016b; Allende et al., 2017; Argente et al., 2017; Baudoin et al., 2017; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; CIREN, 2017a; CIREN, 2017b; CIREN, 2017c; CIREN, 2017d; CIREN, 2017e; CIREN, 2017f; CIREN, 2017g; CIREN, 2017h; CIREN, 2017i; CIREN, 2017j; Leiva et al., 2017; Martínez, 2017; Muñoz et al., 2017; Uribe y Morales, 2017; Ruiz, 2019; Cordero et al., 2020.

Anexo XVII. Efectos del déficit hídrico en cultivos priorizados.

Cultivo	Período crítico	Efectos
Papa	Etapas de tuberización y llenado de tubérculos	Disminución en el número y tamaño de los tubérculos cuando esta restricción se presenta en el período de crecimiento, pudiendo afectar entre un 43% a 96% el rendimiento, dependiendo del cultivar y el nivel de deficiencia de agua. Pérdidas no solo son de rendimientos, sino, también de la calidad del tubérculo producido
Trigo	30 días antes y 10 días después de la antesis	Descenso del polen fértil y la interferencia en el crecimiento de la espiga, afectando el número de granos y el peso de ellos por espiga y, por lo tanto, reduciendo el rendimiento sobre un 15%
Avena	Floración	Tolera hasta un 40% del estrés y afecta la formación del número de granos y el peso de ellos, como también así, en la pérdida de turgencia Cuando el déficit hídrico se produce en la etapa vegetativa del maíz, la disminución de la biomasa puede ser de 28% a 32%
Maíz	Floración – llenado de granos	Existen problemas en la liberación del polen y la emergencia de los estigmas, ocasionando dificultades en la polinización y limitaciones en la determinación del número de granos, originando reducción de la biomasa de 23% a 36% y el rendimiento puede decrecer entre un 21% a 40%
Lenteja	Floración	
Arvejas	Floración	Inducción del aborto de flores o vainas, inhibe el llenado de granos, y disminuye su número y tamaño por vaina, originando un descenso en los rendimientos
Poroto	Floración	
Tomate	Floración	Limitaciones en la expansión foliar y en el crecimiento radicular, también disminuye la biomasa aérea e inhibe el crecimiento Con déficit superior a 60% el rendimiento disminuye sobre el 50%
Lechuga	Desde 35 después de trasplante	Cuando la restricción es sobre el 50% el cultivo no es capaz de recuperarse, impidiendo obtener rendimientos comerciales
Cilantro	*	Con un déficit de 30% experimenta un descenso en el número de hojas basales y en el diámetro del tallo, disminuyendo el rendimiento sobre el 40%
Vid	Desde brotación a floración y desde cuaja a crecimiento del fruto	Lenta e irregular brotación, floración desuniforme, bayas pequeñas y rendimientos bajos
Frambuesa	Floración - cuaje	Disminución del tamaño foliar, la reducción de la tasa fotosintética, del crecimiento y del rendimiento final
Cerezo	Entre el crecimiento del fruto y la cosecha	Reducción de rendimiento
Nogal	Desde floración hasta el endurecimiento de la cáscara	Afecta al crecimiento de los árboles, disminución de la producción y afectación en la calidad del fruto
Manzano	Desde cuaja a antes de cosecha	Problemas en la calidad de la fruta a causa de desórdenes fisiológicos como el corazón acuoso y el “ <i>bitter pit</i> ”, todos ellos asociados al estrés por restricción hídrica

Fuente: Elaborado a partir de INIA, 1998; Faiguenbaum, 2003; Mane et al., 2008; Street et al., 2008; López-López et al., 2009; Ferreyra et al., 2010; Marín, 2010; Molina-Montenegro et al., 2011; Giménez, 2012; Cárdenas et al., 2014; Dellacaná et al., 2014; Florido y Bao, 2014; Mejía et al., 2014; Ortega, 2015; Díaz, 2016; Pino, 2016; Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; Tarqui, 2017; Saavedra et al., 2017; Lobos, 2019; López-Olivari et al., 2019; Zhong et al., 2019; Cordero et al., 2020.

Anexo XVIII. Efectos de las heladas en cultivos priorizados.

Cultivo	T° críticas	Efectos
Papa	< -2,5	La ocurrencia de una helada entre el período de emergencia y floración podría reducir los rendimientos entre un 30% a 80%
Trigo	Invernales: -12 y -20 Primaverales: -6 a -10	Daños en polen y estigma, esterilidad floral, abscisión de espiguillas y reducción de rendimiento
Avena	<1	Origina efectos irreversibles en el rendimiento y hasta la muerte del cultivo
Maíz	<5	Se incrementa su susceptibilidad desde 4 o más hojas desarrolladas, en donde puede llegar a ocasionar la muerte de la planta
Lenteja	<-5	Su susceptibilidad aumenta cuando las temperaturas decrecen en período de floración y formación de los granos
Arvejas	<-7 y 5	El desarrollo desciende y cercano a madurez las vainas se deterioran si existe un período con menos de -2°C
Poroto	<0	No tolera las heladas en ninguna etapa de su desarrollo
Tomate	<10	Problemas con la floración y deformidades en la planta y el fruto
Lechuga	<12	Se detiene el crecimiento
Cilantro	<10	Se interrumpe el desarrollo y se detiene la floración
Vid	<-22	Daño irreversible en las yemas, provocando mermas importantes en los rendimientos
Frambuesa	<0,7	Origina daños en la formación del fruto, pérdidas de rendimiento y bajas de la calidad de la frambuesa
Cerezo	<-8	Cuando las temperaturas descienden de 1,5°C ocasionan la formación de hielos en las células, necrosis de los tejidos, deshidratación y deformaciones de frutos
Nogal	<-2	Problemas en cuaje, formación y calidad de los frutos y mermas de rendimiento
Manzano	<-2	Problemas en cuaje, formación y calidad de los frutos y mermas de rendimiento

Fuente: Elaborado a partir de CIREN, 1989; Faiguenbaum, 2003; Dami, 2007; IICA, 2007; Tassara, 2007; Ruiz y Jeldres, 2008; Coma, 2009; Robles et al., 2012; Chang et al., 2014; Bravo et al., 2016; Pino y Chen, 2016; Allende et al., 2017; CIREN, 2017c; CIREN, 2017i; CIREN, 2017j; CIREN, 2017g; Saavedra et al., 2017; Rodríguez et al., 2018; Arribillaga, 2020; Reyes y Salazar-Parra, 2020.

APÉNDICES

Apéndice I. Agotamiento de humedad en la zona radicular (Dr) por cultivo y comuna de la Región del Biobío

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	71,8	135,5	125,0	108,2	60,8	94,0	90,3	126,8	51,7	35,2	102,1	69,0	132,6	138,7	126,8
Antuco	61,5	129,1	128,5	111,2	60,9	90,2	77,6	115,9	51,7	35,1	173,2	69,2	167,5	139,3	169,5
Arauco	69,3	128,5	119,1	93,5	61,4	60,7	65,9	72,6	24,9	24,4	103,3	95,3	133,1	141,7	128,6
Cabrero	70,6	131,2	140,1	112,8	74,2	73,7	70,8	92,4	24,8	17,1	124,7	83,8	162,0	166,8	153,6
Cañete	84,4	153,3	145,0	125,4	73,0	112,0	73,1	102,0	40,7	17,8	127,0	102,6	163,9	174,3	232,9
Chiguayante	30,9	88,3	88,3	72,1	47,3	46,6	45,8	55,8	16,0	11,2	79,7	53,5	102,4	109,4	99,1
Concepción	49,0	140,9	140,9	114,5	75,2	74,3	72,5	88,3	24,1	17,7	126,6	85,0	163,2	172,4	157,0
Contulmo	86,4	141,4	172,0	115,0	75,5	104,5	86,5	139,8	56,8	35,2	126,9	85,6	239,2	173,9	239,2
Coronel	42,4	88,3	88,3	87,4	47,2	62,2	45,7	82,0	15,8	11,2	79,5	53,5	102,4	169,4	149,5
Curanilahue	77,4	140,2	109,3	114,5	75,2	74,4	107,6	153,6	23,8	24,0	126,5	85,2	239,2	172,5	239,2
Florida	20,6	76,5	68,8	71,3	50,1	65,6	59,9	54,6	14,3	10,9	114,7	53,1	133,4	106,2	149,5
Hualpén	49,3	141,2	141,2	115,1	75,5	74,5	73,1	89,0	25,3	17,9	127,2	85,4	163,6	174,2	158,2
Hualqui	46,4	88,1	88,1	71,5	47,0	51,4	45,3	55,2	14,9	11,3	79,0	77,0	102,0	163,8	98,0
Laja	62,4	173,1	181,4	133,4	74,3	107,8	84,2	128,7	21,1	19,8	218,3	110,6	223,2	261,5	239,1
Lebu	52,3	95,1	88,4	72,1	47,3	61,9	54,7	72,6	29,5	17,1	79,6	53,7	102,6	109,5	99,2
Los Álamos	53,8	99,5	104,1	94,0	47,1	73,4	67,6	96,1	28,1	15,5	79,2	53,4	102,3	108,3	149,5
Los Ángeles	19,6	-56,7	79,2	56,4	35,7	39,6	42,6	57,4	11,1	10,4	109,8	42,0	112,4	103,6	76,8
Lota	31,0	88,4	88,4	72,1	47,3	46,7	45,9	56,1	15,9	11,2	79,7	53,6	102,5	109,6	99,3
Mulchén	76,0	140,8	140,6	113,5	99,9	113,8	71,5	87,6	25,3	39,7	125,1	84,6	162,7	252,5	154,9
Nacimiento	7,1	62,1	-4,1	80,2	46,6	46,3	46,9	84,3	33,3	22,2	149,3	52,7	111,1	169,4	131,7
Negrete	33,7	70,2	79,7	65,6	37,1	50,2	35,4	62,0	19,9	14,1	62,3	42,0	81,1	131,7	119,6

(Continúa)

(Continuación Apéndice I)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Penco	87,3	141,1	141,1	136,5	75,4	118,1	87,7	130,1	31,1	17,8	127,0	85,3	163,5	173,5	157,7
Quilaco	55,3	149,9	142,5	138,0	74,7	74,3	71,8	134,4	51,8	17,3	125,4	92,6	163,0	170,0	155,6
Quilleco	78,8	140,8	140,5	127,1	74,5	103,5	94,4	112,4	40,8	38,9	125,1	84,5	162,6	168,8	154,8
San Pedro de la Paz	49,5	141,3	141,4	115,5	75,8	74,6	73,5	89,5	27,4	18,1	127,8	85,7	163,9	175,7	159,1
San Rosendo	46,7	87,8	87,8	83,7	46,6	52,1	44,6	58,3	13,8	10,8	116,7	73,1	139,1	169,4	149,4
Santa Bárbara	64,7	148,7	159,5	113,7	74,6	108,8	97,1	128,7	50,4	33,0	125,3	84,7	162,9	258,0	155,4
Santa Juana	43,3	46,1	88,0	84,4	64,3	51,9	58,8	53,9	14,6	11,0	134,5	53,0	101,9	169,6	127,0
Talcahuano	49,3	141,1	141,2	115,2	75,6	74,5	73,2	89,0	26,0	17,9	127,4	85,4	163,7	174,6	158,4
Tirúa	85,7	167,4	171,5	150,2	75,9	113,9	111,7	130,0	32,8	24,5	127,6	126,6	164,6	176,6	239,2
Tomé	57,3	156,3	156,8	114,6	75,2	105,8	72,6	88,9	24,4	17,7	206,0	85,0	163,2	172,5	239,4
Tucapel	59,7	114,5	131,3	92,3	60,6	91,7	58,2	110,9	45,7	14,0	101,9	68,8	194,4	137,7	126,2
Yumbel	44,5	86,9	87,9	60,9	39,8	51,5	35,7	43,5	11,0	8,7	113,9	60,1	91,1	84,3	77,4

Apéndice II. Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico de los cultivos priorizados por comuna en el período actual.

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,35	0,36	0,52	0,66	0,68	0,63	0,65
Antuco	0,51	0,74	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,35	0,36	0,52	0,67	0,68	0,63	0,65
Arauco	0,52	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Cabrero	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Cañete	0,52	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,38	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Chiguayante	0,52	0,74	0,74	0,72	0,68	0,58	0,61	0,56	0,40	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Concepción	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,38	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Contulmo	0,52	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,38	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Coronel	0,51	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Curanilahue	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,37	0,37	0,53	0,67	0,68	0,63	0,65
Florida	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,36	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Hualpén	0,51	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Hualqui	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,37	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Laja	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64
Lebu	0,52	0,74	0,74	0,72	0,68	0,58	0,61	0,56	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Los Álamos	0,51	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,38	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Los Ángeles	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,32	0,36	0,52	0,66	0,68	0,61	0,64
Lota	0,52	0,74	0,74	0,72	0,68	0,58	0,61	0,56	0,40	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Mulchén	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,33	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Nacimiento	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Negrete	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,32	0,35	0,52	0,66	0,68	0,61	0,64
Penco	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,61	0,55	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66

(Continúa)

(Continuación Apéndice II)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Quilaco	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,63	0,65
Quilleco	0,51	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,60	0,55	0,33	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
San Pedro de la Paz	0,52	0,74	0,74	0,72	0,68	0,58	0,61	0,56	0,43	0,38	0,53	0,67	0,68	0,65	0,66
San Rosendo	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,54	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Santa Bárbara	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Santa Juana	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,37	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Talcahuano	0,51	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,41	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Tirúa	0,52	0,74	0,74	0,72	0,68	0,59	0,61	0,57	0,40	0,37	0,53	0,67	0,69	0,65	0,66
Tomé	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,38	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Tucapel	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Yumbel	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,59	0,54	0,34	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64

Apéndice III. Fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico de los cultivos priorizados por comuna en el período proyectado (2046-2065).

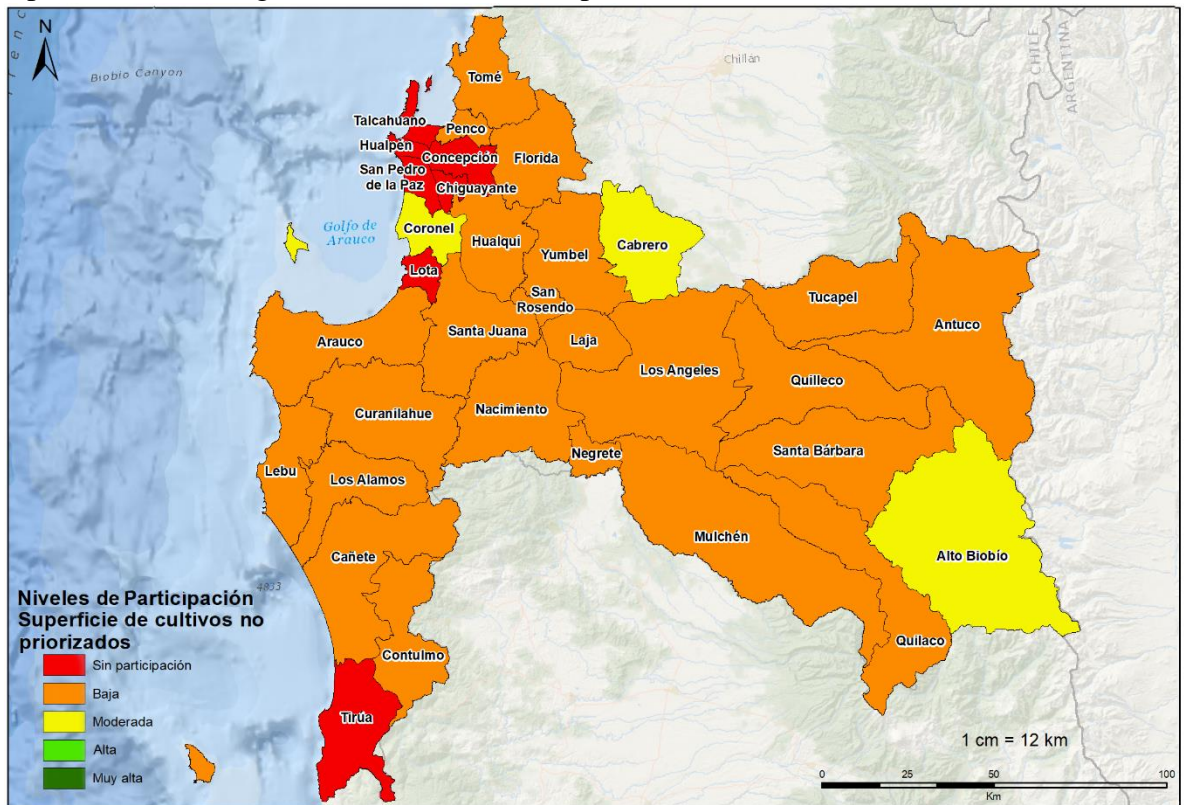
Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64
Antuco	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64
Arauco	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,37	0,37	0,53	0,67	0,68	0,63	0,65
Cabrero	0,49	0,73	0,72	0,70	0,65	0,57	0,58	0,53	0,32	0,36	0,52	0,65	0,67	0,60	0,63
Cañete	0,51	0,74	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,36	0,37	0,53	0,67	0,68	0,63	0,65
Chiguayante	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,61	0,55	0,39	0,37	0,53	0,66	0,68	0,64	0,66
Concepción	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,54	0,37	0,37	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Contulmo	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,36	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Coronel	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,38	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Curanilahue	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,36	0,36	0,52	0,66	0,68	0,63	0,65
Florida	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,35	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Hualpén	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,60	0,55	0,39	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Hualqui	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,60	0,54	0,36	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,65
Laja	0,49	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,58	0,53	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,60	0,63
Lebu	0,52	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,37	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Los Álamos	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,36	0,36	0,52	0,66	0,68	0,63	0,65
Los Ángeles	0,49	0,73	0,72	0,70	0,65	0,57	0,58	0,53	0,32	0,35	0,52	0,65	0,67	0,60	0,63
Lota	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,61	0,55	0,38	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Mulchén	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Nacimiento	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Negrete	0,49	0,73	0,72	0,70	0,65	0,57	0,58	0,53	0,32	0,35	0,52	0,65	0,67	0,60	0,63
Penco	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,38	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65

(Continúa)

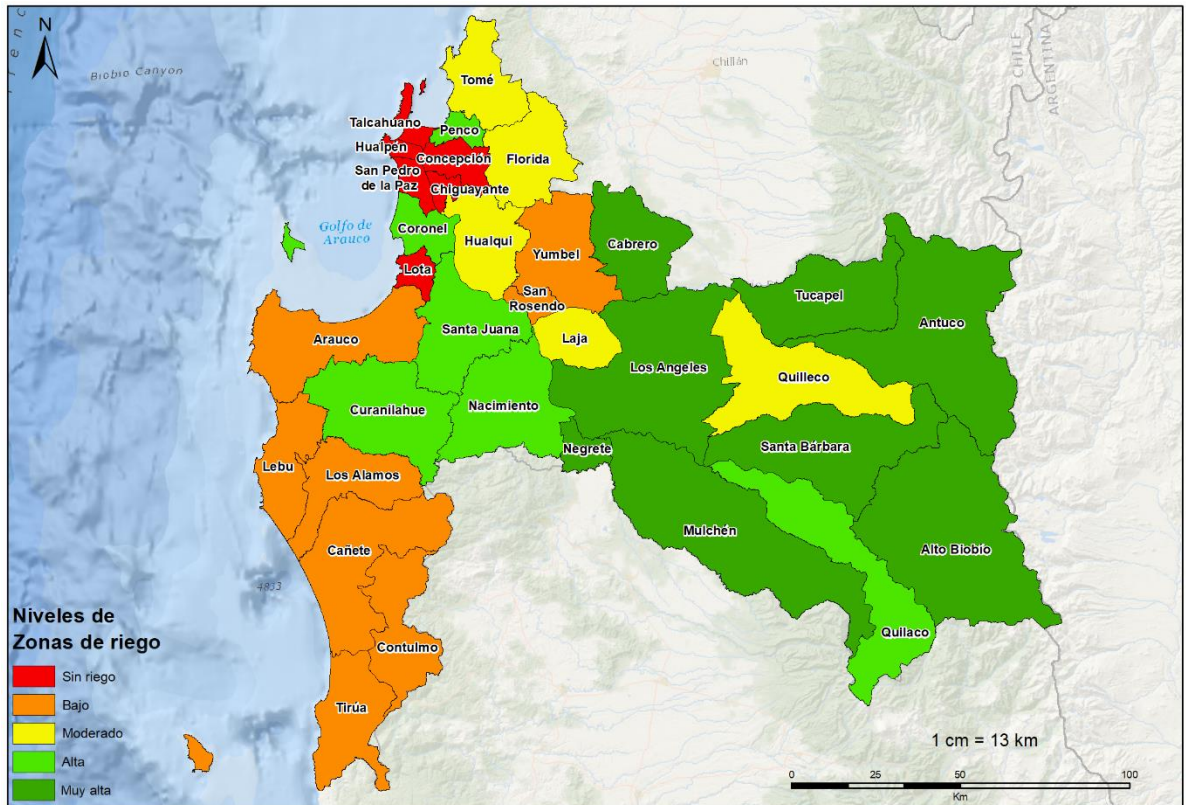
(Continuación Apéndice III)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Quilaco	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,57	0,59	0,54	0,32	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64
Quilleco	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
San Pedro de la Paz	0,51	0,73	0,73	0,72	0,67	0,58	0,61	0,55	0,41	0,37	0,53	0,66	0,68	0,64	0,66
San Rosendo	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,34	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Santa Bárbara	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Santa Juana	0,50	0,73	0,73	0,71	0,66	0,58	0,59	0,54	0,35	0,36	0,52	0,66	0,68	0,62	0,64
Talcahuano	0,51	0,73	0,73	0,71	0,67	0,58	0,60	0,55	0,39	0,37	0,53	0,66	0,68	0,63	0,65
Tirúa	0,52	0,74	0,74	0,72	0,67	0,58	0,61	0,56	0,39	0,37	0,53	0,67	0,68	0,64	0,66
Tomé	0,50	0,73	0,73	0,71	0,67	0,57	0,60	0,54	0,37	0,37	0,53	0,66	0,68	0,62	0,65
Tucapel	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,54	0,33	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64
Yumbel	0,50	0,73	0,73	0,70	0,66	0,57	0,59	0,53	0,34	0,36	0,52	0,65	0,67	0,61	0,64

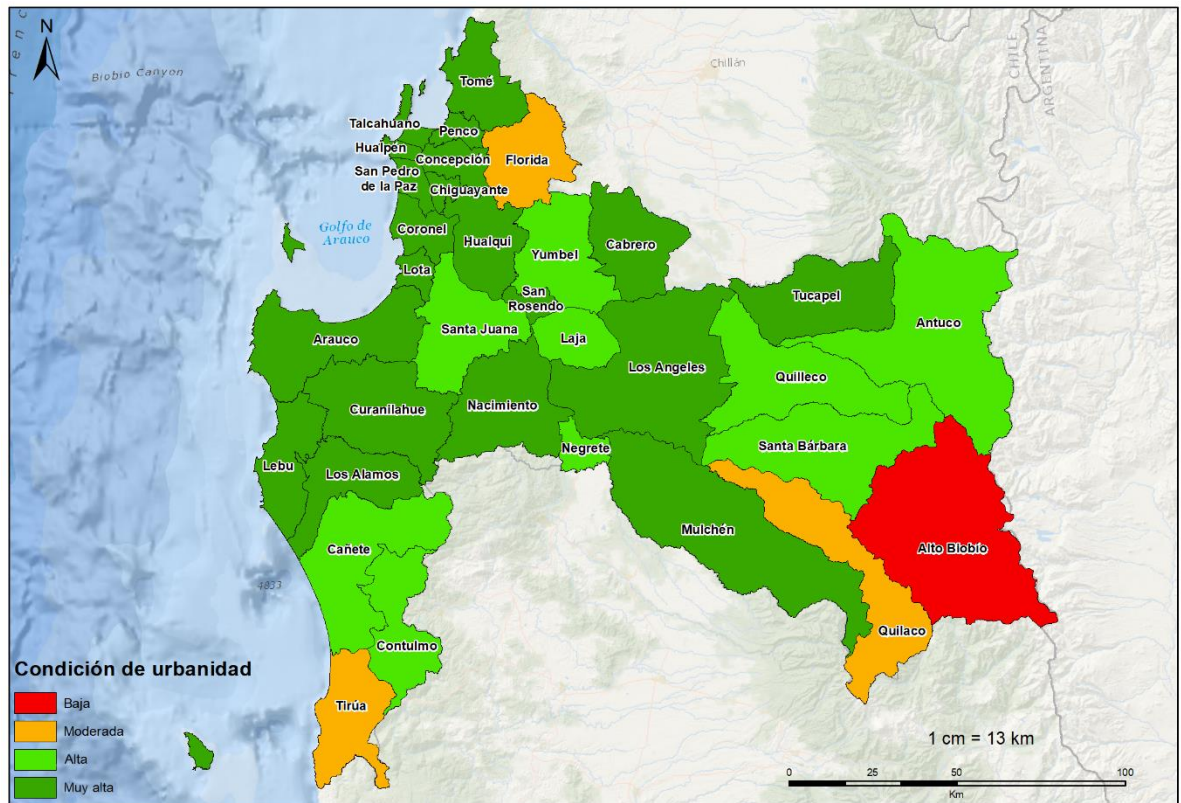
Apéndice IV. Cartografía del indicador de superficie cultivada.



Apéndice V. Cartografía del indicador zona de riego.



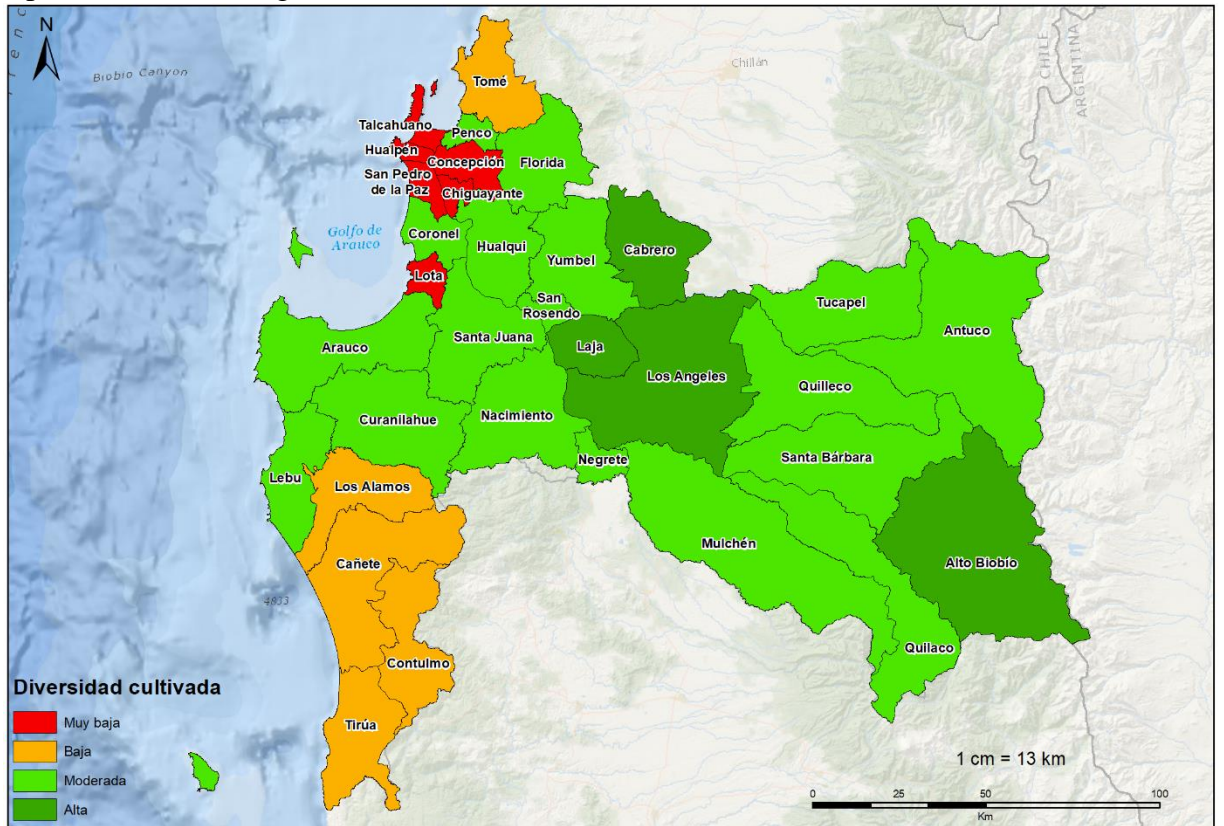
Apéndice VI. Cartografía del indicador de condición de urbanidad.



