



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA
Y MATERIALES

ESTRATEGIA DE ELABORACIÓN DE HOJAS DE RUTA PARA LA ADAPTACIÓN Y
MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN SECTORES INDUSTRIALES DE CHILE.
CASO DE ESTUDIO: SECTOR AGRÍCOLA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN QUÍMICA
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

MACARENA PAZ AVILÉS SAAVEDRA

PROFESOR GUÍA:
ÁLVARO OLIVERA NAPPA

PROFESOR CO-GUÍA:
RICHARD MARTÍNEZ CARO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FRANCISCO SALAZAR SPERBERG
FRANCISCO GRACIA CAROCA

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:
Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Química
RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
Ingeniera Civil Química
POR: Macarena Paz Avilés Saavedra
FECHA: 2022
PROFESOR GUÍA: Álvaro Olivera Nappa

**ESTRATEGIA DE ELABORACIÓN DE HOJAS DE RUTA PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL
CAMBIO CLIMÁTICO EN SECTORES INDUSTRIALES DE CHILE.
CASO DE ESTUDIO: SECTOR AGRÍCOLA**

El Cambio Climático es uno de los mayores desafíos actuales de la humanidad y Chile es un país especialmente vulnerable a este fenómeno. Si bien a nivel nacional se han desarrollado diversas iniciativas y planes de acción frente al Cambio Climático, no se ha adoptado una metodología clara y común para la planificación estratégica en torno a esta temática en sectores industriales. Las Hojas de Ruta se presentan como una alternativa de planificación: una herramienta gráfica que organiza el trabajo de un sector a través de la definición de actividades específicas, un cronograma y los recursos necesarios para cumplir con los objetivos propuestos.

El objetivo de este trabajo es proponer e ilustrar la aplicación de una metodología para la elaboración de Hojas de Ruta para la mitigación y adaptación al Cambio Climático en distintos sectores industriales de Chile, utilizando como caso de estudio el sector agrícola.

Las principales etapas de la metodología propuesta contemplan i) la representación y diagnóstico del sector; ii) la propuesta y jerarquización de medidas de mitigación y adaptación; y iii) el planteamiento y calendarización de acciones. La etapa de representación y diagnóstico contempla la simplificación del sector mediante productos característicos y la cuantificación de Categorías de Impacto asociadas a la mitigación y adaptación al Cambio Climático. La propuesta y jerarquización de medidas considera procesos participativos y una evaluación multicriterio a través del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El planteamiento de estrategias de implementación contempla un análisis externo e interno y la calendarización sigue una heurística que considera criterios de jerarquía, sucesión y simultaneidad.

En el caso de estudio, la planificación del sector agrícola se sostiene en la composición de Hojas de Ruta de los distintos subsectores del rubro, acotando el ejemplo de aplicación al subsector frutícola. La línea base de mitigación y adaptación se construye a partir de los procesos productivos de la manzana, mandarina, palta y uva, evaluando las categorías de impacto de Intensidad de Emisiones y Uso de Agua en el territorio nacional. Se seleccionan y jerarquizan cuatro medidas según criterios ambientales, técnicos y económicos, obteniéndose como resultado la siguiente priorización: Tecnificación del Riego, Riego Solar, Incorporación de Residuos al Suelo y Recambio en el Transporte Interregional. Tras la implementación de la Hoja de Ruta, se proyecta, para el subsector, la reducción de un 26% de las emisiones de GEI y de un 15% en el Uso de Agua.

Este trabajo aporta a la planificación estratégica, sentando las bases para formalizar y transversalizar la composición de Hojas de Ruta en materia de Cambio Climático a partir de un diagnóstico basado en evidencia científica y una evaluación multicriterio. La propuesta metodológica promueve una planificación en sintonía con el escenario climático actual, pues su estructura prioriza la problemática ambiental por sobre los objetivos estratégicos de cada sector industrial. Además, fomenta la creación democrática de una Hoja de Ruta mediante procesos participativos que configuran los resultados obtenidos en distintos niveles. Finalmente, facilita la integración interministerial y la colaboración de distintos agentes para enfrentar un problema complejo, invitando incluso a la reflexión sobre una nueva organización del sistema público

A mi Canela, Pepi, Benito, Panino, Oliver, Spork, Mcqueen, Gatita Ocho, Darcy, Floffy, Minino, Copito, Luna, Paquito, Perdi, Manchitas, Blanquita, Rocío y Mummus.

A mi Flen, Alu, Nora, Chimina, Manjar, Belu, Alba, Malta, Talita, Rita, Fidelia.

A todas y todos los rescatados.

Su amor y manera de vivir la vida hacen que la batalla por un medio ambiente sano cobre sentido.

Tabla de Contenido

Capítulo 1.	Introducción	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.1.1	Cambio Climático	1
1.1.2	Institucionalidad ambiental a nivel mundial.....	3
1.1.3	Cambio Climático en Chile	4
1.2	¿Por qué es necesaria una metodología de planificación?.....	8
1.3	Definición del caso de estudio	9
1.3.1	Caso de estudio a nivel nacional.....	10
1.4	Objetivos y alcances	12
1.4.1	Objetivo general.....	12
1.4.2	Objetivos específicos	12
1.4.3	Alcances.....	12
1.5	Estado del Arte.....	13
1.5.1	Metodologías de elaboración de Planes de Cambio Climático en Chile	13
1.5.2	Metodologías internacionales de composición de planes sectoriales	15
1.5.3	¿Qué elementos debe contener una Hoja de Ruta de Cambio Climático?.....	18
Capítulo 2.	Caracterización y representación de la industria agrícola	20
2.1	Antecedentes.....	20
2.1.1	Geografía y clima.....	20
2.1.2	División regional, demografía y sector silvoagropecuario	21
2.2	Selección de productos representativos	25
2.2.1	Selección de productos por macrozonas.....	27
2.3	Generalización de la metodología de selección.....	32
2.4	Reflexiones finales.....	34
Capítulo 3.	Caracterización de procesos productivos.....	37
3.1	Procesos productivos del sector agrícola.....	37
3.1.1	Producción en el campo.....	38
3.1.2	Postcosecha.....	39
3.1.3	Distribución	42
3.2	Línea base de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.....	43
3.2.1	Categorías de Impacto e Indicadores de cuantificación	45
3.2.2	Redefinición de alcances para la caracterización del proceso productivo	48

3.3	Clasificación de especies según clases representativas seleccionadas	53
3.4	Categoría de Impacto: Uso de Agua	56
3.4.1	Metodología de cálculo: ecuaciones generales	56
3.4.2	Resultados y Discusiones parciales	62
3.5	Categoría de Impacto: Intensidad de Emisiones de GEI	66
3.5.1	Metodología de cálculo: ecuaciones generales	66
3.5.2	Resultados y Discusiones parciales	73
3.6	Generalización de la metodología de caracterización de procesos	79
3.7	Reflexiones Finales	84
Capítulo 4.	Propuesta de medidas de Mitigación y Adaptación	89
4.1	Identificación de grupos de interés	89
4.2	Proceso de consulta y recopilación de propuestas	90
4.2.1	Diseño del proceso de consulta	90
4.2.2	Investigación bibliográfica complementaria	94
4.3	Resultados y Discusiones parciales	94
4.4	Generalización de la metodología de propuesta de medidas	100
4.5	Reflexiones finales	101
Capítulo 5.	Definición de criterios de evaluación	103
5.1	Criterios y subcriterios de evaluación	103
5.1.1	Subcriterios	103
5.1.2	Caso de estudio	107
5.2	Generalización de la metodología de planteamiento y selección de criterios	108
5.3	Reflexiones finales	110
Capítulo 6.	Jerarquización bajo el Proceso Analítico Jerárquico	112
6.1	El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)	112
6.1.1	Uso del Proceso Analítico Jerárquico para la composición de Hojas de Ruta	113
6.2	Caso de Estudio	115
6.2.1	Selección de medidas e indicadores de logro	115
6.2.2	Estructura jerárquica del problema	116
6.2.3	Valoración de criterios y medidas	116
6.2.4	Priorización y síntesis	124
6.2.5	Discusiones parciales	124
6.3	Generalización de la metodología de jerarquización bajo el Proceso Analítico Jerárquico	128
6.4	Reflexiones Finales	131

Capítulo 7.	Composición de la Hoja de Ruta.....	133
7.1	Metodología de composición de la Hoja de Ruta	133
7.2	Caso de estudio.....	135
7.2.1	Definición de iniciativas, acciones y organismos impulsores.....	136
7.2.2	Calendarización de medidas e hitos de evaluación.....	137
7.2.3	Resultados y Discusiones Parciales.....	139
7.3	Reflexiones Finales.....	150
Capítulo 8.	Generalización de la metodología propuesta.....	151
8.1	Metodología de Composición de Hojas de Ruta de mitigación y adaptación al cambio climático	151
8.2	Discusiones y Reflexiones Finales.....	161
Capítulo 9.	Conclusiones	164
Bibliografía		166
Anexos		181

Índice de Figuras

Figura 1.1: Revisión histórica de emisiones de GEI per cápita	5
Figura 1.2: Emisiones antropogénicas totales de GEI (GtCO ₂ eq/año) por sectores económicos, año 2010. ...	9
Figura 1.3: % participación en el PIB nacional por actividad económica, año 2018.	10
Figura 1.4: Distribución del PIB asociado al sector silvoagropecuario (2013).	11
Figura 1.5: Distribución de las emisiones de GEI totales de Chile por sector.....	11
Figura 1.6: Elementos básicos de una Hoja de Ruta de Cambio Climático y preguntas orientadoras.....	18
Figura 2.1: Climas de Chile.	21
Figura 2.2: División regional de Chile.....	22
Figura 2.3: Superficie plantada por tipo de cultivo.....	29
Figura 2.4: Producción anual por tipo de cultivo.....	29
Figura 3.1: Etapas consideradas en el caso de estudio (sector agrícola).....	38
Figura 3.2: Etapas de la producción en el campo.....	38
Figura 3.3: Operaciones postcosecha para cereales y legumbres.	40
Figura 3.4: Operaciones postcosecha para forrajeras.....	41
Figura 3.5: Operaciones postcosecha para frutas y hortalizas.	42
Figura 3.6: Efectos de los cambios en variables climáticas sobre la Seguridad Alimentaria.	46
Figura 3.7: Límite de batería considerado para el caso de estudio.....	51
Figura 3.8: Balance hídrico en la porción de suelo que contiene el sistema radicular de un cultivo.....	58
Figura 3.9: Consumo Hídrico del sector frutícola chileno por etapa de producción y macrozona.....	62
Figura 3.10: Consumo hídrico específico de una fruta promedio en macrozonas de Chile.	63
Figura 3.11: Consumo Hídrico Específico por clase representativa y etapa de producción en macrozonas de Chile.....	63
Figura 3.12: Tramos y vehículos definidos para el estudio de la distribución de productos frutícolas..	71
Figura 3.13: Emisiones anuales de GEI del sector frutícola por macrozonas de Chile y etapa de producción.....	73
Figura 3.14: Factor de emisión específico por clase representativa y etapa productiva a nivel nacional.....	74
Figura 3.15: Factor de emisión específico por clase representativa y por macrozona	75
Figura 3.16: Emisiones específicas de GEI por macrozonas y etapa productiva del sector frutícola.....	76
Figura 3.17: Metodología general para la caracterización de procesos productivos.....	83
Figura 4.1: Grupos de interés identificados en el caso de estudio (sector frutícola).	90
Figura 4.2: Caracterización de las personas consultadas en el caso de estudio.	92
Figura 4.3: Estructura de la consulta sobre propuestas de medidas aplicada al caso de estudio.	93
Figura 6.1: Estructura jerárquica del problema asociado al caso de estudio.	116
Figura 6.2: Caracterización de participantes en valorización de criterios.....	118
Figura 6.3: Caracterización de participantes en el caso de estudio según subcriterio de evaluación.....	120
Figura 6.4: Síntesis de la metodología de Jerarquización con AHP.....	130
Figura 7.1: Esquema tipo de definición de iniciativas y acciones estratégicas para las respectivas medidas.	134
Figura 7.2: Hoja de Ruta propuesta para el sector frutícola.....	143
Figura 8.1: Mapa de decisiones para plantear una Hoja de Ruta.....	154

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Metodologías utilizadas en los Planes de Cambio Climático en Chile.	13
Tabla 1.2: Métodos de calificación y priorización recomendados por la CMNUCC.....	15
Tabla 1.3: Herramienta de apoyo en la toma de decisiones en materia de Cambio Climático.	16
Tabla 2.1: Clasificación de la población regional según INE y la OCDE. Año 2017	22
Tabla 2.2: Distribución regional de superficie silvoagropecuaria utilizada	23
Tabla 2.3: Producto Interno Bruto del sector silvoagropecuario por Región, año 2019. Volumen a Precios Año Anterior Encadenado, Referencia 2013.....	24
Tabla 2.4: Tipos de cultivo según su temporalidad.....	25
Tabla 2.5: Macrozonas de Chile contempladas para el estudio.....	26
Tabla 2.6: Producción anual y superficie sembrada por tipo de cultivo según las distintas macrozonas. Elaboración propia.....	28
Tabla 2.7: Contribución el PIB silvoagropecuario para el año 2017.	30
Tabla 2.8: Resultado de los criterios de selección por macrozona.	31
Tabla 3.1: Síntesis de las etapas asociadas a la producción agrícola.....	44
Tabla 3.2: Categorías de impacto estudiadas en el caso de estudio.	48
Tabla 3.3: Clases representativas seleccionadas para el estudio del subsector frutícola.	49
Tabla 3.4: Definiciones y clasificaciones de emisiones de GEI según la norma ISO 14067 de cálculo de Huella de Carbono.....	50
Tabla 3.5: Clasificación de fuentes de emisión según los alcances definidos en la metodología de cálculo de Huella de Carbono.....	51
Tabla 3.6: Fuentes de emisiones y consumo hídrico consideradas en el caso de estudio.	52
Tabla 3.7: Taxonomía de las clases representativas seleccionadas para el sector frutícola.....	54
Tabla 3.8: Climas de cultivo de clases representativas.	54
Tabla 3.9: Clasificación de especies frutales según clases representativas.....	55
Tabla 3.10: Complejidad y operaciones de las distintas líneas de envasado	59
Tabla 3.11: Consumo hídrico específico para distintas líneas de envasado.....	60
Tabla 3.12: Síntesis metodológica para la estimación del consumo hídrico en el sector frutícola.....	61
Tabla 3.13: Consideraciones metodológicas respecto a las fuentes de emisión de la etapa de producción en el campo.....	68
Tabla 3.14: Consideraciones metodológicas respecto a las fuentes de emisión de la etapa de procesamiento postcosecha.....	69
Tabla 3.15: Caracterización de los vehículos considerados en la cadena de distribución del sector frutícola.	71
Tabla 3.16: Rendimiento de combustible para un contenedor de 40' dependiendo del medio de transporte.	71
Tabla 3.17: Consideraciones metodológicas asociadas a la etapa de distribución.	72
Tabla 3.18: Síntesis de la aplicación de la metodología de caracterización al caso de estudio.	81
Tabla 4.1: Priorización según categorías consultadas a las personas encuestadas.	94
Tabla 4.2: Síntesis de las propuestas de mitigación y adaptación al Cambio Climático en el sector frutícola. Clasificación según fuente de origen.....	96
Tabla 5.1: Subcriterios técnicos. Definiciones y posibles indicadores.	104
Tabla 5.2: Subcriterios económicos. Definiciones y posibles indicadores.	105
Tabla 5.3: Subcriterios ambientales. Definiciones y posibles indicadores.	105
Tabla 5.4: Subcriterios sociales.	106

Tabla 5.5: Criterios y subcriterios considerados para el caso de estudio.	108
Tabla 6.1: Escala de valoración de Saaty para la emisión de juicios de comparación entre pares.	113
Tabla 6.2: Medidas a jerarquizar con la herramienta AHP en el caso de estudio.	115
Tabla 6.3: Método de valoración de medidas según los diferentes subcriterios de evaluación.	117
Tabla 6.4: Instituciones y áreas de trabajo de participantes en valoración de criterios.	118
Tabla 6.5: Valoración de criterios y subcriterios para el caso de estudio.	119
Tabla 6.6: Caracterización de participantes y respuestas obtenidas en la valoración de medidas.	120
Tabla 6.7: Valoración de medidas bajo subcriterios cuantitativos.	121
Tabla 6.8: Consideraciones para la evaluación de medidas bajo subcriterios ambientales.	122
Tabla 6.9: Priorización obtenida tras la aplicación de la metodología AHP.	124
Tabla 6.10: Variación en la cuantificación de Categorías de Impacto tras la aplicación de las medidas.	124
Tabla 7.1: Presentación de cada iniciativa estratégica con sus respectivas acciones de cumplimiento.	134
Tabla 7.2: Metodología propuesta para la composición de la Hoja de Ruta.	134
Tabla 7.3: Principales conclusiones obtenidas tras el análisis FODA y la elaboración de la Matriz Analítica de Definición de Estrategias.	136
Tabla 7.4: Hitos de evaluación por medida.	139
Tabla 7.5: Síntesis de iniciativas obtenidas para el caso de estudio.	141
Tabla 7.6: Análisis comparativo entre el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario y la Hoja de Ruta propuesta en el caso de estudio.	147
Tabla 8.1: Síntesis de la metodología para la Composición de Hojas de Ruta de mitigación y adaptación al cambio climático en sectores industriales.	155

Archivos adjuntos

El presente trabajo se complementa con los siguientes archivos adjuntos¹:

1. **BD_producción_superficie_agrícola.xlsx**: Contiene la información recopilada para el capítulo asociado a la caracterización de la industria agrícola, presentando una base de datos de superficie sembrada, producción y rendimientos de los cultivos trabajados a nivel nacional.
2. **Frutales_Semejanzas.xlsx**: Contiene los criterios de clasificación de las especies frutales cultivadas en Chile según las clases representativas seleccionadas en el Capítulo 2.
3. **Caracterización_subsector_frutícola.xlsx**: Contiene los resultados obtenidos tras la caracterización del subsector frutícola desarrollada en el Capítulo 3.
4. **Carpeta "Formularios AHP"**: Contiene los documentos utilizados para el proceso participativo asociado a la evaluación multicriterio con la herramienta AHP, desarrollado en el Capítulo 6. Contiene los archivos:
 - a. **Consentimiento Informado**: Utilizado para los procesos participativos de este trabajo.
 - b. **Instrucciones_Jerarquización de Criterios**: Contiene las indicaciones para el proceso de evaluación de criterios.
 - c. **Instrucciones_Jerarquización de Medidas**: Contiene las indicaciones para la evaluación de medidas.
 - d. **Formulario Criterios**: Cuestionario de valoración de criterios.
 - e. **Formulario Medidas**: Cuestionario de valoración de medidas.

¹ Quien requiera consultar alguno de estos archivos, puede encontrar las versiones descargables en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1RV_6eABxhAMKpC2Q-99mHewiDyQDCWAo?usp=sharing

Capítulo 1. Introducción

El presente trabajo trata sobre la elaboración de una metodología para la construcción de Hojas de Ruta referidas al Cambio Climático en distintos sectores industriales de Chile. Quien lea podrá encontrar en este capítulo los principales antecedentes y la motivación del estudio, para luego establecer sus objetivos, alcances y otras definiciones.

Las siguientes secciones presentan antecedentes sobre el Cambio Climático y cómo se ha abordado esta problemática a nivel nacional e internacional. Posteriormente, se profundiza en la manera en que Chile ha dado concreción a los acuerdos internacionales de los que forma parte, identificándose la planificación como un aspecto clave a mejorar. El país tiene una administración interna dividida en sectores industriales que requieren implementar diversos cambios para enfrentar la crisis climática. Frente a esto, surgen múltiples interrogantes: ¿Cómo planificar los cambios de un sector productivo o una actividad nacional? ¿Cuáles cambios son más importantes? ¿Qué criterios considerar para priorizar unos sobre otros? ¿Cómo formalizar cambios que se involucran con otros sectores industriales? El presente trabajo propone una metodología para facilitar este proceso de planificación y aportar a las necesidades de organización y coordinación en el contexto actual.

1.1 Antecedentes

La variación de la temperatura del planeta y la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera es un proceso que se ha dado de manera natural y cíclica durante cientos de miles de años. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se producen naturalmente y permiten que parte del calor proveniente de la radiación solar permanezca en el planeta, generando un ambiente apto para la vida. La concentración de los GEI se ha mantenido estable gracias a su absorción natural por parte de organismos fotosintéticos [1].

El sistema de desarrollo económico mundial ha provocado un aumento sostenido en las emisiones de GEI, lo que ha aumentado la concentración de dichos gases en la atmósfera a un ritmo acelerado en comparación con lo que se ha observado de manera natural en la Tierra [2]. A partir de esto, la temperatura media mundial ha aumentado a mayor velocidad que la de los ciclos naturales de calentamiento, provocando el fenómeno conocido como Cambio Climático.

Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, la mayoría de los GEI se acumulan y combinan globalmente en el tiempo, provocando que el Cambio Climático represente un problema de escala mundial. El informe también señala que no se lograrán acciones efectivas si cada agente antepone sus propios intereses de forma independiente [2], por lo que se requiere de un esfuerzo colectivo a nivel nacional e internacional para enfrentar este fenómeno.

1.1.1 Cambio Climático

El Cambio Climático representa uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad hoy en día. Según la definición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se trata de un fenómeno que hace referencia al *cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables* [3].

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) señala que, actualmente, se ha alcanzado un calentamiento global de aproximadamente 1°C con respecto a los niveles preindustriales y que, de mantenerse el ritmo de vida actual, es probable que se alcance un calentamiento de 1,5°C en las próximas décadas [4].

Según distintos modelos climáticos reportados por el IPCC, entre los riesgos e impactos potenciales asociados al calentamiento global de 1,5°C se encuentran [4]:

- **Aumento en la temperatura global media de la Tierra:** lo que provocaría un aumento en los episodios de calor extremo, precipitaciones intensas, probabilidad de sequías, déficit de precipitaciones y estrés hídrico en algunas regiones.
- **Aumento de la temperatura en los océanos:** vinculada al aumento de acidez y el descenso de la concentración de oxígeno. Lo anterior provocaría daños en los ecosistemas marinos y cambios en la distribución de las especies, afectando directamente la productividad en las actividades de pesca y acuicultura.
- **Aumento en el nivel del mar:** lo que expondría a la población a riesgos de intrusiones de agua salada, inundaciones, daños infraestructurales, etc. Se espera que al año 2100, el aumento del nivel global medio del mar sea de 0,26 a 0,77 metros. Como referencia para comprender el impacto de lo anterior, los modelos señalan que una reducción de 0,1 [m] en el aumento del nivel del mar implicaría que hasta 10 millones de personas no se vean expuestas a los riesgos mencionados anteriormente.
- **Pérdida y extinción de especies:** los bosques boreales y la tundra son los ecosistemas en mayor riesgo de sufrir degradación y pérdidas de especies a causa del cambio climático. Se prevé que, con un aumento de 1,5°C en la temperatura del planeta, un 6% de los insectos, 8% de las plantas y 4% de los vertebrados pierdan más de la mitad de su alcance geográfico.
- **Riesgos para la salud, seguridad humana y alimentaria:** las más expuestas a dichos riesgos serían las poblaciones desfavorecidas y vulnerables, pueblos indígenas y comunidades locales que dependen de la agricultura, pesca u otras actividades asociadas a las zonas costeras.

En relación a la seguridad y salud humana, los expertos señalan que el calentamiento global aumentará el riesgo de sufrir enfermedades transmitidas por vectores como, por ejemplo, la malaria y el dengue, como resultado de los cambios potenciales asociados a su alcance geográfico.

Respecto a la seguridad alimentaria², se señala que existirá una disminución en la disponibilidad de alimentos, tanto en el sector agrícola debido a la reducción del rendimiento de algunos cultivos, como en el sector ganadero producto de efectos negativos asociados a la disminución en la calidad del pienso, la propagación de enfermedades y la disponibilidad de recursos hídricos.

La intensidad y frecuencia de las consecuencias mencionadas dependen de distintos factores asociados a los sistemas naturales y humanos, entre los que se encuentran la ubicación geográfica, niveles de desarrollo y las medidas de mitigación y adaptación implementadas. Se entienden las medidas de mitigación como aquellas acciones que tienen el objetivo de reducir las emisiones de GEI [5], mientras que las medidas de adaptación son aquellas que buscan ajustarse al clima proyectado y sus efectos, considerando que estos ya existen [6].

El escenario socioambiental podría empeorar en función de la magnitud y el ritmo del calentamiento. Según un estudio del IPCC, se han detectado tendencias que relacionan la intensidad y frecuencia de distintos fenómenos climáticos y meteorológicos extremos en lapsos donde el calentamiento global es de 0,5°C, aproximadamente. Esto implica que, de tenerse un aumento de 2°C con respecto a niveles preindustriales, las consecuencias serían aún más graves que las anteriormente señaladas. Frente a esto se ha declarado a nivel mundial la necesidad de limitar el calentamiento global a 1,5°C y, para alcanzar este objetivo, el Programa de

² La seguridad alimentaria es un concepto definido en la Cumbre Mundial de Alimentación en 1996. Se entiende como un estado que, a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana [229].

las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) declara que las emisiones mundiales de CO₂ deben disminuir en un 45% entre los años 2010 y 2030, y alcanzar una emisión neta³ igual a cero hacia el año 2050 [7].

1.1.2 Institucionalidad ambiental a nivel mundial

Actualmente, 197 países ratifican la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) [8]. Adoptada en el año 1992 (Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro) y vigente desde 1994, es un documento que reconoce la existencia del Cambio Climático y establece como principal objetivo la estabilización de las concentraciones de GEI. Otros propósitos corresponden a impedir consecuencias peligrosas derivadas de este fenómeno, permitir la adaptación de los ecosistemas, asegurar que la producción de alimentos y permitir un desarrollo económico sostenible [9]. Adicionalmente, reconoce el principio de *responsabilidades comunes pero diferenciadas*, que establece que todos los estados tienen una responsabilidad al abordar los desafíos que supone el Cambio Climático, pero concede que no todos los países tienen las mismas obligaciones, considerando que los países más industrializados son los que más han contribuido al fenómeno global. De esta manera, los países desarrollados son incluidas en la categoría *Anexo I*, mientras que los países en vías de desarrollo se agrupan en la categoría *No-Anexo I*.

Para que la Convención cumpla su finalidad, las distintas Partes toman decisiones que deben ser aprobadas en conjunto y por consenso. Dichas decisiones se discuten y aprueban anualmente en la Conferencia de las Partes (COP), lo que permite desarrollar distintos artículos de la Convención [9].

Cada país integrante de la Convención debe informar al resto de las Partes sus avances en la materia. Lo anterior se reporta en la *Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Este documento es propio de cada país y actualiza las políticas de adaptación y mitigación cada cuatro años. Los países en desarrollo (No-Anexo I) deben ampliar la información presentada en las Comunicaciones Nacionales en materia de mitigación y financiamiento a través de los llamados *Informes Bienales de Actualización* (BUR, por sus siglas en inglés), que incluyen el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero [10] y tienen la posibilidad de registrar *Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas* (NAMA, por sus siglas en inglés) ante la CMNUCC⁴. En el caso de los países Anexo-I, se deben presentar *Informes Bienales* (BR, por sus siglas en inglés) que, además de los avances en materia de mitigación y financiamiento, deben incluir información referida a los arreglos institucionales y una revisión de sus políticas de Cambio Climático. Por otro lado, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero debe reportarse de manera anual e independiente [11].