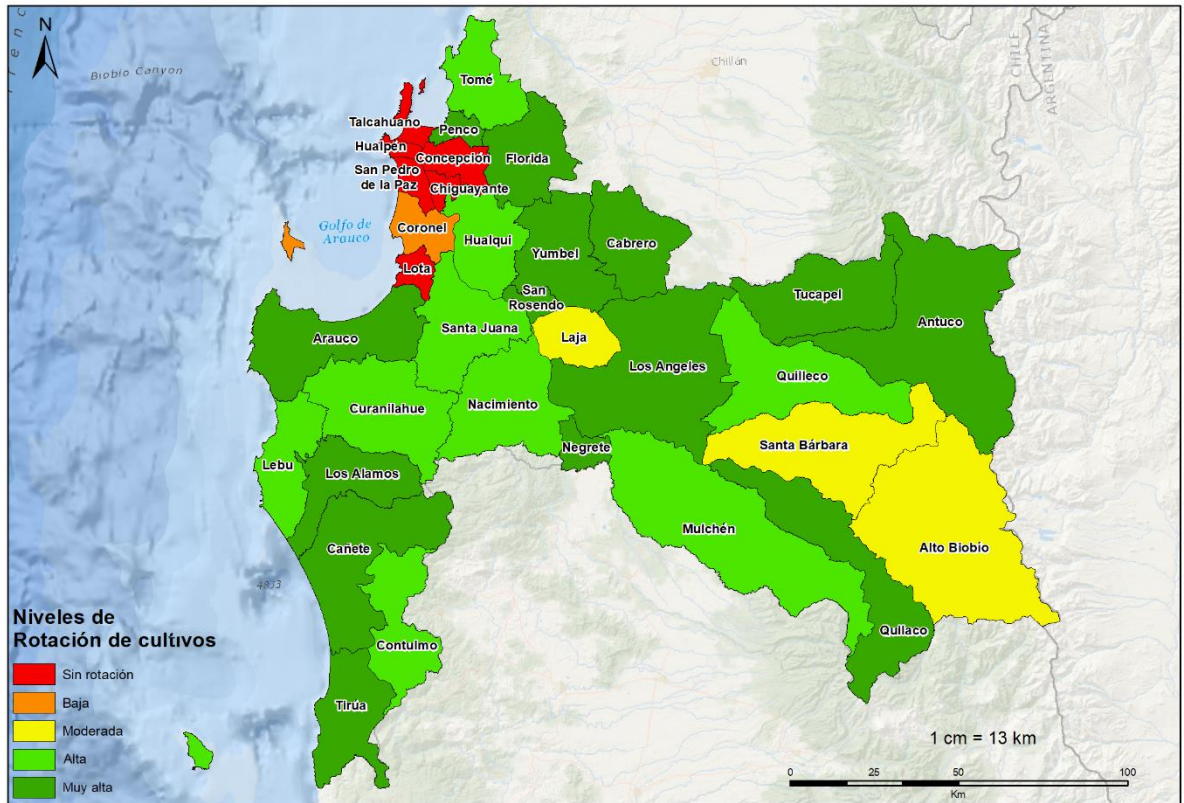
Apéndice VII. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición en los territorios agrícolas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador superficie cultivada	Indicador Zona de riego	Indicador Condición de urbanidad	Componente Exposición
Alto Biobío	0,67	0,96	0,00	0,54
Antuco	0,89	0,84	0,51	0,75
Arauco	0,91	0,18	0,75	0,61
Cabrero	0,58	0,95	0,75	0,76
Cañete	0,98	0,08	0,56	0,54
Chiguayante	0,00	0,00	1,00	0,33
Concepción	0,00	0,00	0,98	0,33
Contulmo	0,94	0,13	0,51	0,53
Coronel	0,71	0,74	0,97	0,81
Curanilahue	0,89	0,53	0,93	0,78
Florida	0,95	0,25	0,43	0,54
Hualpén	0,00	0,00	0,99	0,33
Hualqui	0,86	0,41	0,86	0,71
Laja	0,78	0,33	0,72	0,61
Lebu	0,99	0,09	0,92	0,67
Los Álamos	0,97	0,05	0,89	0,64
Los Ángeles	0,86	0,90	0,75	0,84
Lota	0,00	0,00	1,00	0,33
Mulchén	0,75	0,85	0,82	0,81
Nacimiento	0,87	0,56	0,88	0,77
Negrete	0,93	0,85	0,62	0,80
Penco	0,85	0,71	0,99	0,85
Quilaco	0,96	0,56	0,47	0,66
Quilleco	0,90	0,46	0,58	0,65
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	1,00	0,33
San Rosendo	0,93	0,13	0,85	0,64
Santa Bárbara	0,82	0,91	0,58	0,77
Santa Juana	0,94	0,70	0,70	0,78
Talcahuano	0,00	0,00	0,99	0,33
Tirúa	1,00	0,01	0,36	0,46
Tomé	0,96	0,28	0,90	0,71
Tucapel	0,83	0,88	0,84	0,85
Yumbel	0,90	0,15	0,60	0,55

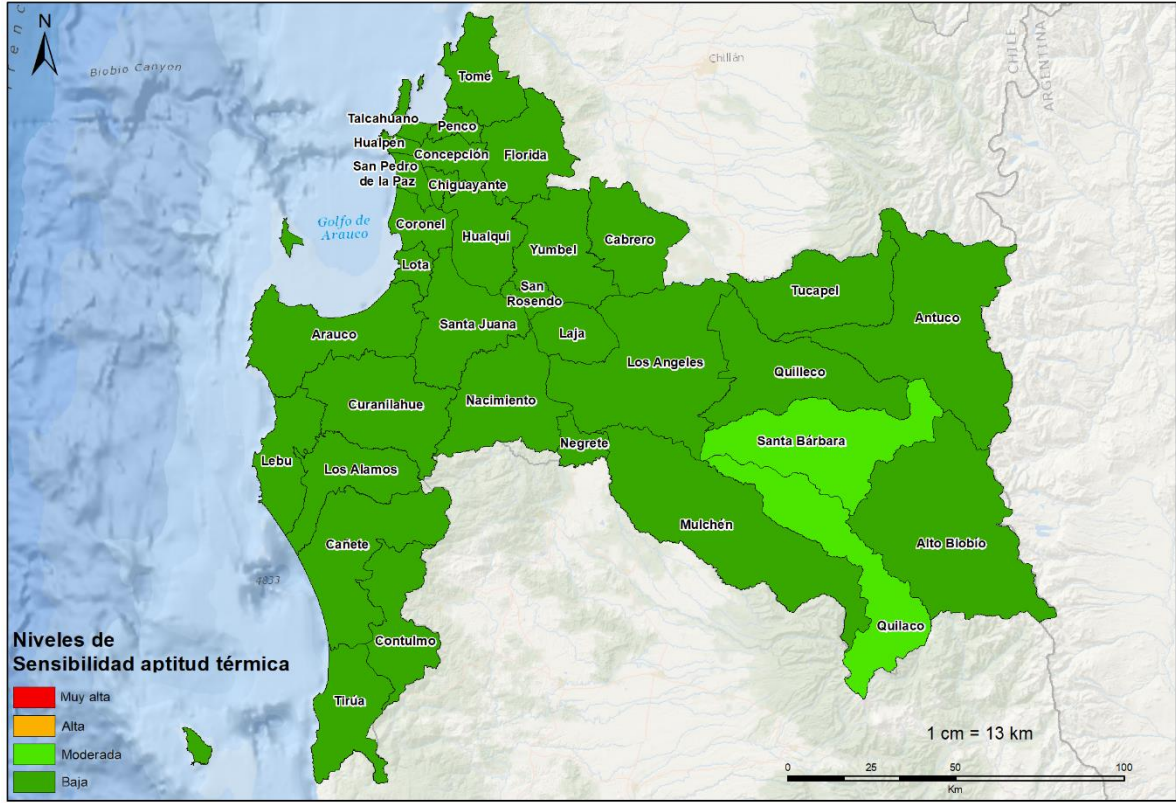
Apéndice VIII. Cartografía del indicador de diversidad cultivada.



Apéndice IX. Cartografía del indicador rotación de cultivos.



Apéndice X. Cartografía del indicador de sensibilidad de aptitud térmica.



Apéndice XI. Acumulación de días grados (DG) actual para los cultivos priorizados en cada comuna de la Región del Biobío.

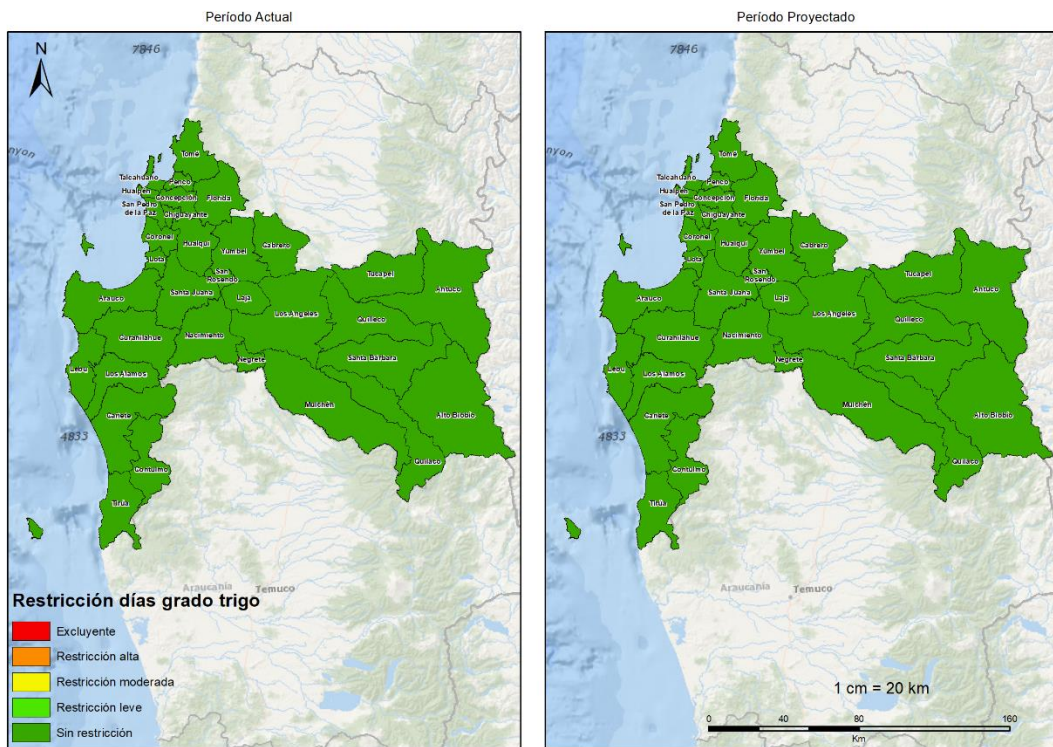
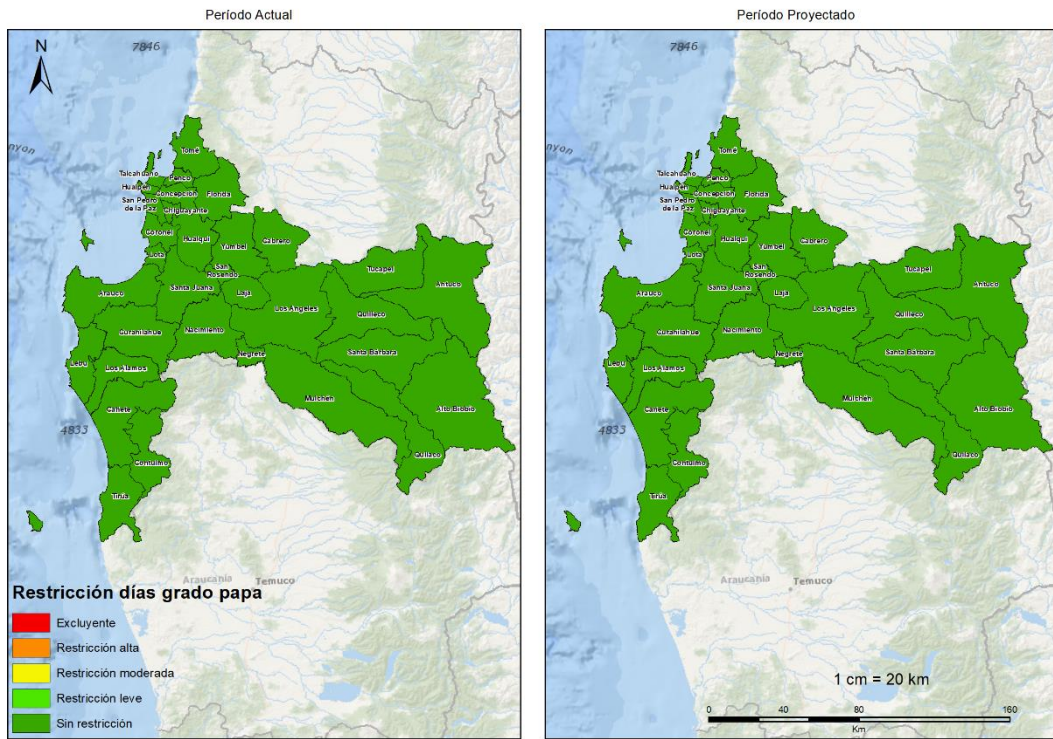
Comuna	Papa (DG)	Trigo (DG)	Avena (DG)	Maíz (DG)	Lenteja (DG)	Arvejas (DG)	Poroto (DG)	Tomate (DG)	Lechuga (DG)	Cilantro (DG)	Vid (DG)	Frambueso (DG)	Cerezo (DG)	Nogal (DG)	Manzano (DG)
Alto Biobío	738,6	1.833,6	1.833,6	0,0	1.468,6	1.468,6	0,0	0,0	1.103,6	0,0	0,0	0,0	738,6	0,0	0,0
Antuco	940,1	2.035,1	2.035,1	0,0	1.670,1	1.670,1	0,0	0,0	1.305,1	0,0	0,0	0,0	940,1	0,0	940,1
Arauco	2.060,3	3.155,3	3.155,3	965,3	2.790,3	2.790,3	965,3	965,3	2.425,3	965,3	965,3	965,3	2.060,3	965,3	2.060,3
Cabrero	2.754,2	3.849,2	3.849,2	1.659,2	3.484,2	3.484,2	1.659,2	1.659,2	3.119,2	1.659,2	1.659,2	1.659,2	2.754,2	1.659,2	2.754,2
Cañete	2.031,8	3.126,8	3.126,8	936,8	2.761,8	2.761,8	936,8	936,8	2.396,8	936,8	936,8	936,8	2.031,8	936,8	2.031,8
Chiguayante	1.960,0	3.055,0	3.055,0	865,0	2.690,0	2.690,0	865,0	865,0	2.325,0	865,0	865,0	865,0	1.960,0	865,0	1.960,0
Concepción	2.244,2	3.339,2	3.339,2	1.149,2	2.974,2	2.974,2	1.149,2	1.149,2	2.609,2	1.149,2	1.149,2	1.149,2	2.244,2	1.149,2	2.244,2
Contulmo	2.127,1	3.222,1	3.222,1	1.032,1	2.857,1	2.857,1	1.032,1	1.032,1	2.492,1	1.032,1	1.032,1	1.032,1	2.127,1	1.032,1	2.127,1
Coronel	2.006,1	3.101,1	3.101,1	911,1	2.736,1	2.736,1	911,1	911,1	2.371,1	911,1	911,1	911,1	2.006,1	911,1	2.006,1
Curanilahue	2.302,3	3.397,3	3.397,3	1.207,3	3.032,3	3.032,3	1.207,3	1.207,3	2.667,3	1.207,3	1.207,3	1.207,3	2.302,3	1.207,3	2.302,3
Florida	2.563,3	3.658,3	3.658,3	1.468,3	3.293,3	3.293,3	1.468,3	1.468,3	2.928,3	1.468,3	1.468,3	1.468,3	2.563,3	1.468,3	2.563,3
Hualpén	1.910,0	3.005,0	3.005,0	815,0	2.640,0	2.640,0	815,0	815,0	2.275,0	815,0	815,0	815,0	1.910,0	815,0	1.910,0
Hualqui	2.327,4	3.422,4	3.422,4	1.232,4	3.057,4	3.057,4	1.232,4	1.232,4	2.692,4	1.232,4	1.232,4	1.232,4	2.327,4	1.232,4	2.327,4
Laja	2.721,1	3.816,1	3.816,1	1.626,1	3.451,1	3.451,1	1.626,1	1.626,1	3.086,1	1.626,1	1.626,1	1.626,1	2.721,1	1.626,1	2.721,1
Lebu	1.984,7	3.079,7	3.079,7	889,7	2.714,7	2.714,7	889,7	889,7	2.349,7	889,7	889,7	889,7	1.984,7	889,7	1.984,7
Los Álamos	2.191,9	3.286,9	3.286,9	1.096,9	2.921,9	2.921,9	1.096,9	1.096,9	2.556,9	1.096,9	1.096,9	1.096,9	2.191,9	1.096,9	2.191,9
Los Ángeles	2.602,4	3.697,4	3.697,4	1.507,4	3.332,4	3.332,4	1.507,4	1.507,4	2.967,4	1.507,4	1.507,4	1.507,4	2.602,4	1.507,4	2.602,4
Lota	2.001,9	3.096,9	3.096,9	906,9	2.731,9	2.731,9	906,9	906,9	2.366,9	906,9	906,9	906,9	2.001,9	906,9	2.001,9
Mulchén	1.808,9	2.903,9	2.903,9	713,9	2.538,9	2.538,9	713,9	713,9	2.173,9	713,9	713,9	713,9	1.808,9	713,9	1.808,9
Nacimiento	2.586,0	3.681,0	3.681,0	1.491,0	3.316,0	3.316,0	1.491,0	1.491,0	2.951,0	1.491,0	1.491,0	1.491,0	2.586,0	1.491,0	2.586,0
Negrete	2.595,4	3.690,4	3.690,4	1.500,4	3.325,4	3.325,4	1.500,4	1.500,4	2.960,4	1.500,4	1.500,4	1.500,4	2.595,4	1.500,4	2.595,4
Penco	2.126,6	3.221,6	3.221,6	1.031,6	2.856,6	2.856,6	1.031,6	1.031,6	2.491,6	1.031,6	1.031,6	1.031,6	2.126,6	1.031,6	2.126,6
Quilaco	1.212,4	2.307,4	2.307,4	117,4	1.942,4	1.942,4	117,4	117,4	1.577,4	117,4	117,4	117,4	1.212,4	117,4	1.212,4
Quilleco	1.962,4	3.057,4	3.057,4	867,4	2.692,4	2.692,4	867,4	867,4	2.327,4	867,4	867,4	867,4	1.962,4	867,4	1.962,4
San Pedro de la Paz	1.759,4	2.854,4	2.854,4	664,4	2.489,4	2.489,4	664,4	664,4	2.124,4	664,4	664,4	664,4	1.759,4	664,4	1.759,4

(Continúa)

(Continuación Apéndice XI)

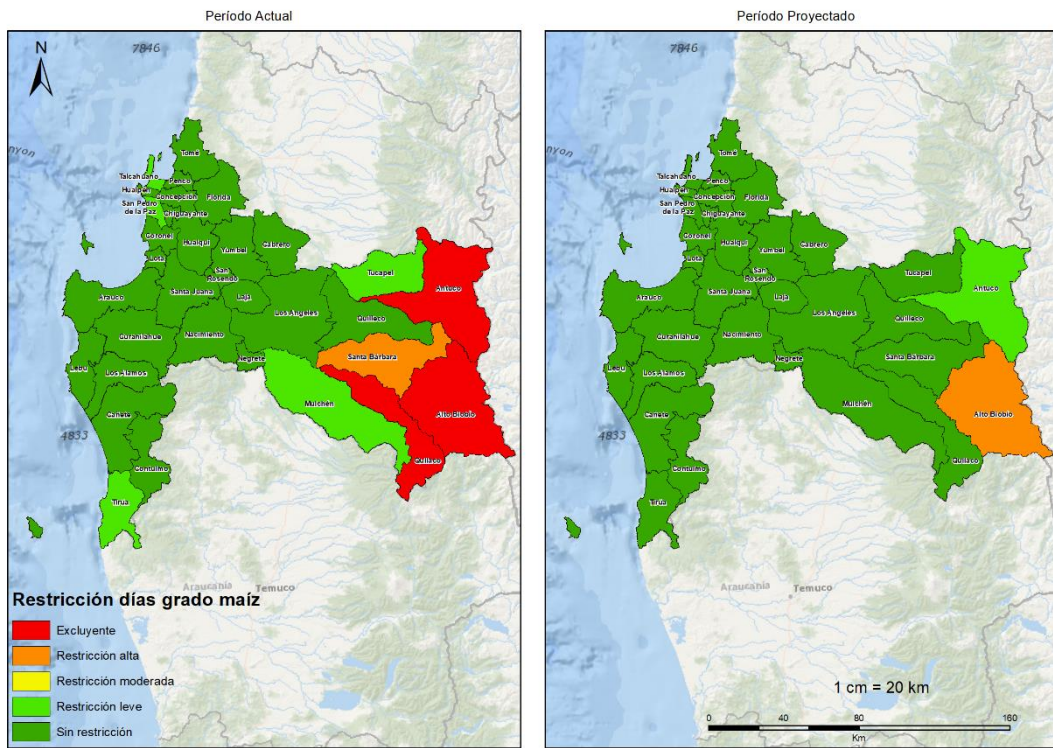
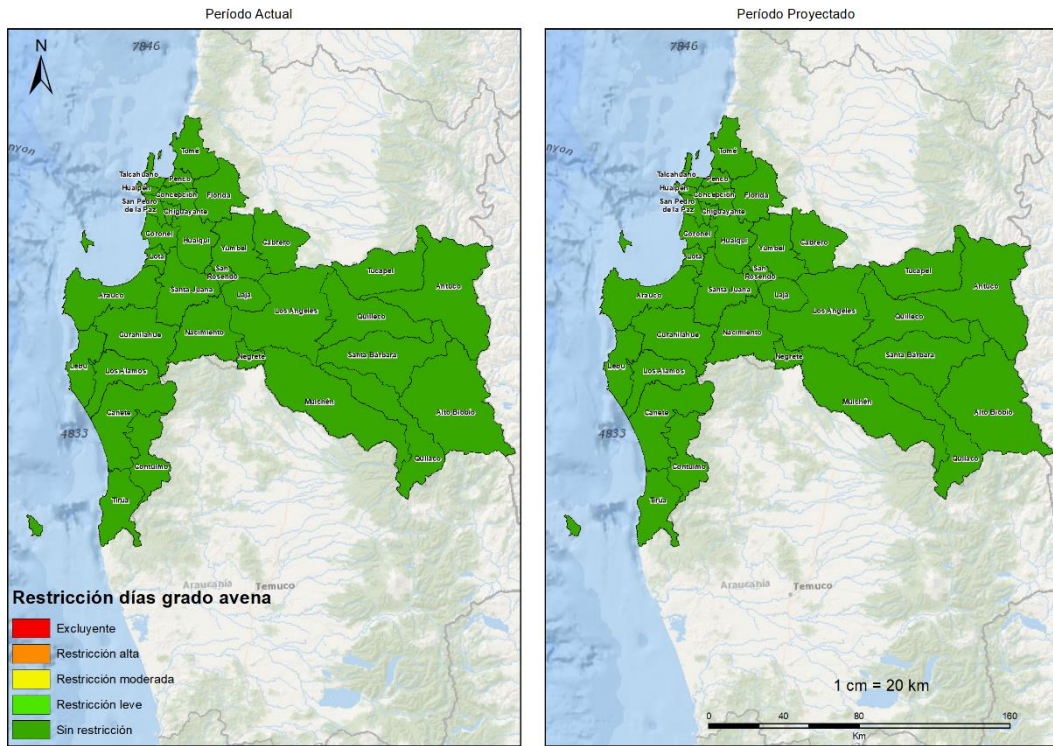
Comuna	Papa (DG)	Trigo (DG)	Avena (DG)	Maíz (DG)	Lenteja (DG)	Arvejas (DG)	Poroto (DG)	Tomate (DG)	Lechuga (DG)	Cilantro (DG)	Vid (DG)	Frambueso (DG)	Cerezo (DG)	Nogal (DG)	Manzano (DG)
San Rosendo	2.657,8	3.752,8	3.752,8	1.562,8	3.387,8	3.387,8	1.562,8	1.562,8	3.022,8	1.562,8	1.562,8	1.562,8	2.657,8	1.562,8	2.657,8
Santa Bárbara	1.609,0	2.704,0	2.704,0	514,0	2.339,0	2.339,0	514,0	514,0	1.974,0	514,0	514,0	514,0	1.609,0	514,0	1.609,0
Santa Juana	2.427,5	3.522,5	3.522,5	1.332,5	3.157,5	3.157,5	1.332,5	1.332,5	2.792,5	1.332,5	1.332,5	1.332,5	2.427,5	1.332,5	2.427,5
Talcahuano	1.857,6	2.952,6	2.952,6	762,6	2.587,6	2.587,6	762,6	762,6	2.222,6	762,6	762,6	762,6	1.857,6	762,6	1.857,6
Tirúa	1.776,9	2.871,9	2.871,9	681,9	2.506,9	2.506,9	681,9	681,9	2.141,9	6.81,9	681,9	681,9	1.776,9	681,9	1.776,9
Tomé	2.234,6	3.329,6	3.329,6	1.139,6	2.964,6	2.964,6	1.139,6	1.139,6	2.599,6	1.139,6	1.139,6	1.139,6	2.234,6	1.139,6	2.234,6
Tucapel	1.775,1	2.870,1	2.870,1	680,1	2.505,1	2.505,1	680,1	680,1	2.140,1	680,1	680,1	680,1	1.775,1	680,1	1.775,1
Yumbel	2.663,3	3.758,3	3.758,3	1.568,3	3.393,3	3.393,3	1.568,3	1.568,3	3.028,3	1.568,3	1.568,3	1.568,3	2.663,3	1.568,3	2.663,3

Apéndice XII. Restricción de DG para el período actual y proyectado (2046-2065) de los cultivos priorizados.



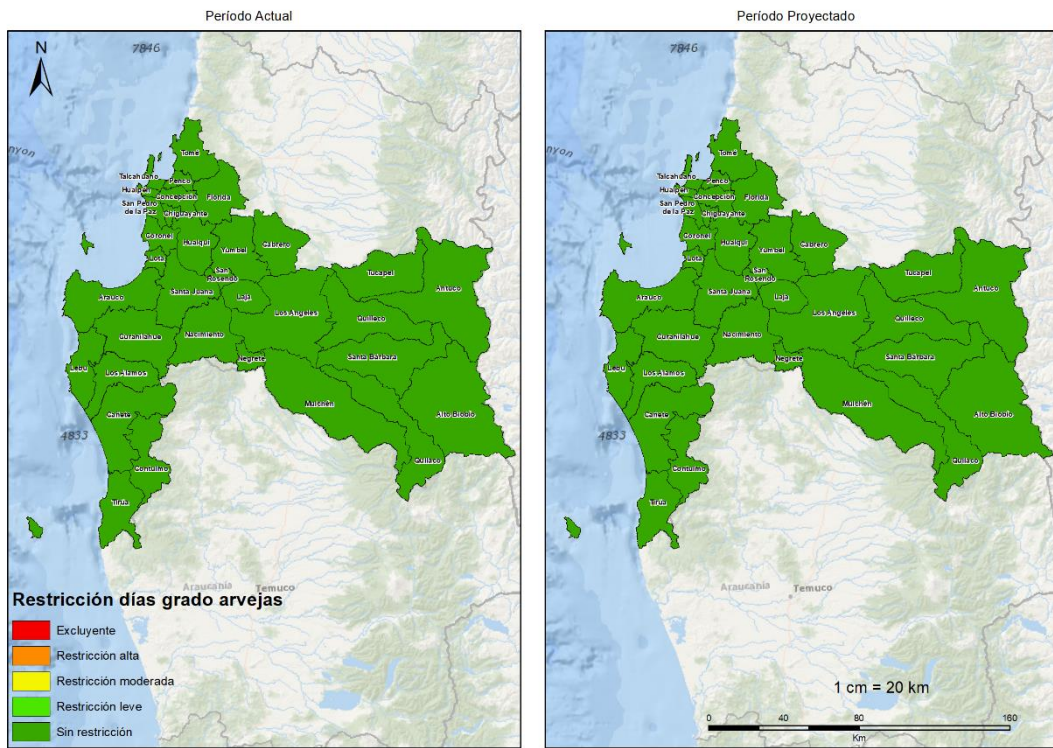
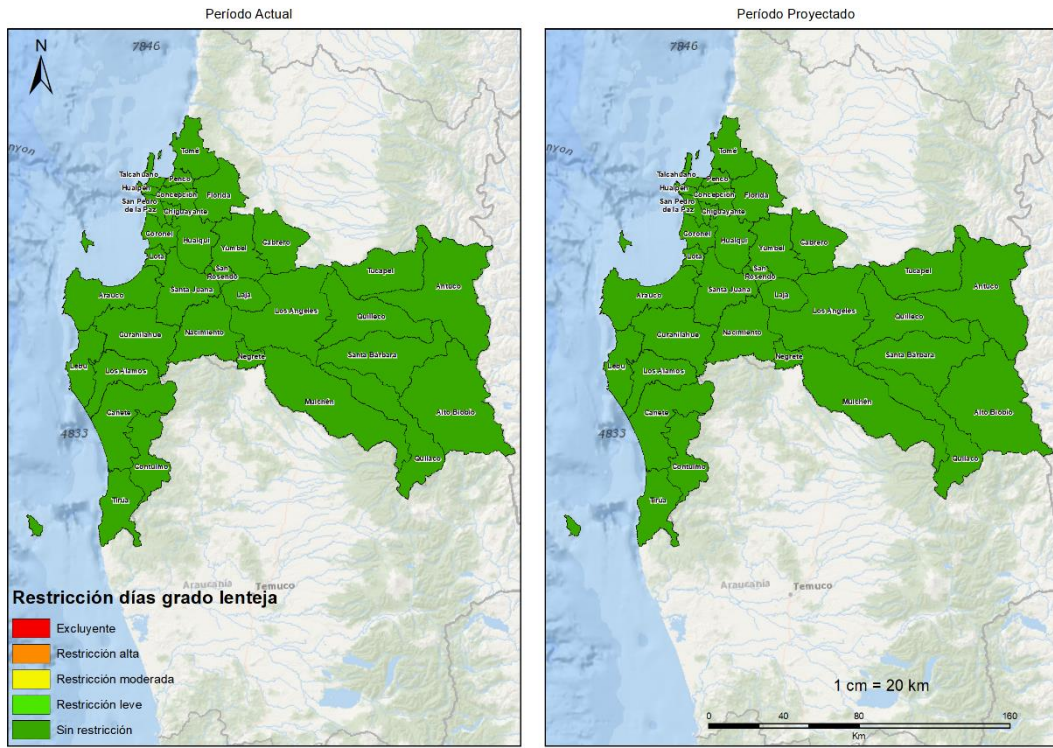
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