Entre los acuerdos que se han logrado a nivel mundial tras la ratificación de la Convención destacan dos principales hitos: la aprobación del Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. El Protocolo de Kioto se incorpora en el año 1997 e instaura por primera vez objetivos de reducción de emisiones netas de GEI hasta el año 2012 [5]. En la COP 18 (Cumbre de Doha de 2012), se establece dar continuidad de este protocolo con nuevos compromisos de reducción de GEI para el período comprendido entre los años 2013 y 2020 [9]. Posteriormente en la COP 21 (Cumbre de París de 2015) se alcanza un acuerdo histórico: el Acuerdo de París. Este compromiso busca mantener el aumento de la temperatura mundial bajo los 2°C con respecto a los niveles preindustriales, e incluso aumentar los esfuerzos para limitar dicho aumento a 1,5°C durante el presente siglo. El acuerdo solicita a cada país preparar y comunicar sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC), estableciendo los esfuerzos de cada Parte para reducir sus emisiones y adaptarse a los efectos del cambio climático [12]. También exige establecer una estrategia de disminución de emisiones de GEI a largo plazo,

³ Las emisiones netas corresponden a la diferencia entre las emisiones y absorciones de GEI.

⁴ De acuerdo con la Convención, las NAMA corresponden a cualquier acción que reduzca emisiones en países en desarrollo que se haya preparado bajo una iniciativa gubernamental [16].

estableciendo como horizonte temporal el año 2050. Esta estrategia debe considerar las responsabilidades comunes de las Partes, pero también las capacidades y circunstancias individuales de cada país.

En el año 2015, los estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Esta cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos para apuntar a un nuevo paradigma en el desarrollo mundial. Se busca instaurar un enfoque de desarrollo que reconozca los impactos del cambio climático más allá de sus consecuencias ambientales, considerando también los efectos y conflictos sociales con los que se relaciona. De esta forma, se busca establecer un desarrollo que respete los límites planetarios [13], otorgue un rol central a los derechos de las personas, erradique la pobreza y la reduzca las desigualdades [14].

1.1.3 Cambio Climático en Chile

Chile sería especialmente afectado por el Cambio Climático al reunir siete de las nueve características de vulnerabilidad definidas en la CMNUCC [15]:

1. Áreas de borde costero de baja altura.
2. Zonas áridas y semiáridas.
3. Zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal.
4. Propensión a los desastres naturales
5. Zonas propensas a la sequía y la desertificación.
6. Zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica.
7. Zonas de ecosistemas frágiles y montañosos.

La escasez hídrica y emergencia agrícola son problemas ambientales también presentes en el país. Entre los años 2008 y 2017, la Dirección General de Aguas (DGA) declaró 82 zonas con escasez hídrica [16]. Por otro lado, desde el año 2008 a la fecha se dictaron aproximadamente 750 declaraciones de emergencia agrícola como efecto del déficit hídrico. En la actualidad, se habla de que el país atraviesa una *Megasequía* que ha afectado al 72% de las tierras y al 90% del país [17]. Estudios liderados por Fundación Chile concluyen que el 12% del riesgo hídrico se debe a un déficit de precipitaciones y el cambio climático, mientras que la gestión deficiente del agua corresponde a un 44% de las causas de la escasez hídrica a nivel nacional.

En relación con las emisiones del país, según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (serie 1990-2018), el año 2018 Chile emitió 6 toneladas de CO₂eq per cápita⁵. Según el Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático, las principales fuentes emisoras corresponden al uso de combustibles fósiles para la generación eléctrica, seguido del transporte terrestre. Por otro lado, al analizar el balance de emisiones (emisiones y absorciones), se tiene que las tierras forestales corresponden al único sector que presenta una absorción neta de gases de efecto invernadero, otorgándole gran relevancia por su potencial de mitigación [18].

La Figura 1.1 muestra una revisión de la tendencia histórica de emisiones de GEI per cápita de Chile en comparación con países en desarrollo de América del Sur y el mundo. Chile muestra un comportamiento creciente y similar al de las emisiones per cápita a nivel mundial, con una diferencia de un 8% hacia el año

⁵ La unidad CO₂eq expresa la equivalencia entre las emisiones de un gas de efecto invernadero (o una mezcla de ellos) y las emisiones de dióxido de carbono que causarían el forzamiento radiativo en un plazo determinado. El forzamiento radiativo corresponde al cambio en el flujo radiativo neto en la parte superior de la atmósfera (tropopausa) debido a una variación en los causantes externos del Cambio Climático (por ejemplo: variaciones en la radiación solar o en las concentraciones de GEI en la atmósfera). Esto se traduce a un cambio en la temperatura global de la Tierra [138].

2015 [19]. Por otro lado, a lo largo de la historia, las emisiones del país se han mantenido a un nivel mayor que las de Brasil y a uno menor que las de Argentina, países tomados como referencia en términos de desarrollo.

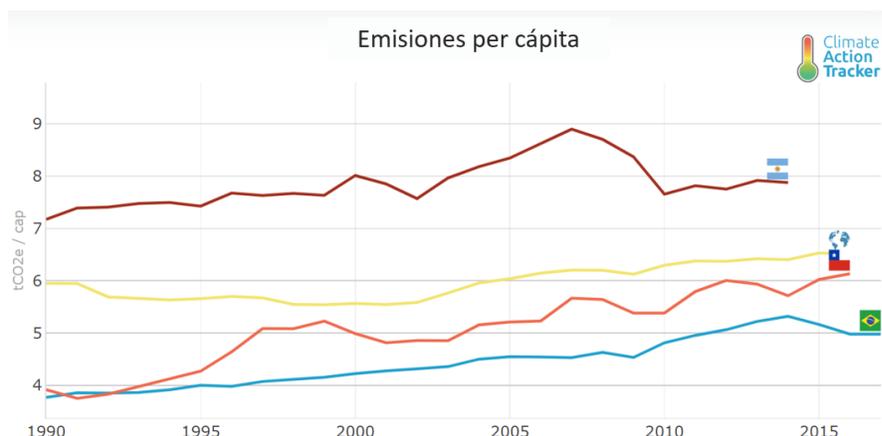


Figura 1.1: Revisión histórica de emisiones de GEI per cápita [19]. La curva amarilla representa las emisiones per cápita a nivel mundial.

1.1.3.1 Institucionalidad ambiental en Chile

En materia ambiental, Chile participa de la CMNUCC y ratificó tanto el Protocolo de Kioto como el Acuerdo de París. La actual Constitución Política garantiza como derecho fundamental el *vivir en un medio ambiente libre de contaminación* [20], otorgando al estado el deber de tutelar y preservar tanto la naturaleza como el patrimonio ambiental. En función del cumplimiento de los compromisos internacionales y de los derechos fundamentales, el país ha desarrollado diversos arreglos institucionales en materia ambiental.

En 1990 se publicó la ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, sentando las raíces de la institucionalidad ambiental [21]. En el mismo año, se crea la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), organismo dedicado a promover y regular las políticas ambientales. Dicho organismo tuvo vigencia hasta el 2010, año en que se promulga la ley 20.417 con el objetivo de reformular la institucionalidad ambiental en nuevos organismos. En el año 2012 se publica la ley 20.600, que crea los Tribunales Ambientales. Hasta el día de hoy, la institucionalidad ambiental está compuesta por los elementos descritos a continuación:

- **Ministerio del Medio Ambiente (MMA):** encargado de colaborar tanto en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los bienes naturales [22].
- **Superintendencia del Medio Ambiente (SMA):** organismo vigilado por el MMA encargado de ejecutar, organizar, realizar seguimiento y fiscalizar las Resoluciones de Calificación Ambiental, las Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, entre otros instrumentos legales de carácter ambiental [23].
- **Consejo Consultivo del Medio Ambiente:** corresponde a una instancia representativa del ministerio que tiene por objetivo reconocer a la ciudadanía el derecho de debatir, participar y opinar en temas y políticas ambientales. Existe un Consejo Consultivo a nivel Nacional y 13 regionales [24].
- **Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS):** integrado por los ministros de Agricultura, Hacienda, Salud, Economía, Fomento y Turismo, Energía, Obras Públicas, Vivienda y Urbanismo, Transporte y Telecomunicaciones, Minería y Desarrollo Social. Su objetivo es impulsar políticas y regulaciones asociadas a la sustentabilidad y actuar como asesores del ministerio [16].
- **Servicio de Evaluación Ambiental (SEA):** administra y coordina el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), instrumento que busca evaluar proyectos bajo una perspectiva ambiental basada en la normativa vigente [25].

- **Tribunal Ambiental:** órgano encargado de proveer el acceso a la justicia ambiental, además de resolver las controversias referidas a esta materia [26].

Con respecto a la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC), Chile publicó su compromiso en el año 2015, dividiéndolo en cinco pilares: i) Mitigación, ii) Adaptación, iii) Construcción y Fortalecimiento de Capacidades, iv) Desarrollo y Transferencia de Tecnologías y v) Financiamiento. Las principales metas propuestas están dadas en el pilar de Mitigación, estableciéndose dos ejes:

- **Meta intensidad de carbono:** reducir las emisiones de GEI, por unidad de PIB, en un 30% respecto a las emisiones del año 2007. De existir aportes financieros internacionales, la meta de reducción se fija entre un 35 y 40% [27].
- **Meta forestal:** recuperación de 100.000 hectáreas de bosque, principalmente nativo. Lo anterior representaría una captura y reducción de entre 900.000 y 1.200.000 [tCO₂eq/año] a partir del 2030. Esta meta, sin embargo, estaría condicionada a la aprobación de modificaciones en leyes de materia forestal [27].

En el año 2020 este compromiso fue actualizado, incorporando nuevos ejes de acción como la integración, el pilar social de transición justa y el desarrollo sostenible. Las principales metas de mitigación propuestas en la actualización de la NDC al 2020 corresponden a [28]:

- **Presupuesto de emisiones de GEI:** Chile establece los compromisos de no superar las 1.100 MtCO₂eq emitidas entre los años 2020 y 2030, alcanzando el máximo de estas emisiones en el año 2025. Además, el país se compromete a alcanzar un nivel de emisiones de GEI igual a 95 MtCO₂eq en el año 2030.
- **Meta carbono negro:** reducción de, al menos, un 25% de las emisiones de carbono negro al año 2030, considerando como referencia las emisiones del año 2016.

En relación al eje de adaptación las principales actualizaciones asociadas se presentan a continuación [28]:

- **Estrategia Climática de Largo Plazo:** definir al año 2021 el objetivo, alcance, metas y elementos que conformarán la estrategia. Esta definición estará dada a partir de un proceso participativo que incorpore diversos actores y escalas territoriales.
- **Plan Nacional de Adaptación:** al año 2022, el país se compromete a actualizar y comenzar la implementación del Plan Nacional de Adaptación, además de elaborar y comenzar la implementación los Planes de Adaptación para los sectores de recursos hídricos, borde costero y minería.
- **Fortalecer las capacidades e institucionalidad de Cambio Climático:** profundizando y actualizando los estudios de vulnerabilidad y riesgos del país; fortaleciendo el sistema de evaluación y monitoreo vigente; y reforzando la inclusión de actores no gubernamentales en la planificación e implementación de instrumentos de adaptación.

A pesar de los esfuerzos mencionados, organizaciones internacionales sugieren que los compromisos propuestos son *insuficientes e inconsistentes con mantener el calentamiento global por debajo de 2°C*. Señalan que si todos los gobiernos impusieran metas como las de Chile, el calentamiento global podría alcanzar un aumento de entre 2°C y 3°C [29].

Chile se encuentra tramitando el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, cuyo principal objetivo es establecer un marco jurídico que permita la asignación de responsabilidades en materia de mitigación y adaptación, además de la creación de instrumentos de gestión del Cambio Climático. Entre dichos instrumentos se encuentran: la meta de neutralidad de emisiones hacia el año 2050; la Estrategia Climática de Largo Plazo; la Contribución Determinada a Nivel Nacional, los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación al Cambio

Climático, entre otros. Adicionalmente, el Proyecto de Ley busca tanto establecer normas de emisión de GEI, como también la creación de sistemas que permitan entregar información detallada sobre Cambio Climático. Dentro de esta información se encuentran datos asociados a las emisiones actuales y futuras de GEI; y a la vulnerabilidad territorial tanto a nivel nacional como local [30].

1.1.3.2 Acciones de mitigación y adaptación

Para el cumplimiento de la NDC, los compromisos establecidos en el acuerdo de París y las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) referentes a cambio climático propuestos por las Naciones Unidas, Chile contempla diferentes medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Estas se reportan tanto en las Comunicaciones Nacionales de Chile ante la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [31] como en los Informes Bienales de actualización de Chile sobre Cambio Climático [16,18]. En particular para el período comprendido entre los años 2017-2022, se cuenta con un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, enfocado en cuatro ejes principales: Mitigación, Adaptación, Medios de implementación y Gestión del Cambio Climático a nivel regional y comunal [27].

En el eje de mitigación, hasta el año 2020 se han identificado seis NAMA registradas por Chile en la CMNUCC, centradas principalmente en los sectores de energía, residuos, agricultura y forestal [18]. Hacia el año 2022, Chile se ha propuesto los siguientes objetivos específicos [27]:

- Mantener el Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Chile (SNICHILE) y actualizar el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI): lo que permitiría entregar información actualizada respecto a las emisiones del país.
- Desarrollar e implementar acciones y políticas de mitigación: para lo que se plantean 16 líneas de acción considerando los sectores de energía, transporte, silvoagropecuario, residuos, urbanización, entre otros.
- Contabilizar y proponer medidas de mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC): con el fin de contribuir a reducir los niveles de contaminación atmosférica en el país. Los contaminantes considerados corresponden a carbono negro (BC), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC) y el ozono (O₃).
- Implementar sistemas de contabilidad y de Monitoreo Reporte y Verificación (MRV): con el objetivo de promover la transparencia de las acciones de mitigación llevadas a cabo. Se entiende como MRV aquellas prácticas que permiten reunir y revisar información asociada a los niveles de emisión de GEI y las metas de reducción, además de los reportes a través de los medios oficiales a la CMNUCC (comunicaciones nacionales e informes bienales de actualización).
- Implementar acciones para cumplir con los compromisos internacionales de mitigación: para lo que se busca desarrollar herramientas de análisis de los compromisos de mitigación pre y post 2020.

En materia de adaptación, Chile plantea los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar periódicamente la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales frente a los efectos del cambio climático.
- Dirigir la adaptación al cambio climático a través de medidas que reduzcan la vulnerabilidad y aumenten la capacidad adaptativa de los sistemas mencionados.
- Monitorear y reportar periódicamente el avance en materia de adaptación, con el fin de mejorar la planificación de las políticas de adaptación.

Las primeras líneas a seguir para abordar el eje de adaptación fueron trazadas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2008-2012, documento que se ha utilizado como guía para la acción nacional [15]. Actualmente, se encuentra en implementación el PNACC 2017-2022, donde se establecen los

objetivos y principios bajo los que fue elaborado, y también una estructura operacional que divide las acciones en aquellas transversales y sectoriales como, por ejemplo, el silvoagropecuario, energía, turismo, pesca y acuicultura, entre otros.

1.2 ¿Por qué es necesaria una metodología de planificación?

La elaboración e implementación de los planes sectoriales de adaptación se realiza bajo las directrices de la CMNUCC, estableciendo una estrategia que considera la participación de equipos técnicos y actores relevantes interesados para evaluar y analizar los posibles impactos del cambio climático en dicho sector y así proponer y priorizar medidas de adaptación [32]. La Convención recomienda una serie de estrategias para elaborar planes sectoriales de adaptación, haciendo énfasis en que estas pueden complementarse entre ellas. Una de las metodologías de análisis utilizada es la metodología de análisis multicriterio, que permite priorizar y analizar de manera profunda las medidas propuestas, considerando distintos criterios y la importancia relativa entre ellos al momento de escoger o priorizar medidas [33].

Como se revisará en la siguiente sección, si bien Chile presenta planes de acción frente al Cambio Climático y sigue las recomendaciones generales de la Convención para la composición de planes de adaptación, no se especifica cuál de las estrategias recomendadas se utiliza durante el proceso. De esta forma, no se ha encontrado evidencia del uso de una metodología robusta y clara para la elaboración de planes de adaptación. Por otro lado, tampoco se evidenció que Chile compusiera especialmente hojas de ruta, entendiéndose estas últimas como documentos que describen la organización de un trabajo, a través de la identificación de actividades específicas que se llevarán a cabo, el cronograma que se seguirá y los recursos necesarios para el cumplimiento de los objetivos propuestos [34]. De esta manera, si bien existen algunas hojas de ruta nacionales, no se identifica una estrategia clara de planificación para los distintos sectores industriales que considere restricciones de plazos, opciones de simultaneidad, factibilidad técnica, etc.

En consecuencia, la mayoría de las medidas de mitigación no presentan un plan de acción específico, sino que están incluidas en los planes nacionales de cada sector industrial, pues se menciona que dichas medidas deben ir en concordancia con las políticas de crecimiento de cada industria. Además, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, las NAMA no tienen directrices específicas para su elaboración, pues se deben registrar según lo que el contexto nacional considere apropiado [35].

Por otra parte, y como se mencionó anteriormente, la Ley de Cambio Climático establece que las acciones y medidas de reducción de emisiones serán determinadas de acuerdo con criterios de costo efectividad [30], remitiéndose mayoritariamente a evaluaciones bajo un criterio económico y perdiendo de vista otros criterios posibles que podrían incluirse en el análisis como, por ejemplo, criterios de evaluación social o ambiental que consideren metodologías diferentes a la valoración monetaria de estos impactos. Considerando que a través de los diferentes reportes del IPCC y compromisos adoptados por Naciones Unidas se reconoce el cambio climático como una problemática que aborda no solo aspectos económicos, sino que también sociales y culturales. Un análisis de medidas que considere estos criterios y los evalúe de manera acorde puede contribuir a acciones más efectivas.

Tomando en cuenta la información de organismos internacionales, existe una gran variedad de metodologías y escalas de implementación. Particularmente, en Chile no se ha adoptado una estrategia común para la creación de hojas de ruta o planes sectoriales. La implementación de una metodología clara y uniforme para la elaboración de planes sectoriales estratégicos, en cualquier sector industrial, permitiría ampliar la capacidad de acción del estado en materia de adaptación y mitigación del cambio climático.

Por otro lado, si dicha metodología estableciera una manera robusta de proponer y priorizar medidas a través de diferentes criterios, podría reducirse la subjetividad asociada a las metodologías existentes en Chile, que se

encuentra mayoritariamente sujeta a la opinión de expertos y a los contextos en que ellos se desenvuelven. Adicionalmente, si esta metodología propusiera una planificación temporal, se facilitaría y aceleraría la elaboración de medidas más concretas que las que existen actualmente. De esta manera, una estrategia común que permita elaborar una hoja de ruta resulta necesaria en el escenario actual, donde las consecuencias de no actuar a tiempo podrían desembocar en eventos catastróficos, tanto para escenarios nacionales como mundiales.

1.3 Definición del caso de estudio

Respecto a los impactos ambientales de las distintas industrias, la tendencia mundial señala que los sectores de mayores emisiones se asocian a la producción energética y las actividades relacionadas con la Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU) (Ver Figura 1.2).

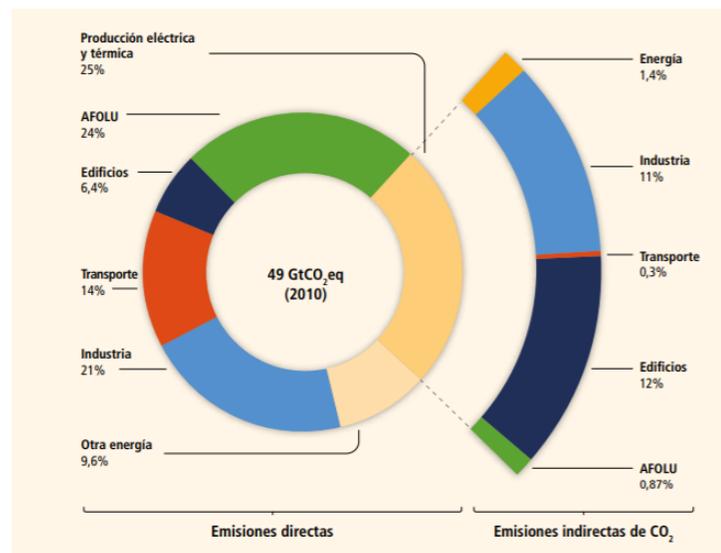


Figura 1.2: Emisiones antropogénicas totales de GEI (GtCO₂eq/año) por sectores económicos, año 2010 [36].

Por otro lado, el informe especial sobre cambio climático y tierra del IPCC señala que, en el período 2007 - 2016, el sector AFOLU emitió el 13% del CO₂, 44% de metano y 81% de óxidos de nitrógeno, siendo estos últimos dos gases de efecto invernadero con mayor potencial de calentamiento global que el del dióxido de carbono. El sector AFOLU es clave tanto en emisiones como en la vulnerabilidad frente al cambio climático, puesto que los efectos de este amenazarían diversos aspectos como, por ejemplo, la seguridad alimentaria, la degradación de la tierra y la pobreza.

Los cambios en la temperatura y los patrones de precipitación afectan directamente la calidad del suelo, modificando variables como la disponibilidad y la capacidad de asimilación de nutrientes. Además, los cambios ambientales son una causa del desarrollo de nuevas plagas y/o enfermedades. Considerando lo anterior, la productividad del sector agrícola se vería afectada de manera importante, debido a que entre un cuarto y un tercio del potencial de producción primaria neta de la tierra a nivel mundial es utilizado para alimentos y piensos, entre otros [37].

A pesar de las consecuencias mencionadas, el IPCC señaló que “la tierra es un recurso decisivo que se encuentra sujeta a la presión del ser humano y del cambio climático, pero es parte de la solución” [38].

Lo anterior se atribuye a que, si bien la tierra es una fuente de emisiones de GEI, también es un sumidero de estos, jugando un papel clave en el intercambio de materia y energía. En este sentido, la gestión sostenible de la tierra puede contribuir a reducir los impactos negativos, tanto del cambio climático como de otros agentes,

en los ecosistemas. En la misma línea, la ONU señala que dietas equilibradas que incluyan alimentos de origen vegetal o se basen en legumbres, frutas, granos, etc., presentan grandes oportunidades de adaptación y mitigación en el cambio climático, además de los beneficios para la salud que dichos alimentos suponen [37].

1.3.1 Caso de estudio a nivel nacional

Para la definición del caso de estudio a nivel nacional, se consideraron tanto los antecedentes mencionados como también las opciones que representan las diferentes actividades que aportan a la economía chilena. A continuación, se exponen dichas actividades, junto con su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) nacional.

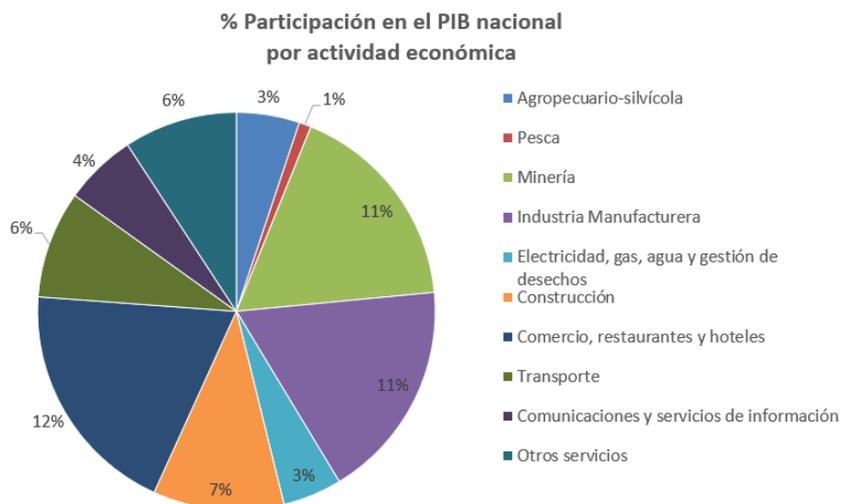


Figura 1.3: % participación en el PIB nacional por actividad económica, año 2018. Elaboración propia a partir de datos del Banco Central (volumen a precios año anterior encadenado, referencia 2013) [39].

La Figura 1.3 evidencia que las actividades económicas del país se centran en la minería, el comercio, transporte e industria manufacturera. Si bien el sector silvoagropecuario no contribuye de igual forma en comparación a los sectores mencionados anteriormente, no puede descartarse la importancia de esta actividad en la economía, considerando que abarca actividades más específicas y desagregadas que el sector comercio o de la industria manufacturera. Dicho de otro modo, si estas industrias representan un gran aporte al PIB nacional, se componen de un conjunto heterogéneo de actividades donde cabe destacar que, de su contribución al PIB nacional, la producción de alimentos (actividad ligada al sector silvoagropecuario) representa aproximadamente un 30% [39]. El sector silvoagropecuario, por su parte, abarca actividades menos diversas, reuniendo tres principales actividades (agricultura, forestal y ganadería), razón por la que su contribución al PIB no es despreciable.

Respecto al sector silvoagropecuario, el aporte al PIB del sector se distribuye según la Figura 1.4:

Distribución del PIB silvoagropecuario

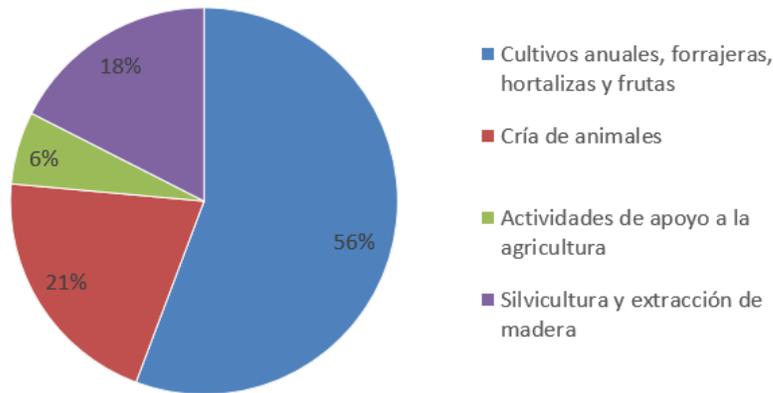


Figura 1.4: Distribución del PIB asociado al sector silvoagropecuario (2013). Elaboración propia basada en datos de ODEPA [40].

Por otro lado, y de acuerdo con la Figura 1.5, en Chile, el sector agrícola es el segundo mayor emisor del país:

Distribución de las emisiones de GEI totales de Chile por sector

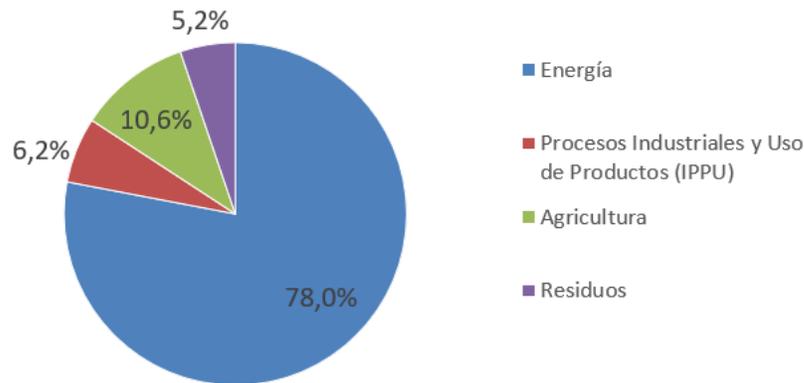


Figura 1.5: Distribución de las emisiones de GEI totales de Chile por sector. Extraído de [16].