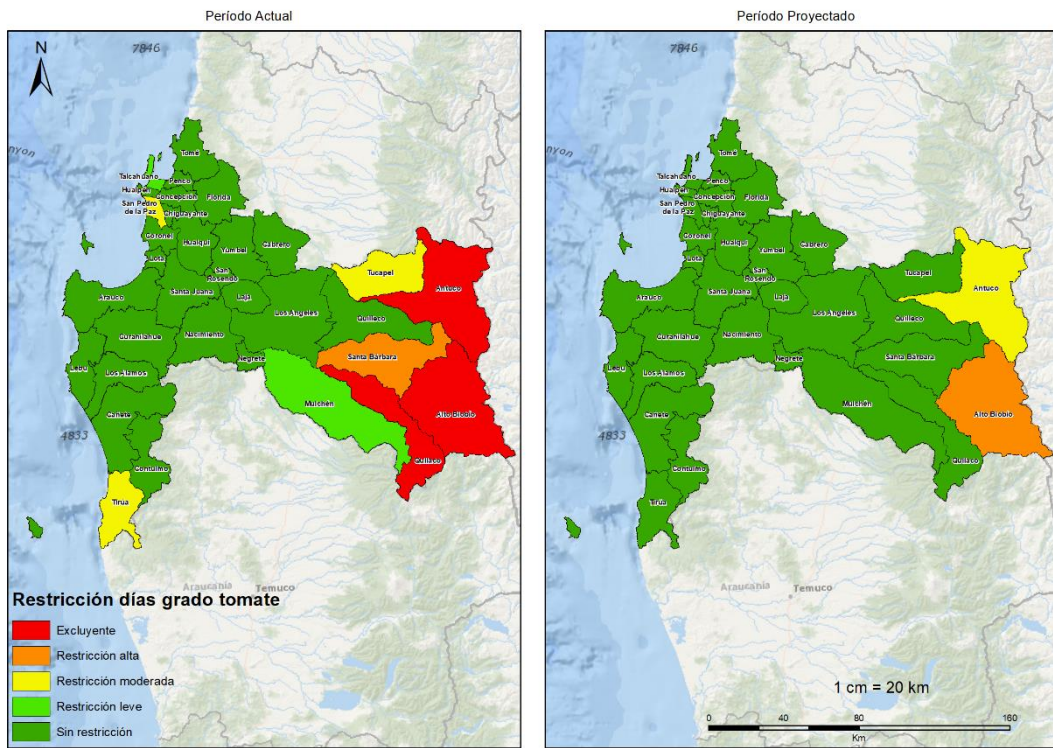
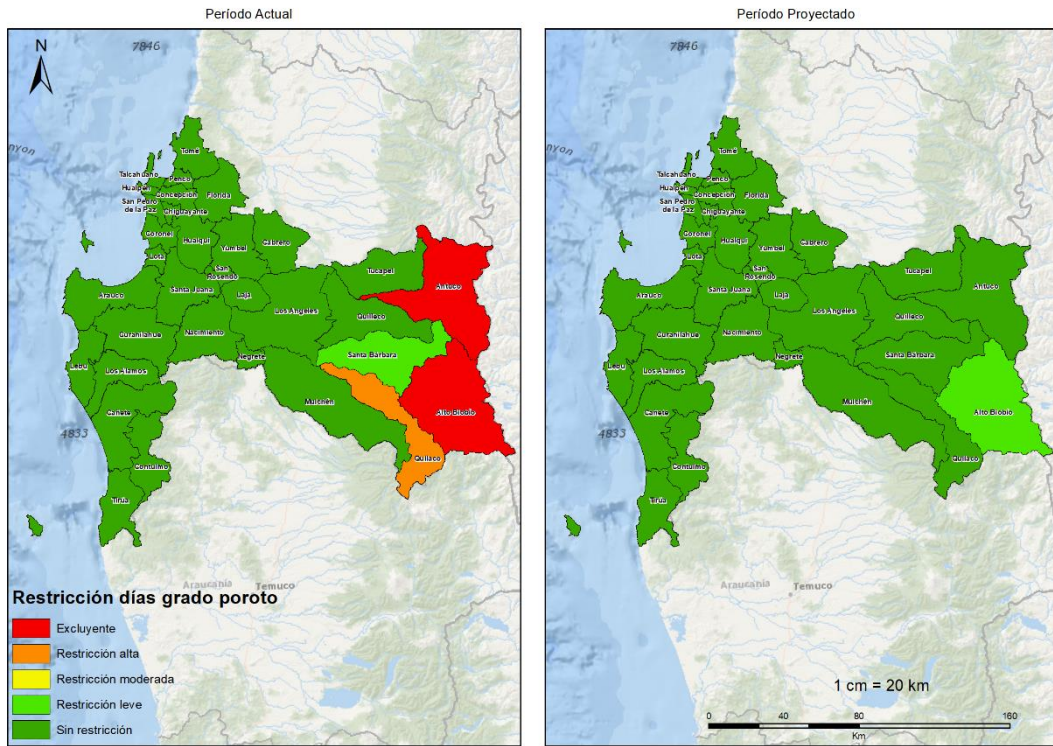
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



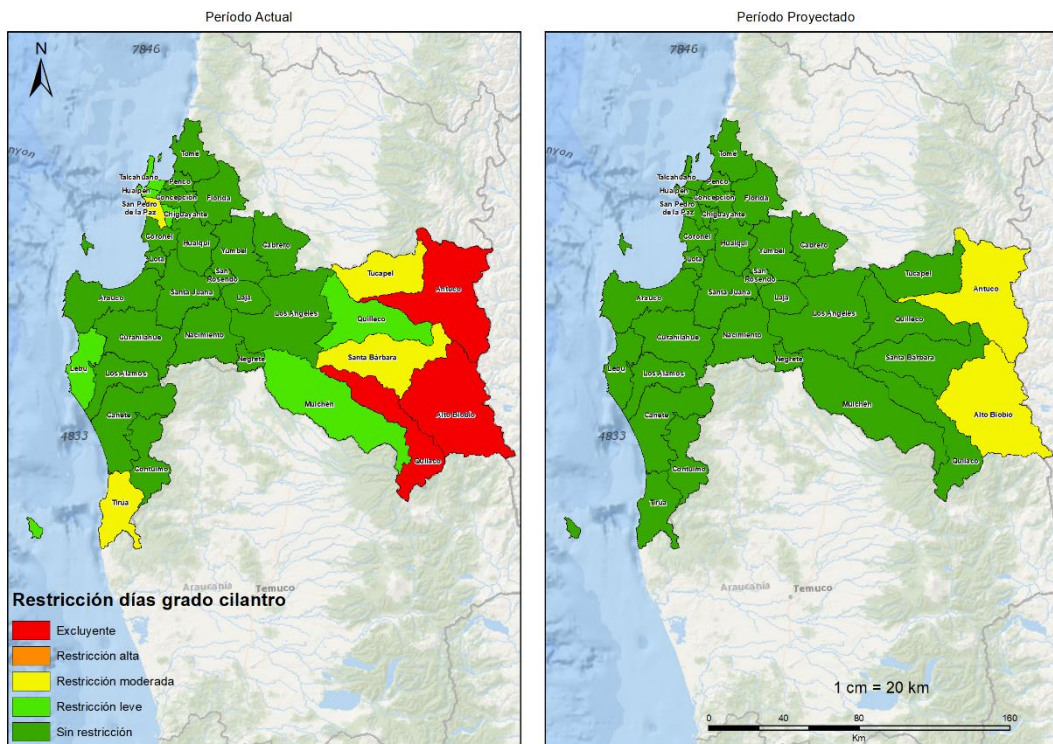
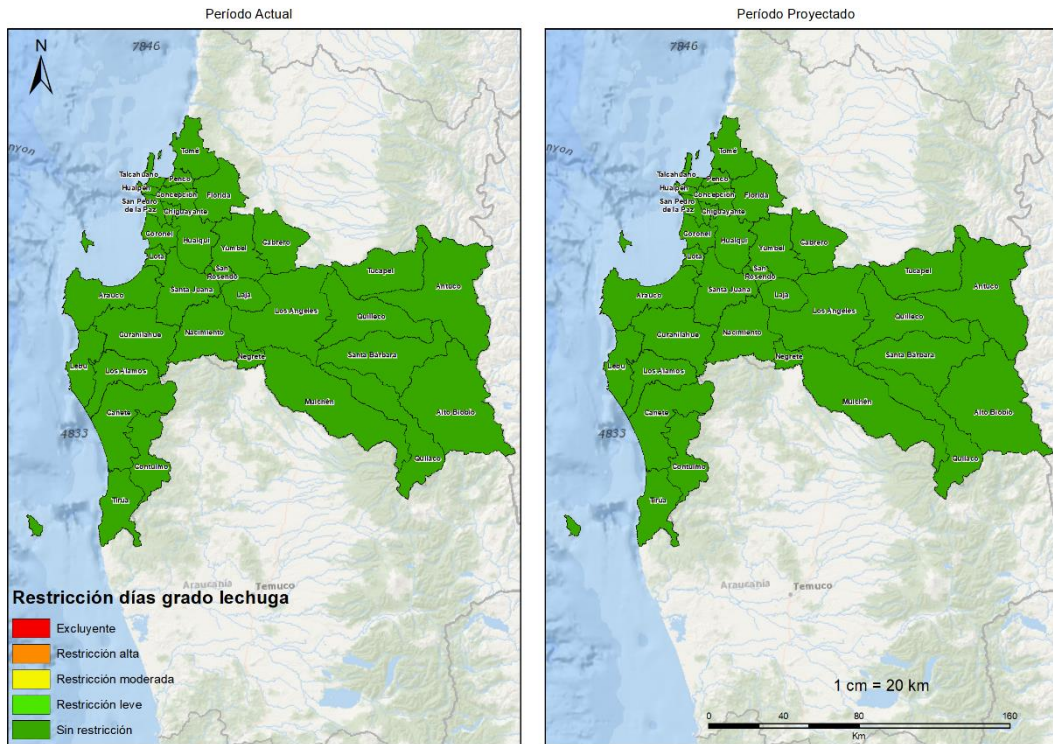
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



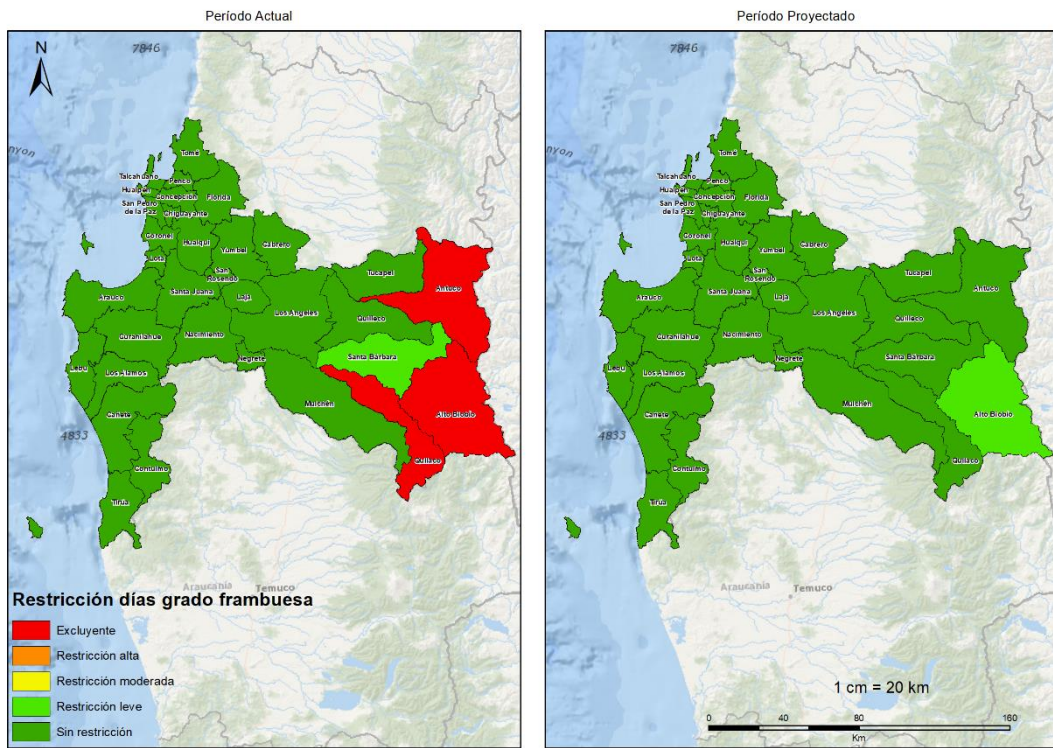
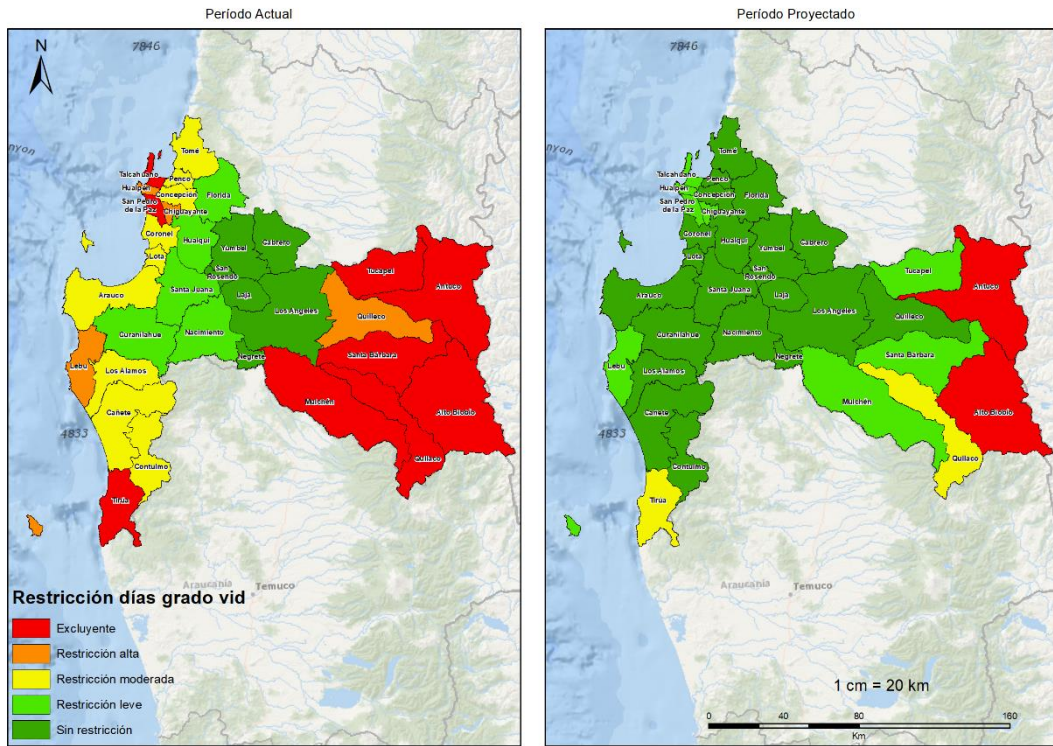
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



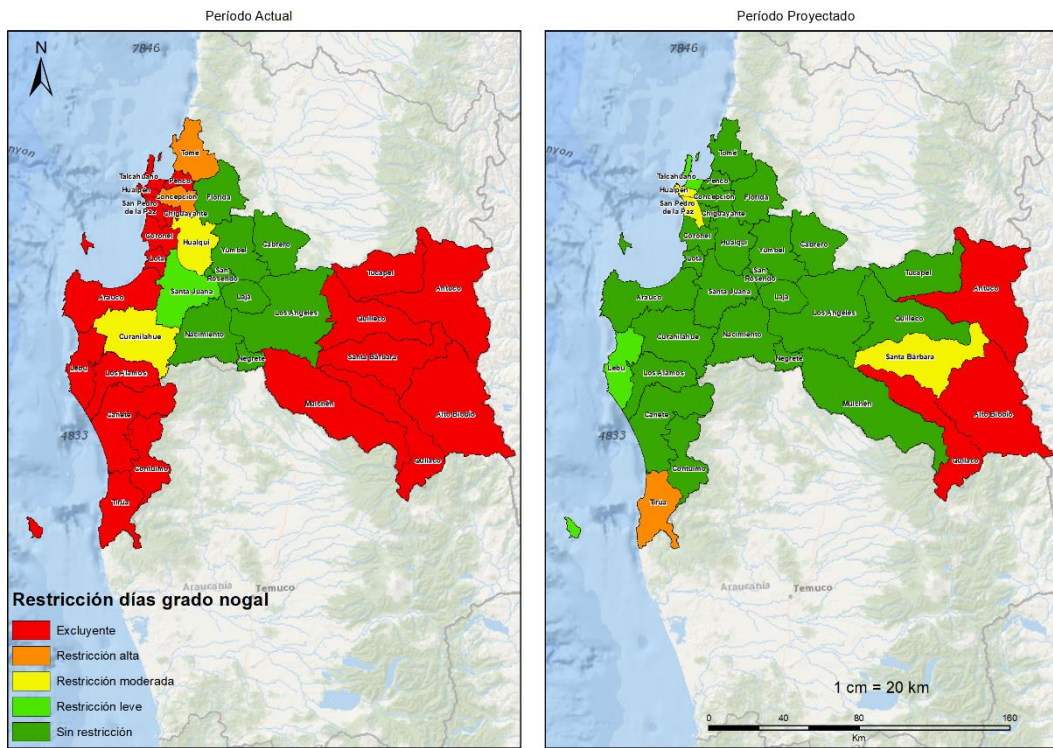
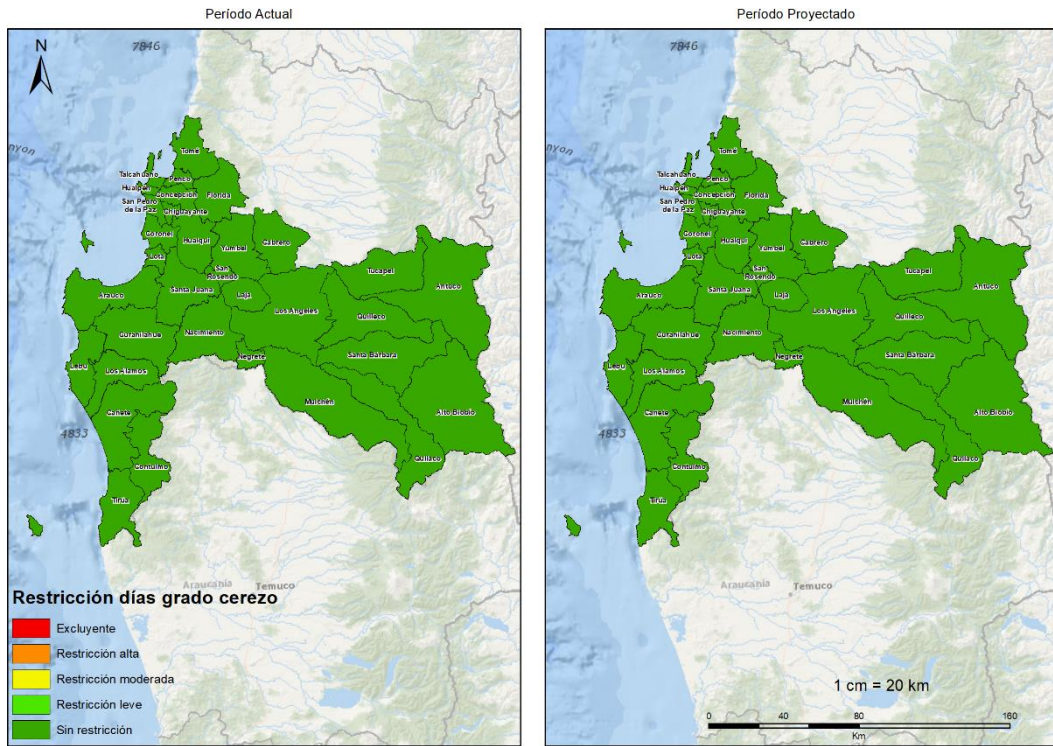
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



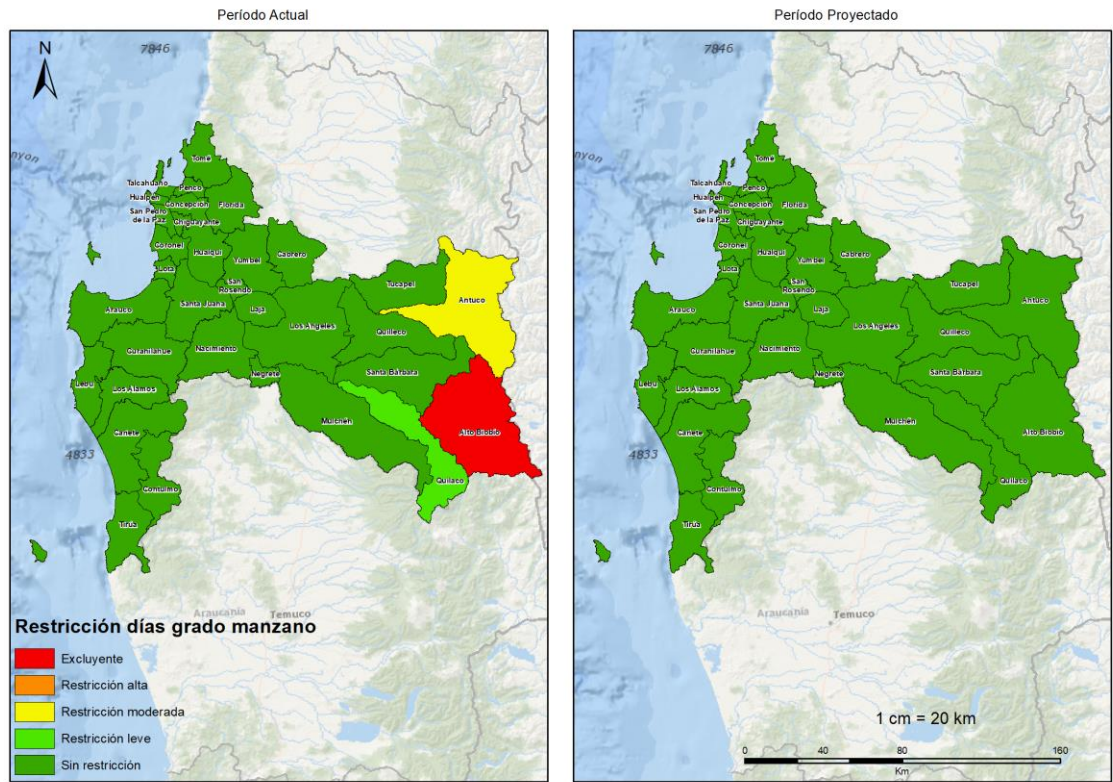
(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



(Continúa)

(Continuación Apéndice XII)



Apéndice XIII. Acumulación de días grados (DG) proyectada para los cultivos priorizados en cada comuna de la Región del Biobío.

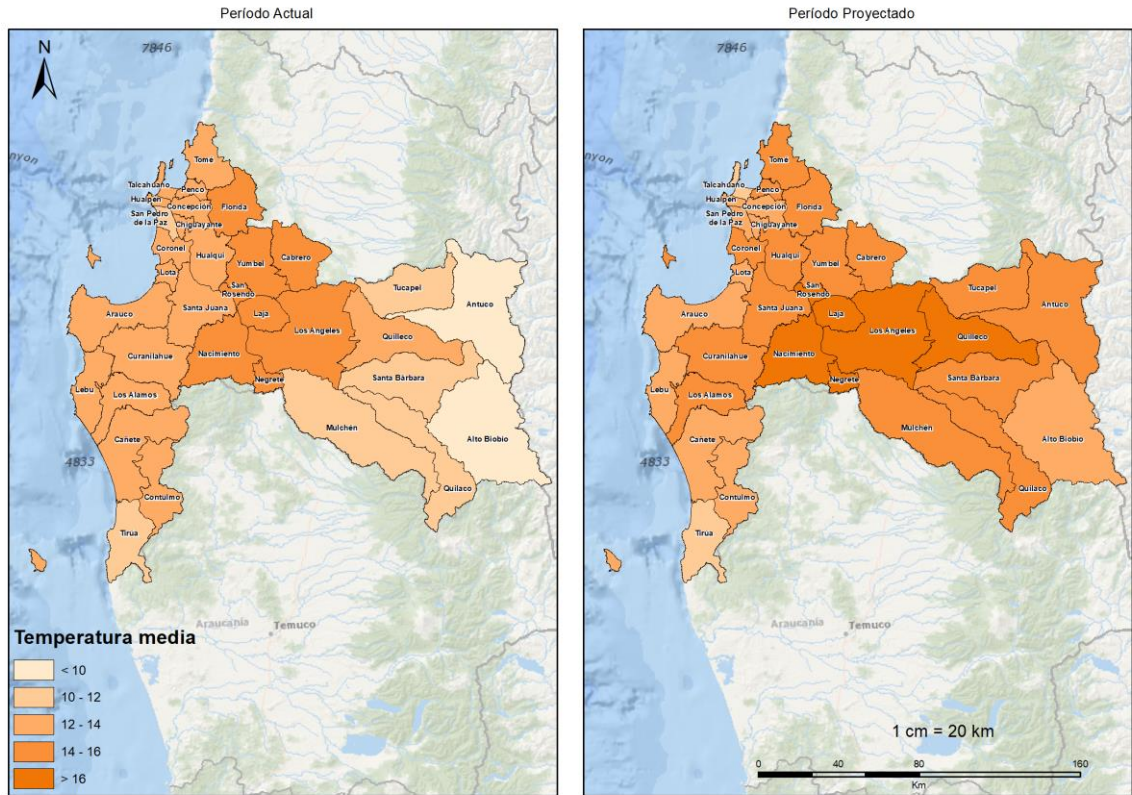
Comuna	Papa (DG)	Trigo (DG)	Avena (DG)	Maíz (DG)	Lenteja (DG)	Arvejas (DG)	Poroto (DG)	Tomate (DG)	Lechuga (DG)	Cilantro (DG)	Vid (DG)	Frambueso (DG)	Cerezo (DG)	Nogal (DG)	Manzano (DG)
Alto Biobío	1.615,2	2.710,2	2.710,2	520,2	2.345,2	2.345,2	520,2	520,2	1.980,2	520,2	520,2	520,2	1615,2	520,2	1.615,2
Antuco	1.751,6	2.846,6	2.846,6	656,6	2.481,6	2.481,6	656,6	656,6	2.116,6	656,6	656,6	656,6	1751,6	656,6	1.751,6
Arauco	2.606,0	3.701,0	3.701,0	1.511,0	3.336,0	3.336,0	1.511,0	1.511,0	2.971,0	1.511,0	1.511,0	1.511,0	2.606,0	1.511,0	2.606,0
Cabrero	3.529,8	4.624,8	4.624,8	2.434,8	4.259,8	4.259,8	2.434,8	2.434,8	3.894,8	2.434,8	2.434,8	2.434,8	3.529,8	2.434,8	3.529,8
Cañete	2.632,3	3.727,3	3.727,3	1.537,3	3.362,3	3.362,3	1.537,3	1.537,3	2.997,3	1.537,3	1.537,3	1.537,3	2.632,3	1.537,3	2.632,3
Chiguayante	2.520,9	3.615,9	3.615,9	1.425,9	3.250,9	3.250,9	1.425,9	1.425,9	2.885,9	1.425,9	1.425,9	1.425,9	2.520,9	1.425,9	2.520,9
Concepción	2.854,8	3.949,8	3.949,8	1.759,8	3.584,8	3.584,8	1.759,8	1.759,8	3.219,8	1.759,8	1.759,8	1.759,8	2.854,8	1.759,8	2.854,8
Contulmo	2.767,9	3.862,9	3.862,9	1.672,9	3.497,9	3.497,9	1.672,9	1.672,9	3.132,9	1.672,9	1.672,9	1.672,9	2.767,9	1.672,9	2.767,9
Coronel	2.615,3	3.710,3	3.710,3	1.520,3	3.345,3	3.345,3	1.520,3	1.520,3	2.980,3	1.520,3	1.520,3	1.520,3	2.615,3	1.520,3	2.615,3
Curanilahue	2.928,5	4.023,5	4.023,5	1.833,5	3.658,5	3.658,5	1.833,5	1.833,5	3.293,5	1.833,5	1.833,5	1.833,5	2.928,5	1.833,5	2.928,5
Florida	3.266,8	4.361,8	4.361,8	2.171,8	3.996,8	3.996,8	2.171,8	2.171,8	3.631,8	2.171,8	2.171,8	2.171,8	3.266,8	2.171,8	3.266,8
Hualpén	2.370,9	3.465,9	3.465,9	1.275,9	3.100,9	3.100,9	1.275,9	1.275,9	2.735,9	1.275,9	1.275,9	1.275,9	2.370,9	1.275,9	2.370,9
Hualqui	3.008,9	4.103,9	4.103,9	1.913,9	3.738,9	3.738,9	1.913,9	1.913,9	3.373,9	1.913,9	1.913,9	1.913,9	3.008,9	1.913,9	3.008,9
Laja	3.471,1	4.566,1	4.566,1	2.376,1	4.201,1	4.201,1	2.376,1	2.376,1	3.836,1	2.376,1	2.376,1	2.376,1	3.471,1	2.376,1	3.471,1
Lebu	2.423,4	3.518,4	3.518,4	1.328,4	3.153,4	3.153,4	1.328,4	1.328,4	2.788,4	1.328,4	1.328,4	1.328,4	2.423,4	1.328,4	2.423,4
Los Álamos	2.777,4	3.872,4	3.872,4	1.682,4	3.507,4	3.507,4	1.682,4	1.682,4	3.142,4	1.682,4	1.682,4	1.682,4	2.777,4	1.682,4	2.777,4
Los Ángeles	3.361,3	4.456,3	4.456,3	2.266,3	4.091,3	4.091,3	2.266,3	2.266,3	3.726,3	2.266,3	2.266,3	2.266,3	3.361,3	2.266,3	3.361,3
Lota	2.610,6	3.705,6	3.705,6	1.515,6	3.340,6	3.340,6	1.515,6	1.515,6	2.975,6	1.515,6	1.515,6	1.515,6	2.610,6	1.515,6	2.610,6
Mulchén	2.594,2	3.689,2	3.689,2	1.499,2	3.324,2	3.324,2	1.499,2	1.499,2	2.959,2	1.499,2	1.499,2	1.499,2	2.594,2	1.499,2	2.594,2
Nacimiento	3.315,5	4.410,5	4.410,5	2.220,5	4.045,5	4.045,5	2.220,5	2.220,5	3.680,5	2.220,5	2.220,5	2.220,5	3.315,5	2.220,5	3.315,5
Negrete	3.344,7	4.439,7	4.439,7	2.249,7	4.074,7	4.074,7	2.249,7	2.249,7	3.709,7	2.249,7	2.249,7	2.249,7	3.344,7	2.249,7	3.344,7
Penco	2.767,2	3.862,2	3.862,2	1.672,2	3.497,2	3.497,2	1.672,2	1.672,2	3.132,2	1.672,2	1.672,2	1.672,2	2.767,2	1.672,2	2.767,2
Quilaco	2.007,0	3.102,0	3.102,0	912,0	2.737,0	2.737,0	912,0	912,0	2.372,0	912,0	912,0	912,0	2.007,0	912,0	2.007,0
Quilleco	2.740,6	3.835,6	3.835,6	1.645,6	3.470,6	3.470,6	1.645,6	1.645,6	3.105,6	1.645,6	1.645,6	1.645,6	2.740,6	1.645,6	2.740,6

(Continúa)

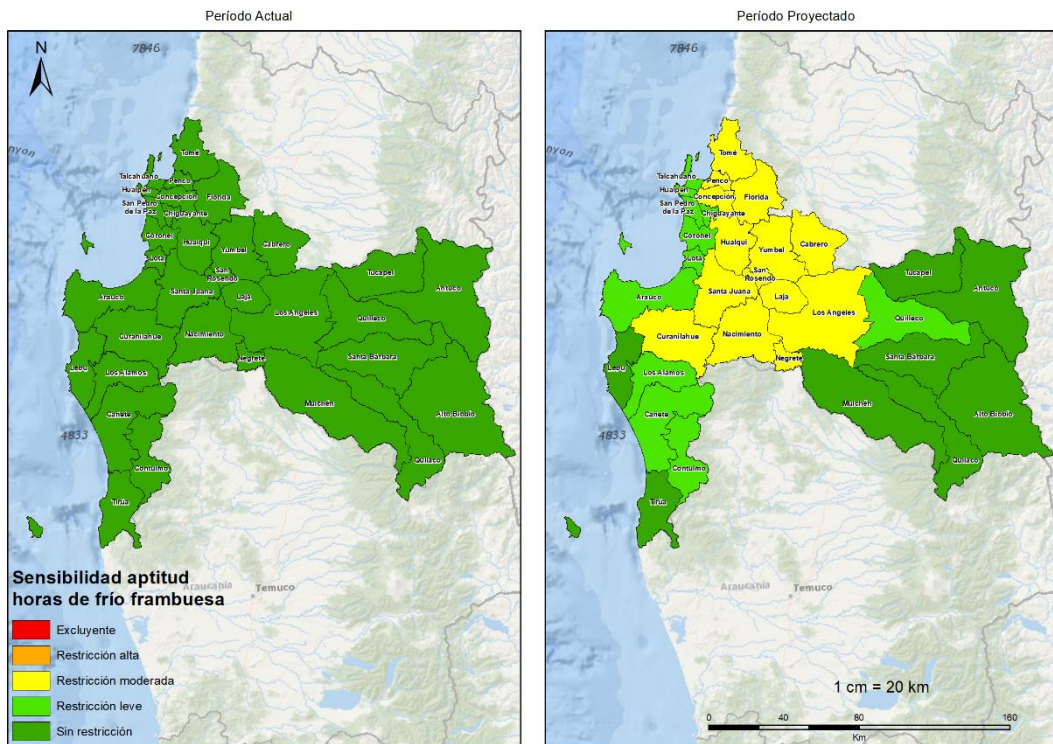
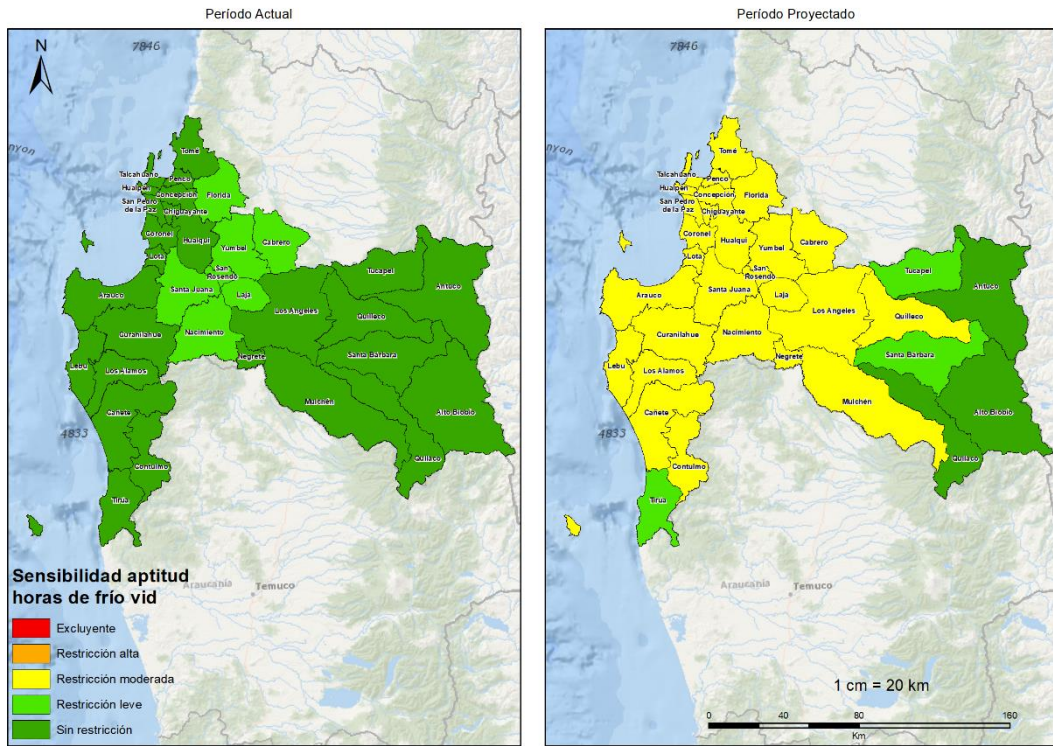
(Continuación Apéndice XIII)

Comuna	Papa (DG)	Trigo (DG)	Avena (DG)	Maíz (DG)	Lenteja (DG)	Arvejas (DG)	Poroto (DG)	Tomate (DG)	Lechuga (DG)	Cilantro (DG)	Vid (DG)	Frambueso (DG)	Cerezo (DG)	Nogal (DG)	Manzano (DG)
San Pedro de la Paz	2392,9	3.487,9	3.487,9	1.297,9	3.122,9	3.122,9	1.297,9	1.297,9	2.757,9	1.297,9	1.297,9	1.297,9	2.392,9	1.297,9	2.392,9
San Rosendo	3.389,8	4.484,8	4.484,8	2.294,8	4.119,8	4.119,8	2.294,8	2.294,8	3.754,8	2.294,8	2.294,8	2.294,8	3.389,8	2.294,8	3.389,8
Santa Bárbara	2.390,8	3.485,8	3.485,8	1.295,8	3.120,8	3.120,8	1.295,8	1.295,8	2.755,8	1.295,8	1.295,8	1.295,8	2.390,8	1.295,8	2.390,8
Santa Juana	3.116,1	4.211,1	4.211,1	2.021,1	3.846,1	3.846,1	2.021,1	2.021,1	3.481,1	2.021,1	2.021,1	2.021,1	3.116,1	2.021,1	3.116,1
Talcahuano	2.483,1	3.578,1	3.578,1	1.388,1	3.213,1	3.213,1	1.388,1	1.388,1	2.848,1	1.388,1	1.388,1	1.388,1	2.483,1	1.388,1	2.483,1
Tirúa	2.197,0	3.292,0	3.292,0	1.102,0	2.927,0	2.927,0	1.102,0	1.102,0	2.562,0	1.102,0	1.102,0	1.102,0	2.197,0	1.102,0	2.197,0
Tomé	2.891,5	3.986,5	3.986,5	1.796,5	3.621,5	3.621,5	1.796,5	1.796,5	3.256,5	1.796,5	1.796,5	1.796,5	2.891,5	1.796,5	2.891,5
Tucapel	2.563,7	3.658,7	3.658,7	1.468,7	3.293,7	3.293,7	1.468,7	1.468,7	2.928,7	1.468,7	1.468,7	1.468,7	2.563,7	1.468,7	2.563,7
Yumbel	3.405,1	4.500,1	4.500,1	2.310,1	4.135,1	4.135,1	2.310,1	2.310,1	3.770,1	2.310,1	2.310,1	2.310,1	3.405,1	2.310,1	3.405,1

Apéndice XIV. Variación de la temperatura media entre el período actual y el proyectado (2046-2065).

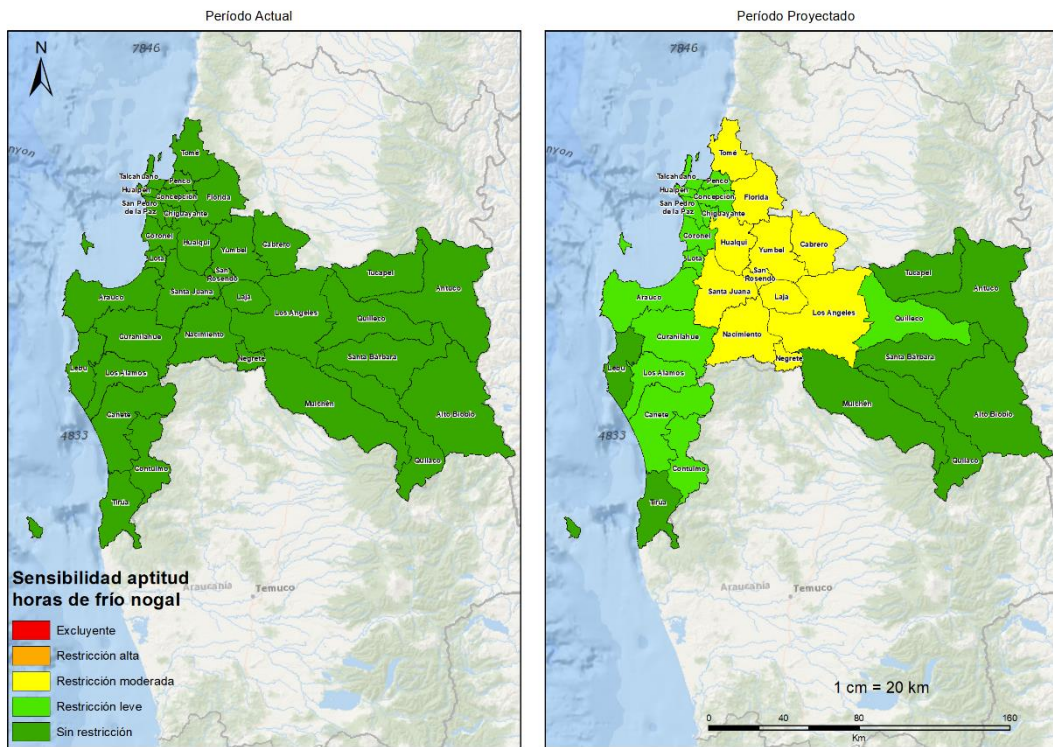
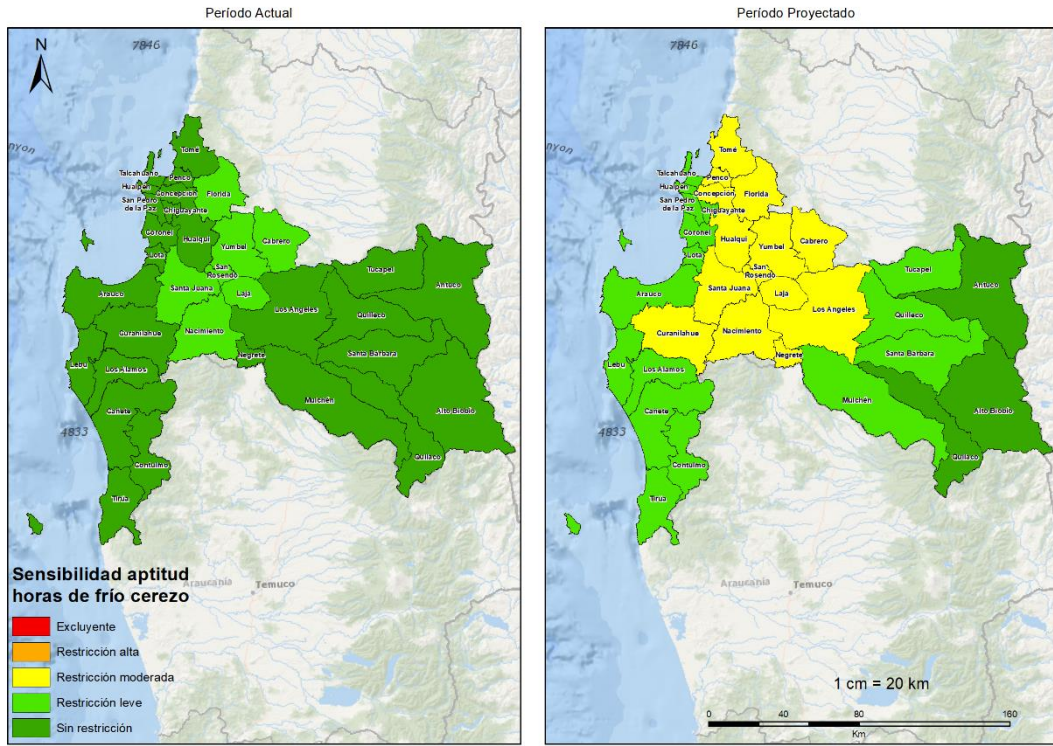


Apéndice XV. Requerimiento de HF de los cultivos priorizados por comuna en el período actual y proyectado (2046-2065).



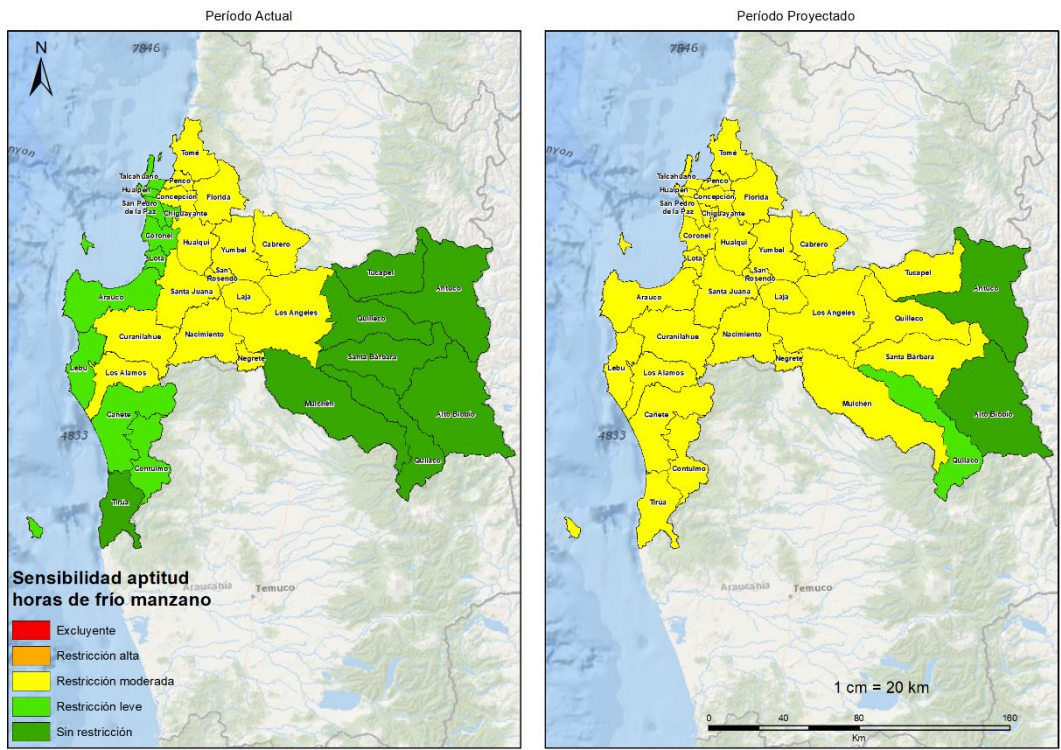
(Continúa)

(Continuación Apéndice XV)

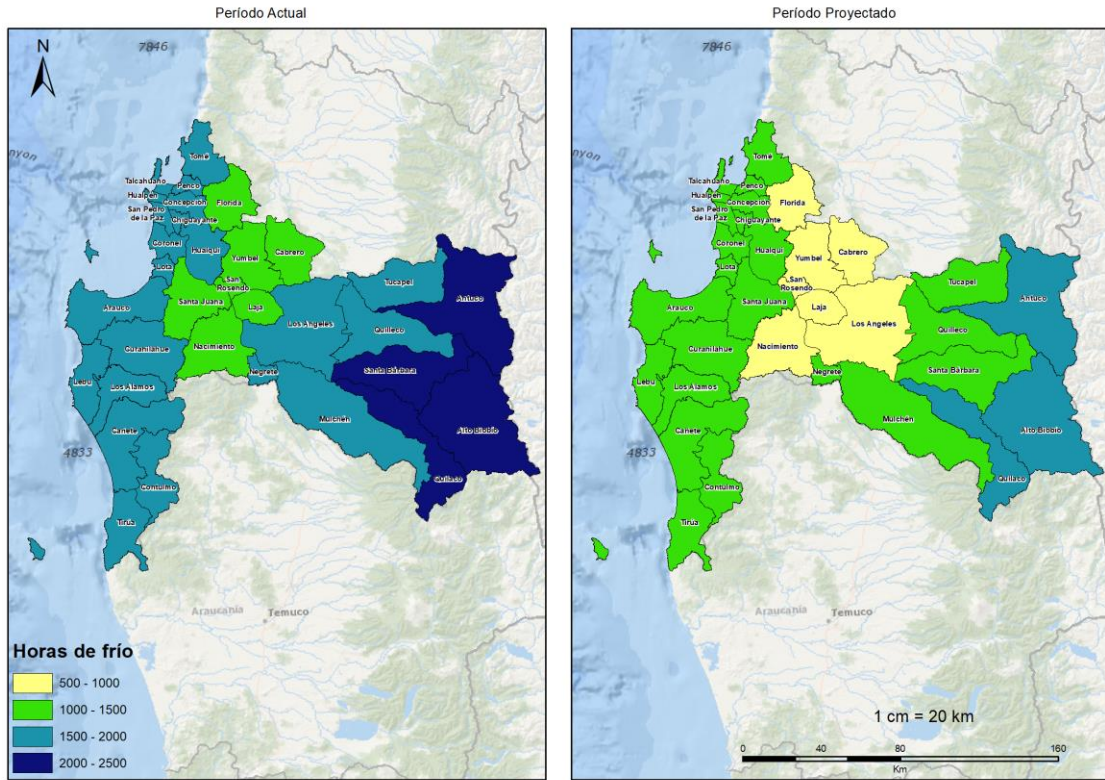


(Continúa)

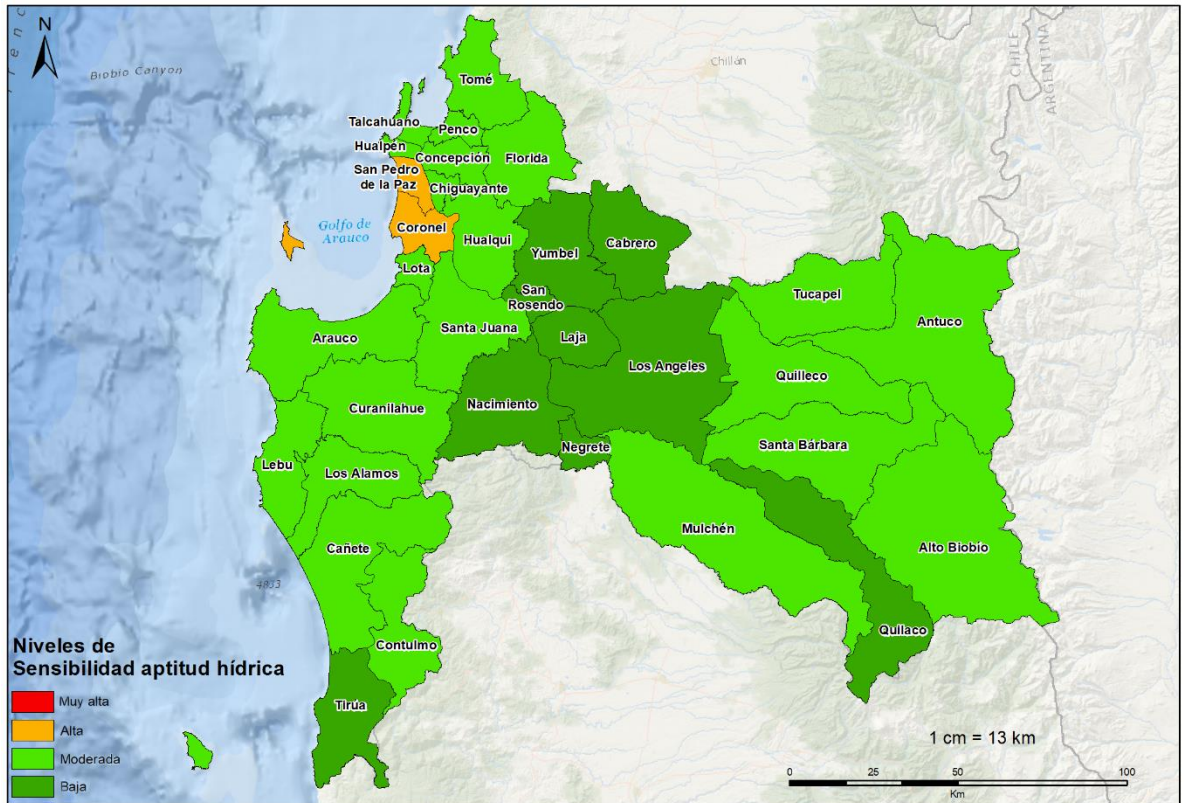
(Continuación Apéndice XV)



Apéndice XVI. Acumulación de HF por comuna en el período actual y proyectado (2046-2065).



Apéndice XVII. Cartografía del indicador de sensibilidad de aptitud hídrica.



Apéndice XVIII. Requerimiento Hídrico (RH) actual del ciclo de los cultivos priorizados para cada comuna de la Región del Biobío.

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	25,6	-431,3	-1.214,7	65,1	-1387,0	-1.117,1	69,0	-51,2	100,9	-202,7	-448,3	-452,3	-276,6	-270,5	-106,6
Antuco	-92,1	-571,6	-1367,7	-65,7	-1520,8	-1.270,0	-30,3	-159,4	43,6	-272,5	-589,7	-647,8	-475,9	-479,9	-285,9
Arauco	112,4	-135,5	-580,2	127,0	-709,7	-515,1	113,1	63,6	100,8	-89,0	-239,6	-161,6	-31,5	-8,7	53,9
Cabrero	450,9	167,1	-380,3	521,7	-579,0	-295,4	406,3	358,3	301,6	83,8	42,7	297,4	494,8	572,6	558,2
Cañete	55,8	-236,5	-745,7	69,0	-877,2	-675,6	70,8	5,0	78,5	-137,6	-327,5	-284,2	-147,8	-133,3	-40,8
Chiguayante	62,2	-176,3	-603,1	66,4	-725,4	-539,7	68,1	21,8	69,5	-110,6	-276,2	-224,6	-107,8	-94,7	-19,7
Concepción	199,3	-37,7	-473,6	221,9	-616,3	-405,5	184,5	143,2	146,5	-40,7	-162,3	-33,5	109,1	148,0	182,3
Contulmo	38,1	-265,6	-794,4	49,2	-929,0	-721,9	56,7	-12,1	70,1	-152,4	-355,0	-322,4	-185,4	-174,2	-71,6
Coronel	109,9	-123,5	-548,8	120,9	-675,8	-485,0	108,3	65,1	96,0	-83,4	-230,8	-152,5	-28,0	-5,5	53,3
Curanilahue	114,1	-180,0	-703,5	133,3	-850,1	-628,8	119,6	57,8	109,9	-108,1	-280,9	-205,9	-59,7	-36,4	43,1
Florida	292,7	42,5	-429,4	330,1	-594,3	-354,4	265,3	224,5	201,7	4,7	-90,3	87,6	250,2	304,1	319,1
Hualpén	142,1	-73,8	-471,7	155,6	-599,1	-409,6	133,4	96,7	111,0	-57,2	-184,7	-87,7	35,2	63,0	106,8
Hualqui	200,9	-48,1	-506,0	225,3	-653,6	-435,9	187,5	142,7	149,3	-44,9	-169,2	-41,7	104,6	142,7	181,9
Laja	433,2	149,2	-395,7	501,9	-590,5	-311,9	391,5	342,2	291,7	73,8	28,1	272,5	466,8	541,1	531,6
Lebu	62,6	-196,7	-655,0	72,1	-778,7	-590,4	72,6	17,1	75,2	-120,3	-292,0	-242,9	-117,4	-102,9	-22,9
Los Alamos	93,7	-198,5	-714,9	110,9	-855,3	-642,3	102,5	39,4	98,9	-118,3	-296,5	-232,3	-89,6	-69,3	14,0
Los Angeles	441,1	118,2	-497,1	520,3	-705,4	-407,3	404,8	342,4	305,5	69,2	22,9	261,1	464,6	535,7	542,1
Lota	18,2	-244,4	-701,8	20,0	-820,4	-636,9	34,2	-22,4	50,3	-145,9	-339,7	-312,5	-192,7	-184,8	-91,9
Mulchén	252,1	-150,4	-875,7	321,5	-1.071,7	-780,7	256,1	159,8	219,5	-52,6	-183,7	-64,0	127,8	165,4	252,9
Nacimiento	291,8	-17,7	-590,0	341,3	-771,4	-506,3	273,6	212,9	215,0	-15,6	-126,1	40,8	220,5	271,4	309,9
Negrete	464,7	146,2	-461,8	547,5	-670,6	-372,9	424,7	363,5	318,3	83,8	49,5	300,4	506,3	581,9	579,1
Penco	138,8	-96,9	-524,6	152,7	-657,5	-458,8	132,7	89,9	112,2	-71,6	-213,3	-117,4	13,9	42,0	93,1
Quilaco	90,5	-362,2	-1.148,0	143,0	-1.330,2	-1.049,5	124,3	7,2	140,2	-158,0	-372,1	-343,4	-161,0	-147,0	-0,2

(Continúa)

(Continuación Apéndice XVIII)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Quilleco	219,6	-183,4	-905,5	281,1	-1.098,1	-810,1	226,9	131,7	199,7	-74,0	-227,7	-120,5	69,6	104,4	199,3
San Pedro de la Paz	47,4	-151,5	-543,6	44,4	-660,8	-484,0	49,1	22,3	52,6	-95,2	-249,7	-206,0	-106,3	-96,3	-26,7
San Rosendo	361,8	98,5	-402,2	414,1	-580,2	-323,9	327,0	282,8	245,3	39,1	-30,2	181,0	358,3	422,7	423,7
Santa Bárbara	130,3	-303,9	-1064,0	184,7	-1.247,8	-966,9	155,1	46,4	157,7	-131,6	-329,3	-273,9	-88,7	-67,0	61,2
Santa Juana	168,2	-117,7	-633,4	193,1	-787,2	-557,4	164,2	107,4	138,7	-77,4	-231,0	-124,0	30,0	63,1	124,4
Talcahuano	117,2	-89,5	-482,0	125,4	-606,7	-420,7	110,3	78,8	94,6	-64,1	-197,0	-113,8	1,0	23,8	73,5
Tirúa	-49,2	-342,5	-839,4	-49,4	-951,6	-774,1	-17,9	-88,9	20,4	-193,1	-418,9	-433,1	-314,4	-317,2	-196,4
Tomé	172,6	-62,0	-493,9	189,7	-634,3	-426,0	160,9	120,6	130,1	-54,3	-186,3	-71,2	66,0	99,7	141,9
Tucapel	187,1	-214,8	-934,3	242,2	-1.123,4	-840,1	199,1	103,3	178,8	-93,3	-256,5	-167,2	16,2	43,3	148,9
Yumbel	362,4	100,4	-392,6	412,9	-571,0	-320,0	327,0	283,8	244,9	39,7	-30,7	181,7	359,1	423,8	424,2

Apéndice XIX. Precipitaciones acumuladas actuales para cada ciclo de los cultivos priorizados por comuna.

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	519,4	889,2	1.485,8	531,5	1.532,3	1.436,6	393,6	521,6	208,0	382,6	660,6	1.010,3	1.010,3	1.133,7	825,2
Antuco	621,7	1.014,6	1.626,9	647,3	1.659,2	1.576,0	480,7	615,9	258,6	448,7	797,1	1.191,4	1.191,4	1.321,6	987,1
Arauco	301,1	494,9	809,5	318,6	839,4	783,3	233,6	298,2	128,8	230,2	399,7	588,6	588,6	665,0	490,2
Cabrero	171,8	367,4	714,2	153,0	765,4	686,6	118,3	183,5	46,8	126,0	198,8	343,6	343,6	414,5	261,4
Cañete	372,8	603,4	971,2	395,8	1.001,2	940,4	290,6	367,8	161,5	281,7	493,8	724,8	724,8	812,8	605,1
Chiguayante	315,9	512,3	829,2	336,8	857,7	802,7	246,3	311,8	137,5	242,0	421,7	617,0	617,0	695,1	515,9
Concepción	258,0	438,2	735,8	268,8	767,4	711,2	197,9	257,9	105,9	197,3	338,7	506,2	506,2	577,1	418,0
Contulmo	394,7	638,0	1.026,3	418,7	1.057,5	993,7	307,5	389,2	170,9	298,0	522,5	767,2	767,2	859,5	640,3
Coronel	289,8	476,6	780,3	307,0	809,4	755,0	224,9	287,2	123,8	222,0	385,2	566,8	566,8	640,9	472,3
Curanilahue	350,6	582,3	958,7	367,6	993,6	927,4	270,5	348,0	148,0	265,5	460,6	684,5	684,5	772,5	567,2
Florida	228,2	413,0	726,5	229,2	765,0	700,9	170,5	231,9	86,0	173,3	291,3	450,5	450,5	521,6	364,7
Hualpén	255,7	427,6	709,0	268,6	737,9	685,7	197,5	254,5	106,7	195,4	337,8	500,5	500,5	568,8	415,3
Hualqui	267,0	456,4	770,5	277,5	804,6	744,6	204,2	267,2	109,4	204,3	349,8	524,7	524,7	598,8	432,3
Laja	178,5	374,6	720,8	161,3	771,1	693,2	124,1	189,5	50,8	131,4	209,0	356,3	356,3	427,9	273,2
Lebu	334,2	540,2	870,8	356,4	899,3	843,1	260,7	329,7	145,6	255,4	445,9	652,2	652,2	732,9	545,4
Los Alamos	357,2	586,8	957,6	376,6	990,3	926,7	276,8	353,6	152,5	270,5	471,2	696,4	696,4	784,0	579,1
Los Angeles	195,7	423,0	826,7	172,7	886,1	794,6	133,5	209,8	52,8	143,6	224,6	392,8	392,8	473,5	296,8
Lota	363,9	578,2	918,1	390,8	944,2	889,5	285,6	357,3	161,4	277,5	487,5	707,9	707,9	792,0	594,8
Mulchén	343,0	650,6	1.171,5	329,4	1.230,2	1.129,5	249,0	354,1	117,6	249,3	415,6	673,4	673,4	777,3	531,8
Nacimiento	275,3	504,3	892,8	272,9	939,4	861,2	204,1	280,6	101,8	205,9	345,8	542,2	542,2	626,7	435,7
Negrete	178,3	398,2	790,2	153,3	849,1	759,1	119,6	193,2	44,1	129,9	200,5	358,9	358,9	436,4	267,7
Penco	283,3	468,8	771,3	299,4	801,0	746,1	219,4	281,1	120,6	217,4	376,1	555,0	555,0	628,5	461,7
Quilaco	475,0	837,1	1.428,6	475,8	1.480,2	1.380,2	355,8	480,8	180,4	344,7	592,5	922,3	922,3	1.042,6	745,9
Quilleco	372,1	683,5	1.205,7	364,7	1.261,1	1.163,3	274,3	380,3	134,6	271,2	458,2	727,7	727,7	833,9	581,3
San Pedro de la Paz	283,6	466,4	763,4	300,3	792,1	738,7	220,1	281,0	121,0	217,3	377,1	554,7	554,7	627,5	462,3

(Continúa)

(Continuación Apéndice XIX)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
San Rosendo	200,7	387,2	709,6	193,3	753,0	683,6	145,7	207,7	67,8	150,7	247,8	398,1	398,1	468,2	315,3
Santa Bárbara	444,1	787,1	1.350,7	443,6	1.402,1	1.304,7	332,3	449,7	167,9	322,2	553,3	862,7	862,7	977,7	696,8
Santa Juana	321,7	542,6	904,8	334,9	940,7	874,8	246,9	320,6	133,3	243,6	420,4	629,1	629,1	713,4	519,3
Talcahuano	258,5	432,2	716,9	271,6	745,8	693,4	199,5	257,3	107,9	197,6	341,4	505,9	505,9	574,9	419,9
Tirúa	420,6	659,2	1.031,4	453,1	1.056,0	999,8	331,5	411,7	188,1	318,0	563,3	814,8	814,8	906,5	686,1
Tomé	270,1	453,5	755,5	283,5	787,1	730,5	208,0	269,1	113,1	207,4	356,8	530,2	530,2	602,9	439,3
Tucapel	383,4	697,0	1.223,8	380,7	1.280,7	1.180,9	284,2	390,3	144,1	284,0	479,0	753,3	753,3	862,4	604,5
Yumbel	201,3	387,2	703,0	195,2	746,4	683,0	146,3	208,2	68,4	151,0	248,7	399,0	399,0	469,1	316,2

Apéndice XX. Evapotranspiración de cultivo (ETc) actual para el ciclo de cada especie priorizada por comuna.