El sector agrícola se selecciona como caso de estudio considerando que representa más de la mitad del aporte al PIB del sector silvoagropecuario, además de la importancia de la adaptación y la mitigación vista desde el eje del uso de la tierra, la pobreza y la seguridad alimentaria.

Cabe destacar que el sector agrícola es un sector complejo debido a múltiples razones. Se trata de un sector que elabora variados productos y por ende, contempla diversos sistemas de producción. Adicionalmente, se encuentra disperso geográficamente, lo que provoca que sea una industria intensiva en transporte. También es un sector intensivo en el uso de agua, considerando que la agricultura depende del abastecimiento hídrico [41]. Esto aumenta la vulnerabilidad del sector frente al Cambio Climático en comparación con otras industrias. Por otro lado, la fragilidad de sus productos y la presencia de tradiciones agrícolas fuertemente instaladas representan dificultades para realizar cambios estructurales.

La complejidad del sector agrícola le otorga el potencial para facilitar la generalización de la metodología a desarrollar y su aplicación a otras industrias. De esta forma, la propuesta metodológica se desarrollará a partir del trabajo en el sector agrícola, pero considerando la complejidad que supone este caso de estudio, se espera obtener una metodología adaptable a otros sectores productivos.

1.4 Objetivos y alcances

1.4.1 Objetivo general

Componer una metodología general para la elaboración de hojas de ruta en sectores industriales, orientadas a la mitigación y adaptación al Cambio Climático, utilizando como caso de estudio el sector agrícola.

1.4.2 Objetivos específicos

El cumplimiento del objetivo general se llevará a cabo siguiendo los siguientes objetivos específicos:

1. Modelar las distintas industrias del sector agrícola a partir de la selección de productos representativos, considerando las características productivas de cada industria (nivel de producción, aporte económico, entre otras).
2. A partir de la representación anterior, caracterizar los procesos productivos asociados a cada industria del sector agrícola, considerando el uso de materias primas, consumo energético, generación de residuos, costos de producción, transporte, etc.
3. Considerando los procesos caracterizados, proponer medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático en el sector agrícola, apuntando a modificaciones en el proceso productivo, niveles de producción, uso de recursos, disminución en la generación de residuos, etc.
4. Definir criterios ambientales, económicos y de factibilidad tecnológica para comparar las medidas propuestas.
5. Utilizar la herramienta multicriterio AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y los criterios definidos en el punto anterior para jerarquizar las medidas propuestas.
6. Proponer una agenda sectorial para implementar las medidas propuestas, considerando tiempos de ejecución, criterios de simultaneidad de actividades y la jerarquía obtenida a partir del Proceso de Análisis Jerárquico.
7. Generalizar el uso de criterios y metodología desarrollada anteriormente, para posibilitar su aplicación a otros sectores industriales.

1.4.3 Alcances

En relación a los alcances de la elaboración de la Hoja de Ruta del sector agrícola, se define un horizonte temporal hasta el año 2050, considerando que corresponde al tiempo límite para cumplir con el Acuerdo de París. En vista del alcance temporal de este trabajo, la metodología propuesta se enfocará en dos aspectos principales de la elaboración de Hojas de Ruta: en primera instancia la estandarización de una estrategia que permita la selección y priorización de las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático; y en segunda instancia la calendarización de dichas medidas. Debido a esto, la identificación de los recursos necesarios para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la Hoja de Ruta no se abordará en esta etapa de desarrollo.

Adicionalmente, el trabajo toma como caso de estudio el sector agrícola, sin embargo, al avanzar en el análisis se establece la necesidad de que la metodología de composición de Hojas de Ruta contemple la

heterogeneidad de sus subsectores productivos. Así, se propone que la Hoja de Ruta del sector agrícola se componga a partir de distintas Hojas de Ruta para cada subsector. Para cada subsector se tiene un procedimiento análogo a seguir, por lo que el ejercicio de aplicación se acota al subsector frutícola. De todas maneras, esto no representa una dificultad al momento de establecer la propuesta metodológica, lo que podrá comprobarse a lo largo de este trabajo.

1.5 Estado del Arte

En esta sección se presentan las metodologías utilizadas para la elaboración de planes sectoriales de Cambio Climático a nivel nacional e internacional. Los distintos planes analizados se componen de diferentes medidas de mitigación y/o adaptación. La selección y evaluación de estas medidas es una etapa de la metodología de composición que puede contar con sus propias herramientas, por lo que, además de presentar metodologías generales de composición de planes de Cambio Climático, se incluyen diferentes herramientas para el análisis y selección de medidas.

De esta manera, tras realizar el barrido bibliográfico y exponer las principales metodologías identificadas, se entrega una síntesis de los elementos clave que debe contener una Hoja de Ruta, además de una breve descripción y justificación de la metodología de evaluación de medidas seleccionada en este trabajo: el Proceso Analítico Jerárquico.

1.5.1 Metodologías de elaboración de Planes de Cambio Climático en Chile

Chile presenta diversos Planes de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, tanto a nivel nacional como sectorial. Dichos planes se centran en establecer lineamientos o metas claves dentro de un período determinado, sin embargo, no presentan una calendarización u organización clara en la implementación de las medidas. Es por esto que los resultados de los planes se reducen a un conjunto de medidas que, en algunos casos, poseen plazos y responsables establecidos, pero no una organización cronológica.

En la mayoría de los casos, no se reporta una metodología clara para identificar, priorizar y calendarizar las medidas. Sin embargo, existe un Plan de Adaptación Nacional que establece una estrategia paso a paso para elaborar planes sectoriales, apoyándose en las directrices establecidas por la CMNUCC. A pesar de lo anterior, no se reportó la aplicación de dicha metodología en los planes sectoriales analizados.

La siguiente tabla presenta los planes analizados y las principales conclusiones obtenidas tras la revisión bibliográfica de las metodologías reportadas:

Tabla 1.1: Metodologías utilizadas en los Planes de Cambio Climático en Chile.

Nombre del plan	Metodología e identificación de brechas
<p>Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) [42]</p>	<p>No se reporta una metodología específica, mencionándose que se trató de un proceso participativo y de consensos técnicos a nivel nacional.</p> <p>La definición de las medidas se reforzó a partir de un estudio de CONAF, cuya metodología es más clara y establece los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de causales. 2. Priorización de las causales por macrozonas de Chile. 3. Caracterización de las causales considerando efectos negativos en ámbitos sociales, ambientales y económicos. 4. Definición de Actividades y Medidas de Acción. 5. Identificación de áreas/comunas prioritarias para implementar las Actividades y Medidas de Acción.

<p align="center">Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) [32]</p>	<p>Se reportan las recomendaciones metodológicas para elaborar planes sectoriales en general:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Conformación equipos técnicos de trabajo. 2. Identificación de actores relevantes del sector a estudiar. 3. Análisis de los escenarios climáticos y sus consecuencias. 4. Identificación de medidas de forma participativa. 5. Priorizar medidas según criterios recomendados. Elaborar un anteproyecto. 6. Realizar una consulta ciudadana del anteproyecto. 7. Considerar las observaciones en la versión final del Plan. 8. Presentar el proyecto al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático para su aprobación. <p>No se establece, sin embargo, una metodología clara para utilizar los criterios de priorización o calendarizar las medidas identificadas.</p>
<p>Plan de Acción Nacional de Cambio Climático [27]</p>	<p>No se establece una metodología específica para la identificar, priorizar ni calendarizar medidas, mencionándose únicamente objetivos generales y específicos. Sin embargo, se incluyen principios que deben considerarse en la elaboración de un plan de acción.</p>
<p>Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad [43]</p>	<p>Se reporta brevemente la metodología utilizada para la elaboración del plan, la que contempla los siguientes hitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de vulnerabilidad del sector a nivel de ecosistemas y especies. 2. Identificación de medidas de adaptación al Cambio Climático. 3. Consulta interministerial sobre las medidas identificadas. 4. Consideración de las observaciones planteadas tras la consulta interministerial. 5. Nuevo estudio de vulnerabilidad, específico para los ecosistemas terrestres y las áreas silvestres protegidas, con el fin de integrar información de dichos sectores en las medidas identificadas. 6. Consulta ciudadana del anteproyecto. 7. Consideración de las observaciones y recomendaciones del proceso de consulta. <p>No se establece, sin embargo, una metodología clara para priorizar o calendarizar las medidas identificadas.</p>
<p>Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario [41]</p>	<p>Se incluyen los principios considerados para la elaboración del plan y se identifica una primera etapa de evaluación de vulnerabilidad del sector, sin embargo, no se establece una metodología específica para la identificar, priorizar ni calendarizar medidas, mencionándose únicamente objetivos generales.</p>
<p>Plan de Mitigación de GEI para el sector Energía [44]</p>	<p>Establece el uso de una metodología multicriterio para la elaboración del plan, incluyendo los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis bibliográfico para identificar medidas de mitigación. 2. Ciclos de entrevistas grupales con participación de actores claves del sector. 3. Selección y diseño de las medidas, considerando discusiones con actores relevantes de la industria, sector privado y sociedad civil. 4. Segundo ciclo de entrevistas con actores relevantes del sector. 5. Inclusión de las propuestas en simulaciones a partir de un modelo y discusión de las medidas definidas, considerando criterios ambientales, políticos y económicos. 6. Consulta pública sobre el Plan de Mitigación definido. <p>Sin embargo, no se establece una metodología clara para calendarizar las medidas identificadas.</p>
<p>Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura [45]</p>	<p>No se establece una metodología clara para la identificación y priorización de medidas. Tampoco se establece una calendarización de estas. El plan se reduce al establecer objetivos, ejes (mitigación, adaptación y gestión del conocimiento) y líneas de acción para los respectivos ejes. Se trata de un plan general que establece lineamientos básicos para el sector.</p>

El detalle de los objetivos y metodologías utilizadas en los planes reportados se encuentra disponible en el Anexo A.

1.5.2 Metodologías internacionales de composición de planes sectoriales

1.5.2.1 Directrices técnicas de la CMNUCC

La composición de planes sectoriales a nivel internacional es variada, pero se enmarca en las directrices de la CMNUCC. Respecto a temas de mitigación, los planes se ajustan según las necesidades y compromisos de cada país, mientras que en relación a la adaptación, la Convención establece un documento que entrega los lineamientos metodológicos para elaborar los planes.

La metodología establecida para la elaboración de Planes Nacionales de Adaptación (PNAD) se basa en cuatro elementos principales, los que se describen brevemente a continuación (ver detalle en Anexo B) [33]:

1. **Elemento A. Establecimiento de las bases y determinación de las carencias:** su principal objetivo es crear una responsabilidad para el proceso del PNAD, estableciendo obligaciones para los ministerios y otros órganos gubernamentales. Especifica las etapas y resultados esperados del proceso del Plan.
2. **Elemento B. Elementos preparatorios:** contempla las principales metodologías de obtención y priorización de medidas de adaptación. El objetivo principal de este elemento consiste en la identificación y evaluación de escenarios climáticos, impactos y vulnerabilidad del territorio, para posteriormente proponer y priorizar medidas de adaptación al Cambio Climático.

La Convención recomienda el uso de diferentes técnicas, que pueden complementarse, al momento de proponer y priorizar medidas. En la Tabla 1.2 se encuentran las metodologías propuestas, junto con una breve descripción.

Tabla 1.2: Métodos de calificación y priorización recomendados por la CMNUCC [33].

Método	Descripción
Método del cuestionario	Considera la participación de las partes interesadas, quienes contestan un cuestionario que permite obtener percepciones sobre las prioridades de los grupos. Las respuestas son calificadas y aquellas estrategias o actividades con mayor puntuación son a las que se les otorga mayor prioridad.
Método del grupo nominal	Reúne un grupo acotado, generalmente de expertos, que define la prioridad de las medidas propuestas. El grupo define los criterios para la toma de decisiones y la calificación de las medidas se da por votación.
Ponderación de criterios	Se define un conjunto de criterios con el que se califican las medidas propuestas. Se asigna una calificación de prioridad en función de los criterios seleccionados.
Pesos e indicadores	A los criterios seleccionados se les asigna un nivel de importancia o peso (en forma de porcentaje o fracción). La determinación del peso debería involucrar a las partes interesadas, pues dependerá de la importancia relativa entre los diferentes factores.
Análisis Coste-Beneficio (ACB)	Se equilibran las medidas propuestas frente a los beneficios que suponen a través de la comparación de los costes y beneficios expresados en términos monetarios.
Análisis Coste-Efectividad	Se utiliza para comparar opciones que logran el mismo objetivo, priorizando aquella alternativa que sea menos costosa.
Análisis multicriterio (AMC)	Permiten la calificación de opciones frente a una serie de criterios cuando no es posible la cuantificación y evaluación de costos o beneficios en términos monetarios. Existen diferentes modelos multicriterio que pueden aplicarse al momento de tomar decisiones, como, por ejemplo: la programación matemática, la teoría de la utilidad multiatributo o el proceso analítico jerárquico (AHP por sus siglas en inglés)

3. **Elemento C. Estrategias de aplicación:** se centra en el diseño de estrategias de aplicación de los Planes Nacionales de Adaptación. La labor se enfoca en determinar las prioridades de las acciones de

adaptación y el desarrollo de la capacidad institucional a largo plazo para la planificación e implementación del plan.

4. **Elemento D. Supervisión, evaluación y presentación de informes:** busca principalmente generar un método de recopilación de datos e información sobre los efectos y vulnerabilidades que puedan identificarse a lo largo de la implementación del PNAD, con el fin de realizar un seguimiento y evaluación del proceso.

1.5.2.2 Otras metodologías utilizadas para el análisis de medidas

Las metodologías utilizadas en otros países para la elaboración de hojas de ruta se centran principalmente en las etapas de selección y priorización de medidas, además del análisis de la institucionalidad que estará a cargo de implementar el plan. Tras la revisión bibliográfica, no se identificaron metodologías claras para calendarizar las medidas una vez que fueran seleccionadas y priorizadas.

La Tabla 1.3 muestra un resumen de las metodologías identificadas a partir de un estudio metodológico enmarcado en planes de adaptación, realizada por la Comisión Europea [46]. El detalle del análisis de las distintas herramientas se encuentra disponible en el Anexo C.

Tabla 1.3: Herramienta de apoyo en la toma de decisiones en materia de Cambio Climático [46].

Herramienta	Descripción	Fortalezas	Debilidades
Análisis Costo-Beneficio	Cuantificar costos y beneficios en unidades monetarias, para después evaluar bajo una proporción costo: beneficio	<ul style="list-style-type: none"> • Provee un análisis directo sobre los beneficios económicos y soluciones óptimas • Metodología ampliamente estudiada y utilizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de evaluar monetariamente sectores no comerciales y opciones cualitativas • Incertidumbre se limita a riesgos probabilísticos
Análisis Costo-efectividad	Se realiza una comparación de medidas que apuntan a un mismo objetivo, a través del indicador costo por unidad de beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Los beneficios se expresan en términos físicos, lo que facilita su aplicación en sectores no comerciales • Simplicidad de aplicar • Uso de curvas de abatimiento permite concluir políticas con un menor costo de optimización • Usado en materia de mitigación 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de identificar beneficios y de aplicar a nivel intersectorial • Normalmente omite el desarrollo de capacidades • La naturaleza de las curvas de abatimiento ignora interrelaciones y la posibilidad de crear un portafolio de medidas • No considera incertidumbre
Análisis Multi-Criterio	Provee un método sistemático para evaluar y priorizar alternativas en torno a criterios de decisión definidos que pueden expresarse en unidades monetarias, físicas o cualitativas	<ul style="list-style-type: none"> • Combina datos cualitativos y cuantitativos • Relativamente simple • Permite utilizar juicio de expertos y de partes interesadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados requieren un mayor análisis y elaboración en estudios detallados • Involucra subjetividad • Partes interesadas pueden no concluir opciones importantes • La incertidumbre se aborda de manera cualitativa y subjetiva
Análisis de Opciones Reales	A través de árboles de decisión, se definen posibles resultados y se asigna una probabilidad a cada uno. Usando valores	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa el valor de la flexibilidad y el aprendizaje en términos cuantitativos y económicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de datos y recursos con alta complejidad y aporte de expertos

	esperados, se pueden comparar alternativas	<ul style="list-style-type: none"> • Árboles de decisión permiten conceptualizar y visualizar el concepto de manejo adaptativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de datos puede ser una barrera (clima probabilístico, información cuantitativa y económica) • A menudo la identificación de puntos de decisión es compleja
Toma de Decisiones Robusta	Uso de modelos cuantitativos o generadores de escenarios para evaluar cómo funcionan distintas estrategias bajo una gran cantidad de escenarios futuros, apuntando a minimizar los impactos negativos de los posibles resultados futuros.	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa la robustez en lugar de la optimización • Aplicable cuando no hay información probabilística o hay alta incertidumbre • Aplicable con métricas físicas y económicas, facilitando la aplicación intersectorial 	<ul style="list-style-type: none"> • La falta de información probabilística puede hacer subjetiva la toma de decisiones • La aplicación formal requiere una alta cantidad de información cuantitativa, capacidad computacional y un alto grado de conocimiento experto
Manejo Adaptativo	Utiliza un seguimiento, investigación y evaluación del proceso de aprendizaje con el objetivo de mejorar la gestión de futuras estrategias.	<ul style="list-style-type: none"> • Evade decisiones irreversibles y promueve aprender a ajustar decisiones en el tiempo • Se orienta más a políticas y es flexible a objetivos y métodos de evaluación • Promueve la discusión sobre posibles cambios y la definición de indicadores críticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de definir umbrales de evaluación • Centrado en objetivos de gestión existentes, por lo que pueden pasarse por alto impactos desconocidos
Proceso Analítico Jerárquico	Herramienta de análisis multicriterio que realiza comparaciones entre pares de alternativas, utilizando juicios expertos para derivar escalas de prioridad en función de la definición de criterios con una importancia relativa entre ellos. Se obtiene como resultado un orden según el puntaje obtenido tras la ponderación de puntajes y criterios.	<ul style="list-style-type: none"> • Puede aplicarse con elementos difíciles de cuantificar o de comparar • Enfoque simple y resultados fáciles de comunicar • No requiere información detallada • Permite integrar elementos cualitativos a un análisis cuantitativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cada vez que se consideran opciones nuevas, los resultados cambian • Mayor complejidad conforme se agregan opiniones o criterios • La subjetividad de la escala puede conducir a sesgos en los resultados • Se pueden ocultar juicios de valor
Análisis de Redes Sociales	Permite identificar el panorama socio-institucional, con el fin de determinar las capacidades que se tienen para desarrollar diferentes políticas de adaptación.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite mejorar la transferencia de información • Análisis cualitativo es simple y promueve la participación de diferentes actores • Análisis cuantitativo permite entender variables de las redes 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede existir sesgo de subjetividad • Demanda tiempo y se trata de un proceso intensivo (cuantitativo) • El diseño del proceso de análisis es crítico para obtener distintos puntos de vista.

1.5.3 ¿Qué elementos debe contener una Hoja de Ruta de Cambio Climático?

Como se mencionó en secciones anteriores, para efectos de este trabajo, una Hoja de Ruta se entenderá como una herramienta de planificación estratégica para cumplir con un objetivo dado. Para identificar los elementos básicos que debe contener una Hoja de Ruta, se tienen las siguientes preguntas orientadoras que deberían responderse tras el diseño del plan: ¿qué medidas adoptar? ¿Cómo y cuándo?

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se establecen algunos puntos en común que permiten responder a estas interrogantes y estructurar el diseño de la Hoja de Ruta:

1. **Diagnóstico del sector:** corresponde a la identificación y caracterización del escenario actual, ya sea a nivel país, sector industrial, etc. En esta etapa se establece claramente el problema que se está enfrentando, sus causas, las variables involucradas, posibles consecuencias, entre otros.
2. **Identificación, Propuesta y selección de medidas:** una vez realizado el diagnóstico, es posible identificar medidas que aporten a la mitigación y adaptación del Cambio Climático. Considerando un escenario donde existen recursos y capacidades limitadas para tomar acciones, se requiere seleccionar algunas medidas y priorizarlas, con el objetivo de aprovechar los recursos disponibles en aquellas medidas que mejores resultados otorguen frente a la necesidad de mitigar y adaptarse al Cambio Climático.
3. **Diseño de estrategias de implementación:** con las medidas seleccionadas y priorizadas, es posible establecer un plan de implementación, definiendo acciones estratégicas, recursos necesarios y la calendarización de las acciones. Adicionalmente, se incluye la definición de un plan de seguimiento y monitoreo, con el fin de evaluar continuamente el avance de la implementación de la Hoja de Ruta.
4. **Evaluación del plan:** una vez concluido el diseño de la Hoja de Ruta, es necesario realizar una evaluación tanto a nivel interno del equipo organizador, como también a nivel ciudadano. Tras esta evaluación, pueden identificarse posibles puntos a mejorar antes de comenzar con la implementación.

La Figura 1.6 muestra una síntesis de los elementos necesarios para el diseño de una Hoja de Ruta, como también algunas preguntas orientadoras que pueden facilitar su comprensión.



Figura 1.6: Elementos básicos de una Hoja de Ruta de Cambio Climático y preguntas orientadoras. Elaboración propia.

1.5.3.1 Selección de metodología de análisis y evaluación de medidas

Como se observó en las secciones precedentes, para la selección y evaluación de medidas existen diferentes metodologías. Para este trabajo en particular, y como es posible observar en la sección 1.4, se selecciona el Análisis Multicriterio como herramienta de análisis y evaluación. A partir de la revisión bibliográfica, es posible notar que el Análisis Multicriterio presenta diversas potencialidades para la elaboración de Hojas de Ruta, pues permite combinar distintas estrategias y criterios tanto cualitativos como cuantitativos. De esta forma, no es excluyente de las herramientas de Análisis Costo-Beneficio o Costo-Efectividad. Se trata de una metodología que aborda el problema a resolver con un mayor nivel de complejidad dada la variedad de criterios que puede considerar, permitiendo concluir medidas a partir de un análisis que considera las interacciones de distintos factores al interior de un sistema.

Específicamente, la herramienta de análisis multicriterio AHP⁶ (Proceso Analítico Jerárquico) destaca y se selecciona como metodología de evaluación por diferentes razones:

- **Permite evaluar medidas bajo criterios cuantitativos y cualitativos bajo una misma escala de valoración.** El uso de una única escala de valoración para evaluar bajo distintos criterios (ej: económicos, ambientales, sociales, etc.) elimina la necesidad de comparar bajo una misma unidad de medida, facilitando el cambio de unidades o la internalización de efectos que no necesariamente son medibles bajo la unidad de medida escogida. Un ejemplo que ilustra la dificultad de trabajar con unidades de medida para la comparación corresponde al cálculo del VAN social en la Evaluación Social de Proyectos [47], donde la monetización de un aspecto intangible podría discutirse ampliamente según sea el caso: el valor que adjudica una persona a escuchar el canto de las aves; el valor del aumento en el bienestar de la población tras la implementación de una medida; el valor de salvar una vida, entre otros.
- **Balance entre capacidades, recursos y resultados obtenidos.** Lo que deriva del punto mencionado anteriormente. Debido a que la herramienta permite evaluar medidas bajo criterios no necesariamente cuantificables, se reduce la necesidad de invertir tiempo y recursos en la elaboración de índices o la internalización de externalidades a unidades físicas/monetarias/etc.
- **Facilita democratización del diseño de una Hoja de Ruta.** Debido a la participación de expertos, expertas y distintas partes interesadas. Al tratarse de una herramienta de análisis multicriterio, requiere ponderar la importancia entre distintos criterios a considerar. Esto permite ampliar el universo de quienes contribuyen a la toma de decisiones, sintonizando el diseño de la Hoja de Ruta con la consideración de las partes afectadas tras la implementación de medidas.
- **Considera el contexto de implementación.** En línea con lo anterior, el hecho de que internalice la opinión de distintos actores involucrados permite adecuar la herramienta de evaluación al contexto territorial en donde serán implementadas las medidas. Además, y como se verá en el Capítulo 6, puede contribuir no solo a la selección, sino que también a la calendarización de medidas. La herramienta ofrece la posibilidad de establecer una relación entre el momento en que se implementa una medida y el resultado de evaluación de la misma.

Finalmente y como referencia, se trata de una estrategia que ha sido ampliamente utilizada en otros países para la obtención de planes de adaptación sectoriales, entre los que se encuentran: Ecuador [48], España [49], México [50] y un caso de estudio en Nicaragua realizado en colaboración con Alemania [51].

⁶ Del inglés *Analytic Hierarchy Process*

Capítulo 2. Caracterización y representación de la industria agrícola

El presente capítulo describe cómo se modela el sector agrícola en este estudio. Si bien la representación completa de un sector industrial incluir el detalle completo de los procesos productivos y de gestión del sector, el caso de la agricultura supone una complejidad mayor, asociada principalmente a la variedad de productos que participan y a la heterogeneidad de los procesos respectivos. Como tal análisis requiere una significativa inversión de tiempo y recursos, la pregunta es cómo representar el sector de una manera simplificada, pero que recoja sus características esenciales para proponer medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático.

En vista de lo anterior surge la necesidad de representar la actividad agrícola a partir de la generalización de los procesos productivos que la componen, procedimiento que se lleva a cabo a partir de la selección de aquellos productos que caractericen de mejor manera la industria a nivel nacional. De esta forma, la representación resultante debe acotar la cantidad de procesos a estudiar y, a la vez, representar la diversidad de productos existentes. Además, debe representar de manera responsable el escenario actual de la agricultura chilena en términos técnicos, económicos y ambientales.

Dado que el estudio se enfocará en acciones asociadas a la mitigación y adaptación al cambio climático, resulta necesario considerar la diversidad geográfica y climática que se presenta a lo largo de Chile, ya que dicha variedad se relaciona directamente con las especies cultivadas y las consecuencias del cambio climático a lo largo del territorio nacional. A modo de ejemplo y considerando las diferencias climáticas entre la zona norte y sur del país: el norte presenta un territorio más árido que el sur, lo que explica que se identifiquen distintas especies cultivadas en cada zona. Por otro lado, la misma diferencia provoca que cada una se vea afectada de una manera distinta frente a las posibles consecuencias del Cambio Climático como, por ejemplo, un cambio en el patrón de precipitaciones.

Adicionalmente y retomando las complejidades asociadas al estudio, el sector agrícola supone una dificultad en términos de disponibilidad de información: al tratarse de un subsector industrial, los organismos nacionales presentan fuentes acotadas asociadas al escenario económico del sector agrícola en particular, presentando mayoritariamente información agregada para las actividades silvícolas, agrícolas y pecuarias.

En consecuencia, este capítulo aborda información general asociada al sector silvoagropecuario (en adelante SAP) y a la caracterización particular del sector agrícola, identificando los principales tipos de cultivos o productos que se obtienen a lo largo del país. Posteriormente, se expone la metodología y criterios de selección de aquellos productos que representarán la industria a lo largo de este trabajo.

2.1 Antecedentes

2.1.1 Geografía y clima

El territorio chileno presenta una extensión de más de 4.200 km de longitud y entre 90 y 375 km de ancho. La zona productiva del país se encuentra en la llamada Depresión Intermedia, zona delimitada por la cordillera de Los Andes y la cordillera de la Costa.

La extrema longitud del país se enlaza con la presencia de corrientes marinas subtropicales en el norte y corrientes polares desde el sur del territorio. Dichas corrientes y los cuerpos montañosos mencionados anteriormente actúan como barreras naturales en términos climáticos, dando como resultado una gran diversidad climática, expresada en tanto en sentido longitudinal como latitudinal: en la zona norte, por ejemplo,

se aprecia un clima desértico con menos de 1 mm de precipitación anual promedio, mientras que en el extremo sur se observan climas templados lluviosos fríos, cuyas lluvias superan los 5.000 mm anuales promedio.

Los diferentes climas presentes a lo largo del territorio nacional se encuentran representados en la Figura 2.1:

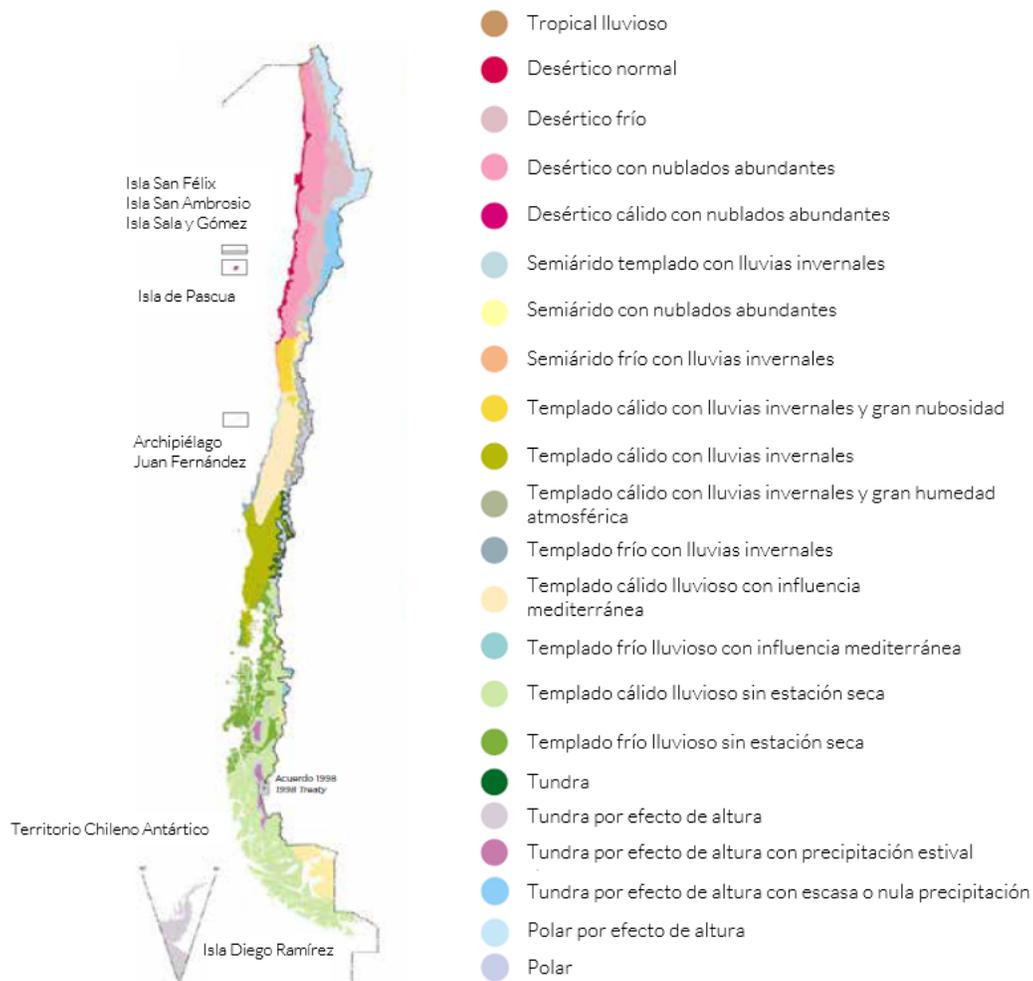


Figura 2.1: Climas de Chile. Traducido desde [52].

Si bien el Cambio Climático ha provocado un aumento en las temperaturas promedio y un cambio en el patrón de precipitaciones en las distintas regiones del país, la diversidad de climas presente permite una importante variedad de formas de vida animal y vegetal. Lo anterior sostiene la heterogeneidad de cultivos agrícolas que se trabajan a nivel nacional.

2.1.2 División regional, demografía y sector silvoagropecuario

Chile es un país que se encuentra dividido en 16 regiones con el objetivo de facilitar la administración estatal (Ver Figura 2.2). A su vez, dichos territorios se subdividen en provincias y comunas.

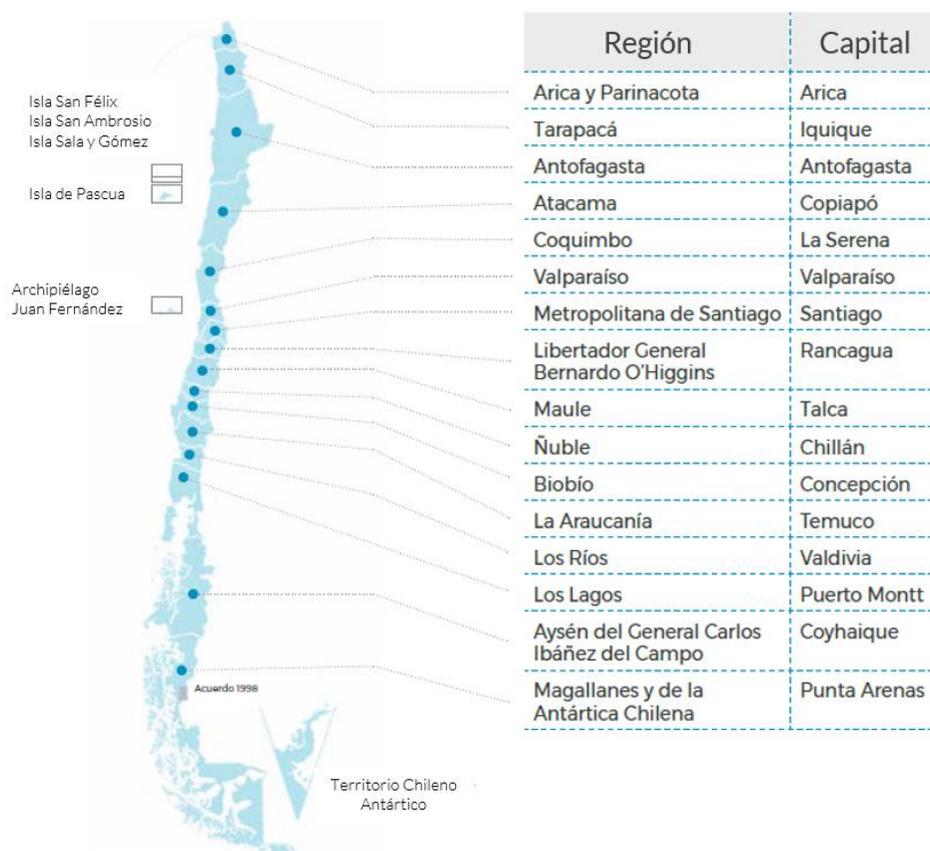


Figura 2.2: División regional de Chile. Traducido desde [52].

Considerando que la actividad silvoagropecuaria se desarrolla ampliamente en sectores rurales, resulta útil analizar cómo el sector silvoagropecuario configura las características demográficas del país. Adicionalmente, el análisis demográfico también permite caracterizar a la población consumidora de los productos agrícolas dentro del país.

La población rural a nivel nacional, según estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), corresponde al 12,2% del total. Dicha cifra se obtiene considerando la población rural como aquella que habita lugares con menos de 2.000 habitantes. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), por su parte, utiliza criterios que abarcan factores como la densidad poblacional y la distancia entre los individuos y centros urbanos. A partir de estos criterios, la OCDE establece que la población rural hacia el 2017 corresponde a un 25,5% del total de la población chilena.

La Tabla 2.1 muestra la distribución regional de la población urbana y rural hacia el año 2017, considerando los criterios del INE y de la OCDE.

Tabla 2.1: Clasificación de la población regional según INE y la OCDE. Año 2017 [52]

Regiones	INE 2017		OCDE 2017	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana
Arica y Parinacota	18.764	207.304	4.704	221.364
Tarapacá	20.495	310.063	30.715	299.843
Antofagasta	35.845	571.689	79.930	527.604
Atacama	25.755	260.413	132.231	153.937

Coquimbo	142.426	615.160	197.530	560.056
Valparaíso	163.431	1.652.471	530.770	1.285.132
Metropolitana	263.174	6.849.634	296.654	6.816.154
O'higgins	234.126	680.429	487.478	427.077
Maule	280.047	764.903	581.855	463.095
Ñuble	147.066	333.543	295.870	184.739
Biobío	177.476	1.379.329	498.424	1.058.381
La Araucanía	278.552	678.672	621.547	335.677
Los Ríos	108.909	275.928	218.757	166.080
Los Lagos	218.779	609.929	421.346	407.362
Aysén	21.044	82.114	45.340	57.818
Magallanes	13.489	153.044	34.941	131.592
Total país	2.149.377	15.424.626	4.478.092	13.095.911
% del total país	12,2%	87,8%	25,5%	74,5%

La OCDE señala, además, que el 82,7% del territorio nacional está habitado por población rural. Por otro lado, y enlazándose mayormente a la actividad silvoagropecuaria, el 42% de la superficie de Chile continental, corresponde a superficie silvoagropecuaria potencial, es decir, que se encuentra apta para la producción del sector silvoagropecuario [52]. Dicha superficie corresponde al 61% de los predios encuestados en el último censo silvoagropecuario (2007), donde también se reporta que un 73,4% de los predios son de un tamaño menor a 20 hectáreas, mientras que el 7,6% tiene un tamaño mayor a 100 hectáreas.

Respecto a la distribución regional de la actividad silvoagropecuaria, existen distintos indicadores que permiten identificar las zonas más productivas. En términos de distribución de las tierras, el 54% de los predios agrícolas se encuentra en las regiones de La Araucanía, Biobío y Maule. Por su parte, entre el extremo norte del país y Coquimbo, se localiza el 8,4% y el extremo sur no supera el 1,8% del total de predios. Por otro lado, si el análisis se realiza en términos de superficie silvoagropecuaria utilizada, se tiene la siguiente distribución regional (Tabla 2.2):

Tabla 2.2: Distribución regional de superficie silvoagropecuaria utilizada [52]

Región	Superficie silvoagropecuaria utilizada [ha]
Arica y Parinacota	175.111
Tarapacá	501.476
Antofagasta	668.335
Atacama	109.273
Coquimbo	3.259.519
Valparaíso	506.860
Metropolitana	329.631
O'Higgins	775.708
Maule	1.752.936
Ñuble Biobío	1.948.737
La Araucanía	1.783.300
Los Ríos	697.124
Los Lagos	961.795
Aysén	775.799
Magallanes	4.197.632
Total general	18.443.233

A partir de la Tabla 2.2, es posible notar que las regiones del Maule, Biobío y la Araucanía contienen el 30% de las hectáreas totales utilizadas en la actividad silvoagropecuaria, mientras que, desde el extremo norte hasta la región de Coquimbo, se abarca el 25%. De esta forma, la diferencia entre la representatividad regional en términos de número de predios y las hectáreas utilizadas radica en que si bien en la zona central hay una mayor cantidad de predios, estos tienen un tamaño menor a los de la zona norte.

Con respecto a índices macroeconómicos, la Tabla 2.3 muestra la distribución del Producto Interno Bruto del sector silvoagropecuario a lo largo de las diferentes regiones del país, notándose que, aproximadamente, un 50% del PIB SAP se concentra entre las regiones Metropolitana y Biobío.

Tabla 2.3: Producto Interno Bruto del sector silvoagropecuario por Región, año 2019. Volumen a Precios Año Anterior Encadenado, Referencia 2013. Elaborado a partir de estadísticas del Banco Central de Chile [53].

Región	PIB Silvoagropecuario (SAP) ⁽⁷⁾	Participación Regional en el PIB SAP ⁽⁸⁾
Arica y Parinacota	61	1,38%
Tarapacá	3	0,06%
Antofagasta	4	0,08%
Atacama	58	1,32%
Coquimbo	295	6,73%
Valparaíso	488	11,12%
Metropolitana	564	12,86%
O'Higgins	908	20,70%
Maule	640	14,59%
Biobío	575	13,11%
La Araucanía	311	7,10%
Los Ríos	188	4,28%
Los Lagos	248	5,66%
Aysén	14	0,32%
Magallanes	21	0,48%

Debido a que ODEPA reporta información para el sector silvoagropecuario en su totalidad, no se encontró información desagregada para el sector agrícola en específico, sin embargo y como se evidenció en la Figura 1.4, la agricultura representa más del 50% del PIB silvoagropecuario a nivel nacional, cifra que permite obtener una aproximación parcial de cuánto aporta la actividad por región.

El Panorama de la Agricultura Chilena elaborado por ODEPA hacia el año 2019 reporta que, respecto al uso del suelo por parte del sector silvoagropecuario, de los 31,6 millones de hectáreas potenciales mencionadas anteriormente, solo 2,1 millones de estas son utilizadas para cultivo agrícola. El resto de la superficie se encuentra destinada a praderas, plantaciones forestales y bosque nativo.

Respecto a las especies cultivadas, la ODEPA declara que aproximadamente el 50% de la superficie cultivada se dedica a cultivos anuales y permanentes (que incluyen frutales y vides), mientras que el resto de la superficie es utilizada en la plantación en forrajeras (anuales y permanentes), barbecho y descanso [52]. Específicamente,

⁷ El promedio del índice 2013 se iguala al valor nominal de la serie de dicho año.

⁸ Las series encadenadas no son aditivas, por lo que los agregados difieren de la suma de sus componentes.

a nivel nacional, la clasificación de cultivos utilizada por el MINAGRI de acuerdo con su temporalidad está dada por las siguientes categorías (Tabla 2.4):

Tabla 2.4: Tipos de cultivo según su temporalidad. Elaboración propia.

Temporalidad del cultivo	Tipo de cultivo	Número de especies
Anuales	Cereales	12
	Industriales	11
	Leguminosas y tubérculos	7
	Forrajeras	23
Permanentes	Frutales (incluye vides)	67
	Hortalizas	30
	Forrajeras	22
	Total	172

Cabe destacar que la clasificación expuesta agrupa como una sola especie aquellos cultivos menos plantados en una categoría denominada “otros”, por ejemplo: “otras hortalizas”, “otros cereales”, “otros industriales”, etc. lo que implica que, en la realidad, la variedad de especies es aún mayor. Por otro lado, se debe mencionar que esta clasificación corresponde a la que la ODEPA y el INE utilizan en sus informes estadísticos. El detalle de qué especies son consideradas se encuentra disponible en el archivo “BD_producción_superficie_agrícola.xlsx”.

Lo importante a tener en cuenta a partir de la Tabla 2.4 es que, dada la geografía y diversidad de climas a lo largo del territorio nacional existen, al menos, 172 especies cultivadas, cada una con su respectivo proceso productivo, demanda hídrica, emisiones asociadas, etc. El análisis de todas estas variables contribuyen a definir un diagnóstico completo del sector (recuerde que el diagnóstico del problema y del sector responde a preguntas orientadoras como las establecidas en la sección 1.5.3) que considere, por ejemplo, la contribución de las distintas industrias agrícolas al problema del Cambio Climático o al consumo de bienes naturales, los impactos generados por las distintas industrias, las capacidades y recursos disponibles para implementar medidas, la capacidad de adaptarse a eventos derivados del fenómeno climático, etc.

Lo anterior representa una dificultad al momento de caracterizar la actividad agrícola, atendiendo al objetivo de identificar y seleccionar medidas sintonizadas con el problema que se está abordando. Si bien estudiar a cabalidad cada industria agrícola por separado permitiría un diagnóstico exhaustivo respecto a la realidad actual del sector, la cantidad de productos a analizar escapa de los márgenes temporales de este trabajo. Considerando lo anterior, resulta necesario simplificar la representación del sector, focalizando la atención en productos representativos. Esto permitirá, como se verá más adelante, proponer medidas de adaptación y mitigación del Cambio Climático para el sector sostenidas en un diagnóstico que represente, en términos generales, la actividad agrícola.

2.2 Selección de productos representativos

La representación del sector agrícola a través de una cantidad limitada de productos presenta el desafío de no perder representatividad, es decir, conservar el panorama general de la agricultura a nivel nacional. La primera interrogante que se debe resolver es: ¿cuántos productos se deben abordar para representar responsablemente un sector industrial? La respuesta a esta pregunta dependerá de distintos factores. Si bien lo recomendable sería aspirar a maximizar la cantidad de productos a estudiar (pues de esta forma aumentará la representatividad del sector), el número escogido dependerá fundamentalmente de las capacidades con las que se cuente para llevar a cabo un estudio de este tipo. De esta forma, variables que deben considerarse

serán el tiempo, personal, recursos económicos, entre otros aspectos relevantes. Considerando los alcances de este trabajo, se tomó la decisión de acotar la selección a ocho productos representativos. Lo anterior se justifica principalmente en la necesidad de considerar, al menos, un producto asociado a cada tipo de cultivo (frutales, hortalizas, cereales, leguminosas y forrajeras). Se debe destacar que la categoría “industriales” no fue considerada como un tipo de cultivo particular, debido a que no presenta especies adicionales a las categorías anteriormente expuestas, siendo una agrupación referida a productos que se destinan a la agroindustria y no a especies adicionales a las estudiadas previamente. Las tres especies restantes fueron consideradas con el objetivo de complejizar el estudio incluyendo parte de la heterogeneidad interna dentro de los distintos tipos de cultivos. Así, de aquellas categorías que existieran especies diversas entre sí (en términos de requerimientos climáticos, metodologías de cultivo, aporte a la economía, etc.), se adhirieron especies hasta completar una cartera de ocho productos (y por ende, procesos) a estudiar.

Para definir qué productos son aquellos que compondrán la cartera de especies representativas, en primer lugar, se consideró la variable asociada a la diversidad geográfica y climática del país a través de la división territorial a partir de macrozonas geográficas, representadas en la Tabla 2.5. Esta división se basa en criterios adoptados por la CORFO en su obra *Geografía Económica de Chile* [54], como también en la división territorial dada por ODEPA en la *matriz de labores de cultivos* presentada en 2017 [55]. En ambos casos se divide la zona Norte en Norte Grande y Norte Chico, mientras que la zona sur se divide en Sur y Austral. Considerando los alcances y limitaciones de este estudio, las macrozonas propuestas extienden sus límites, abordando una única zona Norte y zona Sur, pero manteniendo la definición del área Central.

Tabla 2.5: Macrozonas de Chile contempladas para el estudio

Macrozona	Regiones
Norte	Arica y Parinacota
	Tarapacá
	Antofagasta
	Atacama
	Coquimbo
	Valparaíso
Centro	Metropolitana
	O'Higgins
	Maule
	Ñuble
Sur	Biobío
	La Araucanía
	Los Ríos
	Los Lagos
	Aysén
	Magallanes

La importancia de la división del territorio en macrozonas radica en que, para representar responsablemente un sector industrial a nivel nacional, es necesario considerar que la diversidad geográfica y climática conlleva una amplia y heterogénea distribución de productos a lo largo del país, dado que cada proceso productivo está inserto en un contexto y entorno que puede condicionar su desarrollo. En particular para el caso del sector agrícola, la división territorial permite abordar la variedad de productos que se cultivan a nivel nacional considerando que cada cultivo tiene requerimientos climáticos diferentes y, dada la geografía de cada

macrozona, la producción de un tipo de cultivo puede predominar por sobre otro. Si bien se podría generalizar la producción agrícola a partir de aquellos cultivos que son mayoritariamente producidos a nivel nacional sin importar su ubicación geográfica, el resultado de esa generalización podría no considerar productos que son económicamente significativos para una macrozona en particular y los efectos que el cambio climático podría provocar sobre el sector: no será lo mismo generalizar toda la producción agrícola a partir de un producto que aborde una alta demanda hídrica ya que, dadas las condiciones climáticas de la macrozona norte, ese producto probablemente no se cultivará en dicha zona (y de cultivarse, se vería afectado de manera importante frente a un déficit de precipitaciones). De esta forma, al dividir el país en macrozonas se logra una mayor resolución en términos geográficos, climáticos, económicos y ambientales tanto para la selección de productos representativos como para la futura propuesta de medidas asociadas a la adaptación y mitigación del Cambio Climático.

2.2.1 Selección de productos por macrozonas

La caracterización del sector establecida en este estudio busca componer una fotografía de la actividad industrial: el propósito, entonces, es observar el estado actual del rubro. En este sentido, si bien es posible analizar los distintos cultivos bajo innumerables parámetros (como flujo de emisiones, consumo energético, consumo hídrico, nivel de producción, etc.), la selección de productos representativos se remite a identificar aquellos que permitan generalizar el estado de producción actual del sector a nivel nacional.

De esta forma, una vez establecida la división territorial que se abordará, resulta necesario identificar aquellas características cruciales a considerar al momento de identificar los productos representativos. Para esto, es necesario preguntarse ¿qué hace que un producto represente un sector industrial? ¿se trata únicamente de la cantidad anual producida? En particular para el sector agrícola, se identificaron dos principales variables: i) la producción anual de los cultivos y; ii) la superficie plantada.

En el caso particular del sector agrícola, la producción anual permite dar nociones básicas sobre la economía del sector, pues aquellos más producidos serán productos que, posiblemente, tienen un mayor aporte al PIB sectorial. Lo anterior, bajo el supuesto de que la variación de precios entre productos no es determinante en el aporte al PIB en comparación con los niveles de producción. Si bien se podría realizar un análisis económico más exhaustivo a través de la identificación de la contribución porcentual de cada producto al PIB sectorial (considerando que los ingresos asociados a un producto dependen de la cantidad producida y el precio del mismo), el presente estudio no aborda este eje debido a la necesidad de simplificar el problema.

Adicionalmente, la producción anual también permite dar nociones básicas sobre las emisiones del sector: proyectando desde las bases físicas de un balance de masa, aquellos procesos que más producen en el sector representan un mayor consumo energético, una mayor producción de residuos y un mayor uso de fertilizantes, características ligadas a las emisiones del sector agrícola. Nuevamente, al tratarse de una primera aproximación al sector, se debe tener en cuenta que podrían existir diferencias con la realidad o excepciones a la regla general establecida.

La superficie plantada también permite obtener nociones básicas respecto a la economía del sector, pues está ligada con la producción de cada cultivo, el uso de maquinaria, el consumo energético, hídrico, etc. El aporte adicional que representa el análisis de la superficie se asocia al territorio que puede ser afectado por el Cambio Climático y que podría requerir de políticas de mitigación y/o adaptación.

A partir de estadísticas provenientes de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), se elaboró la Tabla 2.6, que muestra la producción anual y la superficie sembrada en la actualidad por tipo de cultivo.

Tabla 2.6: Producción anual y superficie sembrada por tipo de cultivo según las distintas macrozonas. Elaboración propia. Referencias disponibles en la planilla adjunta "BD_producción_superficie_agrícola.xlsx".

Tipo de cultivo	Macrozona Norte		Macrozona Centro		Macrozona Sur	
	[t/año]	[ha]	[t/año]	[ha]	[t/año]	[ha]
Frutas	1.976.327	109.013	5.835.988	338.829	552.212	39.444
Forrajeras	1.004.753	202.464	2.114.176	219.146	4.289.497	518.776
Industriales	392	17	1.928.802	29.076	761.954	74.796
Hortalizas	855.657	25.777	1.572.714	48.910	75.328	3.471
Cereales	23.361	4.684	1.550.825	188.226	1.683.117	261.848
Leguminosas y Tubérculos	78.951	78.951	299.035	22.568	805.822	29.227
Total macrozona	3.939.441	345.473	13.301.539	846.755	8.167.929	927.562

El detalle de la elaboración de la Tabla 2.6, con las respectivas referencias utilizadas, se encuentra disponible en la planilla adjunta "BD_producción_superficie_agrícola.xlsx". La metodología utilizada se basa en la búsqueda bibliográfica o estimación de rendimientos en [t/ha] de las distintas especies cultivadas para las distintas regiones del país y la obtención de la producción anual a partir de la Ecuación (2.1):

$$Producción\ anual\ [t] = Rendimiento\ \left[\frac{t}{ha} \right] \cdot Superficie\ sembrada\ [ha] \quad (2.1)$$

Posteriormente, las producciones regionales se agregaron según la división territorial presentada en la Tabla 2.5.

Un resumen de las tendencias seguidas según las macrozonas se encuentra en las figuras a continuación (Ver Figura 2.3 y Figura 2.4), donde se observa que, a excepción de los cultivos industriales, la producción anual se condice con la superficie plantada en las diferentes macrozonas. El caso de los cultivos industriales puede explicarse a partir de los rendimientos reportados en los diferentes territorios, observándose un mayor rendimiento en la macrozona central.

Una vez realizada la caracterización productiva en las distintas macrozonas, se deben seleccionar los productos representativos de cada una para que, en conjunto, representen el sector agrícola a nivel nacional. Para esto, se trabaja con las cifras de producción anual, debido a que se trata de un parámetro que reúne las características asociadas al factor territorial (superficie plantada) y el rendimiento del cultivo, además de presentar una tendencia casi idéntica que la superficie plantada. De esta forma, trabajar con la producción anual aborda más variables relacionadas con el cambio climático, sin excluir la superficie plantada.

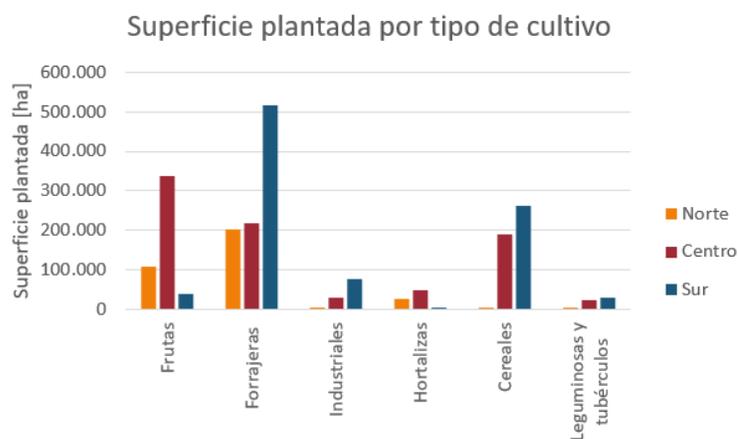


Figura 2.3: Superficie plantada por tipo de cultivo. Elaboración propia.