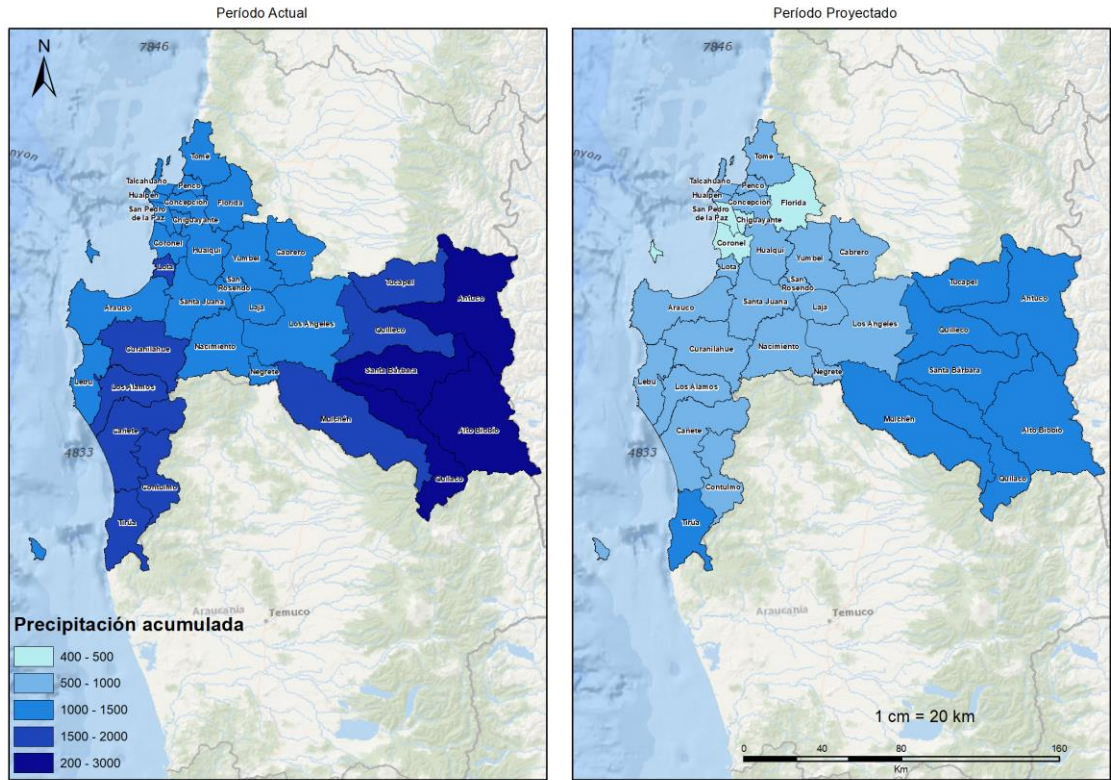
Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	545,0	457,9	271,1	596,6	145,3	319,5	462,6	470,4	308,9	180,0	212,4	558,1	733,7	863,2	718,6
Antuco	529,7	443,0	259,2	581,6	138,4	305,9	450,4	456,4	302,2	176,2	207,3	543,6	715,5	841,7	701,2
Arauco	413,5	359,4	229,4	445,6	129,7	268,2	346,7	361,8	229,6	141,1	160,1	427,0	557,1	656,3	544,1
Cabrero	622,8	534,5	333,9	674,7	186,4	391,3	524,6	541,8	348,4	209,8	241,5	641,0	838,4	987,2	819,6
Cañete	428,6	366,9	225,5	464,9	124,0	264,7	361,3	372,8	240,0	144,1	166,3	440,6	577,0	679,5	564,3
Chiguayante	378,1	336,1	226,1	403,2	132,3	262,9	314,5	333,6	207,0	131,4	145,5	392,4	509,2	600,4	496,3
Concepción	457,3	400,6	262,2	490,7	151,1	305,7	382,4	401,0	252,4	156,6	176,4	472,7	615,4	725,1	600,4
Contulmo	432,8	372,4	231,9	467,9	128,5	271,9	364,2	377,2	241,0	145,6	167,5	444,8	581,8	685,3	568,7
Coronel	399,7	353,1	231,5	427,8	133,6	270,0	333,3	352,3	219,7	138,6	154,4	414,3	538,8	635,4	525,6
Curanilahue	464,6	402,3	255,2	500,9	143,5	298,6	390,1	405,8	257,9	157,4	179,7	478,6	624,8	736,1	610,4
Florida	520,9	455,4	297,0	559,3	170,7	346,5	435,8	456,5	287,7	178,0	201,0	538,1	700,8	825,6	683,8
Hualpén	397,9	353,8	237,2	424,2	138,8	276,0	330,9	351,3	217,6	138,2	153,2	412,8	535,8	631,7	522,1
Hualqui	467,9	408,3	264,5	502,8	150,9	308,7	391,8	409,8	258,7	159,4	180,6	483,0	629,3	741,4	614,2
Laja	611,7	523,8	325,1	663,2	180,6	381,3	515,6	531,8	342,5	205,2	237,2	628,9	823,1	969,0	804,8
Lebu	396,8	343,5	215,8	428,5	120,6	252,7	333,3	346,8	220,8	135,1	153,9	409,3	534,7	630,0	522,5
Los Álamos	450,9	388,2	242,7	487,6	135,0	284,4	379,3	393,0	251,4	152,3	174,7	464,1	606,7	714,6	593,0
Los Ángeles	636,8	541,2	329,6	693,0	180,7	387,3	538,3	552,1	358,3	212,7	247,5	653,9	857,4	1009,2	838,9
Lota	382,1	333,8	216,3	410,8	123,9	252,6	319,7	334,9	211,6	131,6	147,8	395,4	515,2	607,1	502,9
Mulchén	595,1	500,2	295,8	650,9	158,5	348,7	505,1	513,9	337,1	196,7	231,9	609,4	801,2	942,7	784,8
Nacimiento	567,2	486,6	302,8	614,2	167,9	354,9	477,8	493,5	316,8	190,2	219,7	583,0	762,7	898,0	745,6
Negrete	643,0	544,4	328,4	700,7	178,5	386,2	544,3	556,6	362,4	213,7	250,0	659,3	865,2	1018,2	846,8
Penco	422,1	371,9	246,7	452,1	143,6	287,3	352,1	371,0	232,7	145,8	162,9	437,6	568,9	670,4	554,8
Quilaco	565,5	474,9	280,6	618,8	150,0	330,7	480,1	488,1	320,6	186,6	220,3	578,9	761,3	895,6	745,7
Quilleco	591,7	500,1	300,1	645,8	163,0	353,2	501,2	512,0	334,3	197,2	230,5	607,2	797,3	938,4	780,6
San Pedro de la Paz	331,0	314,8	219,8	344,7	131,3	254,7	269,3	303,4	173,7	122,2	127,3	348,7	448,4	531,2	435,6

(Continúa)

(Continuación Apéndice XX)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
San Rosendo	562,4	485,6	307,4	607,4	172,8	359,7	472,7	490,5	313,2	189,8	217,6	579,1	756,5	890,9	739,1
Santa Bárbara	574,4	483,1	286,7	628,3	154,3	337,8	487,4	496,1	325,6	190,6	224,0	588,9	774,0	910,7	758,0
Santa Juana	489,9	424,9	271,4	528,0	153,6	317,4	411,1	428,0	272,0	166,3	189,4	505,1	659,1	776,5	643,8
Talcahuano	375,7	342,7	234,9	397,0	139,0	272,6	309,8	336,1	202,5	133,5	144,5	392,1	506,9	598,7	493,4
Tirúa	371,4	316,8	192,0	403,6	104,5	225,8	313,6	322,8	208,5	124,9	144,4	381,7	500,4	589,3	489,7
Tomé	442,7	391,5	261,7	473,2	152,7	304,5	368,9	389,7	243,2	153,1	170,5	459,0	596,2	702,6	581,2
Tucapel	570,6	482,2	289,5	623,0	157,4	340,7	483,3	493,6	322,8	190,8	222,5	586,1	769,5	905,7	753,4
Yumbel	563,6	487,6	310,4	608,1	175,4	363,0	473,4	491,9	313,3	190,7	218,0	580,7	758,1	892,8	740,5

Apéndice XXI. Variación de precipitaciones acumuladas entre el período actual y el proyectado (2046-2065)



Apéndice XXII. Evapotranspiración de cultivo (ETc) proyectada para el ciclo de cada especie priorizada por comuna.

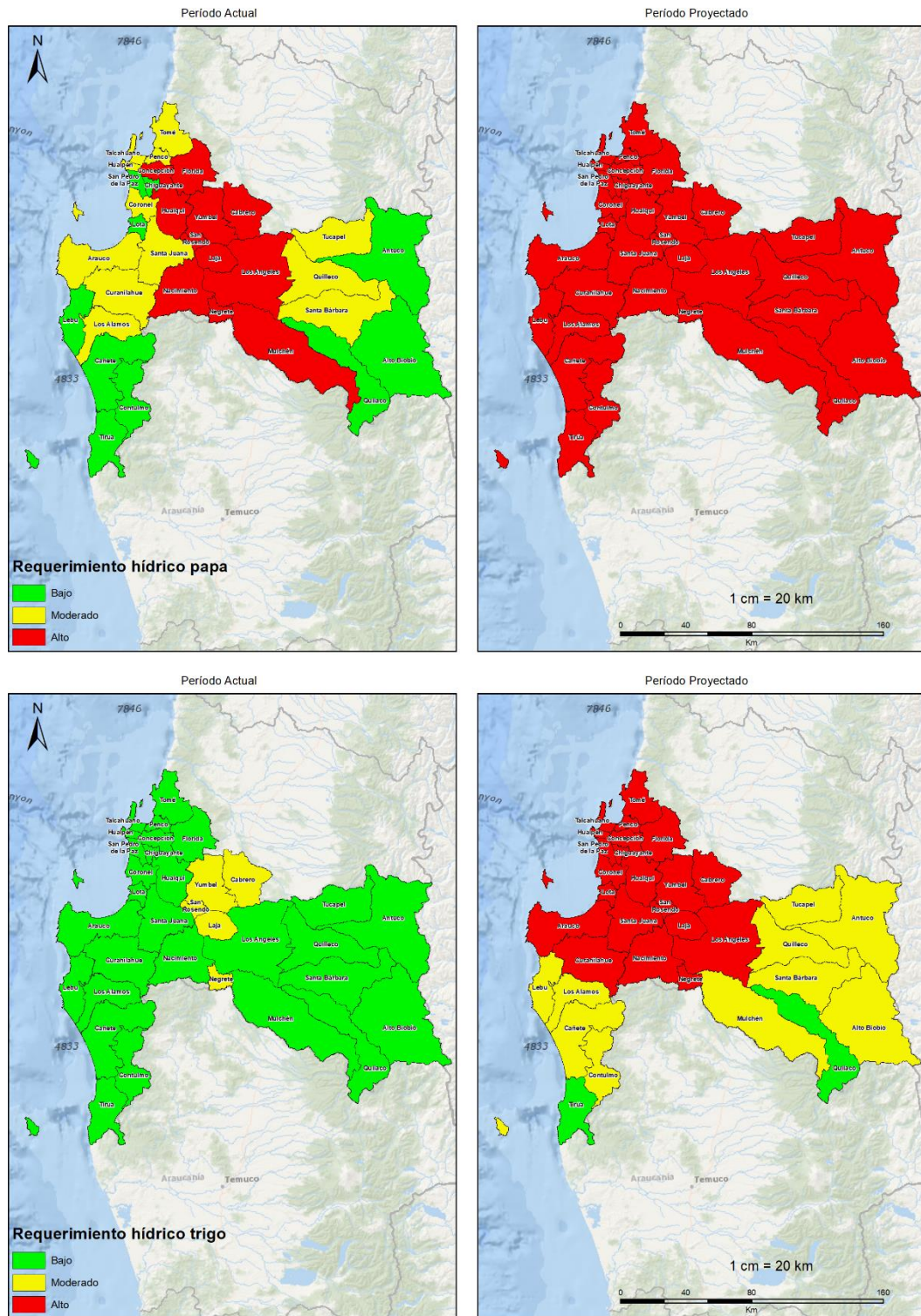
Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	620,0	526,1	326,7	676,0	192,2	383,3	525,6	537,2	349,5	211,2	242,7	638,9	838,3	986,7	820,0
Antuco	600,1	508,8	310,6	653,2	177,8	365,1	508,5	520,3	336,7	202,7	234,2	616,2	808,8	952,5	791,5
Arauco	471,3	406,9	259,3	511,2	150,8	303,8	395,9	410,8	265,9	164,5	184,1	489,8	640,1	754,5	625,7
Cabrero	674,3	597,6	391,0	714,7	228,8	456,8	560,9	595,5	363,6	237,0	259,0	695,7	904,1	1069,8	882,2
Cañete	492,4	419,1	257,3	534,4	146,7	303,0	415,5	426,9	276,5	168,7	191,8	507,0	664,5	783,7	650,4
Chiguayante	414,4	375,4	261,5	439,2	160,4	303,5	342,2	368,7	225,9	151,9	160,6	435,7	563,3	665,7	548,4
Concepción	502,1	448,8	304,0	534,1	181,9	353,6	416,6	444,3	274,3	179,5	194,1	523,9	679,2	802,3	662,0
Contulmo	498,7	428,9	267,4	536,5	153,9	314,4	419,2	434,5	275,4	170,6	192,9	511,8	669,4	790,3	654,6
Coronel	455,9	404,6	269,3	488,1	160,8	314,0	379,4	402,4	251,9	164,0	177,5	476,7	619,6	731,7	604,4
Curanilahue	525,3	454,2	289,3	567,4	168,3	339,0	441,0	458,3	293,7	183,7	204,7	544,7	711,5	839,2	695,3
Florida	572,9	513,9	348,7	605,3	208,1	405,6	474,5	507,9	308,5	202,8	219,8	594,3	769,8	910,1	750,0
Hualpén	419,2	380,4	266,5	445,0	162,8	308,8	346,1	373,1	229,2	152,8	162,4	441,2	570,2	673,3	554,9
Hualqui	521,5	464,2	310,2	554,3	185,0	361,5	433,2	460,9	283,9	186,5	201,5	542,6	704,3	832,5	686,8
Laja	660,7	582,4	377,2	703,1	220,4	441,4	550,5	582,1	359,1	233,5	255,0	683,1	889,0	1051,4	868,0
Lebu	447,8	382,6	237,3	487,4	134,8	279,0	377,3	388,7	253,7	153,8	174,9	463,2	606,7	714,9	593,7
Los Álamos	513,7	439,0	273,1	557,7	156,7	320,9	433,0	446,0	289,2	177,0	200,4	530,6	694,9	819,1	679,8
Los Ángeles	683,0	600,4	385,5	727,4	224,2	451,6	569,7	601,2	371,6	241,8	264,0	705,9	919,3	1087,4	898,0
Lota	433,5	381,7	251,6	465,7	150,8	293,8	361,8	381,2	240,9	156,9	169,4	453,6	590,5	697,2	576,4
Mulchén	643,5	557,0	351,6	694,6	203,1	411,8	540,8	562,5	358,6	229,4	251,9	668,8	874,2	1031,4	854,5
Nacimiento	619,6	542,2	347,8	662,4	202,8	407,4	517,7	544,1	339,6	218,7	240,0	640,9	835,4	987,4	816,1
Negrete	686,7	599,2	378,7	734,4	218,3	444,3	574,4	602,7	376,1	242,2	266,1	709,2	925,4	1094,1	904,5
Penco	476,5	427,9	293,1	506,0	176,4	340,5	394,7	422,4	259,7	170,8	184,1	497,9	644,7	761,5	628,0
Quilaco	630,3	536,4	333,2	687,0	193,3	390,5	533,8	546,9	355,8	219,1	247,6	652,6	855,8	1007,5	837,1
Quilleco	650,8	565,6	357,5	697,6	207,3	419,2	545,7	570,2	357,1	227,4	252,3	671,1	876,3	1035,0	856,4
San Pedro de la Paz	398,8	373,7	260,3	419,7	159,3	302,0	326,0	362,4	214,3	151,2	155,4	423,5	545,9	646,7	531,1

(Continúa)

(Continuación Apéndice XXII)

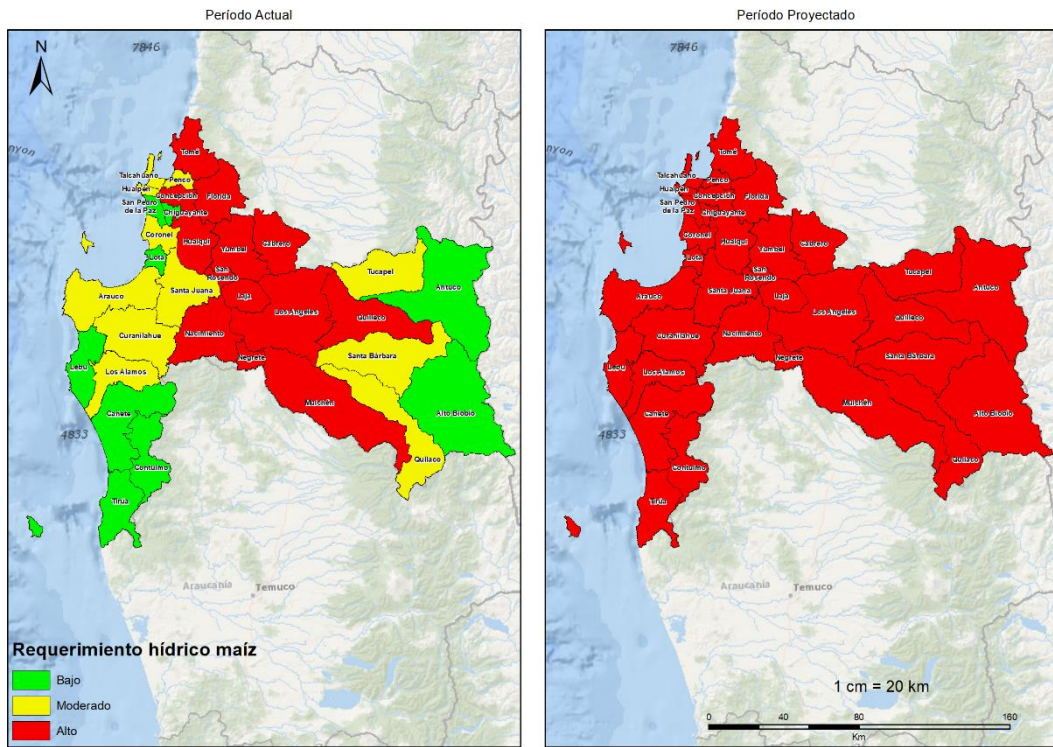
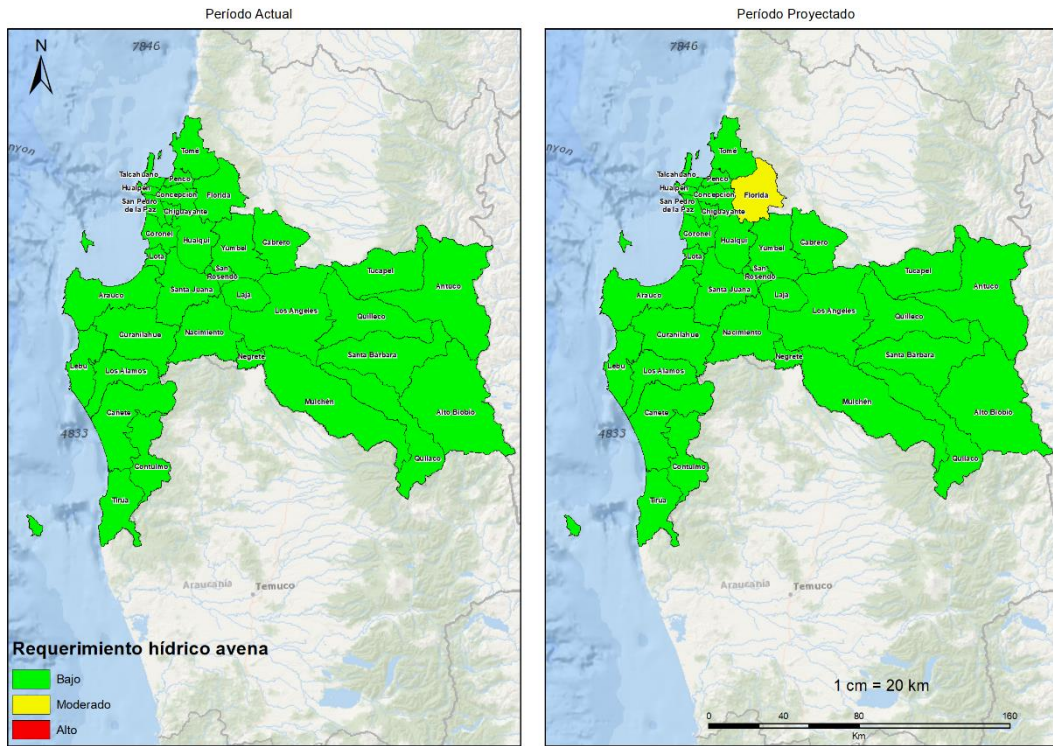
Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
San Rosendo	616,5	545,6	357,7	655,3	210,6	417,9	513,0	543,8	334,9	218,3	237,8	638,4	829,9	981,3	809,9
Santa Bárbara	634,3	547,1	344,2	685,1	200,1	403,5	533,8	553,7	353,0	222,6	247,7	656,6	858,8	1012,9	839,6
Santa Juana	545,6	480,0	313,6	583,1	185,2	366,5	455,1	479,9	299,6	193,6	211,5	566,4	737,1	871,0	719,6
Talcahuano	440,4	404,6	279,6	466,5	169,2	324,5	362,5	395,6	239,3	162,4	171,2	464,7	600,4	710,0	584,4
Tirúa	413,8	356,5	218,3	442,4	122,8	257,5	347,1	361,2	225,3	138,3	158,6	420,8	550,3	650,7	538,4
Tomé	496,6	449,1	312,0	524,8	188,5	361,8	410,3	441,4	268,3	176,9	190,8	518,0	669,5	790,9	651,6
Tucapel	638,7	553,2	346,1	684,6	198,1	406,1	536,5	559,1	349,1	218,7	246,7	655,0	855,9	1010,5	836,5
Yumbel	615,6	547,7	362,8	652,1	214,3	423,3	511,3	544,2	332,4	218,0	236,8	637,3	827,4	978,5	807,0

Apéndice XXIII. Requerimiento hídrico (RH) actual y proyectado (2046-2065) de los cultivos priorizados en función a los requerimiento de ETC y los aportes de precipitación.



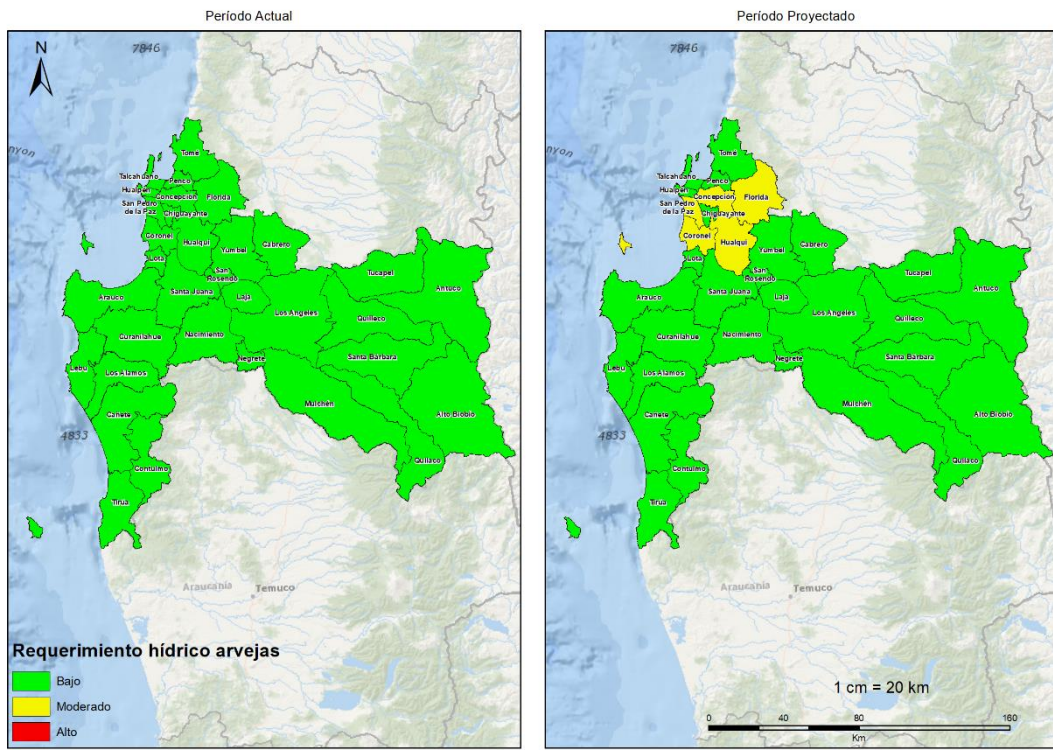
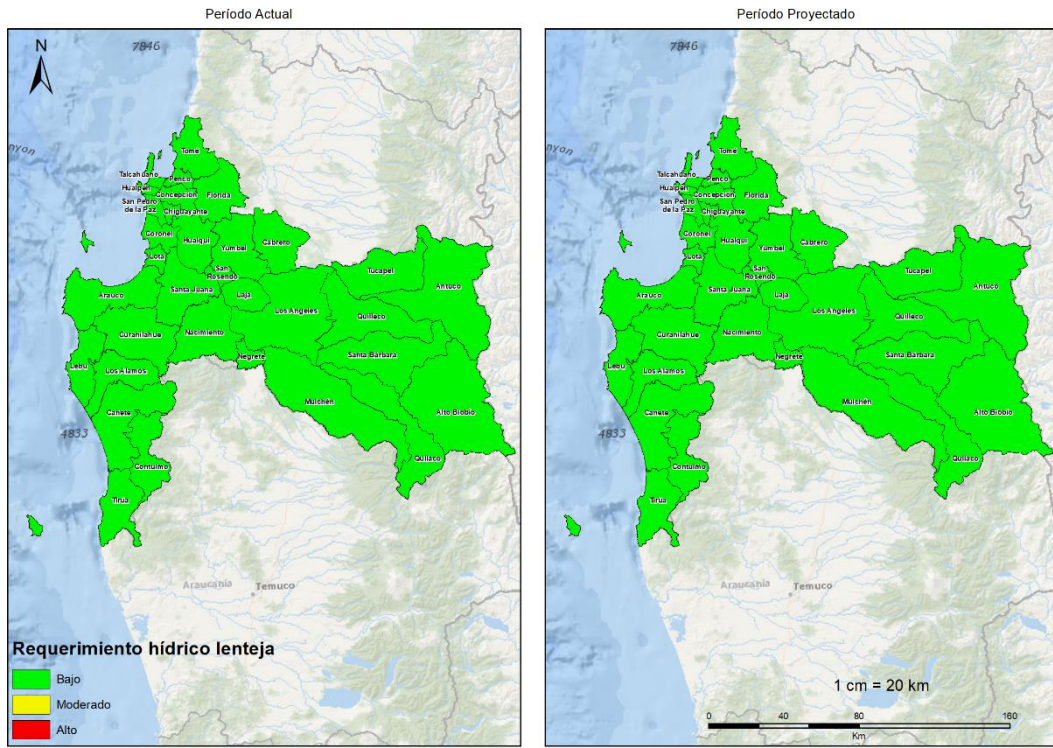
(Continúa)

(Continuación XXIII)



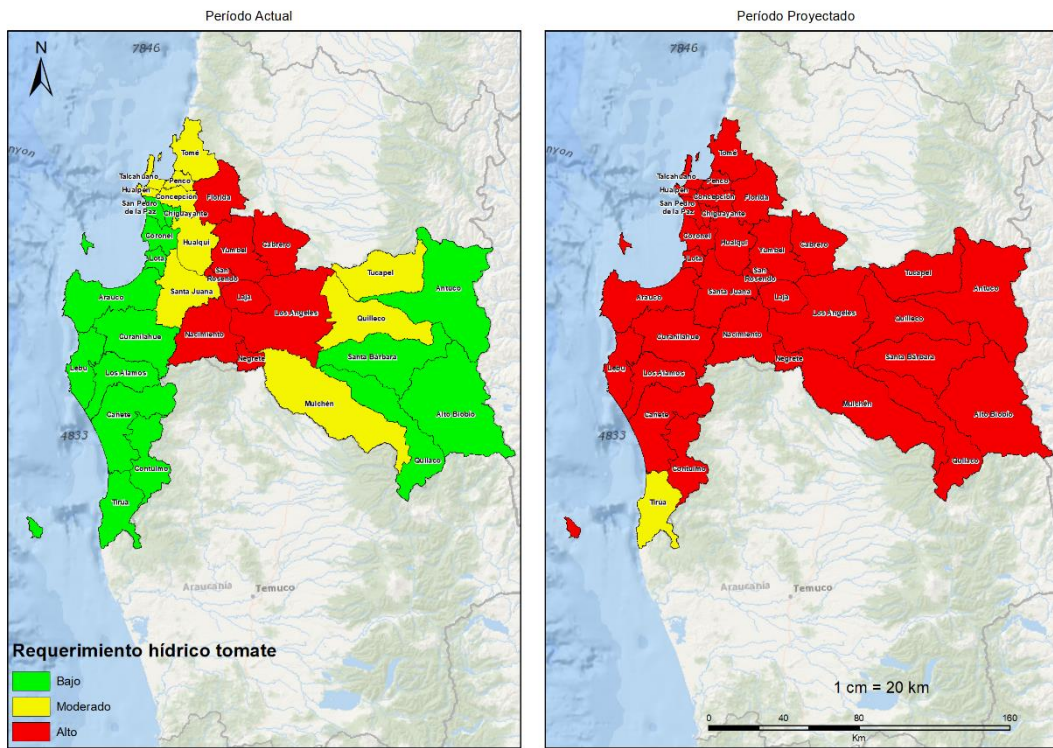
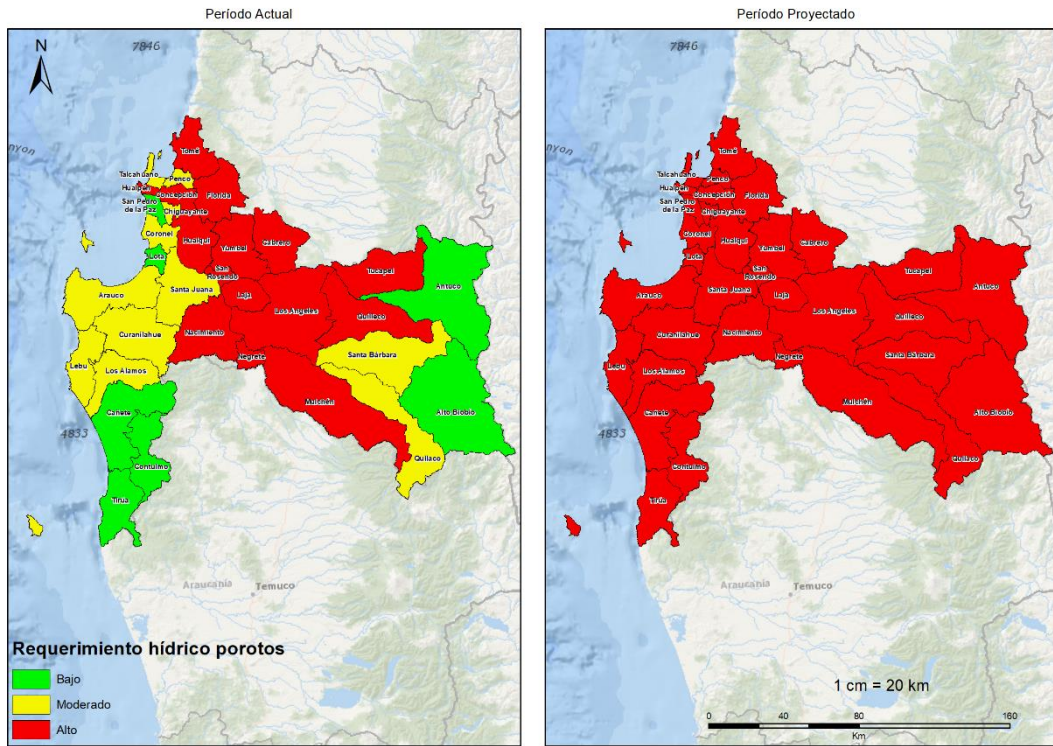
(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