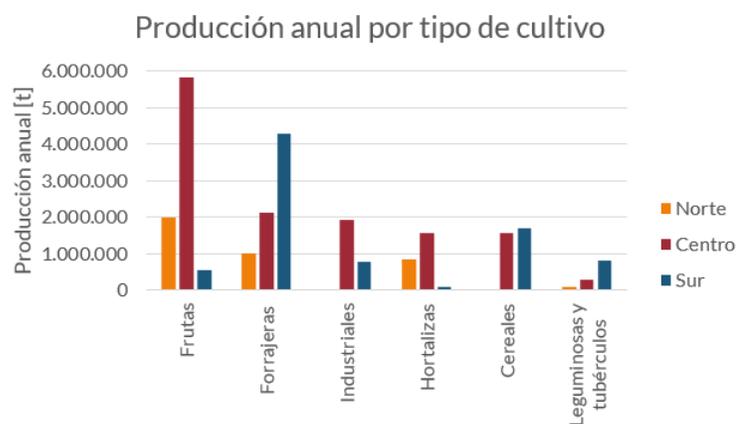


Figura 2.4: Producción anual por tipo de cultivo. Elaboración propia.

Para realizar lo anterior, y con el objetivo de tener una mejor resolución en la representación, es necesario notar que la producción agrícola no se distribuye de manera homogénea en las diferentes macrozonas: en el sur y el centro del país se produce más del doble de toneladas anuales que en la zona norte. A partir de lo anterior, resulta intuitivo que entre los productos representativos exista una mayor presencia de aquellas zonas que más producen, razón por la que se optó por seleccionar una cantidad diferente de especies por macrozona, según el aporte de cada una a la economía del sector agrícola.

La identificación de la cantidad de productos por macrozona utilizó como principal criterio el aporte al PIB sectorial presentado en la Tabla 2.3, asumiendo, además, que dicha distribución se ha mantenido durante los últimos años. En dicha tabla se deben considerar dos salvedades: en primer lugar, el aporte al PIB que se muestra está asociado a las actividades agrícola, pecuaria y forestal sin distinguir entre ellas y; en segundo lugar, al tratarse de datos del 2017, la región Biobío abarca la contribución al PIB de las regiones que hoy se conocen como Ñuble y Biobío. lo que trae una dificultad al momento de analizar la contribución económica por macrozonas, pues es justo entre Ñuble y Biobío donde se establece la división entre la macrozona Centro y la macrozona Sur.

Estas salvedades conllevan dificultades en el análisis. En primer lugar, no se puede comparar el aporte de la actividad agrícola entre dos regiones si solo se dispone del PIB silvoagropecuaria y no de su distribución a nivel regional. Si bien ese aporte podría deducirse a partir de un análisis de la producción anual de los diferentes rubros y los precios asociados a los diferentes productos, la información disponible supone un extenso

tratamiento de datos, razón por la que se optó tomar como supuesto que el PIB asociado al sector agrícola se distribuye en la misma proporción que el PIB silvoagropecuario a nivel regional y no se concentra significativamente en ninguna de las regiones involucradas. Lo anterior no es necesariamente cierto, pues existen regiones (principalmente en el sur de Chile) que presentan un gran aporte al PIB debido a su alta producción en los rubros ganaderos y forestales, sin embargo, debido a que este supuesto solo será utilizado para seleccionar la cantidad de productos representativos por macrozona (y no los productos en sí), se adopta por simplicidad.

En segundo lugar, y con respecto al aporte de Ñuble al PIB silvoagropecuario, considerando que ambas regiones se encuentran próximas entre sí y que presentan climas y geografías similares, se asumió que la proporción entre las actividades silvoagropecuarias de la región de Ñuble y las mismas actividades de los territorios de Ñuble y Biobío (antigua región de Biobío), tomará el mismo valor que la proporción de la actividad agrícola de Ñuble respecto al total entre Ñuble y Biobío. En otras palabras, si es que en el año 2017 la actividad agrícola de Ñuble fue el doble que la de la actual región de Biobío, lo mismo ocurrirá para las actividades silvícola y ganadera.

Lo anterior permite distribuir el PIB silvoagropecuario establecido en el 2017 para la región de Biobío entre las actuales regiones de Ñuble y Biobío. Para esto, se obtuvo la proporción entre la producción agrícola anual de la región de Ñuble y la producción total entre Ñuble y Biobío, correspondiente a un 58,2%. De esta forma, se asumió que el 58% del PIB silvoagropecuario de la antigua región de Biobío corresponde al aporte de Ñuble al sector SAP, mientras que el 42% restante correspondería al aporte de la nueva región de Biobío. Tras esta simplificación, se obtiene la siguiente estimación de la contribución por macrozonas al PIB silvoagropecuario (Tabla 2.7):

Tabla 2.7: Contribución el PIB silvoagropecuario para el año 2017. Elaboración propia a partir de datos del Banco Central de Chile.

Macrozona	Contribución al PIB SAP (2017)
Norte	18%
Centro	53%
Sur	29%

Considerando todo lo expuesto anteriormente y a modo de resumen, los principales criterios considerados en la selección, fueron los siguientes:

1. Contar con, al menos, un producto por tipo de cultivo: es decir, no dejar ningún subsector sin representar.
2. Considerar con, al menos, un producto por macrozona: es decir, no dejar ninguna macrozona sin representar.
3. Tener presente el aporte por macrozona en la selección de los productos representativos: considerando que, a nivel regional, el aporte a la actividad agrícola puede ser diferente.

Recordando que la cantidad de productos a escoger fue acotada a ocho especies, se consideró el porcentaje de contribución al PIB silvoagropecuario para determinar cuántos productos seleccionar por macrozona. Obteniéndose que para la macrozona norte y sur se seleccionarían 2 especies respectivamente, mientras que la macrozona central contará con cuatro especies para ser representada. Una vez determinado lo anterior, se procedió a establecer qué tipo de cultivo correspondería a cada macrozona, para lo que se consideraron las estadísticas productivas asociadas a cada macrozona (ver Figura 2.3 y Tabla 2.6). Finalmente, se siguieron los siguientes pasos para llevar a cabo la selección:

1. **Identificar aquella macrozona que produzca en mayor proporción un tipo de cultivo:** en particular para este análisis, se tuvieron las siguientes conclusiones.
 - a. Macrozona Norte: producción mayoritaria de frutales y, en segundo lugar, forrajeras.
 - b. Macrozona Centro: producción mayoritaria de frutales y, en segundo lugar, forrajeras.
 - c. Macrozona Sur: producción mayoritaria de forrajeras y, en segundo lugar, cereales.
2. **Verificar que se estén considerando todos los tipos de cultivos:** a partir del punto anterior, es posible notar que falta incluir especies asociadas a las categorías de leguminosas y hortalizas.
3. **En caso de que no ocurra lo señalado en el punto 2 y que se repita algún tipo de cultivo, analizar la heterogeneidad del mismo y pertinencia de seleccionar más especies de dicha categoría:** para los puntos anteriores, se tiene que las forrajeras se repiten en las tres macrozonas y, como se comprobará en el siguiente capítulo, las metodologías de cultivo son bastante similares. Por otro lado, los frutales también se repiten, particularmente en las zonas Norte y Centro, sin embargo, se considera un tipo de cultivo más heterogéneo debido a los requerimientos climáticos de cada especie, además de que según estudios recientes de ODEPA, los frutales representan un 33% del aporte al PIB silvoagropecuario, razones por las que, finalmente, se considera pertinente ampliar la cantidad de especies analizadas. Con lo anterior, se considerarán frutales en la macrozona Norte y Centro, mientras que las forrajeras se verán representadas por aquellas que se cultiven en mayor medida en la macrozona Sur. De esta forma, se liberarán dos “vacantes” tras eliminar el cultivo de forrajeras en las macrozonas Norte y Centro, que serán reemplazadas por las categorías que faltaba incluir (legumbres y hortalizas). La inclusión de las categorías mencionadas anteriormente se realiza analizando el nivel de producción de cada una en las respectivas macrozonas, identificándose una mayor producción de legumbres y de hortalizas en la zona central. Es importante destacar que no se analiza la producción en la macrozona sur porque ya se cuenta con dos tipos de cultivos (y por ende, dos especies) a considerar, cota definida anteriormente para dicho territorio.
4. **Seleccionar las especies asociadas a cada tipo de cultivo, considerando la producción anual por macrozona.**
5. **Discusión y modificación final de la lista de productos seleccionados para fortalecer la representatividad de los productos seleccionados:** considerando los datos de producción existentes y la disponibilidad de información para posteriormente caracterizar los procesos.

El resultado del procedimiento anterior se resume en la siguiente tabla (Tabla 2.8):

Tabla 2.8: Resultado de los criterios de selección por macrozona. Elaboración propia.

Macrozona	Número de especies a seleccionar	Tipo de cultivo de donde se seleccionarán las especies	Especies seleccionadas
Norte	2	<ul style="list-style-type: none"> • Frutales 	<ul style="list-style-type: none"> • Mandarino • Palto
Centro	4	<ul style="list-style-type: none"> • Frutales • Hortalizas • Legumbres 	<ul style="list-style-type: none"> • Manzano • Vid • Cebolla • Poroto
Sur	2	<ul style="list-style-type: none"> • Forrajeras • Cereales 	<ul style="list-style-type: none"> • Ballica inglesa • Trigo

Cabe destacar que si bien en la macrozona central destaca la producción de vid vinífera, a nivel nacional la producción de vid de mesa y vid pisquera también tienen una posición importante, razón por la que se considera la clase “Vid” sin mayor especificación (ver paso 5 de la lista anterior). Como se verá en la sección

3.2, en el análisis posterior se hará la desagregación competente, considerando la disponibilidad de información asociada a estas especies.

2.3 Generalización de la metodología de selección

En esta sección se comentarán rasgos generales que se deben tener en cuenta al momento de abordar el primer paso de la metodología para la elaboración de una hoja de ruta en materia de adaptación y mitigación del Cambio Climático. A partir del ejercicio anterior, quien lea notará que los criterios y decisiones adoptadas no necesariamente aplican a cada sector industrial por separado, lo que se debe a que cada actividad estará definida y enmarcada por un contexto diferente: al analizar productos y procesos distintos, los requerimientos de materias primas varían, además de que tanto los efectos ambientales como las respuestas del sistema frente a la variación de las condiciones climáticas o geográficas serán distintas dependiendo de cada industria. En consecuencia, es preciso considerar que la metodología deberá adaptarse al caso de estudio. De esta forma, en los párrafos a continuación se encuentran nociones generales a seguir para la representación del sector industrial que se desee abordar:

1. **Realizar un barrido bibliográfico general del sector industrial:** el objetivo de este punto será buscar nociones básicas respecto los criterios a considerar para generalizar un sector. Dichas nociones pueden estar guiadas por los niveles de producción, aporte a la economía nacional, generación de empleo, etc. Por otro lado, este barrido permitirá tener antecedentes para los pasos que se abordarán más adelante, específicamente, en la identificación de partes interesadas en el rubro. Lo ideal en esta etapa será buscar antecedentes de cómo se caracteriza, a nivel nacional, la actividad o industria teniendo en cuenta que la caracterización del sector se basará en definir el panorama actual a nivel nacional, buscando respuestas a la pregunta de ¿cómo se define hoy el sector industrial que se desea abordar hoy en día?

Se debe destacar que en este punto no será estrictamente necesario abordar aspectos ambientales en gran detalle, lo que en un principio puede parecer absurdo para el lector o lectora. La justificación de lo anterior radica en que el análisis de los factores asociados a la mitigación y adaptación al Cambio Climático se abordarán posteriormente, una vez que se tenga el panorama general de la industria. A pesar de lo anterior, si existen productos particulares que, pese a que se produzcan en menor escala, tienen impactos considerables en el medio, se deberán considerar criterios que permitan incluir estos productos en el análisis.

2. **Determinar la totalidad de los productos que se elaboran en el sector industrial:** independiente del sector industrial que se aborde, para seleccionar los productos característicos que representarán los procesos productivos será necesario identificar las especies que se considerarán en la selección. En el caso de que la industria aborde una gran cantidad de productos, se sugiere agruparlos en clases o categorías de acuerdo con similitudes en su uso, sistemas de producción, estructura, entre otros aspectos relevantes.
3. **Definir los criterios que se utilizarán para caracterizar el sector:** se recomienda abordar criterios asociados al nivel de producción, pues permite abarcar un mayor porcentaje de la industria con precisión, a diferencia de si se utiliza un producto particular y específico para representar totalmente el sector industrial. Posterior a esto, se deberán cuantificar los factores asociados a dichos criterios, entre los que se pueden encontrar:
 - a. Producción anual a nivel de clases (agrupaciones o categorías) o a nivel de especies, según la profundidad y precisión con la que se aborde el estudio, además de la disponibilidad de información.
 - b. Contribución al PIB sectorial: será ideal contar con la contribución de cada especie, sin embargo, nuevamente dependerá de la disponibilidad de información.

Es importante notar que, si bien se identifican principalmente factores y criterios económicos, existen otros criterios a tener presentes como, por ejemplo, sociales. El análisis de cuánto empleo genera para la población la elaboración de los diversos productos que se elaboren en el sector industrial que se estudiará también puede ser relevante. En particular este ejemplo y probablemente varios en los que quien lea pueda pensar, estarán ligados directa o indirectamente a los niveles de producción. Ahora bien, esta reflexión apunta a no perder de vista que los criterios de selección no necesariamente serán únicamente económicos, sino que pueden ser responsablemente alineados con todas las políticas nacionales en materia de mitigación y adaptación al Cambio Climático, considerando, por ejemplo, el pilar social establecido en la última Contribución Nacional Determinada de Chile, que establece un compromiso con el establecimiento de una transición justa.

4. **Determinar la cantidad de productos que representarán la industria:** considerando las capacidades y limitaciones del organismo, institución o individuos que aborden el estudio. Lo ideal será apuntar a maximizar la cantidad de productos a estudiar, sin embargo, se debe sopesar el esfuerzo a realizar con la disponibilidad de recursos para hacerlo.
5. **Establecer el número de clases o categorías de productos que se abordarán a nivel de macrozonas:** con el objetivo de abordar la heterogeneidad climática y geográfica del país. Se recomienda utilizar la división territorial propuesta en este trabajo, o en su defecto, la propuesta por la CORFO [54], según el nivel de detalle que se defina para el estudio.
6. **Definir las especies o productos representativos por macrozona y, en consecuencia, a nivel nacional.** En el caso de que se cuente con una extensa cantidad de clases (categorías) o especies, considerar los siguientes criterios:
 - a. Abordar, al menos, un producto de cada clase: incluso aquellas que parezcan tener menos relevancia a nivel industrial, pues su análisis puede permitir identificar oportunidades de crecimiento, adaptación o mitigación del Cambio Climático.
 - b. Definir, al menos, un producto representativo por macrozona: en el caso de que la producción no sea homogénea a nivel nacional.
 - c. Tener en cuenta la heterogeneidad de los productos: en términos de la posibilidad de estandarización o generalización de procesos productivos, la diversidad en el uso de recursos, el aporte a la economía, el impacto ambiental, el nivel de actividad de la población en el proceso productivo, entre otros.

Para la definición de las especies representativas se recomienda considerar como principal premisa que, mientras más exhaustiva sea la caracterización del sector, mayor será la posibilidad de identificar medidas de mitigación y adaptación sintonizadas con la problemática que supone el Cambio Climático.

2.4 Reflexiones finales

En esta sección se abordan reflexiones asociadas al trabajo y la metodología propuesta para representar un sector industrial, como también recomendaciones a tomar en cuenta al momento de ser aplicada en un caso de estudio diferente.

Este capítulo ha buscado establecer una guía para representar un sector o rubro productivo, estableciendo nociones e ideas básicas que pueden considerarse al momento de seleccionar aquellos productos que caracterizan una industria. La representación de la realidad a partir de la selección de ciertos productos permitirá componer procesos productivos del rubro que caractericen la industria responsablemente, facilitando su posterior análisis. Se debe considerar, sin embargo, que se trata de un procedimiento referencial y que deberá ser adaptado según la actividad a estudiar.

Por otro lado, es importante mantener a la vista el objetivo general del trabajo: componer una hoja de ruta que presente medidas asociadas a la mitigación y adaptación al Cambio Climático. En esta línea, los criterios que se utilicen para definir los productos representativos pueden variar dependiendo de la industria que se considere. Es preciso recordar que el principal objetivo de esta etapa es representar responsablemente el nivel de actividad de una industria, que no necesariamente está caracterizado únicamente por la capacidad productiva. De esta forma, si bien para este trabajo se considera el nivel de producción y el aporte a la economía como criterios de decisión, existen otros factores que pueden considerarse, como puede ser la cantidad de empleo para la población que involucra el rubro, los posibles impactos sociales o medioambientales del proceso en una población específica, etc.

Un ejemplo que puede aclarar de mejor manera el punto anterior es considerar un sector productivo que, si bien tiene un producto “A” que se produce a gran escala, existe un producto “B” que se elabora a una escala menor, sin embargo, por diferentes razones (como una eficiencia menor en los equipos, una baja automatización del proceso, entre otras) requerir de mayor personal de trabajo en planta, generar mayores emisiones de gases de efecto invernadero, material particulado, sustancias tóxicas, entre otros elementos. En esta línea, no considerar el producto “B” debido a su baja escala de producción podría ser un error, considerando los factores mencionados anteriormente y el impacto que estos implican. Pese a lo anterior, si se aplica el procedimiento sugerido, esta problemática puede abordarse a partir de la consideración de “clases representativas” o categorías de productos que tengan naturalezas diferentes, pues los productos A y B pueden incluirse en distintas clases representativas. De la misma forma, en el caso en que los productos A y B se incluyan en una misma categoría, se deberá considerar la heterogeneidad de los productos (cuya descripción se relata en la sección anterior) al momento de seleccionar.

Lo anteriormente mencionado refleja que, si bien el procedimiento propuesto es referencial, permite abordar de manera robusta la representación del sector dependiendo de los objetivos de quien realice el estudio y los criterios que se consideren más relevantes. Se trata de un análisis que quien lea podrá abordar al momento de decidir, razón por la que se recomienda conformar un equipo de trabajo multidisciplinario que discuta los resultados a partir de visiones distintas y complementarias.

Continuando con las reflexiones asociadas a los criterios de selección, quien lea debe considerar que utilizar únicamente criterios económicos para la construcción de una hoja de ruta asociada a cambio climático puede provocar que no se consideren factores importantes en esta materia. Particularmente, el daño ambiental y los efectos del cambio climático que se observan hoy en día son el reflejo de la implementación de un sistema de decisiones que históricamente se han basado en una visión antropocéntrica, que considera el crecimiento económico como el principal pilar del desarrollo humano, dejando de lado factores sociales y ambientales que

hoy demuestran tener incluso mayor relevancia que la economía, pues constituyen la base de un proyecto factible.

Por otro lado, los criterios económicos con frecuencia son más cuantificables que los criterios ambientales y sociales, lo que facilita el sesgo de representar la realidad a través de criterios únicamente cuantitativos a partir de la justificación de que permiten hacer comparaciones “objetivas”, sin embargo, no se debe perder de vista que la decisión de abordar un criterio y no otro, corresponde a una priorización de los mismos bajo cierta subjetividad. Dicho esto, es relevante que la Hoja de Ruta de Cambio Climático considere todos los ejes de acción relacionados con los compromisos nacionales en esta materia como, por ejemplo, el Pilar Social de Transición Justa y Desarrollo Sostenible señalado en la Actualización e Implementación de la NDC de Chile realizada el 2020 [28].

De todo lo anterior, quien lea se preguntará -válidamente- por qué en este caso de estudio no se consideraron criterios sociales o ambientales, para lo que existen dos justificaciones: en primer lugar, hablar de producción por macrozonas no implica hablar únicamente de economía, pues como se mencionó anteriormente, un mayor nivel de producción en el campo aborda implícitamente una fuerza de trabajo asociada, un nivel de emisiones, una distribución geográfica y climática, entre otros. Es importante notar que existen otros factores que no se abordan al considerar la producción y el aporte al PIB como criterio como, por ejemplo, la nutrición de la población. Con lo anterior se busca apuntar a considerar una mirada sistémica al momento de definir criterios. Por otro lado, y continuando con las razones de selección, la segunda justificación radica en que, si bien se podrían haber explicitado y cuantificado en detalle los factores ya mencionados, las capacidades, recursos, dificultades y limitaciones del estudio son clave para definir el nivel de profundidad con que se abordará el trabajo, lo que permite continuar con las reflexiones asociadas a estos puntos.

Respecto a las dificultades encontradas al llevar a cabo el estudio del sector agrícola, se debe destacar la presentación de información dispersa y parcial. Las estadísticas presentadas para la superficie plantada corresponden, en su mayoría, a años entre el 2017 y 2019, sin embargo, en el caso de las forrajeras, solo se dispuso de información asociada al VII Censo Agropecuario y Forestal, realizado en el 2007⁹. Por otro lado, los rendimientos asociados a los cultivos, específicamente de forrajeras y hortalizas se basaron en información bibliográfica de los años 2007 y 2008. Lo anterior provoca cierta incertidumbre en los resultados obtenidos para estos cultivos en la actualidad, pues se supuso que la variación temporal del rendimiento y la superficie plantada de dichos cultivos, respecto del 2007, fue nula, lo que probablemente no es verídico considerando los efectos del cambio climático en los cultivos y los cambios en los métodos de cultivo (por ejemplo, en la tecnología de riego).

En segundo lugar, la presentación de la información de manera no normalizada también representó una dificultad para abordar el estudio. Las unidades en que se expresan los rendimientos no son uniformes para todos los cultivos. Así, se encontraron rendimientos en [atados/ha], [unidades/ha], [sacos/ha], entre otros. Lo anterior provocó que, para convertir y poder comparar los resultados, se utilizaran supuestos asociados a la masa contenida en los atados, sacos, etc. Por otra parte, la información regional no es desagregada completamente, agrupándose aquellas regiones que presentan una baja productividad agrícola en categorías como “Resto País”, categoría que dificulta el tratamiento de datos por macrozona (pues en particular para algunos cultivos, la categoría “Resto País” incluía regiones como Tarapacá y Magallanes). Debido a lo anterior, se emplearon supuestos basados en la producción reportada por ODEPA en las Fichas Regionales, estableciendo proporciones entre la producción de las regiones a identificar con aquellas regiones cuya

⁹ El VIII Censo Agropecuario y Forestal fue reagendado múltiples veces producto de problemas logísticos, la pandemia COVID-19, entre otros. Los primeros resultados preliminares se publicaron a la fecha de Enero 2022 [230].

superficie plantada sí había sido reportada). Un ejemplo de lo anterior es lo ocurrido con la distribución del PIB silvoagropecuario entre Ñuble y Biobío, abordado en la sección anterior.

Las reflexiones anteriores apuntan a que la disponibilidad de información actualizada y presentada de manera de facilitar el tratamiento de datos es crucial para aumentar la eficiencia en estas tareas. También, como se mencionó en secciones anteriores, es importante contar con las capacidades y recursos necesarios para otorgar la precisión necesaria para el estudio en los tiempos planificados, pues si bien la simplificación de problemas mediante el uso de supuestos es una práctica común en ingeniería, una caracterización más precisa y responsable del sector facilitará la toma de decisiones. Una subestimación de los resultados puede provocar que las medidas propuestas no apunten a los procesos que requieren de una mayor atención, mientras que una sobreestimación de los resultados puede provocar que se apliquen esfuerzos en procesos que no tienen un real impacto.

Capítulo 3. Caracterización de procesos productivos

Los sectores industriales pueden involucrar una gran diversidad de productos, actividades o procesos productivos. En este sentido, proponer medidas que apunten a mejorar cualquier aspecto de la industria puede resultar una tarea compleja. ¿Cómo apuntar a acciones desde el sector que realmente impacten? ¿Cómo identificar aquella etapa o actividad donde resulta prioritario tomar acción? ¿Dónde se debe poner especial atención al analizar medidas que busquen cumplir con un objetivo dado? Estas preguntas no son ajenas a la propuesta de medidas en materia de mitigación y/o adaptación al Cambio Climático. Este capítulo propone las bases para responder estas interrogantes.

Una vez simplificado y representado el sector industrial a estudiar, el proceso propuesto para plantear y calendarizar medidas acordes al escenario climático nacional se compone de cuatro etapas: i) diagnosticar el escenario actual, esto es, definir una base para la futura comparación; ii) identificar las etapas críticas donde es pertinente tomar acciones; iii) proponer las medidas acordes y; iv) evaluar y jerarquizar las medidas.

El presente capítulo aborda la primera etapa descrita. Quien lea podrá encontrar la metodología seguida para elaborar la línea base del sector agrícola en Chile en materia de Cambio Climático, considerando los productos representativos seleccionados en el capítulo anterior como referencia productiva. Inicialmente se presenta el análisis de los distintos procesos que componen la actividad agrícola. Luego, se presenta la caracterización de la actividad frutícola en términos de variables de mitigación y adaptación, con el fin de ejemplificar los esfuerzos que deben replicarse en cada subsector y que terminarán por componer un diagnóstico completo. A partir de esta sección, se trabaja con la actividad frutícola como una subunidad del caso de estudio, comprendiéndose que la metodología debe seguirse de manera análoga al resto de los subsectores (cereales, forrajes, legumbres, hortalizas).

La caracterización se realiza seleccionando las variables a estudiar para establecer la base comparativa en materia de mitigación y adaptación. Posteriormente se cuantifican dichas variables para las diferentes etapas de los procesos. Cabe destacar que para este punto se cuantifican solamente los valores asociados a las clases productivas seleccionadas en el Capítulo 1, y solo una vez finalizado este paso se generaliza la cuantificación de las variables de estudio a nivel nacional, considerando todas las demás especies. Finalmente, se presenta la generalización de esta metodología, con el fin de establecer los principios básicos que permiten describir el escenario actual de un sector industrial para, posteriormente, identificar las actividades o procesos que requieran especial atención de manera de proponer medidas efectivas.

3.1 Procesos productivos del sector agrícola

La descripción de los procesos productivos en el sector agrícola se hizo considerando las clases productivas seleccionadas en el Capítulo 1. En este sentido, la producción de cereales, por ejemplo, se generalizó a partir del proceso de obtención de trigo. La producción de frutas, por su parte, se generalizó a partir de la información recopilada para manzanas, paltas, mandarinas y uvas (en sus variedades de mesa, viníferas y pisqueras), y así con cada clase de cultivo.

Para el análisis de los procesos productivos del sector se consideraron tres etapas principales: i) Cultivo en el campo, ii) Postcosecha y iii) Distribución hasta el punto de consumo (interno o exportación). Se trata de etapas con varias similitudes entre los distintos tipos de cultivo, encontrándose algunas variaciones dependiendo de si se trata de cultivos anuales o permanentes, o de si destino final es el consumo interno o la exportación. En la Figura 3.1 es posible observar el proceso generalizado, mostrando las principales etapas y puntos de destino considerados en este estudio.

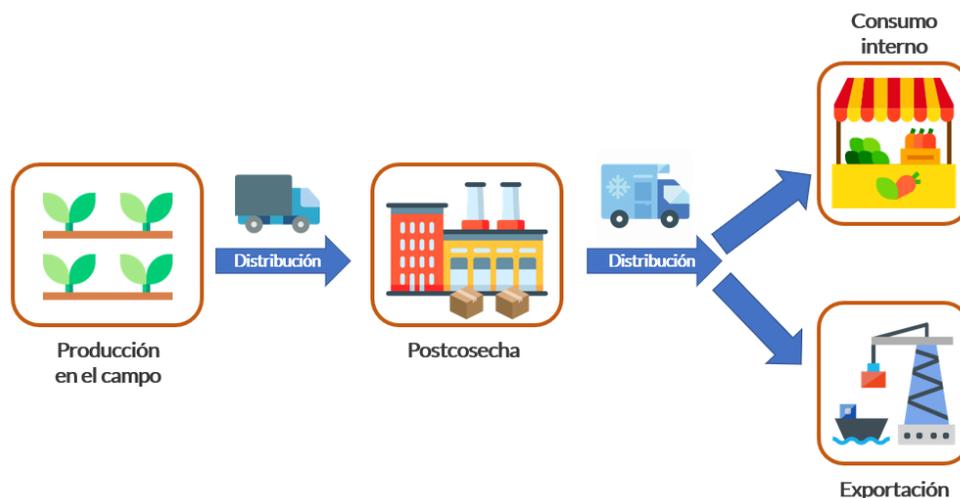


Figura 3.1: Etapas consideradas en el caso de estudio (sector agrícola). Elaboración propia.

A continuación es posible encontrar una breve descripción del proceso, abarcando los aspectos comunes entre los diferentes cultivos, como también sus particularidades. Posteriormente, se presenta un resumen comparativo entre los distintos procesos estudiados (ver Tabla 3.1, disponible en la página 44)

3.1.1 Producción en el campo

Tanto para los cultivos anuales y permanentes, la producción en el campo se resume en cuatro operaciones principales (ver Figura 3.2) [56–65]:

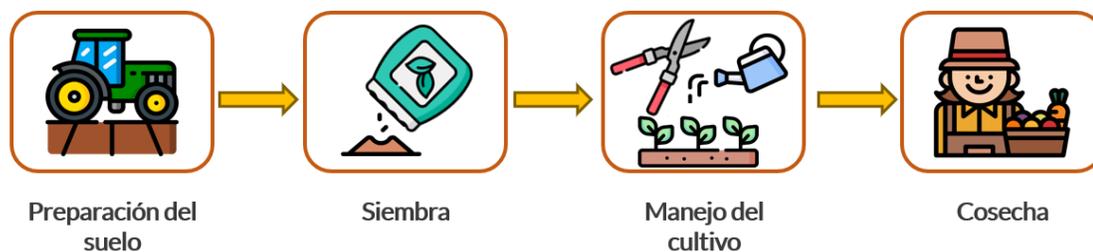


Figura 3.2: Etapas de la producción en el campo. Elaboración propia.

1. **Preparación del suelo:** consiste en la labranza del terreno donde se ubicará el cultivo, de modo de facilitar la circulación del agua, evitar la compactación del suelo, eliminar residuos o elementos que dificulten el proceso de producción, etc. En esta etapa generalmente se realizan labores de nivelación, arado y rastraje del terreno. A pesar de ser labores ampliamente desarrolladas en la agricultura, se han estudiado una serie de impactos negativos derivados como, por ejemplo, la erosión del suelo, la disminución del contenido de materia orgánica en las capas superiores del terreno, la compactación de la tierra en niveles inferiores a los que alcanzan las máquinas de labranza la disminución de la humedad del suelo asociada al proceso de escorrentía, entre otros [66]. Frente a estas dificultades, la cero labranza es un método que se plantea como alternativa, debido a que se ha demostrado que tiene un menor impacto en la erosión del suelo, permite mayor infiltración del agua en el terreno, mejora la productividad de los cultivos, entre otros aspectos positivos.

La preparación del suelo se realiza de manera similar para los distintos cultivos, con la salvedad de que, en el caso de los cultivos anuales (forrajeras, cereales), antes de preparar el suelo se realiza una labor de reincorporación a la tierra de los rastrojos derivados de la cosecha anterior.

2. **Siembra o plantación:** en esta etapa se diseña la plantación, considerando variables que dependen del tipo de cultivo, como el marco o distancia entre plantas, el sistema de conducción, la época y método de siembra, dosis de semillas, etc.
3. **Manejo del cultivo:** se realiza durante todo el desarrollo vegetativo del cultivo, teniéndose como principal objetivo el control de variables asociadas al crecimiento óptimo de la planta. Los principales aspectos que se abordan a lo largo de esta etapa son el nivel y frecuencia de fertilización, riego y poda (si corresponde), el control de malezas, plagas (insectos, hongos, etc.), enfermedades, entre otros. Las necesidades de nutrientes, riego y poda dependerán de cada especie. De la misma forma, cada cultivo tiene su respectiva vulnerabilidad a distintas plagas y/o enfermedades. Si bien las variables a controlar y los métodos utilizados son similares entre cultivos, existen diferencias asociadas a los productos utilizados (por ejemplo: herbicidas, fungicidas, fertilizantes, etc.), la frecuencia con que se realiza cada acción, la dosis de químicos empleados, etc. Estas diferencias podrían asociarse principalmente al metabolismo de las distintas especies, sin embargo, las condiciones climáticas y del suelo también son aspectos relevantes en el desarrollo de un cultivo, pues influyen directamente en variables como la necesidad de riego y/o fertilización, la probabilidad de aparición de plagas, etc.
4. **Cosecha:** corresponde a la recolección del fruto. Si se trata de un cultivo anual (como cereales o forrajeras), el ciclo vegetativo finaliza con la cosecha del producto, reiniciándose con una nueva etapa de preparación del suelo o reincorporación de los rastrojos obtenidos al terreno para sembrar nuevamente. Particularmente, las forrajeras pueden cosecharse o no según el uso del producto como, por ejemplo, la producción de praderas para consumo directo del ganado (el proceso puede acabar con el pastoreo de los animales, sin la necesidad de realizar la cosecha). Para el caso de los cereales y legumbres, existe un proceso posterior a la cosecha para la obtención del producto: la trilla. Una vez realizado este proceso el suelo debe prepararse nuevamente para un nuevo ciclo de cultivo. En el caso de los cultivos permanentes, la recolección de frutos es estacional y no implica el reinicio del proceso desde la siembra, sino que se retoma desde el manejo del cultivo para favorecer el desarrollo del ciclo fenológico desde la floración hasta una nueva fructificación. Un frutal, por ejemplo, permitirá varios eventos de cosecha durante su etapa de plena producción.

3.1.2 Postcosecha

Las operaciones asociadas a la etapa de postcosecha dependerán del tipo de cultivo, debido a aspectos asociados a la velocidad de descomposición de los frutos, el uso que se les dará, entre otros aspectos. A continuación se revisarán brevemente las distintas operaciones para cada cultivo.

Cereales y legumbres

El proceso posterior a la trilla de los cereales y legumbres radica en su almacenaje y, si es que corresponde, el envasado, considerando el destino del producto (ver Figura 3.3) [56,67].

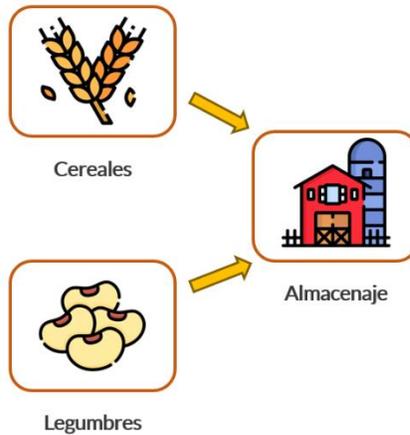


Figura 3.3: Operaciones postcosecha para cereales y legumbres. Elaboración propia.

El almacenaje de los cereales se realiza en bodegas que deben estar limpias y desinfectadas, con el fin de evitar la aparición de plagas que puedan contaminar o provocar pérdidas del producto. Por otro lado, para un correcto almacenamiento es necesario controlar tanto la temperatura como la humedad y ventilación del lugar, evitando así la descomposición prematura del grano [56].

A diferencia de los cereales, las legumbres cuentan con una etapa de acondicionamiento previa al almacenaje, la que contempla el retiro de impurezas del grano utilizando, por ejemplo, aire [58]. Posteriormente el almacenaje puede realizarse en sacos al interior de bodegas, que deben estar correctamente acondicionadas con el fin de evitar la descomposición del producto [57].

Forrajes

El proceso de postcosecha varía según el destino y uso del forraje (ver Figura 3.4). Una opción, como se mencionó anteriormente, es el pastoreo directo del animal, donde no hay ningún proceso intermedio, teniéndose un consumo inmediato [68]. Existen, sin embargo, otras labores postcosecha posibles, entre las que se encuentran [69–71]:

- **Soiling:** corresponde al corte diario del forraje fresco y su entrega o consumo en un lugar diferente de donde se produce [69].
- **Almacenaje:** para disponer del producto en épocas de baja producción. Existen dos principales métodos, descritos a continuación.
 - o Henificación: proceso que se basa en el secado del forraje, disminuyendo el contenido de humedad desde un 70-90% a un 25-20%. Posterior al secado, se realiza una etapa de hilerado, donde se corta el forraje y se dispone en hileras, para su mejor manejo, recolección y formación de fardos para su transporte [71].
 - o Ensilaje: se trata de un proceso que utiliza la fermentación anaeróbica como principio de conservación, evitando la descomposición natural del producto a partir de la producción de ácido láctico y la consecuente disminución de pH del medio. A diferencia de la henificación, tras el ensilaje, la disminución de la calidad nutricional del forraje es mínima [70].

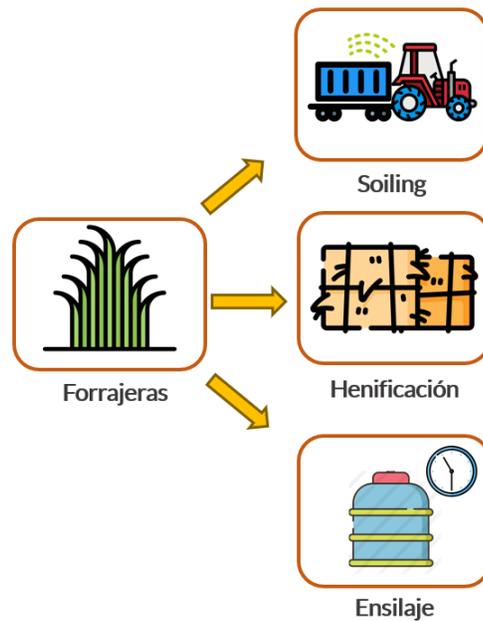


Figura 3.4: Operaciones postcosecha para forrajeras. Elaboración propia.

Frutas y Hortalizas

Las frutas y hortalizas tienen procesos de postcosecha similares, que suelen estar condicionados por la velocidad de descomposición, delicadeza y destino del producto. Existen líneas de procesamiento de distinta complejidad según sea el caso por lo que, con el fin de generalizar el proceso, se realizó un barrido bibliográfico. Se identificaron las operaciones expuestas en la Figura 3.5, que se detallan a continuación [59,72–76]:

- Recepción, acondicionamiento y preselección: la fruta se recibe en la unidad de postcosecha y se retiran impurezas como ramas, hojas, entre otras. Al mismo tiempo, se descartan aquellas frutas que no tengan la calidad deseada. Dependiendo del tiempo que tome esta operación, se puede tener una etapa de conservación en frío entre la recepción y la selección, con el fin de evitar el deterioro de la fruta durante estas etapas.
- Lavado: involucra el uso de productos sanitizantes que desinfecten el producto.
- Encerado y secado: se aplica agua caliente a la fruta y, posteriormente, cera comestible. Luego se seca el producto utilizando aire caliente. En el caso de las hortalizas no existe una etapa de encerado, por lo que después de aplicar los productos desinfectantes el producto solo se enjuaga y se seca.
- Selección y calibrado: se clasifican y pesan aquellas frutas u hortalizas que serán destinadas a exportación, pues estas continúan en la línea de proceso hasta la etapa de almacenamiento en frío.
- Envasado: el producto se empaqueta en distintos formatos (cajas, bolsas, etc.), según el destino de la fruta. Es aquí cuando los productos que no serán exportados culminan el proceso de postcosecha, dirigiéndose posteriormente a la etapa de distribución.
- Almacenamiento en frío: el producto de exportación se dispone en bodegas climatizadas, con el fin de preservar sus propiedades hasta que sea despachado. Según la operación de la línea de postcosecha, pueden existir otras etapas previas de almacenamiento climatizado.

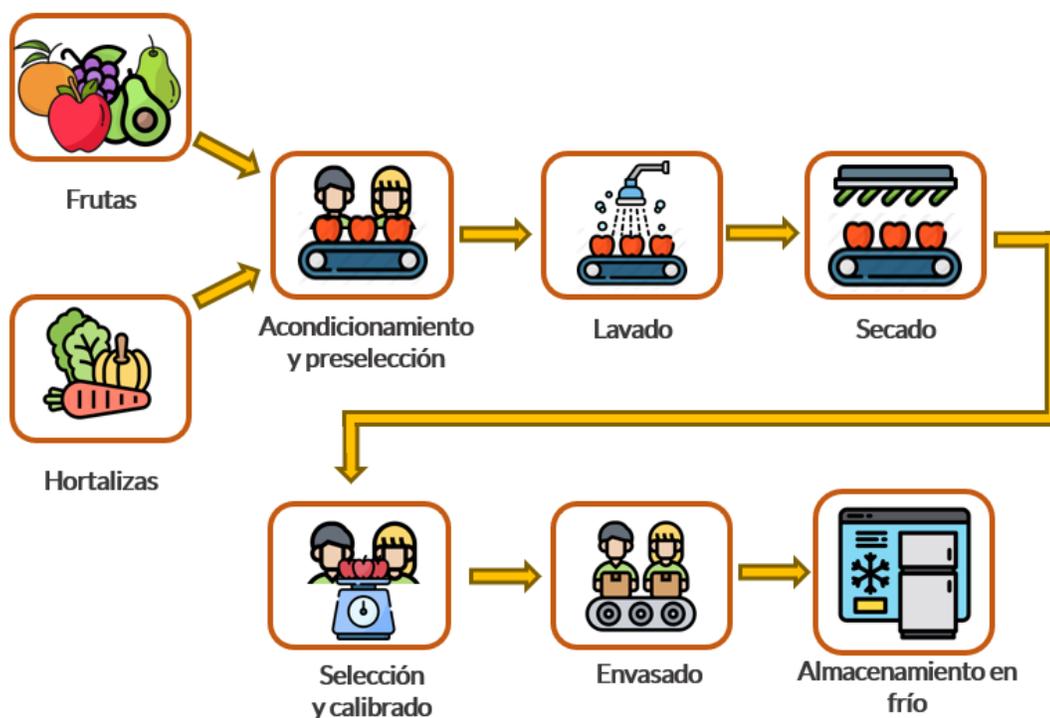


Figura 3.5: Operaciones postcosecha para frutas y hortalizas. Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que este proceso se trata de una generalización que no contempla las diferencias de complejidad entre líneas según el tipo de fruta u hortaliza a tratar. En este sentido, es necesario recalcar que no todas las operaciones son realizadas para todos los productos. Por ejemplo: las moras, frambuesas o uvas, por su delicadeza y dificultad de manipulación, no son lavadas, enceradas ni secadas, sino que se llevan inmediatamente a la etapa de almacenamiento una vez que se reciben en la planta procesadora [72].

3.1.3 Distribución

Contempla los traslados de los productos desde su producción en el campo hasta el punto de consumo. Se consideran rutas asociadas al consumo interno o exportación del producto, según corresponda. En este sentido, en el caso de que el producto esté destinado al consumo interno, los traslados considerados corresponden a: i) traslado del campo a la planta de *packaging*, y ii) traslado de la planta de *packaging* al punto de consumo. Por otro lado, si el producto es de exportación, la ruta seguida corresponde a: iii) traslado del campo a la planta de *packaging*, iv) traslado de la planta de *packaging* al puerto o aeropuerto de exportación, v) transporte desde el puerto o aeropuerto de exportación hasta el puerto o aeropuerto del país receptor. No se considera el transporte desde el punto de llegada al país al lugar de consumo o bodega de almacenamiento debido a que el alcance del estudio se remite a los límites de producción que involucran al país productor.

Con respecto a las particularidades asociadas a esta etapa según el tipo de cultivo, el principal aspecto a destacar corresponde a las rutas que siguen los productos, considerando que los productos agrícolas que Chile exporta corresponden principalmente a fruta fresca y procesada, y en menor medida, hortalizas procesadas [52]. En este sentido, las frutas y hortalizas, siguen una ruta de transporte que abarcan los puntos iii), iv) y v), con la particularidad de que el medio de transporte puede ser refrigerado, según se requiera [72]. Generalmente las frutas u hortalizas que son exportadas suelen transportarse en contenedores refrigerados, a diferencia del resto de los cultivos o aquellos que recorren menores distancias.

En el caso de las legumbres, forrajeras y cereales, la unidad de postcosecha suele estar en el mismo predio, razón por la que el transporte se realiza desde el predio hasta el punto donde se consumen o procesan los alimentos, que suelen ubicarse al interior del país [52,58,67,70].

3.2 Línea base de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático

El establecimiento de la línea base de mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agrícola se planteará como una composición de líneas base: como los distintos tipos de cultivo (o subsectores) tienen diferentes procesos productivos entre sí, una caracterización responsable del sector implica el establecimiento de una línea base para cada tipo de cultivo. Como se mencionó anteriormente, la planificación responsable de una Hoja de Ruta involucra una serie de toma de decisiones que, si bien se sustentan en conclusiones y estudios en donde se toman supuestos y simplificaciones, deben apuntar a que las medidas propuestas cumplan con el objetivo de mitigación y/o adaptación. El sobre o subestimar la base que sustentará la propuesta de medidas podría conllevar a la implementación de medidas que parezcan ser muy efectivas y no lo sean en la realidad, como también a obviar ciertos datos o resultados que debieron considerarse al momento de priorizar medidas.

A modo de ejemplo: ¿Qué pasaría si las emisiones del sector agrícola se estimaran basándose en las emisiones del sector frutícola? Por un lado, se estaría obviando la complejidad y diversidad propia de las actividades agrícolas. Analizando los efectos podría tener esta simplificación, se presenta un ejemplo. Suponiendo que se cuantificaron las variables necesarias, se llega a la siguiente conclusión: el consumo energético es el mayor generador de impactos en el sector frutícola. Si se generaliza esta conclusión a todo el sector agrícola y se establece una política pública asociada al uso de ERNC, podría estarse obviando que, en el caso de cereales, legumbres, forrajeras, etc. el proceso postcosecha es más simple y por ende el consumo energético podría ser menor. Por otra parte, podría estarse obviando el impacto de la combustión de residuos agrícolas cada vez que se cosechan cultivos anuales. En este sentido ¿sería mejor que los productores de cereales, legumbres, forraje, etc. enfocaran sus esfuerzos en el tratamiento de residuos, en lugar de reemplazar sus fuentes energéticas?

Cuando se realizan este tipo de simplificaciones, no es posible responder las preguntas planteadas con certeza y responsabilidad. Además, se debe tener en cuenta que una Hoja de Ruta sectorial involucra no solo el cumplimiento de objetivos de mitigación o adaptación, sino que también la inversión de recursos públicos y las consecuencias ambientales y/o sociales para la población.

Con base en todo lo anterior, se recomienda que, en el caso de que un sector sea lo suficientemente heterogéneo como para hacer necesaria la división de los procesos productivos según clases o tipos de productos, la construcción de la línea base con la que se propondrán y compararán las medidas de adaptación y mitigación esté sostenida en la composición de líneas base. Dicho de otra forma, y aplicándolo al caso de estudio, para establecer la base de comparación y de elaboración de medidas en el sector agrícola, se recomienda abordar las líneas base para los cereales, legumbres, forrajeras, hortalizas y frutas por separado, para luego hacer una composición general del sector agrícola.

Tabla 3.1: Síntesis de las etapas asociadas a la producción agrícola. Elaboración propia a partir de [56–65], [67–76],[77,78].

Cultivo	Producción en Campo		Postcosecha		Distribución	
	Etapas comunes	Particularidades	Etapas comunes	Particularidades	Etapas comunes	Particularidades
Forrajeras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preparación del suelo ▪ Siembra o plantación ▪ Manejo del cultivo <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertilización ▪ Plagas ▪ Malezas ▪ Enfermedades ▪ Riego ▪ Cosecha 	Reincorporación al suelo de los rastrojos del cultivo anterior previo a la preparación del suelo.		Posibilidades: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Soiling ▪ Henificación ▪ Ensilaje 	En general no existe transporte motorizado a una unidad de postcosecha, sino que se distribuye desde el predio hasta el punto de consumo.	
Cereales			Almacenaje en bodegas acondicionadas, posterior a la trilla.			
Legumbres						
Hortalizas			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acondicionamiento y preselección ▪ Lavado ▪ Secado ▪ Calibrado ▪ Envasado ▪ Almacenamiento en frío 	Diferencias en la complejidad de la línea de procesamiento, según el tipo de fruta u hortaliza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transporte predio-<i>packaging</i> ▪ Transporte <i>packaging</i>-punto de embarque ▪ Transporte punto de embarque a punto de desembarque 	Según el tipo o destino de fruta u hortaliza, el transporte puede ser en contenedores refrigerados.
Frutas						

3.2.1 Categorías de Impacto e Indicadores de cuantificación

Para establecer la base comparativa que se utilizará en la propuesta y evaluación de medidas, es preciso definir qué variables serán consideradas para diagnosticar la situación actual del sector. Para efectos de este trabajo, se considerarán como categorías de impacto aquellas que permitan establecer el escenario basal del sector industrial analizado en materia de mitigación y adaptación al Cambio Climático. A continuación se revisarán algunas alternativas que podrían adoptarse y, posteriormente, se enunciarán aquellas que serán analizadas en el caso de estudio.

Considerando que el concepto de mitigación apunta específicamente a reducir las emisiones de GEI, parece razonable que la categoría de impacto pertinente se relacione con el flujo de emisiones del sector, cuantificándose, por ejemplo, a través de un indicador de masa de CO₂ equivalente emitido a la atmósfera anualmente. Los sectores agrícola y forestal, sin embargo, corresponden a casos particulares, pues al trabajar con especies vegetales existe un componente de absorción de CO₂ asociado a la fijación del compuesto durante el crecimiento y la mantención de dichos organismos. En este sentido, más que analizar el nivel de emisiones del proceso, se podrían considerar tanto las emisiones como absorciones de carbono, apuntando no solo a identificar medidas que disminuyan las emisiones del proceso, sino que también a pensar en aquellas que disminuyen las emisiones netas a través de un aumento en la absorción de GEI. Otra categoría de impacto interesante a estudiar en el sector agrícola corresponde al cambio de uso de la tierra, pues se trata de la principal causa de la deforestación e influye directamente en la capacidad de absorción de CO₂ por parte de los bosques.

Para el caso de la Adaptación, la situación se vuelve más compleja. Actualmente no existe una metodología aceptada mundialmente para comparar cuándo un sistema se encuentra más o menos adaptado al cambio climático [79]. No obstante, la bibliografía relaciona los conceptos de vulnerabilidad y resiliencia con la capacidad de adaptación de un sistema, sugiriendo que un sistema mejor adaptado es menos vulnerable y más resiliente al Cambio Climático [80]. En este sentido, un acercamiento a la línea base de adaptación podría considerar categorías de impacto como el nivel de vulnerabilidad y/o de resiliencia de un sistema.

Si bien existen indicadores, metodologías y estudios que apuntan a evaluar la vulnerabilidad o resiliencia de un sistema, suelen tratarse de análisis cualitativos basados en la experiencia de quien realiza el estudio o evalúa el escenario. El IPCC y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo proponen un enfoque metodológico asociado a la proyección y evaluación de escenarios futuros, como también una estimación del riesgo de un sistema a sufrir las consecuencias del Cambio Climático. Se señala que para evaluar la vulnerabilidad de un sector es necesario identificar aquellas fuentes de peligro o potenciales impactos negativos para el objeto de análisis, que podría ser una población, región, ecosistema, etc. [79]

En la Figura 3.6 es posible observar algunos de los impactos asociados a cambios en las condiciones climáticas sobre el sector agrícola. La Seguridad Alimentaria es especialmente afectada por el cambio climático, pues los impactos sobre los cultivos, redes de almacenamiento o distribución, etc. influyen directamente en la disponibilidad, acceso y calidad de los alimentos, lo que refuerza la necesidad de instaurar medidas de adaptación en el sector agrícola. Como se puede ver en la Figura 3.6, existen diversas categorías de impacto e indicadores que podrían construirse para un posterior análisis de vulnerabilidad y, en consecuencia, de la capacidad de adaptación del sector agrícola. A modo de ejemplo se tiene:

- **Nivel de erosión del suelo:** un índice de erosión podría contribuir al análisis del nivel actual de degradación del suelo y comparar el efecto de nuevas medidas de adaptación. También podría realizarse una proyección temporal de este índice bajo distintos escenarios climáticos y, posteriormente, comparar estas proyecciones según la implementación de diferentes medidas.

Respecto a la disponibilidad de indicadores y modelos, la FAO presenta diversos modelos que permiten calcular la erosión hídrica y eólica del suelo, además de orientaciones para formular indicadores que apunten a medir la calidad de la tierra [81,82].

- **Requerimientos de riego:** considerando apuntar a medidas que aumenten la eficiencia de riego, puede considerarse como variable el volumen de agua requerido para producir una unidad de producto. También podría realizarse una proyección de los requerimientos de riego bajo diferentes escenarios climáticos y compararla con proyecciones donde se implementen medidas que apunten a disminuir el uso de agua.
- **Rendimiento del cultivo:** podría realizarse un escenario base con los rendimientos actuales de los cultivos y una proyección de estos frente a nuevos escenarios climáticos, considerando que las políticas y medidas actuales se mantienen. Esto permitiría comparar proyecciones de rendimientos en casos de implementación de nuevas medidas. Por otro lado, un índice de rendimiento, que agrupe los efectos del riego, calidad del suelo, patrones de polinización, temperatura, etc. permitiría evaluar de manera más general el efecto del cambio climático en los cultivos y, en consecuencia, en la disponibilidad de alimento para la población.
- **Potencial nutricional del producto:** se podrían analizar los principales nutrientes que aportan los productos (en este caso, las frutas) y proyectar el cambio en estos niveles frente a nuevos escenarios climáticos.
- **Disponibilidad de producto por persona:** un índice de disponibilidad o acceso a los productos agrícolas por persona que involucre aspectos económicos, climáticos, sociales, etc. también podría ser una variable comparable frente a escenarios de implementación de diferentes medidas, pues como se mencionó anteriormente, los escenarios climáticos influyen directamente sobre la Seguridad Alimentaria. Un ejemplo de lo anterior podría ser establecer una relación entre las variables clima-rendimiento-precio del producto y los ingresos de la población.

La lista anterior solo corresponde a una serie de posibilidades o ejemplos de cómo podría abordarse la construcción de una línea base para la adaptación al cambio climático, quedando en evidencia que se trata de un análisis que puede complejizarse según la información y tiempo del que se disponga para trabajar.