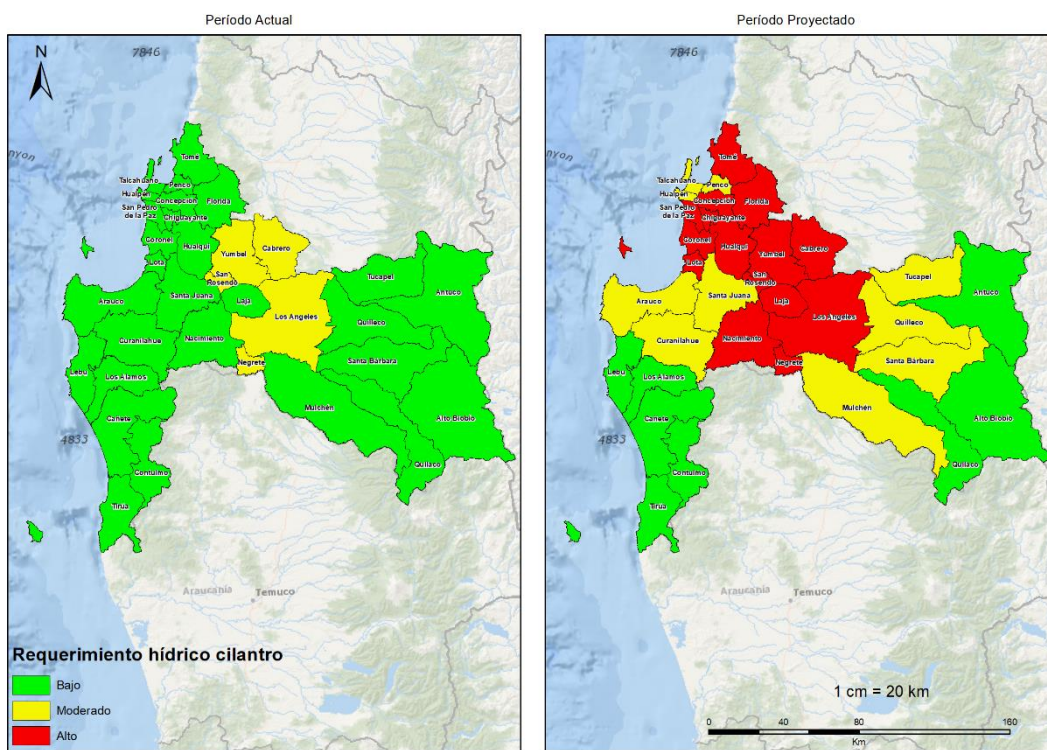
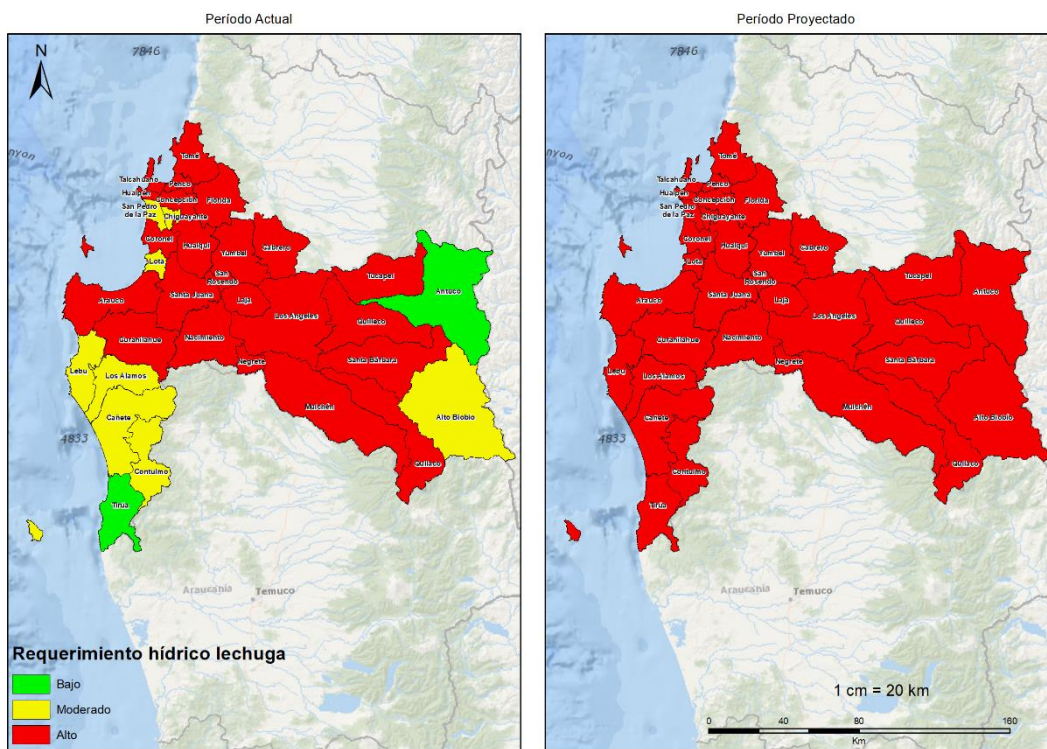
(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



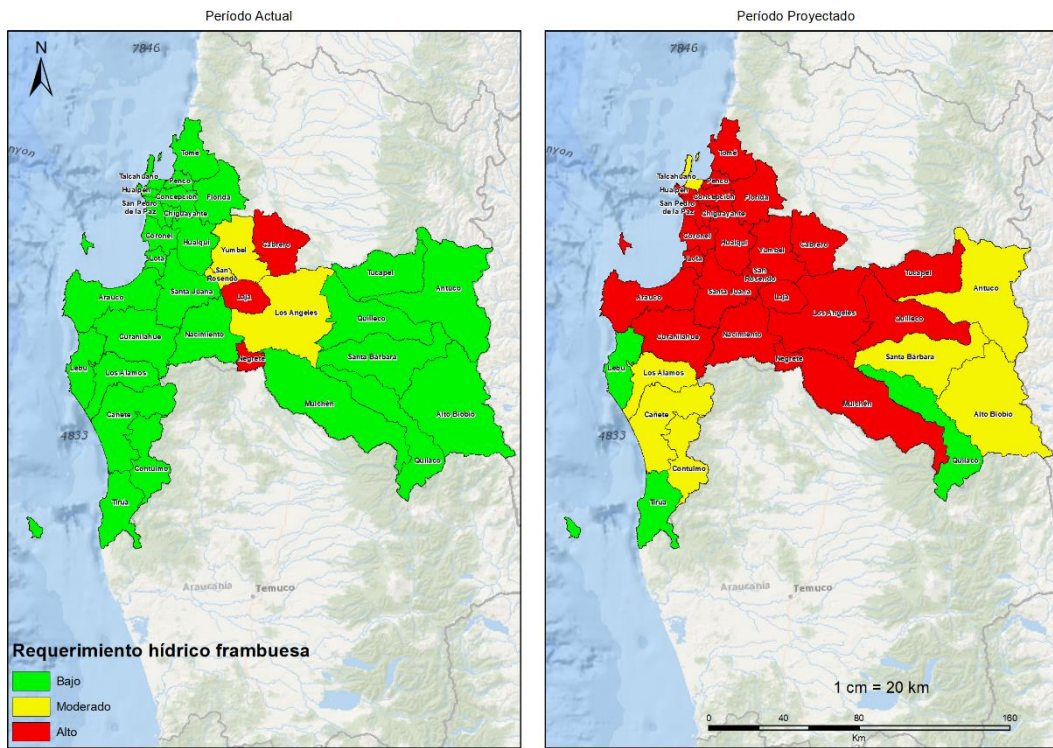
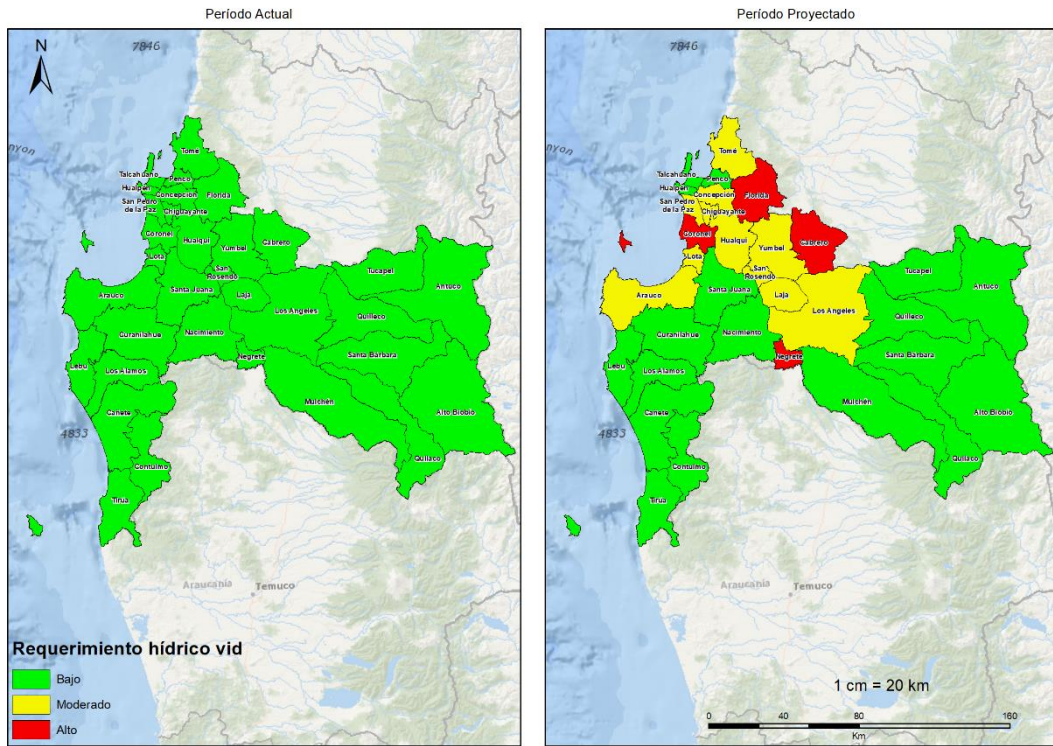
(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



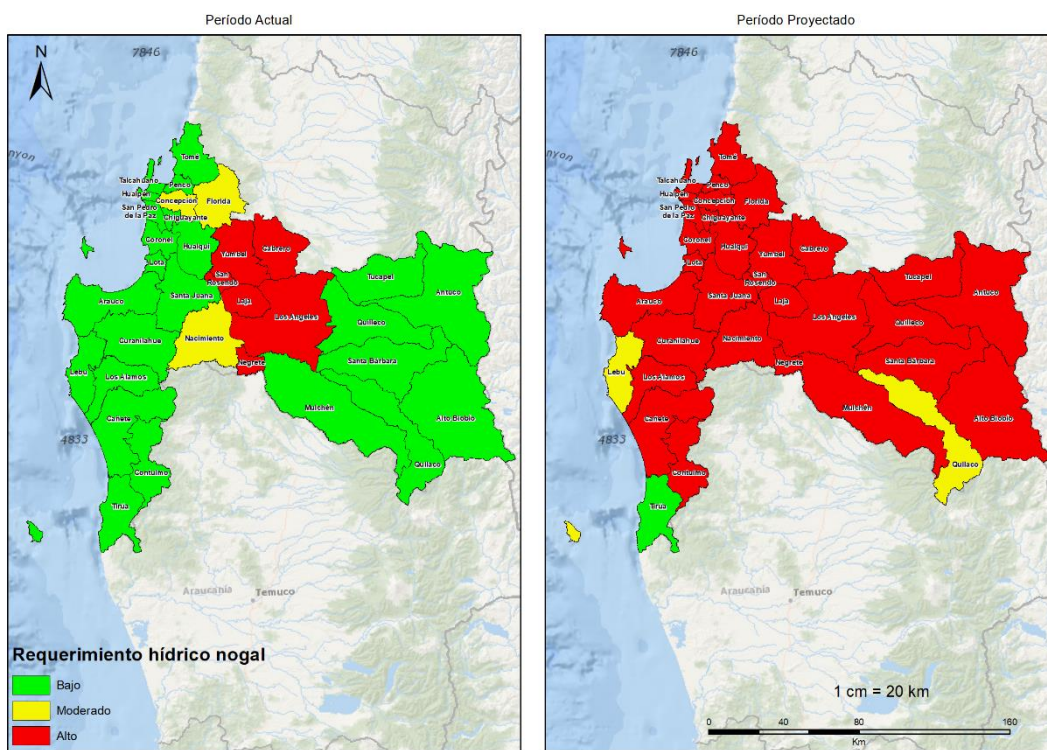
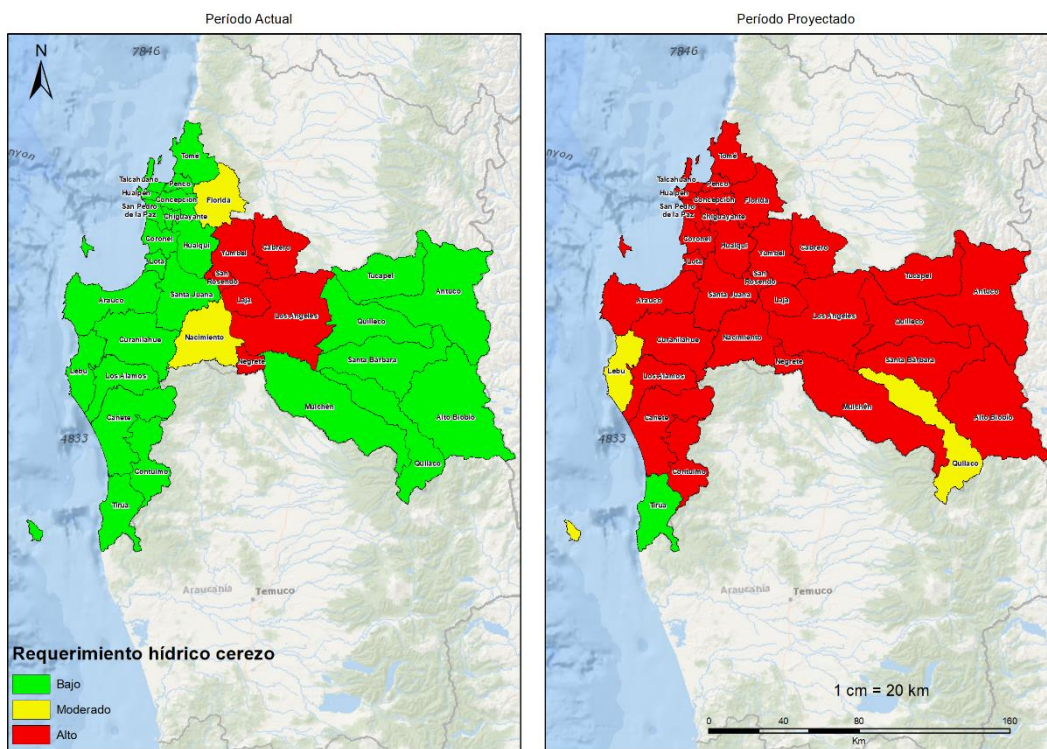
(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



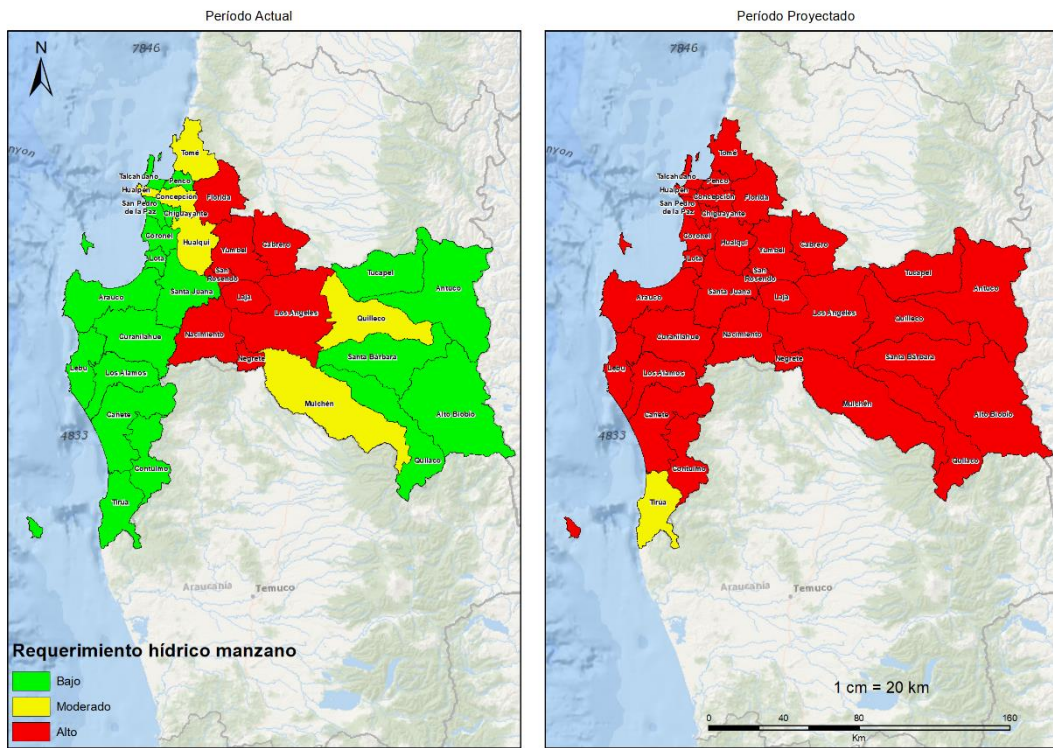
(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIII)



Apéndice XXIV. Precipitaciones acumuladas proyectadas para cada ciclo de los cultivos priorizados por comuna.

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	193,0	399,1	698,0	211,3	813,4	671,9	146,6	194,5	92,4	232,1	336,7	469,5	469,5	582,9	387,1
Antuco	170,3	322,1	597,1	194,1	728,6	571,5	139,6	161,0	88,2	204,1	308,1	397,4	397,4	538,7	348,2
Arauco	89,2	192,3	342,1	82,3	387,2	330,4	58,8	99,4	22,5	105,9	140,0	220,6	220,6	269,9	173,1
Cabrero	123,4	247,6	448,5	114,0	490,8	432,2	90,9	126,7	37,5	79,8	142,0	231,1	231,1	288,1	180,4
Cañete	167,2	311,5	535,7	163,6	587,6	517,4	121,2	171,6	61,3	150,9	231,1	357,1	357,1	426,3	287,3
Chiguayante	78,1	147,9	285,1	79,7	348,1	272,1	57,5	81,4	27,0	87,5	124,1	179,7	179,7	252,5	149,3
Concepción	85,3	150,8	295,9	88,2	359,2	282,1	64,6	85,2	34,7	83,1	125,7	182,5	182,5	259,2	152,2
Contulmo	170,2	314,2	535,8	165,5	581,8	517,2	125,9	172,4	61,5	139,0	225,3	346,9	346,9	411,3	280,1
Coronel	57,7	127,1	240,3	53,7	289,7	230,3	39,3	64,5	12,7	71,9	95,1	143,7	143,7	195,1	114,7
Curanilahue	127,2	262,5	457,1	123,4	511,1	441,4	88,5	137,9	39,6	129,9	185,7	290,9	290,9	351,5	229,0
Florida	64,7	136,0	256,0	55,6	296,1	245,4	44,2	70,0	14,6	47,5	73,7	128,8	128,8	175,4	96,6
Hualpén	96,6	173,2	314,7	103,4	358,7	302,5	74,5	95,8	42,5	99,2	152,5	214,2	214,2	267,7	179,6
Hualqui	91,7	171,4	298,8	96,0	356,2	286,4	68,8	97,7	31,5	83,5	131,0	194,8	194,8	258,0	156,0
Laja	129,4	255,7	469,2	128,9	525,6	451,5	96,6	133,5	49,0	99,2	168,2	261,7	261,7	320,4	202,4
Lebu	166,5	297,1	507,5	168,8	561,7	490,8	119,5	170,4	69,2	172,8	251,1	380,1	380,1	449,4	307,5
Los Álamos	153,6	296,8	519,6	148,5	575,0	502,0	108,0	160,6	54,5	149,8	217,8	341,8	341,8	412,2	272,3
Los Ángeles	130,6	269,0	525,6	122,8	587,7	505,0	95,1	133,9	44,3	103,7	166,6	264,6	264,6	338,9	208,2
Lota	81,3	171,0	297,7	78,5	352,4	286,3	57,2	90,6	19,4	93,4	130,5	195,2	195,2	250,0	155,3
Mulchén	167,2	345,6	644,6	157,6	725,2	619,9	120,8	172,6	56,4	147,4	227,7	355,6	355,6	446,4	280,2
Nacimiento	151,1	292,1	508,4	155,1	566,9	489,8	113,1	157,9	57,7	127,9	209,5	318,0	318,0	375,6	248,8
Negrete	106,9	233,5	477,6	94,1	538,9	457,6	73,3	114,8	30,5	91,5	137,4	230,5	230,5	290,2	172,0
Penco	115,3	193,6	362,2	121,2	425,0	346,7	89,7	111,3	52,4	102,6	165,2	236,9	236,9	317,8	199,3
Quilaco	270,1	524,4	916,5	265,4	1012,1	884,4	202,1	273,5	99,5	229,6	371,6	560,7	560,7	678,4	451,1
Quilleco	191,7	372,3	677,6	184,4	757,6	651,9	141,9	192,5	69,4	160,0	255,2	391,6	391,6	494,0	317,5
San Pedro de la Paz	61,0	129,4	250,6	59,0	298,3	240,0	42,9	65,5	17,3	75,9	102,2	150,0	150,0	202,6	122,9
San Rosendo	129,9	241,8	407,8	138,2	458,8	393,1	99,9	134,7	52,7	100,3	175,0	262,2	262,2	314,0	205,3

(Continúa)

(Continuación Apéndice XXIV)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambuesa (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Santa Bárbara	178,2	365,9	673,5	173,7	769,9	646,7	129,6	181,9	67,7	174,2	260,3	395,0	395,0	500,1	316,0
Santa Juana	130,5	252,0	415,5	139,7	473,0	400,7	97,9	140,3	47,6	122,9	193,3	285,7	285,7	343,3	226,7
Talcahuano	140,8	228,8	398,1	156,1	447,4	383,2	112,7	135,2	69,6	127,0	211,5	292,3	292,3	358,4	247,7
Tirúa	215,9	369,2	615,5	226,3	668,8	594,1	161,3	216,8	95,1	194,2	306,8	458,8	458,8	531,9	373,9
Tomé	118,0	220,8	384,7	112,8	423,8	371,0	87,9	119,0	39,7	89,2	149,4	231,2	231,2	288,1	187,1
Tucapel	194,2	363,8	662,7	190,9	746,3	637,4	148,5	191,7	72,8	157,9	261,5	387,8	387,8	496,7	320,4
Yumbel	118,5	220,2	370,3	120,0	414,0	362,6	89,7	122,0	43,1	82,9	147,5	228,9	228,9	280,1	179,2

Apéndice XXV. Requerimiento Hídrico (RH) proyectado del ciclo de los cultivos priorizados para cada comuna de la Región del Biobío.

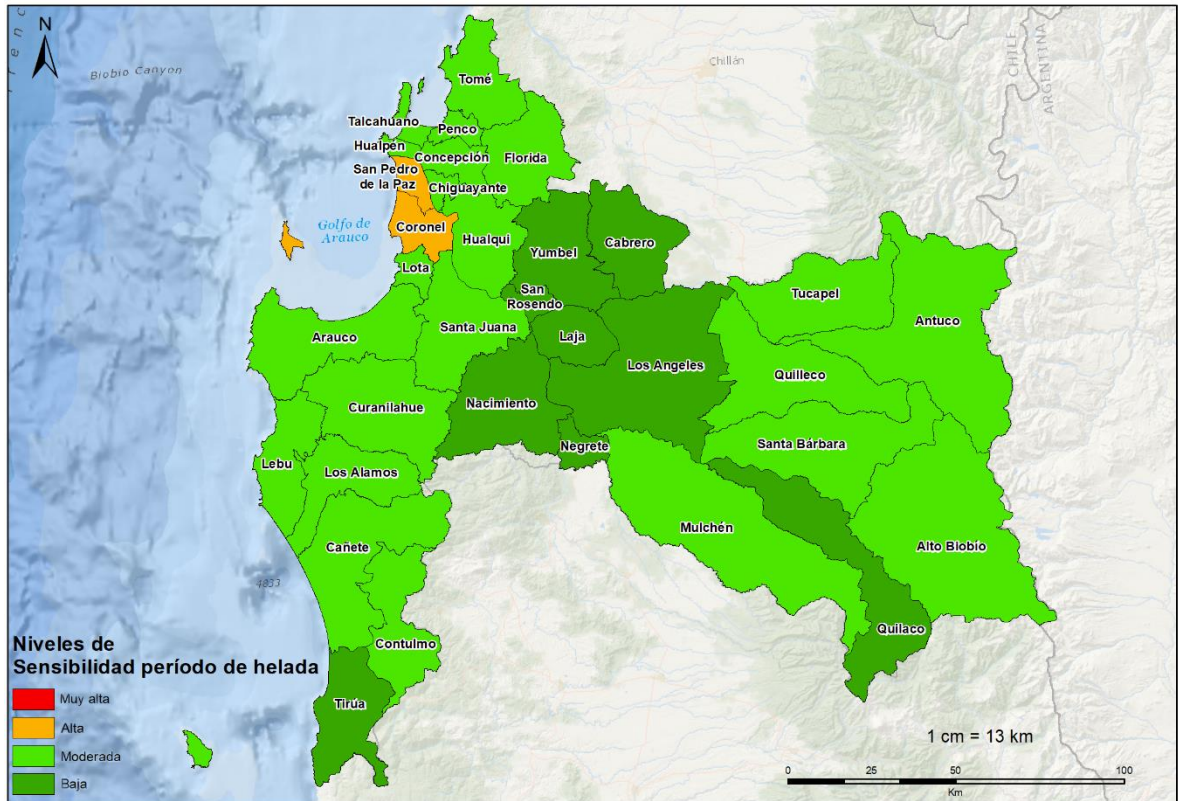
Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Alto Biobío	426,9	127,0	-371,3	464,7	-621,2	-288,5	379,0	342,7	257,1	-20,9	-94,1	169,4	368,8	403,9	432,8
Antuco	429,7	186,8	-286,6	459,1	-550,8	-206,4	368,9	359,3	248,5	-1,4	-74,0	218,8	411,4	413,8	443,3
Arauco	382,1	214,6	-82,7	428,9	-236,4	-26,6	337,1	311,4	243,4	58,6	44,1	269,2	419,5	484,6	452,6
Cabrero	550,9	350,0	-57,6	600,7	-262,0	24,6	470,0	468,8	326,1	157,1	117,0	464,5	672,9	781,8	701,8
Cañete	325,2	107,6	-278,4	370,8	-440,9	-214,4	294,3	255,3	215,2	17,8	-39,3	149,9	307,5	357,4	363,2
Chiguayante	336,3	227,5	-23,5	359,5	-187,6	31,4	284,7	287,2	198,9	64,4	36,5	256,0	383,6	413,2	399,1
Concepción	416,8	298,1	8,1	446,0	-177,3	71,5	352,0	359,1	239,6	96,4	68,4	341,4	496,8	543,2	509,7
Contulmo	328,5	114,7	-268,4	371,0	-427,9	-202,8	293,3	262,1	213,9	31,6	-32,4	165,0	322,5	379,0	374,5
Coronel	398,2	277,5	29,0	434,3	-128,9	83,7	340,1	338,0	239,1	92,2	82,3	333,0	475,8	536,5	489,7
Curanilahue	398,1	191,8	-167,9	444,0	-342,8	-102,4	352,4	320,4	254,2	53,8	19,0	253,8	420,6	487,7	466,3
Florida	508,1	377,9	92,7	549,7	-88,0	160,2	430,3	437,9	293,9	155,3	146,1	465,5	641,0	734,7	653,4
Hualpén	322,6	207,3	-48,3	341,6	-195,9	6,3	271,6	277,4	186,7	53,7	10,0	227,0	356,0	405,5	375,3
Hualqui	429,8	292,9	11,4	458,3	-171,2	75,1	364,4	363,2	252,4	103,1	70,5	347,7	509,4	574,5	530,8
Laja	531,3	326,7	-92,0	574,1	-305,2	-10,1	453,9	448,6	310,2	134,3	86,9	421,4	627,3	731,0	665,6
Lebu	281,3	85,5	-270,2	318,6	-426,9	-211,7	257,8	218,3	184,5	-19,0	-76,2	83,1	226,6	265,5	286,2
Los Álamos	360,2	142,1	-246,4	409,1	-418,4	-181,0	325,0	285,3	234,7	27,2	-17,5	188,8	353,1	406,9	407,5
Los Ángeles	552,4	331,5	-140,1	604,6	-363,5	-53,4	474,6	467,4	327,3	138,1	97,4	441,2	654,7	748,6	689,8
Lota	352,3	210,7	-46,1	387,2	-201,6	7,5	304,6	290,7	221,5	63,5	39,0	258,4	395,3	447,2	421,0
Mulchén	476,3	211,4	-293,0	537,1	-522,1	-208,1	420,0	389,9	302,2	82,0	24,2	313,2	518,6	584,9	574,3
Nacimiento	468,5	250,1	-160,5	507,3	-364,1	-82,4	404,7	386,1	281,9	90,7	30,5	323,0	517,4	611,8	567,2
Negrete	579,8	365,7	-99,0	640,3	-320,6	-13,4	501,1	487,9	345,6	150,7	128,7	478,7	694,9	804,0	732,5
Penco	361,2	234,3	-69,1	384,8	-248,6	-6,3	305,0	311,0	207,3	68,1	18,8	261,0	407,8	443,7	428,7
Quilaco	360,2	12,0	-583,3	421,6	-818,8	-493,8	331,7	273,3	256,3	-10,5	-124,0	91,9	295,2	329,1	385,9
Quilleco	459,1	193,3	-320,1	513,2	-550,2	-232,7	403,8	377,8	287,6	67,4	-2,9	279,6	484,7	541,1	538,9
San Pedro de la Paz	337,8	244,4	9,7	360,7	-139,0	62,0	283,1	296,9	197,0	75,4	53,3	273,5	396,0	444,1	408,2
San Rosendo	486,5	303,8	-50,1	517,1	-248,2	24,8	413,1	409,0	282,1	118,0	62,8	376,2	567,7	667,3	604,6