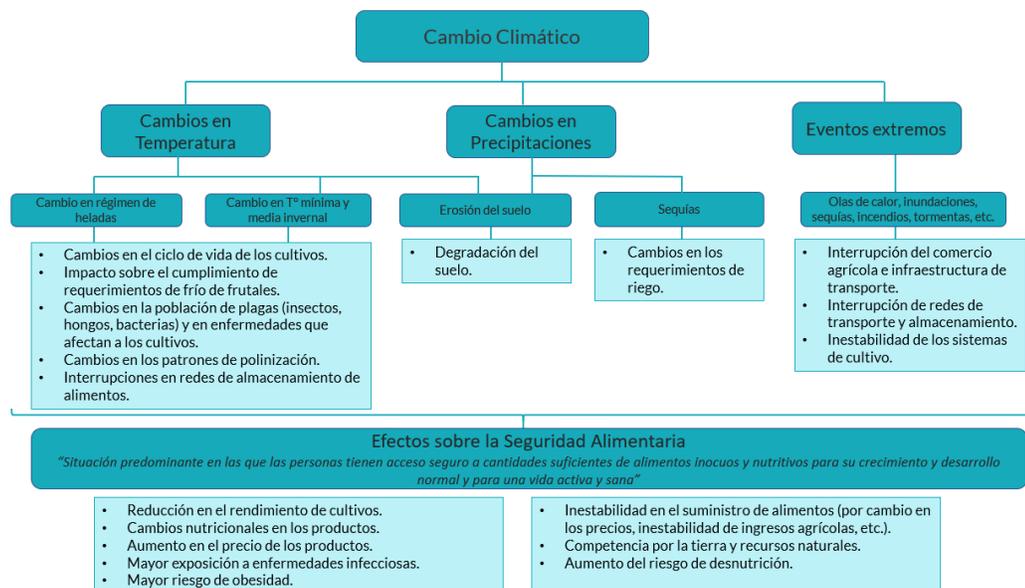


Figura 3.6: Efectos de los cambios en variables climáticas sobre la Seguridad Alimentaria. Elaboración propia a partir de [41,83–85].

Considerando la diversidad de opciones que hay para abordar la adaptación de un sector al cambio climático, resulta complejo decidir qué variable(s) considerar para el posterior análisis, sin embargo, la CMNUCC ha propuesto algunos criterios para calificar los riesgos del cambio climático que podrían orientar la selección:

- **Orden de magnitud del posible impacto:** lo que puede expresarse de manera cuantitativa (ej: número de personas afectadas, hectáreas de cultivo afectadas, etc.) o cualitativa.
- **Probabilidad, posibilidad y nivel de confianza:** considerando la probabilidad de que suceda un evento determinado, la posibilidad de que el evento resulte en un impacto específico y el nivel de confianza de dichos resultados.
- **Reversibilidad:** aquellos impactos que sean irreversibles podrían calificarse con una mayor importancia.
- **Urgencia de la acción:** considerando urgente un riesgo debido a la posibilidad de causar daños en el corto plazo o tener consecuencias altamente dañinas en el largo plazo.
- **Tipo de impacto:** categorizándolos según las consecuencias que implica, por ejemplo, pérdida de vidas humanas, amenazas a la subsistencia, al sistema económico, el incremento de la vulnerabilidad del sector frente a eventos climáticos, etc.

Existen distintas metodologías para calificar los riesgos, entre las que se encuentran: el juicio experto para evaluar los impactos de un evento climático, criterios cuantitativos probabilísticos para establecer el grado de incertidumbre de un modelo climático, etc. Otra opción posible es el análisis multicriterio, como el que será desarrollado en capítulos posteriores¹⁰. Pese a la existencia de opciones, es preciso destacar la necesidad de construir nuevos índices de adaptación y vulnerabilidad. Las crisis sociales derivadas del Cambio Climático han visibilizado la necesidad de herramientas que puedan modernizar y complejizar la toma de decisiones, con el fin de apuntar a medidas pertinentes y efectivas para enfrentar la problemática ambiental actual.

3.2.1.1 Selección de categorías de impacto e indicadores para el caso de estudio

Anteriormente se revisaron las posibles variables a estudiar para establecer el diagnóstico del sector industrial en materia ambiental. En esta sección se seleccionarán las categorías de impacto que serán analizadas para el caso de estudio, además de los indicadores que permitirán cuantificarlas.

Considerando que en Chile no se han desarrollado formalmente índices o metodologías para caracterizar la vulnerabilidad o la adaptación, la categoría de impacto a analizar se selecciona considerando criterios asociados a las restricciones y alcances del trabajo, la disponibilidad de información, la visión establecida en el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario [41] y los antecedentes del escenario hídrico de Chile: durante el año 2019, se dictaron 21 decretos de escasez hídrica, afectando a 5 regiones del país, por otro lado, durante el mismo año la declaración de emergencia agrícola afectó a 6 regiones del país [80,81]. Remitiéndose a los criterios expuestos por la UNFCC (ver sección anterior), la escasez hídrica representa un riesgo que amenaza la subsistencia y el sistema económico. Tiene el potencial de incrementar la vulnerabilidad del sector y requiere de una acción urgente, pues podría tener consecuencias altamente dañinas en el corto plazo.

Con lo anterior, se selecciona como categoría de impacto el uso de agua en el sector agrícola, apuntando a reducir su consumo y, en consecuencia, disminuir el grado de dependencia que tiene la industria respecto a la disponibilidad de este bien. Esto permitiría reducir la vulnerabilidad del sector frente a eventos de sequía y, por ende, aumentaría la capacidad de adaptación de la industria.

¹⁰ Si bien el análisis multicriterio que se desarrollará en este estudio tiene como objetivo la jerarquización de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático, quien lea podrá notar que la herramienta utilizada puede adaptarse sin mayores dificultades al objetivo de calificar riesgos climáticos.

Para analizar medidas de mitigación del Cambio Climático, se establece como categoría de impacto la intensidad de emisiones de GEI del sector. El indicador de cuantificación para este caso se basa en la masa de gases de efecto invernadero asociada al proceso productivo (medida en kg de CO₂eq), en línea con el Plan de Adaptación del sector silvoagropecuario, que establece entre sus lineamientos la disminución de la huella de carbono de los sistemas productivos [41].

La definición de los indicadores para cuantificar cada categoría de impacto dependerá del enfoque que se otorgue al posterior análisis de resultados. Dado que en este caso se busca analizar y crear medidas para sectores productivos, un primer acercamiento al análisis podría ser el uso de una unidad asociada al nivel de producción como, por ejemplo, masa de producto consumible. Lo anterior se alinea con la visión del Plan de Adaptación del sector Silvoagropecuario, que establece la necesidad de disminuir el nivel de emisiones y de consumo hídrico por unidad de producto [41]. Es preciso destacar que se habla de producto consumible para representar un producto promedio, independiente de si es exportado o destinado al consumo interno.

La selección de categorías de impacto y su indicador de cuantificación se resume en la siguiente tabla (Tabla 3.2):

Tabla 3.2: Categorías de impacto estudiadas en el caso de estudio. Elaboración propia.

Acción	Mitigación	Adaptación
Categoría de Impacto	Intensidad de Emisiones de GEI	Uso de Agua
Indicadores de cuantificación	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones de GEI por unidad de producto consumible Emisiones anuales de GEI del sector 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de agua por unidad de producto consumible Consumo anual del sector
Unidad	<ul style="list-style-type: none"> [kg CO₂eq/kg producto consumible] [t CO₂eq/año] 	<ul style="list-style-type: none"> [L agua/kg producto consumible] [m³ agua/año]

3.2.2 Redefinición de alcances para la caracterización del proceso productivo

En la presente sección se describen los alcances que se abordarán durante el desarrollo de la línea base para el caso de estudio. En el Capítulo 2 se seleccionaron productos representativos que permitieran caracterizar la industria agrícola a nivel nacional. La selección de estos productos consideró los distintos tipos de cultivos del sector y una división territorial por macrozonas para identificar aquellas zonas donde predomina la presencia de un cultivo por sobre otro. Como se planteó en la sección 3.2, la construcción de la línea base para el sector agrícola estará dada por una composición de escenarios base asociados a cada subsector, es decir, que el análisis y cuantificación de las categorías de impacto se realice para cada tipo de cultivo: hortalizas, frutas, cereales, forrajeras y leguminosas.

3.2.2.1 Ejemplo de aplicación para los siguientes capítulos: subsector frutícola

Considerando las restricciones temporales de este trabajo de tesis, el ejemplo de aplicación relacionado con el escenario base, la propuesta y jerarquización de medidas se acotará a un único tipo de cultivo, lo que se detalla a continuación.

Ejemplo de aplicación: subsector frutícola.

Dadas las restricciones temporales del presente estudio y la disponibilidad de información, el subsector seleccionado para analizar la línea base y, posteriormente, proponer, evaluar y jerarquizar medidas

corresponde al subsector frutícola. En otras palabras, de aquí en adelante el trabajo se centrará en la composición de una sección de la Hoja de Ruta del sector agrícola, correspondiente a la industria de la fruta. Esto no supone un mayor problema en términos del objetivo general de este trabajo (correspondiente a la elaboración de una metodología de composición de Hojas de Ruta), pues el procedimiento a seguir es análogo para el resto de los subsectores. La elaboración de la Hoja de Ruta para el sector agrícola se basa en una composición de Hojas de Ruta de los distintos subsectores, por lo que quien desee construir la Hoja de Ruta para el sector agrícola podrá usar como base la metodología presentada a continuación para los procesos productivos de frutas, cereales, leguminosas, forrajeras y hortalizas.

3.2.2.1.1 Clases representativas del subsector frutícola

Comenzando con el análisis del subsector frutícola y en concordancia con lo expuesto en la Tabla 2.8 (sección 2.2.1.), las clases representativas que definen los procesos a estudiar son (ver Tabla 3.3):

Tabla 3.3: Clases representativas seleccionadas para el estudio del subsector frutícola.

Clases representativas seleccionadas	Observación
Manzana	No aplica
Palta	No aplica
Mandarina	No aplica
Vid	Se consideran los tres tipos de vid existentes: <ul style="list-style-type: none"> • Vid de mesa • Vid vinífera • Vid pisquera

Como se mencionó en la sección anterior respecto a la clase representativa de la vid, si bien en la Tabla 2.8 se habla únicamente de vid, para efectos del estudio se contempla el trabajo con los tres tipos de cultivo (vid de mesa, vinífera y pisquera), considerando el nivel de producción a nivel nacional y los datos disponibles para desagregar el análisis.

3.2.2.1.2 Límite de batería

Con respecto a los alcances del proceso productivo, existen diversas posibilidades dependiendo de la profundidad con la que se quiera abordar el análisis y las capacidades disponibles para dicha labor. Se sugiere establecer una lógica de Análisis de Ciclo de Vida, abordando el proceso productivo desde las operaciones involucradas directamente en la elaboración de un producto determinado, pero también desde aquellas actividades asociadas a la obtención de insumos, transporte del producto hasta el punto de venta, el consumo y la disposición final del producto, entre otras. Existen diferentes enfoques que pueden considerarse dependiendo del objetivo planteado, como por ejemplo el enfoque *business to consumer* o *de la cuna a la tumba*, que abarca el Ciclo de Vida desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto; o el enfoque *business to business* o *de la cuna a un próximo negocio*, que considera la llegada del producto a una empresa, listo para ser vendido [86].

En este trabajo se considerará un límite similar al enfoque *de la cuna a un próximo negocio*, abordándose la producción de la fruta hasta la disposición en el punto de venta para el caso del consumo interno; o del punto de desembarque en el caso de que el producto sea exportado. El inicio del proceso considera la producción en el campo y no considera las actividades asociadas a la elaboración de insumos o materias primas. Adicionalmente, se obvian las actividades asociadas al establecimiento de las plantaciones (preparación del

suelo, siembra, manejo del cultivo en los primeros años), dado que los frutales son cultivos perennes cuyo tiempo de crecimiento es significativamente menor en comparación con el tiempo de plena producción¹¹.

Por otro lado, existen diversas metodologías para clasificar las fuentes de emisión de GEI y de consumo hídrico durante un análisis bajo la perspectiva de Ciclo de Vida. La norma ISO 14067 de cálculo de Huella de Carbono para empresas, por ejemplo, clasifica las emisiones como directas e indirectas, según la propiedad y el nivel de control que tiene una organización o industria sobre el nivel de emisiones; y establece distintos alcances de medición según el origen de las emisiones (alcances 1, 2 y 3, ver Tabla 3.15). La norma ISO 14046 de cálculo de Huella Hídrica, por su parte, clasifica los volúmenes de agua consumidos en las llamadas Huella Azul, Verde y Gris, según su proveniencia (precipitaciones, cauces superficiales/subterráneos o derivadas de su uso en un proceso industrial, respectivamente).

Tabla 3.4: Definiciones y clasificaciones de emisiones de GEI según la norma ISO 14067 de cálculo de Huella de Carbono. Elaboración propia a partir de [87]

Emisiones Directas		Emisiones Indirectas
Emisiones que son propiedad de o están controladas por la organización estudiada.		Emisiones que son responsabilidad de la organización analizada, pero ocurren en fuentes que no son propiedad o no están controladas por esta.
Alcances (del inglés <i>scope</i>) según norma ISO 14067		
Alcance	Descripción	
Alcance 1	Emisiones directas de GEI. Corresponde a emisiones que son propiedad de o están controladas por la empresa estudiada.	
Alcance 2	Emisiones indirectas de GEI asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa.	
Alcance 3	Otras emisiones indirectas que son responsabilidad de la empresa analizada, pero ocurren en fuentes que no son propiedad o no están controladas por esta.	

Si bien quien lea y aplique esta metodología puede adoptar este enfoque y clasificación para la estimación de emisiones de GEI, en este caso de estudio en particular no pretende realizar un Análisis de Ciclo de Vida o estudio de cálculo de Huella de Carbono bajo la normativa ISO. Dado lo anterior, las fuentes de emisión de GEI y de consumo hídrico consideradas en este trabajo no consideran la totalidad de alternativas que pueden incluirse en los alcances mencionados.

La Figura 3.7 presenta un resumen del límite de batería establecido tanto para las emisiones de Gases de Efecto Invernadero como para el consumo hídrico, donde el límite de batería se acota específicamente a la producción en el campo y el procesamiento postcosecha debido a que se considera el transporte como una etapa que no utiliza agua en una escala comparable con el resto del proceso.

¹¹ Al analizar las fichas técnicas del estudio de CNR es posible observar que, para las clases representativas estudiadas cerca del 70% de la vida del frutal corresponde al período de plena producción [154].

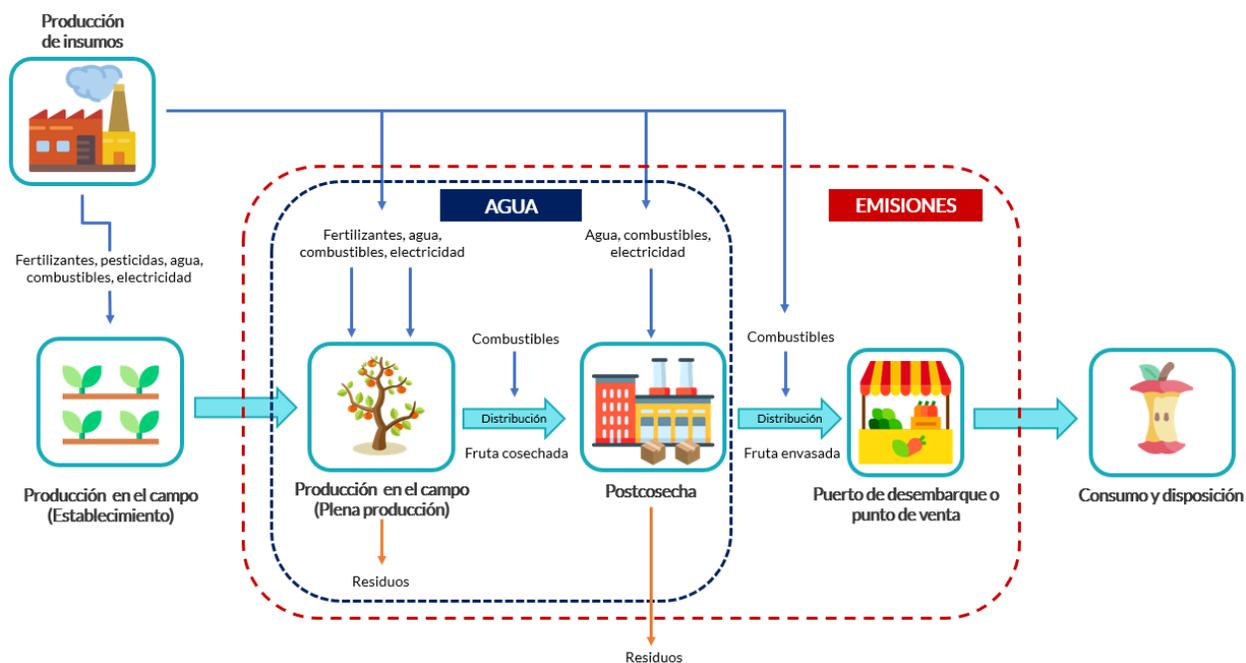


Figura 3.7: Límite de batería considerado para el caso de estudio. La línea punteada roja representa el límite asociado a la cuantificación de emisiones; mientras que la azul, el límite asociado al consumo hídrico. Elaboración propia.

Así, el enfoque y límites de la cuantificación considera los siguientes puntos:

1. Las fuentes emisoras de Gases de Efecto Invernadero consideradas son las siguientes:

- Fertilizantes nitrogenados aplicados bajo cualquier método, cuantificándose sus emisiones directas e indirectas.
- Combustibles fósiles consumidos por equipos y maquinaria agrícola.
- El uso de electricidad asociado al riego tecnificado (uso de motobombas).
- La disposición final de residuos de poda generados en el período de plena producción, pudiendo ser combustionados, reincorporados al suelo o dispuestos en un relleno sanitario.
- Combustibles fósiles consumidos por fuentes móviles y/o fijas en la etapa de postcosecha.
- Electricidad suministrada para el funcionamiento de equipos en las unidades de postcosecha (cámaras de frío, aire acondicionado, equipos electromecánicos, entre otros).
- Combustibles fósiles consumidos por fuentes móviles durante la etapa de distribución.

Remitiéndose a las definiciones de *alcance* mencionadas anteriormente, las fuentes emisoras se clasifican según lo dispuesto en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5: Clasificación de fuentes de emisión según los alcances definidos en la metodología de cálculo de Huella de Carbono.

Alcance	Fuentes consideradas
Alcance 1	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones directas por uso de combustibles fósiles durante las etapas de producción en el campo y postcosecha. Emisiones directas por uso de fertilizantes nitrogenados. Emisiones directas por disposición de residuos.
Alcance 2	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico durante la etapa de producción en el campo y postcosecha.
Alcance 3	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones indirectas por uso de fertilizantes nitrogenados. Emisiones por uso de combustibles fósiles en las etapas de distribución.

2. El consumo hídrico contempla como principales fuentes de consumo:

- a. Riego de los cultivos.
- b. Lavado de fruta, equipos de enfriamiento y calderas en la unidad de postcosecha.
- c. Aseo de las unidades postcosecha.

3. Emisiones no consideradas a lo largo del ciclo de vida:

En primer lugar, se debe tener en cuenta que el presente análisis asume el cultivo de tierras que permanecen en la misma categoría, es decir, no considera emisiones de GEI asociadas a cambios en el uso del suelo. Lo anterior, atendiendo a que el caso de estudio responde a un ejemplo de aplicación que considera prioritariamente emisiones asociadas a la fase de plena producción de los cultivos.

En segundo lugar, no se consideran emisiones asociadas al uso de pesticidas, debido a que dichas emisiones se centran en la fabricación de estos productos y no en su aplicación directa. Tampoco se consideran las emisiones asociadas al consumo eléctrico por concepto de uso domiciliario o luminarias en el predio, ni a la disposición de residuos de cosecha, debido a que no se cuenta con información desagregada para dichas categorías.

Respecto a las emisiones de la etapa de postcosecha, no se consideran las emisiones derivadas de la disposición de residuos ni del uso de refrigerantes (emisiones fugitivas o por efecto del recambio en los insumos). Lo anterior debido principalmente a la baja disponibilidad de información y al alcance temporal de este trabajo. De todas maneras, los residuos de embalaje suelen ser productos derivados del petróleo que no emiten GEI en rellenos sanitarios y, respecto a los residuos orgánicos, se considera que la mayor parte de estos residuos son generados en la etapa de producción en el campo, razón por la que se priorizó estimar dichos volúmenes en lugar de aquellos generados en etapas posteriores.

De todas maneras, quien lea este trabajo y/o aplique la metodología planteada es libre de considerar las categorías mencionadas anteriormente, con el fin de obtener un diagnóstico más exhaustivo y proponer una mayor variedad de medidas de mitigación y adaptación.

4. Gases de Efecto Invernadero considerados:

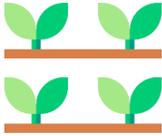
En línea con los puntos anteriores, los Gases de Efecto Invernadero considerados en el cálculo de emisiones del proceso corresponden a dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Las emisiones asociadas al uso de refrigerantes, dadas principalmente en la etapa de procesamiento postcosecha y de transporte en equipos refrigerados, no fueron consideradas debido a la falta de información desagregada para el sector, además de que se priorizó el estudio de la producción en el campo dado que se trata de la etapa más intensiva del proceso agrícola.

Finalmente, se debe destacar que, con el objetivo de visibilizar claramente las etapas del proceso donde contribuyen las distintas fuentes de emisión/consumo a las respectivas categorías de impacto a analizar, durante el resto del texto se trabajará prioritariamente con la clasificación de emisiones y consumo hídrico según la actividad o fuente de origen, en lugar de la clasificación por *alcances* definida por las normas ISO de Huella de Carbono o Análisis de Ciclo de Vida. Lo anterior, con el objetivo de facilitar el análisis de los resultados y la identificación y propuesta de medidas de mitigación y adaptación para las distintas etapas industriales.

La Tabla 3.6 presenta una síntesis de la clasificación de las fuentes de emisión y de consumo hídrico consideradas en el caso de estudio.

Tabla 3.6: Fuentes de emisiones y consumo hídrico consideradas en el caso de estudio. Elaboración propia.

Etapa	Fuentes de emisión	Fuentes de consumo hídrico
-------	--------------------	----------------------------

 <p>Producción en el campo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fertilizantes <ul style="list-style-type: none"> ◦ Directas ◦ Indirectas (volatilización y lixiviación) • Energía <ul style="list-style-type: none"> ◦ Combustibles (maquinaria y equipos agrícolas) ◦ Electricidad • Residuos (poda y hojarasca) 	<ul style="list-style-type: none"> • Riego
 <p>Procesamiento postcosecha</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energía <ul style="list-style-type: none"> ◦ Combustibles (fuentes fijas y móviles) ◦ Electricidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de fruta • Limpieza general • Refrigeración
 <p>Distribución</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energía <ul style="list-style-type: none"> ◦ Combustibles (fuentes fijas y móviles) 	<ul style="list-style-type: none"> • No aplica

3.3 Clasificación de especies según clases representativas seleccionadas

Antes de comenzar con la caracterización del consumo hídrico y de las emisiones de GEI en el sector frutícola, es preciso señalar cómo se utilizan las clases representativas en este estudio. Como se mencionó en la sección anterior, el uso de las clases representativas busca generalizar los impactos del sector frutícola a partir del estudio de solo algunos de dichos productos, lo que se realiza a través de la cuantificación de las categorías de impacto seleccionadas para los procesos productivos de estas frutas en particular y, posteriormente, extender el análisis al sector frutícola completo. Lo anterior se realiza asumiendo que todas las especies cultivadas del sector frutícola se corresponden con alguna de las clases representativas a nivel productivo, es decir, que cada especie tendrá una clase asociada que la represente a lo largo del proceso de producción. A modo de ejemplo, se tiene que la especie “Naranja” al no ser una clase representativa, será generalizada a partir de los datos de la especie “Mandarina”, que sí corresponde a una clase representativa de acuerdo con lo desarrollado en el Capítulo 2.

Quien lea se preguntará ¿qué criterios usar para dividir todas las especies pertenecientes al sector según las clases representativas escogidas? La respuesta a esta pregunta consiste en establecer criterios de semejanza, además de una jerarquía entre ellos, en caso de que, bajo dos criterios distintos, una especie no pertenezca a una única clase representativa. A continuación se describen (en orden jerárquico) los criterios de agrupación seleccionados para este trabajo:

1. **Criterio taxonómico:** Considerando que la taxonomía es una forma agrupar organismos biológicos con características en común, este criterio se asume prioritario al momento de establecer semejanzas en términos de la forma de cultivar diferentes especies frutales.

Todos los frutales pertenecen al mismo Reino (*Plantae*) y División (*Magnoliophyta*), pudiendo observarse diferencias a partir desde la categoría taxonómica “Clase”. Se establece la categoría “Orden” como la mínima semejanza taxonómica entre la especie analizada y las clases representativas seleccionadas, pues es en esta categoría donde primeramente se diferencian en el árbol filogenético. A continuación se presenta la taxonomía de las distintas clases (ver Tabla 3.7):

Tabla 3.7: Taxonomía de las clases representativas seleccionadas para el sector frutícola. Elaboración propia.

Categoría Taxonómica	Manzana	Palta	Mandarina	Vid
Dominio	Eukarya	Eukarya	Eukarya	Eukarya
Reino	Plantae	Plantae	Plantae	Plantae
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida	Magnoliopsida	Magnoliopsida	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae	-	Rosidae	-
Orden	Rosales	Laurales	Sapindales	Vitales
Familia	Rosaceae	Lauraceae	Rutaceae	Vitaceae
Subfamilia	Amygdaloideae		Citroideae	
Tribu	Maleae	Perseae	Citreae	
Género	Malus	Persea	Citrus	Vitis
Especie	<i>Malus domestica</i>	<i>Persea americana</i>	<i>Citrus reticulata</i>	<i>Vitis vinifera L.</i>

- Criterio Climático:** En caso de que el criterio taxonómico no fuera suficiente para incluir una especie en la categoría de su clase representativa correspondiente se recurre al criterio climático, que agrupa especies según las condiciones climáticas bajo las que son cultivadas. Se asume que aquellas especies frutales que sean cultivadas bajo requerimientos climáticos similares tendrán semejanzas también el método de cultivo e insumos necesarios. A continuación se presentan los climas bajo los que se cultivan las clases representativas de este estudio, donde se puede notar que tanto la clase “manzana” y “palta” crecen en territorios cuya clima es templado-mediterráneo, razón por la que se agregó una última diferenciación asociada al tipo de árbol frutal (ver Tabla 3.8). Un árbol caducifolio es aquel que pierde sus hojas en alguna época del año, mientras que el árbol perennifolio se mantiene con hojas durante todo el año. Ambas características están ligadas al clima y territorios donde se desarrollan, teniendo requerimientos climáticos y nutricionales diferentes.

Tabla 3.8: Climas de cultivo de clases representativas. Elaboración propia a partir [88,89].