(Continúa)

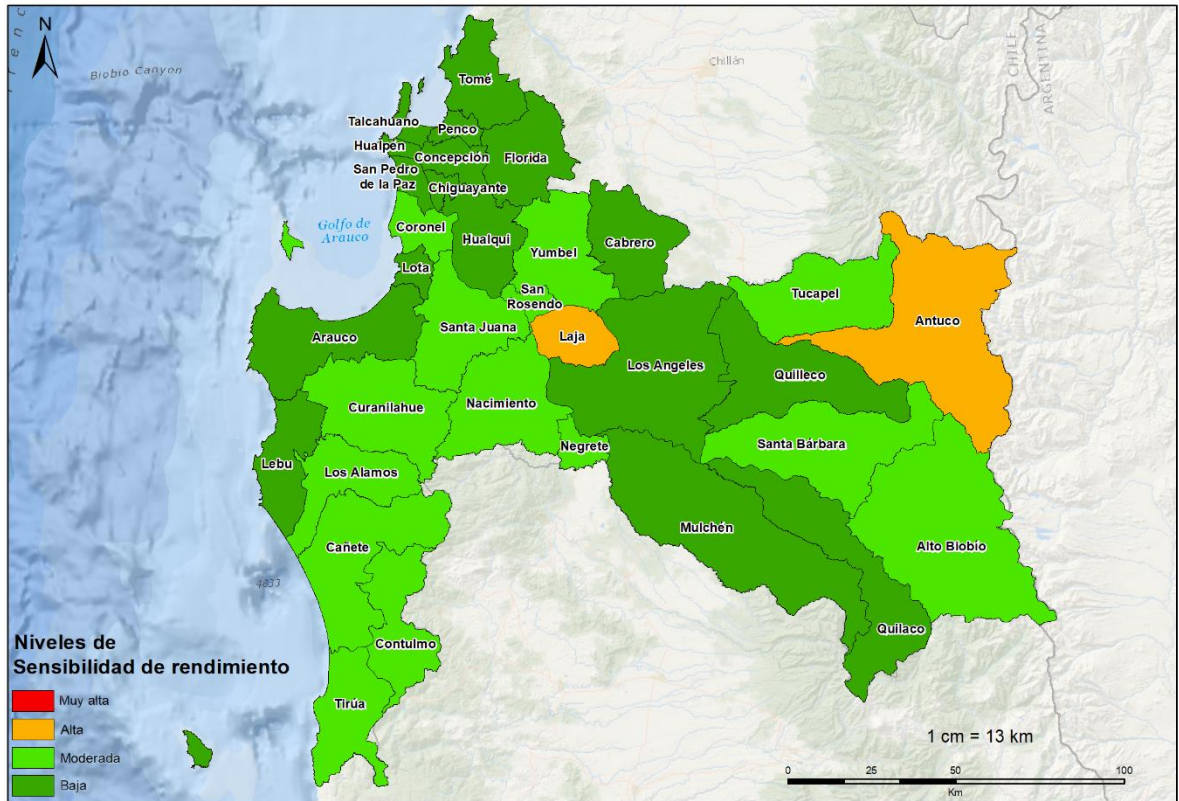
(Continuación Apéndice XXV)

Comuna	Papa (mm)	Trigo (mm)	Avena (mm)	Maíz (mm)	Lenteja (mm)	Arvejas (mm)	Poroto (mm)	Tomate (mm)	Lechuga (mm)	Cilantro (mm)	Vid (mm)	Frambueso (mm)	Cerezo (mm)	Nogal (mm)	Manzano (mm)
Santa Bárbara	456,1	181,2	-329,2	511,4	-569,9	-243,2	404,2	371,8	285,3	48,3	-12,6	261,6	463,8	512,8	523,6
Santa Juana	415,1	228,0	-101,9	443,4	-287,8	-34,2	357,2	339,6	251,9	70,7	18,1	280,7	451,5	527,7	492,8
Talcahuano	299,6	175,8	-118,5	310,3	-278,1	-58,7	249,8	260,4	169,7	35,4	-40,3	172,4	308,2	351,6	336,7
Tirúa	197,9	-12,7	-397,2	216,1	-546,0	-336,5	185,8	144,5	130,1	-55,9	-148,2	-38,0	91,4	118,8	164,6
Tomé	378,6	228,3	-72,6	412,0	-235,3	-9,1	322,4	322,4	228,6	87,7	41,4	286,8	438,3	502,8	464,5
Tucapel	444,5	189,4	-316,5	493,7	-548,2	-231,4	388,0	367,5	276,4	60,8	-14,8	267,3	468,1	513,8	516,1
Yumbel	497,1	327,4	-7,5	532,1	-199,7	60,7	421,6	422,3	289,3	135,1	89,3	408,4	598,4	698,4	627,7

Apéndice XXVI. Cartografía del indicador sensibilidad del período de helada



Apéndice XXVII. Cartografía del indicador sensibilidad de rendimiento



Apéndice XXVIII. Disminución de rendimiento (%) entre el período actual y proyectado y promedio de descenso regional de los cultivos priorizados.

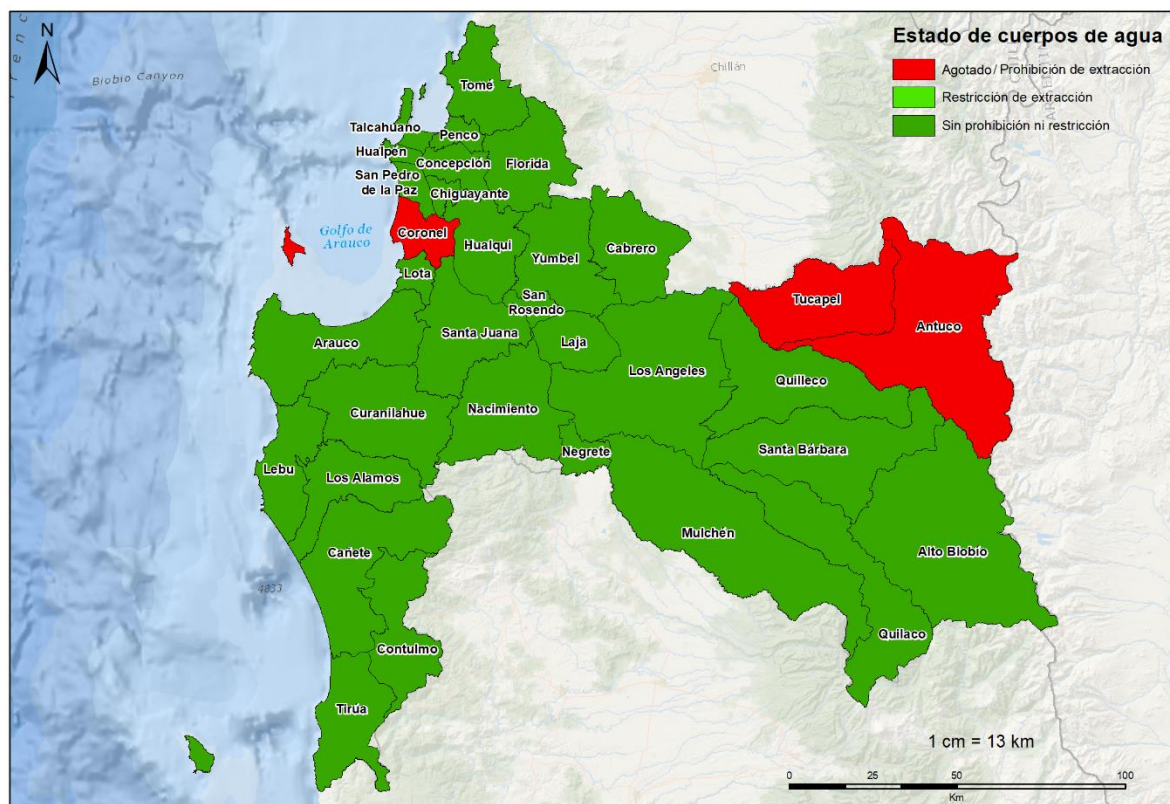
Comuna	Papa	Trigo	Avena	Maíz	Lenteja	Arvejas	Poroto	Tomate	Lechuga	Cilantro	Vid	Frambuesa	Cerezo	Nogal	Manzano
Alto Biobío	84,12	51,21	26,62	42,68	1,99	77,38	81,97	94,71	99,03	84,73	0,71	2,25	1,33	2,67	1,97
Antuco	57,27	35,63	34,64	50,34	1,70	68,74	49,63	76,18	99,02	84,58	76,64	2,11	56,43	2,81	63,13
Arauco	77,24	33,70	11,21	1,35	1,36	0,81	18,10	0,97	17,17	40,73	0,62	75,10	0,56	2,03	1,48
Cabrero	47,92	1,06	1,92	2,38	2,11	1,58	2,29	10,12	9,58	0,21	0,73	2,09	1,25	3,47	2,60
Cañete	75,14	23,86	8,19	23,96	1,26	70,26	1,37	18,49	43,06	0,62	0,71	40,46	0,60	2,15	91,40
Chiguayante	1,06	0,94	1,26	1,44	1,49	1,09	1,38	1,39	1,02	0,38	0,45	1,39	0,81	2,16	1,58
Concepción	1,21	1,07	1,33	1,78	1,63	1,13	1,71	1,58	1,20	0,43	0,54	1,58	0,93	2,65	1,95
Contulmo	79,59	0,77	60,98	1,55	1,60	56,31	29,71	71,81	82,23	58,04	0,77	1,23	99,01	2,33	99,02
Coronel	40,14	0,94	1,26	55,74	1,65	47,26	1,57	59,95	2,30	0,61	0,62	1,39	0,81	99,02	99,02
Curanilahue	60,76	0,00	1,26	1,46	1,63	0,95	74,14	91,18	2,65	21,55	0,68	1,17	99,01	2,17	99,02
Florida	1,06	1,06	1,26	2,83	16,05	58,08	50,85	1,97	1,12	0,49	50,91	3,15	66,09	3,23	99,02
Hualpén	0,90	0,90	0,99	1,10	1,11	0,85	1,05	1,18	0,41	0,25	0,27	1,18	0,69	1,65	1,21
Hualqui	54,23	1,16	1,60	1,94	1,92	15,78	1,86	1,68	1,49	1,61	0,67	89,17	0,99	90,29	2,12
Laja	30,90	63,77	79,92	44,62	2,15	63,25	28,51	58,17	0,62	8,79	81,31	61,10	78,67	90,32	99,02
Lebu	73,66	21,23	0,59	1,02	1,07	45,79	30,89	38,07	58,09	31,76	0,57	0,60	0,35	1,54	1,12
Los Álamos	78,94	35,94	50,45	79,14	1,47	80,38	75,38	91,35	53,95	23,84	0,68	0,96	0,56	2,00	99,01
Los Ángeles	1,26	1,26	36,39	2,27	0,00	11,37	30,92	39,67	4,10	12,12	82,48	2,00	80,62	40,41	2,47
Lota	0,98	0,90	1,30	1,49	1,70	1,00	1,42	1,29	2,00	0,56	0,60	1,29	0,75	2,23	1,63
Mulchén	58,50	1,60	1,80	2,02	68,41	73,97	1,94	2,23	10,39	73,08	0,60	2,23	1,32	81,61	2,21
Nacimiento	0,00	0,00	0,00	33,34	2,05	1,36	8,98	66,00	74,91	59,58	99,01	1,56	20,35	99,03	66,25
Negrete	41,01	1,28	38,30	40,01	2,19	49,87	1,95	51,90	44,49	36,09	0,69	1,75	1,04	92,04	99,02

(Continúa)

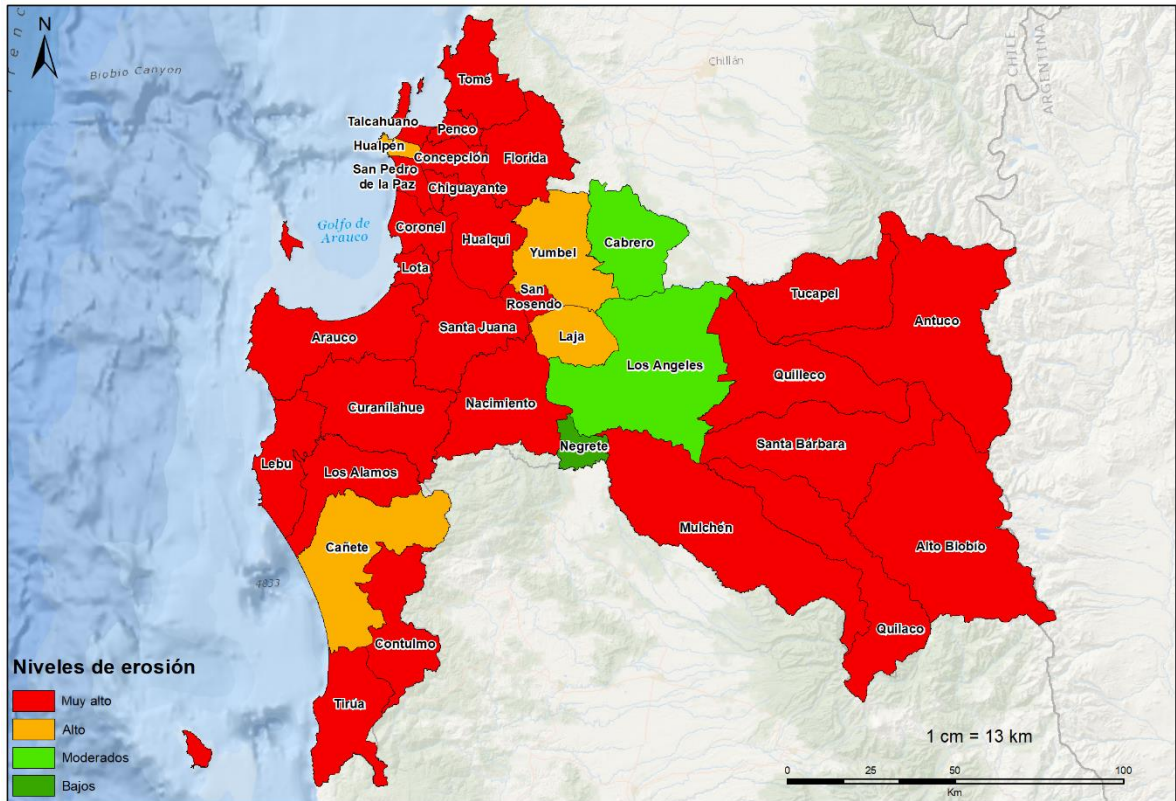
(Continuación Apéndice XXVIII)

Comuna	Papa	Trigo	Avena	Maíz	Lenteja	Arvejas	Poroto	Tomate	Lechuga	Cilantro	Vid	Frambuesa	Cerezo	Nogal	Manzano
Penco	81,78	1,16	1,47	48,90	1,72	81,67	32,71	58,81	17,55	0,53	0,62	1,85	1,09	2,98	2,19
Quilaco	15,19	18,64	4,88	53,22	2,18	1,55	1,68	65,26	71,76	0,58	0,60	19,91	1,29	2,59	1,92
Quilleco	64,34	1,42	1,80	30,96	2,21	55,30	48,37	35,79	46,33	70,49	0,75	2,17	1,29	3,31	2,46
San Pedro de la Paz	1,14	0,94	1,30	1,82	1,83	1,00	1,75	1,50	3,22	0,79	0,71	1,50	0,88	2,74	2,00
San Rosendo	55,97	1,24	1,80	45,02	2,09	18,67	2,01	10,10	1,10	0,35	53,87	75,32	77,79	99,03	98,85
Santa Bárbara	34,87	16,45	37,85	2,15	2,26	64,81	53,61	57,62	68,41	51,40	0,67	2,24	1,32	86,71	2,35
Santa Juana	43,90	1,06	1,55	46,61	75,82	17,28	46,78	0,00	1,73	0,48	78,39	1,53	0,90	99,36	56,82
Talcahuano	1,30	1,08	1,34	2,01	1,82	1,04	1,93	1,70	2,30	0,80	0,71	1,70	1,00	3,01	2,21
Tirúa	77,82	51,23	59,50	78,13	0,99	73,47	82,23	57,19	20,36	22,10	0,61	96,62	0,47	1,88	99,01
Tomé	18,97	30,96	32,15	2,15	1,68	59,31	2,06	2,90	1,56	0,49	70,18	2,05	1,20	3,19	99,34
Tucapel	53,24	1,29	41,87	2,31	1,97	72,38	2,21	68,17	82,02	0,41	0,80	2,23	99,01	3,39	2,52
Yumbel	85,57	64,98	69,07	19,74	15,30	54,51	2,13	1,91	0,89	0,30	89,49	82,45	26,33	3,25	2,42
Promedio Regional	42,4	14,2	18,6	21,9	6,8	37,3	23,4	34,6	28,1	20,9	21,2	17,7	21,9	28,4	39,6

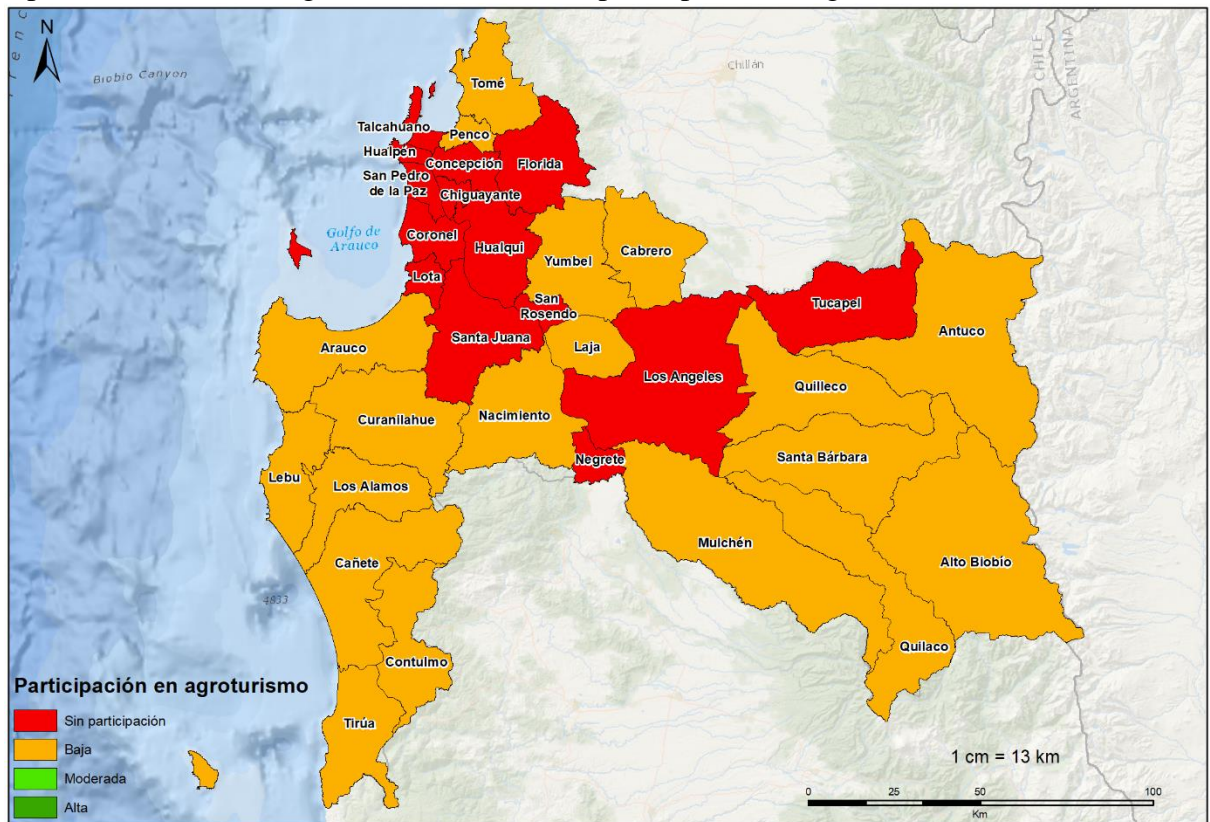
Apéndice XXIX. Cartografía del indicador de estados de cuerpo de agua superficial y subterránea.



Apéndice XXX. Cartografía del indicador de superficie no erosionada.



Apéndice XXXI. Cartografía del indicador de participación en agroturismo.



Apéndice XXXII. Nivel de vulnerabilidad del componente exposición para los territorios agrícolas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Diversidad cultivada	Indicador Rotación de cultivos	Indicador Sensibilidad Aptitud Térmica	Indicador Sensibilidad Aptitud Hídrica	Indicador Sensibilidad Período de Helada	Indicador Sensibilidad de Rendimiento	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea	Indicador Proporción de Superficie No Erosionada	Indicador Participación en Agroturismo	Componente Sensibilidad
Alto Biobío	0,75	0,38	0,76	0,69	0,45	0,56	1,00	0,00	0,12	0,52
Antuco	0,72	0,89	0,75	0,62	1,00	0,49	0,00	0,00	0,04	0,50
Arauco	0,51	0,85	0,84	0,58	1,00	0,81	1,00	0,23	0,02	0,65
Cabrero	0,79	0,75	0,81	0,88	0,79	0,94	1,00	0,62	0,03	0,73
Cañete	0,36	0,88	0,84	0,68	0,31	0,73	1,00	0,32	0,01	0,57
Chiguayante	0,00	0,00	0,81	0,52	1,00	0,99	1,00	0,01	0,00	0,48
Concepción	0,00	0,00	0,82	0,61	0,57	0,99	1,00	0,07	0,00	0,45
Contulmo	0,35	0,59	0,83	0,66	0,36	0,57	1,00	0,04	0,10	0,50
Coronel	0,64	0,07	0,82	0,47	1,00	0,73	0,00	0,11	0,00	0,43
Curanilahue	0,62	0,74	0,84	0,63	1,00	0,69	1,00	0,01	0,06	0,62
Florida	0,64	0,81	0,82	0,59	1,00	0,76	1,00	0,00	0,00	0,62
Hualpén	0,00	0,00	0,85	0,67	1,00	0,99	1,00	0,30	0,00	0,53
Hualqui	0,57	0,74	0,82	0,61	1,00	0,82	1,00	0,06	0,00	0,62
Laja	0,77	0,28	0,81	0,87	1,00	0,47	1,00	0,36	0,006	0,62
Lebu	0,59	0,66	0,86	0,74	1,00	0,80	1,00	0,20	0,106	0,66
Los Álamos	0,44	0,88	0,83	0,68	1,00	0,55	1,00	0,09	0,02	0,61
Los Ángeles	0,77	0,87	0,82	0,85	1,00	0,77	1,00	0,70	0,00	0,75
Lota	0,00	0,00	0,82	0,50	1,00	0,99	1,00	0,01	0,00	0,48
Mulchén	0,74	0,57	0,77	0,74	1,00	0,75	1,00	0,15	0,10	0,65
Nacimiento	0,66	0,53	0,82	0,77	1,00	0,65	1,00	0,03	0,02	0,61
Negrete	0,68	0,90	0,83	0,86	1,00	0,67	1,00	0,75	0,00	0,74
Penco	0,52	0,95	0,81	0,65	1,00	0,78	1,00	0,06	0,05	0,65
Quilaco	0,71	0,96	0,70	0,79	1,00	0,83	1,00	0,02	0,05	0,67

(Continúa)

(Continuación Apéndice XXXII)

Comuna	Indicador Diversidad cultivada	Indicador Rotación de cultivos	Indicador Sensibilidad Aptitud Térmica	Indicador Sensibilidad Aptitud Hídrica	Indicador Sensibilidad Período de Helada	Indicador Sensibilidad de Rendimiento	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea	Indicador Proporción de Superficie No Erosionada	Indicador Participación en Agroturismo	Componente Sensibilidad
Quilleco	0,61	0,62	0,78	0,74	1,00	0,76	1,00	0,22	0,015	0,64
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,79	0,46	1,00	0,98	1,00	0,09	0,00	0,48
San Rosendo	0,72	0,78	0,82	0,83	1,00	0,64	1,00	0,12	0,00	0,66
Santa Bárbara	0,71	0,29	0,74	0,68	1,00	0,68	1,00	0,06	0,06	0,58
Santa Juana	0,56	0,73	0,83	0,67	1,00	0,69	1,00	0,05	0,00	0,61
Talcahuano	0,00	0,00	0,80	0,72	0,96	0,98	1,00	0,21	0,00	0,52
Tirúa	0,40	0,85	0,84	0,8	0,76	0,52	1,00	0,11	0,06	0,59
Tomé	0,49	0,67	0,81	0,66	1,00	0,78	1,00	0,00	0,01	0,60
Tucapel	0,70	0,95	0,76	0,72	1,00	0,71	0,00	0,24	0,00	0,56
Yumbel	0,64	0,76	0,82	0,8	1,00	0,65	1,00	0,27	0,01	0,66
Promedio	0,50	0,57	0,81	0,69	0,91	0,75	0,92	0,17	0,03	0,59

Apéndice XXXIII. Nivel de resiliencia para el componente multifuncionalidad del territorio agrícola de las comunas de la Región del Biobío.

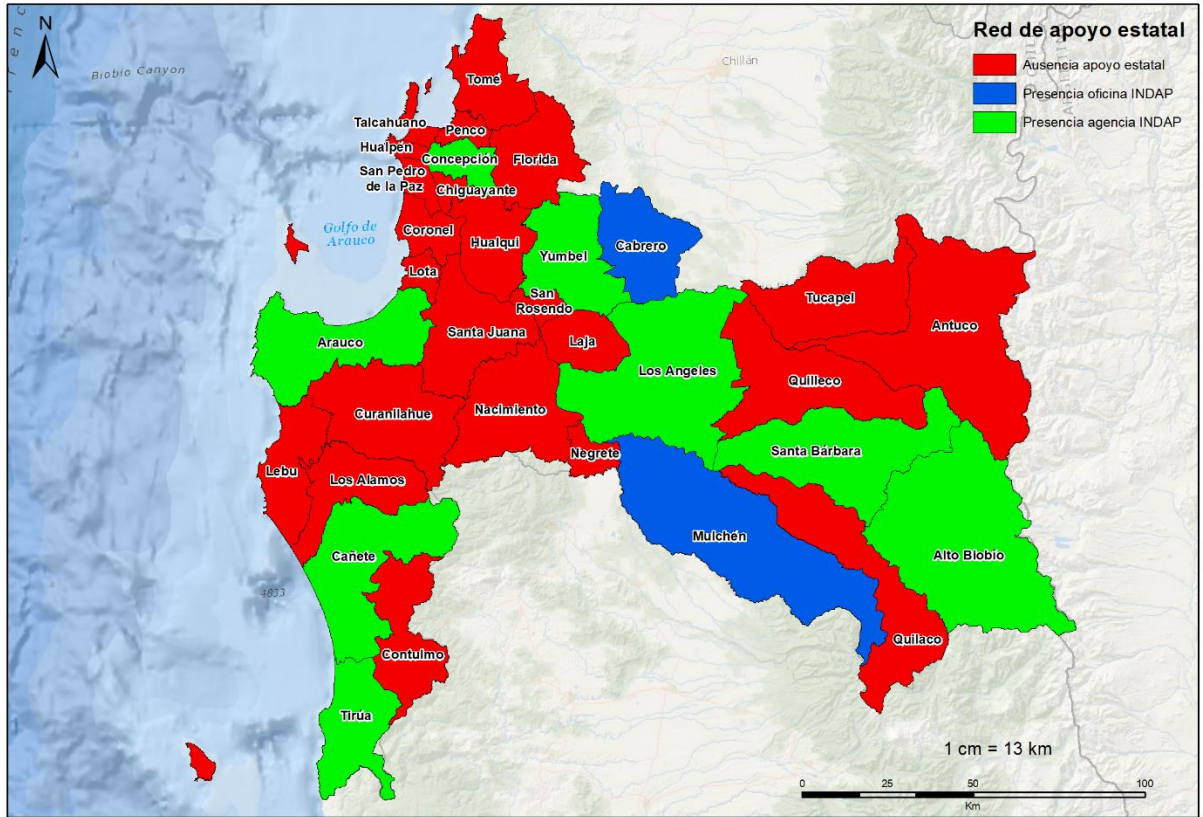
Comuna	Indicador superficie cultivada	Indicador Diversidad cultivada	Indicador Zona de riego	Indicador Rotación de cultivos	Indicador Sensibilidad Aptitud Térmica	Indicador Sensibilidad Aptitud Hídrica	Indicador Sensibilidad Período de Helada	Indicador Sensibilidad de Rendimiento	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea	Indicador Proporción de Superficie No Erosionada	Indicador Condición de urbanidad	Indicador Participación en Agroturismo	Componente de Multifuncionalidad
Alto Biobío	0,33	0,75	0,96	0,38	0,76	0,69	0,45	0,56	1,00	0,00	0,00	0,12	0,50
Antuco	0,11	0,72	0,84	0,89	0,75	0,62	1,00	0,49	0,00	0,00	0,51	0,04	0,50
Arauco	0,09	0,51	0,18	0,85	0,84	0,58	1,00	0,81	1,00	0,23	0,75	0,02	0,57
Cabrero	0,42	0,79	0,95	0,75	0,81	0,88	0,79	0,94	1,00	0,62	0,75	0,03	0,73
Cañete	0,02	0,36	0,08	0,88	0,84	0,68	0,31	0,73	1,00	0,32	0,56	0,01	0,48
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,52	1,00	0,99	1,00	0,01	1,00	0,00	0,44
Concepción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,61	0,57	0,99	1,00	0,07	0,98	0,00	0,42
Contulmo	0,06	0,35	0,13	0,59	0,83	0,66	0,36	0,57	1,00	0,04	0,51	0,10	0,43
Coronel	0,29	0,64	0,74	0,07	0,82	0,47	1,00	0,73	0,00	0,11	0,97	0,00	0,49
Curanilahue	0,11	0,62	0,53	0,74	0,84	0,63	1,00	0,69	1,00	0,01	0,93	0,06	0,60
Florida	0,05	0,64	0,25	0,81	0,82	0,59	1,00	0,76	1,00	0,00	0,43	0,00	0,53
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	0,67	1,00	0,99	1,00	0,30	0,99	0,00	0,48
Hualqui	0,14	0,57	0,41	0,74	0,82	0,61	1,00	0,82	1,00	0,06	0,86	0,00	0,59
Laja	0,22	0,77	0,33	0,28	0,81	0,87	1,00	0,47	1,00	0,36	0,72	0,01	0,57
Lebu	0,01	0,59	0,09	0,66	0,86	0,74	1,00	0,80	1,00	0,20	0,92	0,11	0,58
Los Álamos	0,03	0,44	0,05	0,88	0,83	0,68	1,00	0,55	1,00	0,09	0,89	0,02	0,54
Los Ángeles	0,14	0,77	0,90	0,87	0,82	0,85	1,00	0,77	1,00	0,70	0,75	0,00	0,71
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,50	1,00	0,99	1,00	0,01	1,00	0,00	0,44
Mulchén	0,25	0,74	0,85	0,57	0,77	0,74	1,00	0,75	1,00	0,15	0,82	0,10	0,65
Nacimiento	0,13	0,66	0,56	0,53	0,82	0,77	1,00	0,65	1,00	0,03	0,88	0,02	0,59

(Continúa)

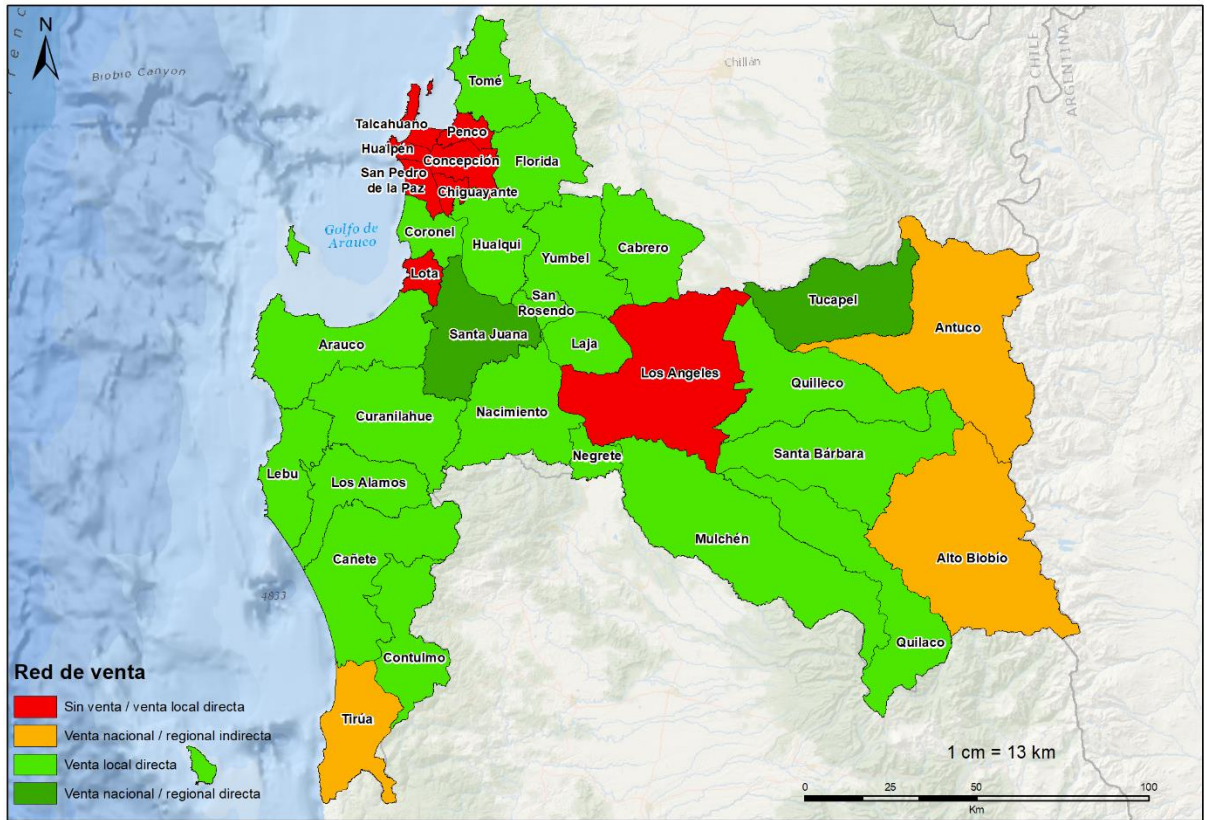
(Continuación Apéndice XXXIII)

Comuna	Indicador superficie cultivada	Indicador Diversidad cultivada	Indicador Zona de riego	Indicador Rotación de cultivos	Indicador Sensibilidad Aptitud Térmica	Indicador Sensibilidad Aptitud Hídrica	Indicador Sensibilidad Período de Helada	Indicador Sensibilidad de Rendimiento	Indicador Estado de cuerpos de agua superficial y subterránea	Indicador Proporción de Superficie No Erosionada	Indicador Condición de urbanidad	Indicador Participación en Agroturismo	Componente de Multifuncionalidad
Negrete	0,07	0,68	0,85	0,90	0,83	0,86	1,00	0,67	1,00	0,75	0,62	0,00	0,69
Penco	0,15	0,52	0,71	0,95	0,81	0,65	1,00	0,78	1,00	0,06	0,99	0,05	0,64
Quilaco	0,04	0,71	0,56	0,96	0,70	0,79	1,00	0,83	1,00	0,02	0,47	0,05	0,59
Quilleco	0,10	0,61	0,46	0,62	0,78	0,74	1,00	0,76	1,00	0,22	0,58	0,02	0,57
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,46	1,00	0,98	1,00	0,09	1,00	0,00	0,44
San Rosendo	0,07	0,72	0,13	0,78	0,82	0,83	1,00	0,64	1,00	0,12	0,85	0,00	0,58
Santa Bárbara	0,18	0,71	0,91	0,29	0,74	0,68	1,00	0,68	1,00	0,06	0,58	0,06	0,57
Santa Juana	0,06	0,56	0,70	0,73	0,83	0,67	1,00	0,69	1,00	0,05	0,70	0,00	0,58
Talcahuano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,72	0,96	0,98	1,00	0,21	0,99	0,00	0,47
Tirúa	0,00	0,40	0,01	0,85	0,84	0,80	0,76	0,52	1,00	0,11	0,36	0,05	0,48
Tomé	0,04	0,49	0,28	0,67	0,81	0,66	1,00	0,78	1,00	0,00	0,90	0,01	0,55
Tucapel	0,17	0,70	0,88	0,95	0,76	0,72	1,00	0,71	0,00	0,24	0,84	0,00	0,58
Yumbel	0,10	0,64	0,15	0,76	0,82	0,80	1,00	0,65	1,00	0,27	0,60	0,00	0,57
Promedio	0,10	0,50	0,41	0,57	0,81	0,69	0,91	0,75	0,92	0,17	0,75	0,03	0,55

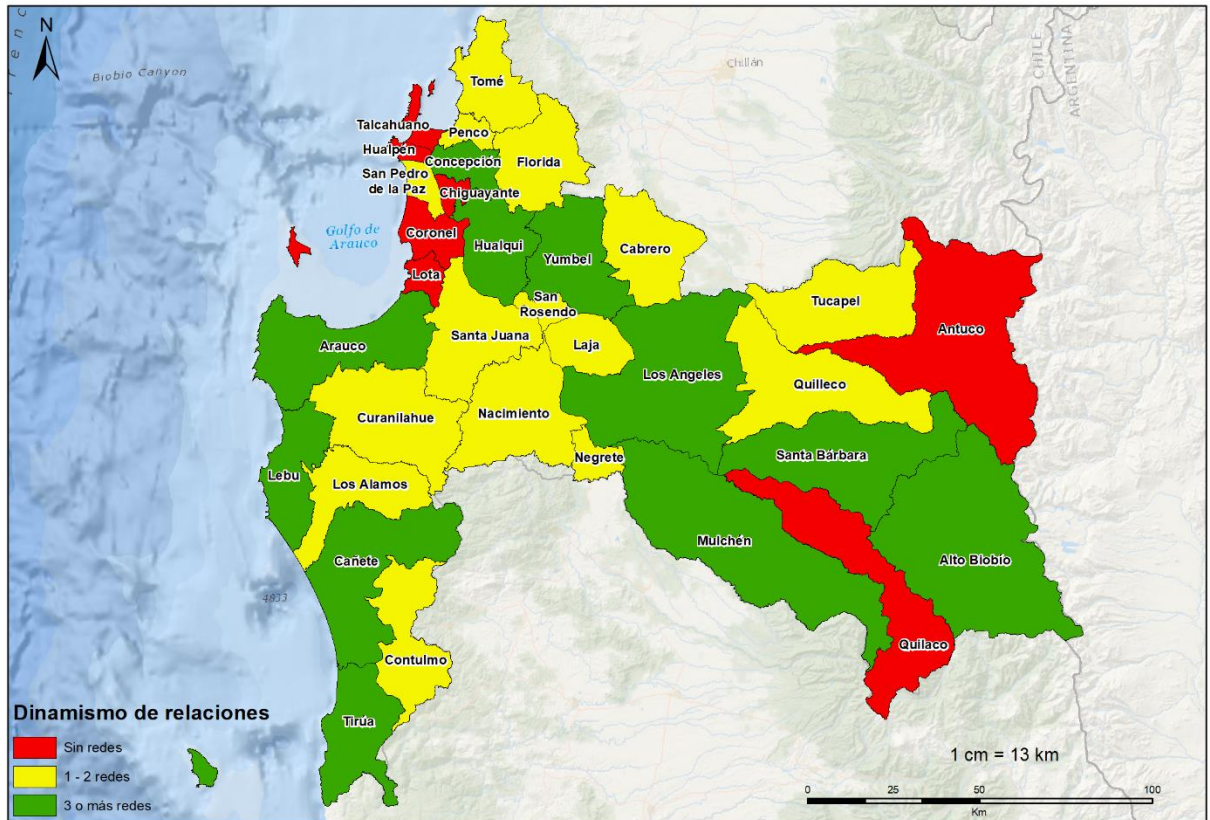
Apéndice XXXIV. Cartografía del indicador de redes de apoyo estatales.



Apéndice XXXV. Cartografía del indicador de redes de venta.



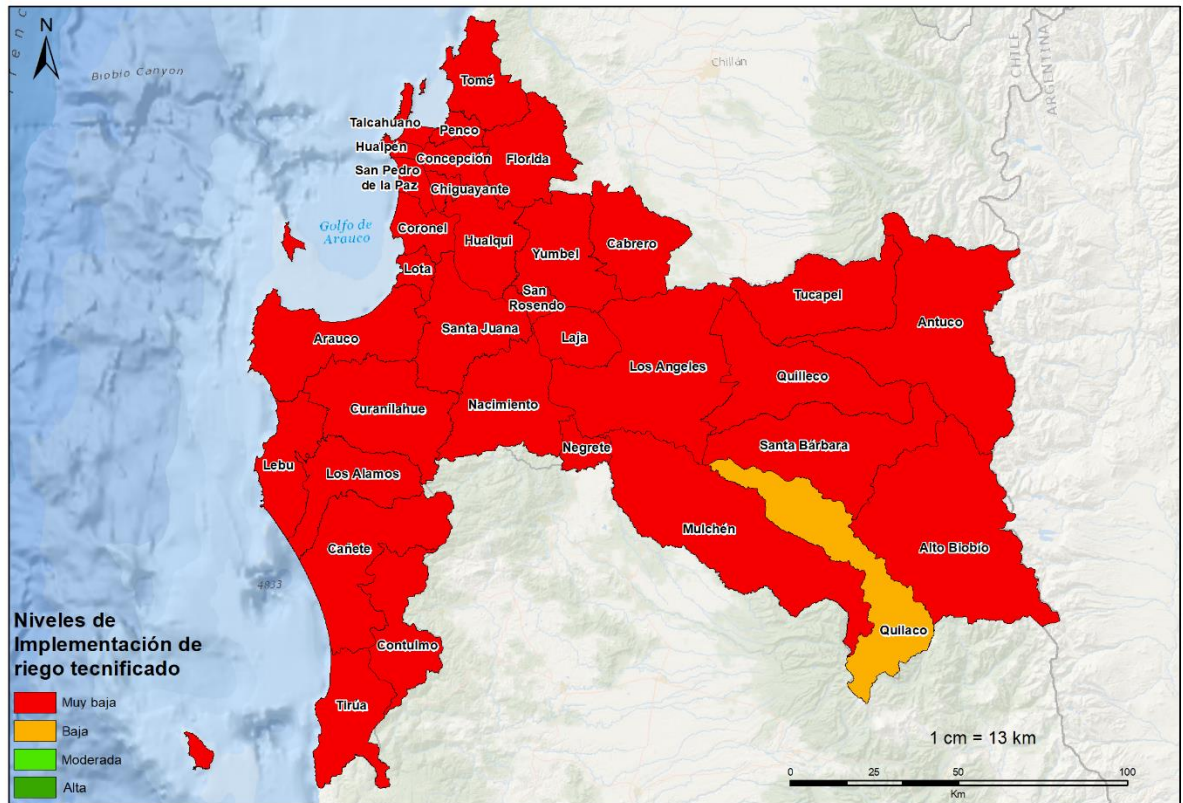
Apéndice XXXVI. Cartografía del indicador de dinamismo de relaciones en el territorio.



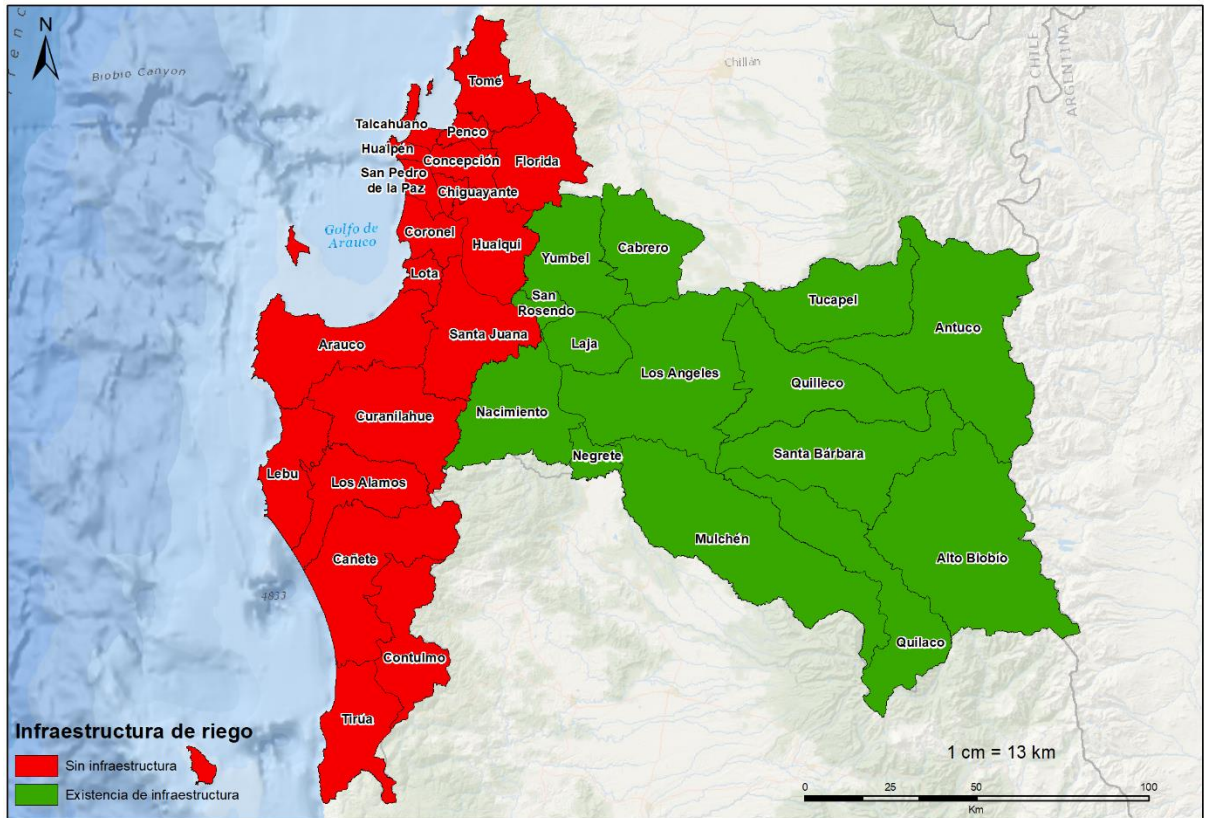
Apéndice XXXVII. Nivel de resiliencia para el componente de interacciones dinámicas entre los actores del territorio para las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Redes de apoyo estatales	Indicador Redes de venta	Indicador Dinamismo de relaciones en el territorio	Indicador Interacciones Dinámicas
Alto Biobío	1,00	0,40	1,00	0,80
Antuco	0,00	0,43	0,00	0,14
Arauco	1,00	0,61	1,00	0,87
Cabrero	0,50	0,52	0,50	0,51
Cañete	1,00	0,51	1,00	0,84
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00
Concepción	1,00	0,00	1,00	0,67
Contulmo	0,00	0,66	0,50	0,39
Coronel	0,00	0,58	0,00	0,19
Curanilahue	0,00	0,60	0,50	0,37
Florida	0,00	0,71	0,50	0,40
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00
Hualqui	0,00	0,73	1,00	0,58
Laja	0,00	0,58	0,50	0,36
Lebu	0,00	0,69	1,00	0,56
Los Álamos	0,00	0,58	0,50	0,36
Los Ángeles	1,00	0,00	1,00	0,67
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulchén	0,50	0,56	1,00	0,69
Nacimiento	0,00	0,69	0,50	0,40
Negrete	0,00	0,74	0,50	0,41
Penco	0,00	0,02	0,50	0,17
Quilaco	0,00	0,56	0,00	0,19
Quilleco	0,00	0,64	0,50	0,38
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,50	0,17
San Rosendo	0,00	0,69	0,50	0,40
Santa Bárbara	1,00	0,59	1,00	0,86
Santa Juana	0,00	0,75	0,50	0,42
Talcahuano	0,00	0,00	0,00	0,00
Tirúa	1,00	0,44	1,00	0,81
Tomé	0,00	0,65	0,50	0,38
Tucapel	0,00	0,75	0,50	0,42
Yumbel	1,00	0,65	1,00	0,88
Promedio	0,27	0,46	0,56	0,43

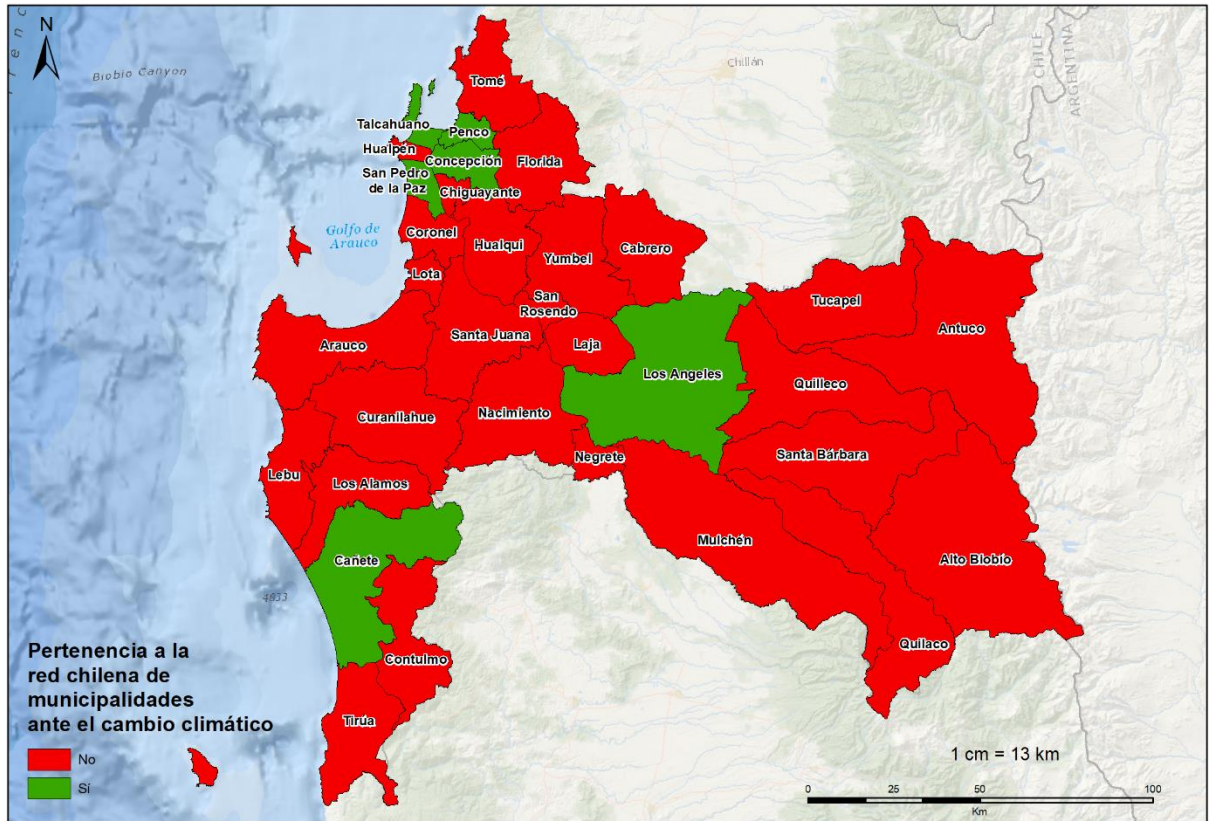
Apéndice XXXVIII. Cartografía del indicador de implementación de riego tecnificado.



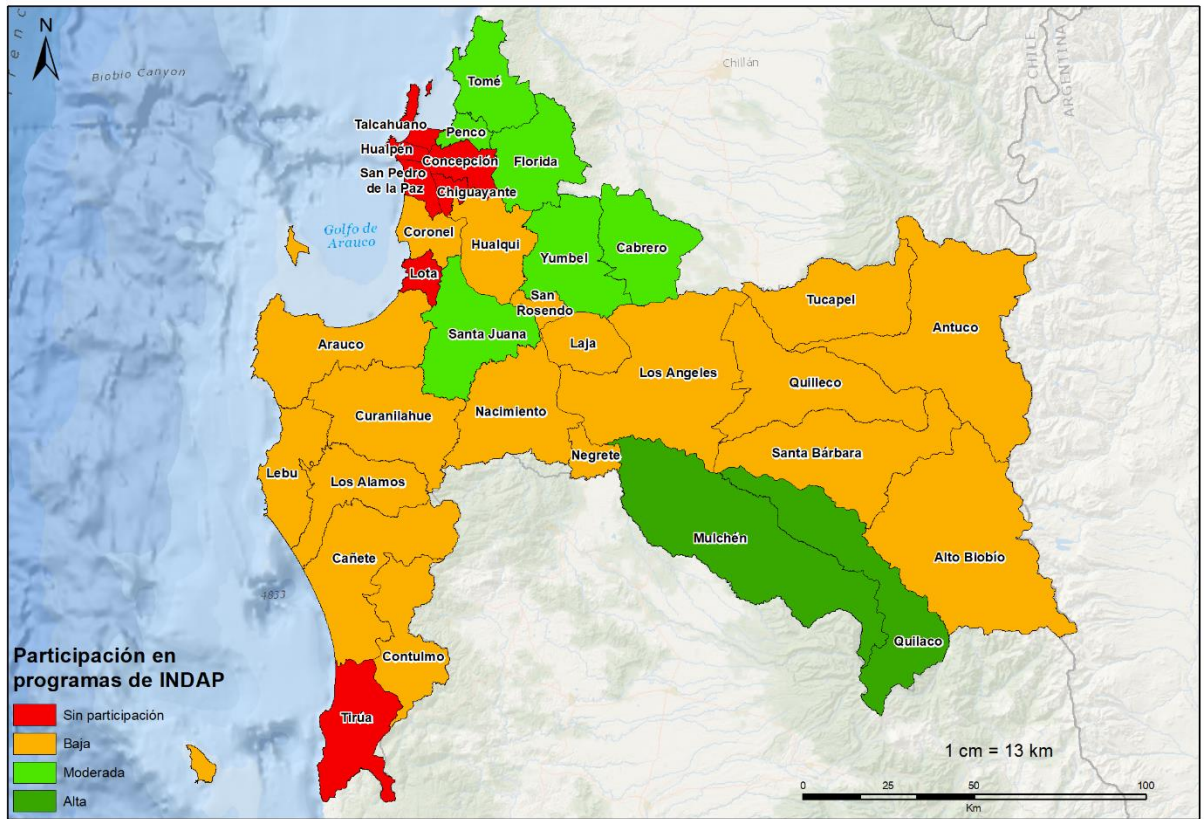
Apéndice XXXIX. Cartografía del indicador de infraestructura de riego.



Apéndice XL. Cartografía del indicador de pertenencia a la Red Chilena de Municipalidad ante el Cambio Climático.



Apéndice XLI. Cartografía del indicador de Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP.



Apéndice XLII. Nivel de vulnerabilidad del componente capacidad de adaptación para los territorios agrícolas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Redes de apoyo estatales	Indicador Redes de venta	Indicador Dinamismo de relaciones	Indicador Implementación de riego tecnificado	Indicador Existencia de infraestructura para riego	Indicador Pertinencia a la REDMUNIC	Indicador Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP	Componente de Capacidad de adaptación
Alto Biobío	1,00	0,40	1,00	0,07	1,00	0,00	0,26	0,53
Antuco	0,00	0,43	0,00	0,02	1,00	0,00	0,21	0,24
Arauco	1,00	0,61	1,00	0,06	0,00	0,00	0,06	0,39
Cabrero	0,50	0,52	0,50	0,10	1,00	0,00	0,50	0,50
Cañete	1,00	0,51	1,00	0,07	0,00	1,00	0,13	0,53
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Concepción	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,43
Contulmo	0,00	0,66	0,50	0,10	0,00	0,00	0,14	0,22
Coronel	0,00	0,58	0,00	0,05	0,00	0,00	0,29	0,13
Curanilahue	0,00	0,60	0,50	0,10	0,00	0,00	0,23	0,20
Florida	0,00	0,71	0,50	0,08	0,00	0,00	0,60	0,27
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hualqui	0,00	0,73	1,00	0,13	0,00	0,00	0,38	0,32
Laja	0,00	0,58	0,50	0,09	1,00	0,00	0,14	0,33
Lebu	0,00	0,69	1,00	0,14	0,00	0,00	0,05	0,27
Los Álamos	0,00	0,58	0,50	0,04	0,00	0,00	0,11	0,18
Los Ángeles	1,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00	0,20	0,61
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulchén	0,50	0,56	1,00	0,05	1,00	0,00	0,72	0,55
Nacimiento	0,00	0,69	0,50	0,20	1,00	0,00	0,14	0,36
Negrete	0,00	0,74	0,50	0,06	1,00	0,00	0,25	0,36
Penco	0,00	0,02	0,50	0,12	0,00	1,00	0,52	0,31
Quilaco	0,00	0,56	0,00	0,26	1,00	0,00	0,81	0,38
Quilleco	0,00	0,64	0,50	0,01	1,00	0,00	0,06	0,32
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,21
San Rosendo	0,00	0,69	0,50	0,17	1,00	0,00	0,39	0,39
Santa Bárbara	1,00	0,59	1,00	0,18	1,00	0,00	0,21	0,57
Santa Juana	0,00	0,75	0,50	0,10	0,00	0,00	0,43	0,25
Talcahuano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,14
Tirúa	1,00	0,44	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
Tomé	0,00	0,65	0,50	0,21	0,00	0,00	0,44	0,26
Tucapel	0,00	0,75	0,50	0,20	1,00	0,00	0,04	0,36
Yumbel	1,00	0,65	1,00	0,13	1,00	0,00	0,59	0,62
Promedio	0,27	0,46	0,56	0,09	0,42	0,18	0,24	0,32

Apéndice XLIII. Nivel de resiliencia para el componente capacidad de gestión y respuesta del territorio de las comunas de la Región del Biobío.

Comuna	Indicador Implementación de riego tecnificado	Indicador Existencia de infraestructura para riego	Indicador Pertenencia a la REDMUNICC	Indicador Participación en programas de inversión y fortalecimiento agrícola de INDAP	Componente Capacidad de gestión y respuesta
Alto Biobío	0,07	1,00	0,00	0,26	0,33
Antuco	0,02	1,00	0,00	0,21	0,31
Arauco	0,06	0,00	0,00	0,06	0,03
Cabrero	0,10	1,00	0,00	0,50	0,40
Cañete	0,07	0,00	1,00	0,13	0,30
Chiguayante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Concepción	0,00	0,00	1,00	0,00	0,25
Contulmo	0,10	0,00	0,00	0,14	0,06
Coronel	0,05	0,00	0,00	0,29	0,09
Curanilahue	0,10	0,00	0,00	0,23	0,08
Florida	0,08	0,00	0,00	0,60	0,17
Hualpén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hualqui	0,13	0,00	0,00	0,38	0,13
Laja	0,09	1,00	0,00	0,14	0,31
Lebu	0,14	0,00	0,00	0,05	0,05
Los Álamos	0,04	0,00	0,00	0,11	0,04
Los Ángeles	0,10	1,00	1,00	0,20	0,58
Lota	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulchén	0,05	1,00	0,00	0,72	0,44
Nacimiento	0,20	1,00	0,00	0,14	0,34
Negrete	0,06	1,00	0,00	0,25	0,33
Penco	0,12	0,00	1,00	0,52	0,41
Quilaco	0,26	1,00	0,00	0,81	0,52
Quilleco	0,01	1,00	0,00	0,06	0,27
San Pedro de la Paz	0,00	0,00	1,00	0,00	0,25
San Rosendo	0,17	1,00	0,00	0,39	0,39
Santa Bárbara	0,18	1,00	0,00	0,21	0,35
Santa Juana	0,10	0,00	0,00	0,43	0,13
Talcahuano	0,00	0,00	1,00	0,00	0,25
Tirúa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tomé	0,21	0,00	0,00	0,44	0,16
Tucapel	0,20	1,00	0,00	0,04	0,31
Yumbel	0,13	1,00	0,00	0,59	0,43
Promedio	0,09	0,42	0,18	0,24	0,23