Clase representativa	Clima	Tipo de Hoja (si corresponde)
Manzana	Templado Mediterráneo	Caduca
Palta	Templado Mediterráneo	Perenne
Mandarina	Subtropical	N/A
Vid	Templado-cálido	N/A

- Criterio territorio-productivo:** Este último criterio es utilizado en caso de que los criterios 1 y 2 no sean aplicables o suficientes para asignar una especie a una clase representativa en particular. Consiste en identificar en qué territorio se produce en mayor medida la especie frutal analizada y con esta información se asocia la especie analizada a aquella clase representativa que más se produzca en dicha macrozona. Como ejemplo se tiene la especie “calafate”, cuya mayor producción se encuentra en la

macrozona sur. Al comparar la producción de las especies representativas en la macrozona sur (ver Anexo E, sección E.1.6) se tiene que la especie “manzana” es la que más se produce en la macrozona sur, razón por la que el calafate se incluye en la clase representativa “manzana”.

A partir de los criterios expuestos, se clasifican las distintas especies cultivadas en el sector frutícola según las clases representativas seleccionadas en el capítulo anterior, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 3.9: Clasificación de especies frutales según clases representativas. Elaboración propia.

Clase representativa	Especies incluidas	Criterio de inclusión
Manzana	Almendro	Taxonómico
	Arándano americano	Territorio-productivo
	Calafate	Territorio-productivo
	Castaño	Territorio-productivo
	Cerezo	Taxonómico
	Ciruelo europeo	Taxonómico
	Ciruelo japonés	Taxonómico
	Cranberry	Territorio-productivo
	Damasco	Taxonómico
	Duraznero consumo fresco	Taxonómico
	Duraznero tipo conservero	Taxonómico
	Feijoa	Territorio-productivo
	Frambuesa	Taxonómico
	Guindo agrio	Territorio-productivo
	Haskap o Honeyberry	Territorio-productivo
	Manzano rojo	Clase representativa
	Manzano Verde	Taxonómico
	Maqui	Territorio-productivo
	Membrillo	Taxonómico
	Michay	Territorio-productivo
	Moras cultivadas e híbridos	Taxonómico
	Mosqueta	Taxonómico
	Murtilla	Territorio-productivo
	Nectarino	Taxonómico
	Níspero	Taxonómico
	Nogal	Territorio-productivo
	Peral	Taxonómico
	Peral asiático	Taxonómico
	Pluots	Taxonómico
	Sauco	Territorio-productivo
Tuna	Territorio-productivo	
Zarzaparrilla negra	Territorio-productivo	
Zarzaparrilla roja	Territorio-productivo	
Palta	Granado	Territorio-productivo
	Jojoba	Territorio-productivo
	Lúcumo	Territorio-productivo

	Nuez de macadamia	Territorio-productivo
	Olivo	Climático (Hoja Perenne)
	Palto	Clase representativa
	Pecana	Territorio-productivo
Mandarina	Caqui	Climático
	Chirimoyo	Climático
	Grosella	Climático
	Guayabo	Climático
	Hardy Kiwi o Baby Kiwi	Climático
	Higuera	Climático
	Kiwi	Climático
	Kiwi Gold o Kiwi Amarillo	Climático
	Kumquat	Taxonómico
	Lima	Taxonómico
	Limonero	Taxonómico
	Mandarino	Clase representativa
	Mango	Taxonómico
	Maracuyá	Climático
	Naranja	Taxonómico
	Papayo	Climático
	Pistacho	Taxonómico
	Plátano	Climático
	Pomelo	Taxonómico
	Tangelo	Taxonómico
Vid	Avellano	Climático
	Datilera	Climático
	Vid de mesa	Clase representativa
	Vid vinífera	Clase representativa
	Vid pisquera	Clase representativa

El detalle de la taxonomía, clasificación y fuentes utilizadas para esta agrupación se encuentra disponible en el archivo "Frutales_Semejanzas.xlsx"

3.4 Categoría de Impacto: Uso de Agua

3.4.1 Metodología de cálculo: ecuaciones generales

A continuación se describe el procedimiento seguido para la cuantificación del consumo hídrico dependiendo de las distintas fuentes de consumo. La fórmula básica utilizada corresponde a la multiplicación de un factor de consumo hídrico y los datos de la actividad asociada correspondiente, en este caso, al flujo de referencia definido (masa de producto consumible, ver Tabla 3.2):

$$H_2O_f = FC_{H_2O} \cdot DA_{H_2O} \quad (3.1)$$

Donde:

- H_2O_f : Consumo anual de agua debido a una fuente de consumo f [volumen de agua/año]

- FC_{H_2O} : Factor de Consumo hídrico del cultivo [volumen de agua/kg fruta consumible]
- DA_{H_2O} : Datos de la actividad [kg fruta consumible]

Para la estimación del consumo hídrico a nivel nacional se utilizan los resultados obtenidos en el Capítulo 2, correspondientes a las hectáreas sembradas y la masa producida anualmente para cada clase representativa. El cálculo del consumo hídrico a nivel nacional está dado por el consumo hídrico de las respectivas clases en las distintas macrozonas del país:

$$H_2O_{f,nac} = \sum_z \sum_i FC_{H_2O,i}^z \cdot DA_i^z \quad (3.2)$$

Donde:

- $H_2O_{riego,nac}$: Consumo Hídrico Nacional debido a una fuente de consumo f [volumen de agua/año]
- $FC_{H_2O,i}^z$: Factor de Consumo hídrico específico de la clase representativa i en la macrozona z [volumen de agua/kg fruta consumible]
- DA_i^z : Datos de la actividad para la clase representativa i en la macrozona z [kg fruta consumible]

3.4.1.1 Consumo de agua en el campo

El consumo de agua en la etapa de producción en el campo está dado principalmente por el riego de los cultivos. Las plantas necesitan un constante suministro de agua para su crecimiento y sus funciones vitales dado que permanentemente pierden agua por transpiración (T). La combinación de este fenómeno con la evaporación de agua desde el suelo (E) se denomina Evapotranspiración (ET), y es la pérdida hídrica la planta debe absorber a través de su sistema radicular para mantenerse y crecer.

La humedad del suelo (y en consecuencia, la disponibilidad de agua para un cultivo) puede variar por diversos fenómenos, entre los que se encuentran: i) el nivel de riego (R); ii) el nivel de precipitaciones (P); iii) la evaporación de agua desde el suelo (E); iv) el escurrimiento superficial (ES); v) la percolación profunda (D); vi) la ascensión capilar (C) desde capas freáticas sub superficiales; y vii) otros flujos sub superficiales ($FS_{entrada}$ y FS_{salida}), asociados principalmente a suelos de pendientes pronunciadas (ver Figura 3.8).

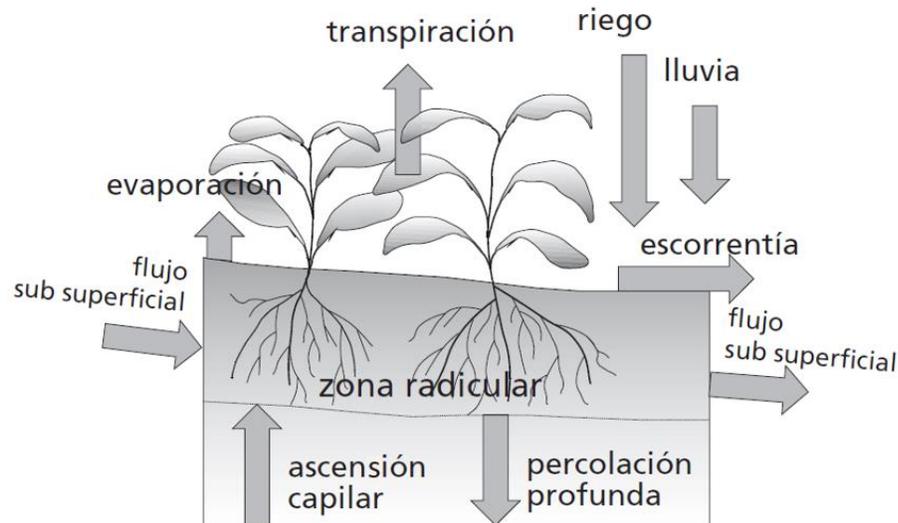


Figura 3.8: Balance hídrico en la porción de suelo que contiene el sistema radicular de un cultivo. Modificado desde [90].

Realizando un balance de masa para el agua en una porción de suelo que contiene el sistema radicular de un cultivo, se tiene:

$$\frac{\partial(H_2O_{suelo})}{\partial t} = R + P + C + FS_{entrada} - ET - ES - D - FS_{salida} \quad (3.3)$$

La Ecuación (3.3) permite determinar el nivel de riego necesario para un cultivo. El término $\frac{\partial(H_2O_{suelo})}{\partial t}$ representa la variación temporal del volumen de agua contenido en la porción de suelo. Considerando que lo que se busca en un cultivo es mantener un nivel estable de humedad en el tiempo, el cálculo del nivel de riego suele contemplar que $\frac{\partial(H_2O_{suelo})}{\partial t}$ sea igual a cero.

Los flujos subsuperficiales (FS) y de ascensión capilar (C) suelen despreciarse en la estimación de cuánto regar debido a la dificultad de medirlos y a su menor magnitud en comparación a las entradas por riego y precipitaciones. Lo anterior, suponiendo que los eventos de riego son periódicos, pues en horizontes temporales avanzados tras un único evento de riego, la magnitud relativa entre los flujos de entrada puede variar [90].

Para la estimación del consumo hídrico durante la producción en el campo, se consideran dos conceptos: La Demanda Neta del Cultivo (DNC), correspondiente al agua necesaria para suplir las salidas por EvapoTranspiración (ET); y la Demanda Bruta del Cultivo (DBC), que contempla el agua necesaria para suplir la Demanda Neta del Cultivo y otras salidas como la percolación (D) y escorrentía (ES), relacionadas con el tipo de suelo, el método de riego, entre otros factores. En un sistema de riego perfecto (eficiencia del 100%), las pérdidas por percolación profunda y escorrentía son nulas y se puede asumir que la Demanda Bruta del Cultivo es igual a la Demanda Neta del Cultivo.

3.4.1.2 Consumo de agua en el procesamiento postcosecha

El procesamiento postcosecha supone líneas de distinta complejidad según el tipo de fruta tratada. La tabla a continuación presenta la clasificación de las líneas según su complejidad, además del detalle de las operaciones asociadas al envasado de las diferentes especies representativas estudiadas en este trabajo.

Tabla 3.10: Complejidad y operaciones de las distintas líneas de envasado [72].

Complejidad de la línea	Operaciones unitarias consideradas	Clase representativa envasada
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción • Preselección • Lavado • Presecado • Encerado • Pulido • Secado • Clasificación • Calibrado • Envasado • Prefrío • Palletizado • Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Manzana • Mandarina
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción • Preselección • Calibrado • Envasado • Prefrío • Palletizado¹² • Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Palta
Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción • Palletizado • Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Uva de mesa

Es importante considerar que a partir de la etapa de postcosecha en adelante, se consideran únicamente las clases representativas “manzana”, “palta”, “mandarina” y “uva se mesa”, pues las uvas pisquera y vinífera continúan su ciclo productivo en la industria vitivinícola, lo que está fuera del alcance de este estudio.

El consumo hídrico durante la etapa de postcosecha está dado principalmente en las operaciones de lavado de fruta y equipos según corresponda. Para la cuantificación de dichos consumos se utiliza como referencia el consumo hídrico de una planta productora de jugos naturales embotellados compuestos en su 100% de manzana (Agrícola Forestal El Escudo). Este estudio se considera pertinente ya que contempla las operaciones que consumen agua en las etapas de *packaging* de frutas. Dicho de otra forma, el proceso de elaboración de jugos considera las etapas de lavado de fruta, limpieza de equipos, de pisos, etc. previo al prensado de las manzanas, por lo que los procesos asociados a la elaboración del jugo y al envasado de frutas se diferencian entre sí en la presencia de operaciones posteriores que no consumen agua. Por lo anterior, se considera que los consumos de agua asociados al lavado de fruta y de la planta en general podrían representar a grandes rasgos el consumo hídrico presente en una planta de procesamiento post-cosecha de fruta.

Considerando la producción de la planta estudiada se determina el consumo específico de agua en [L/kg fruta procesada] para las operaciones comunes entre el proceso de producción de jugo y de tratamiento postcosecha de frutas. Se debe destacar que el cálculo corresponde a una aproximación gruesa que supone proporcionalidad entre la escala de producción y el consumo hídrico. Además, asume que todas las plantas de envasado lavan la fruta con la misma tecnología de la planta referencial (ducha de agua mediante aspersores en cinta transportadora) y que operan con la misma eficiencia de lavado, lo que no necesariamente se condice

¹² El palletizado corresponde a la disposición de las frutas en contenedores aptos para su transporte en grúas horquilla, lo que permite su traslado desde el punto de envasado a las respectivas cámaras de frío.

con la realidad. De todas maneras, considerando la ausencia de información más precisa, se considera una primera estimación que puede dar nociones básicas sobre el consumo hídrico.

La estimación del consumo hídrico específico para las distintas líneas de envasado se muestra a continuación:

Tabla 3.11: Consumo hídrico específico para distintas líneas de envasado. Elaboración propia a partir de [91].

Clase representativa tratada	Complejidad de la línea	Consumo hídrico [L/kg fruta consumible]
Manzana	Alta	18,27
Mandarina		18,27
Palta	Media	9,59
Uva de mesa	Baja	9,59
Uva pisquera	N/A	N/A
Uva vinífera	N/A	N/A

Es importante destacar que para efectos del consumo hídrico en la etapa de postcosecha no se considera una desagregación a nivel regional del consumo hídrico. Lo anterior debido a la disponibilidad de información, que conlleva a la necesidad de asumir que las variables climáticas y geográficas no son estrictamente determinantes en el consumo hídrico de este proceso. No obstante, no se debe perder de vista que estos valores corresponden a una primera aproximación y no representan a cabalidad la realidad a nivel nacional, que sí puede presentar variaciones en el consumo hídrico dado el contexto en que se encuentre la planta, principalmente asociado a la disponibilidad hídrica y a la influencia de esta variable en la eficiencia de lavado.

La Tabla 3.1 muestra una síntesis de la metodología seguida para la cuantificación de la categoría de impacto asociada al uso de agua en el sector frutícola. Un mayor detalle del procedimiento seguido se encuentra disponible en la sección de Anexos (ver Anexo D y Anexo E).

Tabla 3.12: Síntesis metodológica para la estimación del consumo hídrico en el sector frutícola. Elaboración propia.

	Paso	Datos de entrada utilizados	Resultado Obtenido
Producción en el Campo (Riego)	Cálculo del Factor Promedio de Consumo Hídrico Anual Regional: Para cada clase representativa, se calcula la demanda bruta anual asociada a cada método de riego ([L/ha año]). Esta demanda se pondera según la participación de cada método de riego en la región ¹³ , obteniéndose un factor de consumo promedio para cada clase y cada región. Posteriormente, el factor de consumo hídrico anual regional se transforma en un factor de consumo hídrico específico anual regional, para cada clase representativa.	Datos por región: <ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración de referencia (ET₀) • Precipitación bruta mensual • Participación de los métodos de riego, por clase representativa. • Superficie sembrada por clase representativa • Producción por clase representativa Datos agronómicos: <ul style="list-style-type: none"> • Coeficientes de cultivo K_c (mensual) • Eficiencias de los métodos de riego 	Factor de consumo hídrico específico anual regional, para cada clase representativa [volumen de agua/kg de fruta consumible]
	Obtención de un Factor de Consumo Hídrico promedio para cada macrozona ($FC_{H_2O,i}^z$): Para cada clase representativa, ponderar el factor de consumo hídrico regional según la participación regional en la producción anual de la clase.	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución de la participación regional en la producción anual, para cada clase representativa. • Factor de consumo hídrico específico anual regional, para cada clase representativa. 	Factor de Consumo hídrico específico, para cada clase representativa en cada macrozona [volumen de agua/kg fruta consumible]
	Cálculo del consumo a nivel nacional: Utilizando la ecuación (3.2).	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de Consumo hídrico específico, para cada clase representativa en cada macrozona. • Producción total de cada clase representativa por macrozona 	Consumo Hídrico anual por concepto de Riego a nivel nacional [volumen de agua/año]
Postcosecha	Cálculo del Factor de Consumo Hídrico Específico para cada clase representativa: Identificando la complejidad de la línea correspondiente a cada clase y las respectivas operaciones unitarias que consumen agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones unitarias que consumen agua asociadas a cada línea • Consumo hídrico específico de cada operación *Dada la disponibilidad de datos, no se desagregan regionalmente.	Factor de Consumo Hídrico Específico, para cada clase representativa [volumen de agua/kg fruta consumible]
	Cálculo del consumo hídrico a nivel nacional: Utilizando la ecuación (3.2).	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de Consumo Hídrico Específico, para cada clase representativa. • Producción total de cada clase representativa por macrozona 	Consumo Hídrico anual por concepto de procesamiento postcosecha a nivel nacional [volumen de agua/año]

¹³ Note que la distribución de los métodos de riego en una misma región varía según la clase representativa analizada.

3.4.2 Resultados y Discusiones parciales

Tras el desarrollo de la metodología de cálculo se obtienen resultados que pueden presentarse con distinto nivel de detalle. En esta sección se exponen resultados generales que abordan principalmente el Consumo Hídrico anual promedio del sector frutícola (ver Figura 3.9), además de un Factor Específico de Consumo Hídrico para una fruta promedio (ver Figura 3.10), obtenido a partir de la ponderación de la participación de las distintas clases representativas en la producción nacional del sector frutícola. Adicionalmente, se presenta el Factor Específico de Consumo Hídrico para cada clase representativa (ver Figura 3.11).

La metodología seguida permite establecer un escenario inicial para el diagnóstico y posterior toma de decisiones a nivel territorial, considerando que la división por macrozonas permite observar el comportamiento del consumo hídrico a nivel más localizado que en el caso de un análisis nacional. Por otra parte, la división por clases representativas es útil en el sentido de la posibilidad de tomar decisiones desde una perspectiva de planificación de los cultivos considerando las zonas geográficas donde se encuentren los predios.

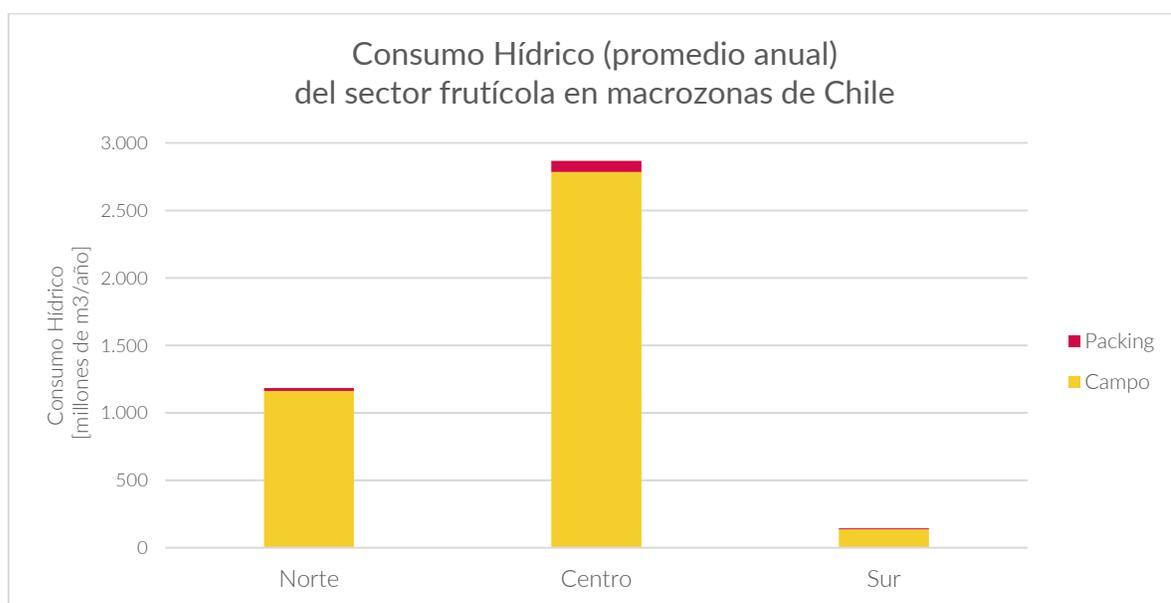


Figura 3.9: Consumo Hídrico del sector frutícola chileno por etapa de producción y macrozona. Elaboración propia.

De la Figura 3.9 puede desprenderse que el mayor consumo hídrico está dado en la macrozona central, lo que se condice con una mayor escala de producción en comparación con el resto de las macrozonas. También es posible notar que el consumo hídrico ligado a la producción en el campo es considerablemente mayor al consumo de agua en la etapa de postcosecha (*packing*).

A partir de la ponderación de la participación de las distintas clases representativas en la producción nacional del sector frutícola, se construye un factor de emisión específico para una fruta promedio (ver Figura 3.10).

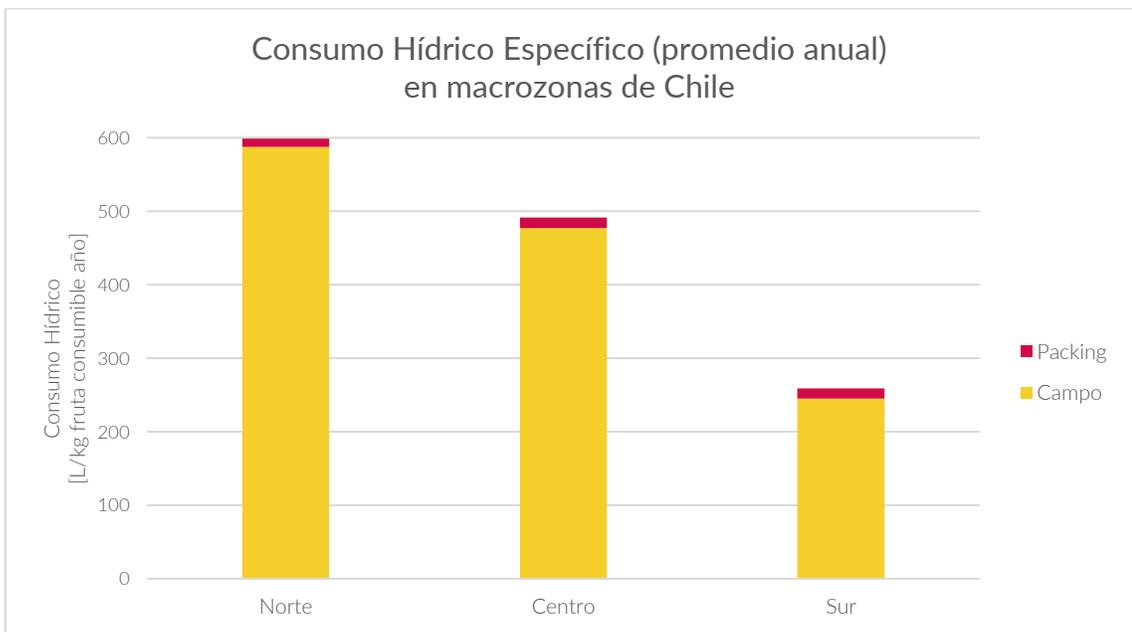


Figura 3.10: Consumo hídrico específico de una fruta promedio en macrozonas de Chile. Elaboración propia.

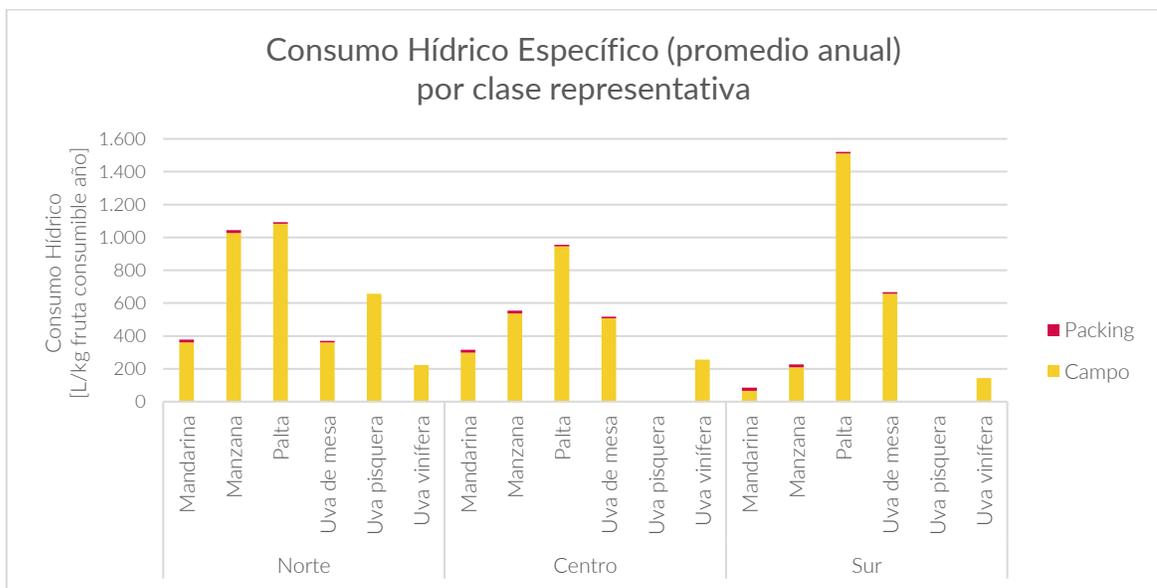


Figura 3.11: Consumo Hídrico Específico por clase representativa y etapa de producción en macrozonas de Chile. Elaboración propia.

Las Figuras 3.10 y 3.11 permiten evaluar la variación del consumo hídrico en las distintas macrozonas y en los distintos tipos de cultivo. Por un lado, es posible notar que para una misma clase representativa (y para una fruta promedio) el consumo hídrico disminuye conforme su cultivo se desplaza hacia el sur del país, lo que tiene sentido considerando las condiciones climáticas de cada macrozona. Llama la atención el caso de la palta en la macrozona sur, que presenta el consumo hídrico más elevado de las clases representativas analizadas, sin embargo, esto se explica por el rendimiento del cultivo en dicho territorio, pues al tenerse temperaturas menores a la óptima para el crecimiento del palto, el cultivo tiene un rendimiento menor. Esto se traduce en un Factor Específico de Consumo Hídrico mayor en comparación con el resto de las macrozonas analizadas. La información que proporciona la Figura 3.11 resulta especialmente útil al momento de pensar en medidas de planificación agrícola. Considerando los distintos escenarios y contextos climáticos, se pueden tomar

decisiones asociadas a qué y dónde cultivar. Por ejemplo, podría evaluarse no cultivar paltas en el sur de Chile, pues si bien básicamente la palta consume más agua que el resto de las especies analizadas, particularmente en el sur de Chile el consumo específico de agua es, aproximadamente, un 30% mayor que en la macrozona central o norte.

Quien lea debe tener en cuenta que la estimación del consumo hídrico asociado a la producción en el campo está sujeta a diferentes fuentes de variabilidad, a saber:

- **Los cálculos no consideran pérdidas de agua durante su conducción desde el cauce del que se extrae hasta el predio:** lo que omite flujos asociados a la infiltración y/o evaporación de agua en el trayecto, según sea la tecnología de distribución utilizada. Así, los gráficos presentados consideran el agua consumida en el mismo predio para riego de los cultivos, cifra que estaría subestimada y no necesariamente representa la responsabilidad total del sector en temas de seguridad hídrica a nivel territorial.
- **Las estimaciones en los distintos territorios analizados consideran una programación del riego¹⁴ perfecta.** Esto influye directamente en la demanda hídrica bruta del cultivo, que si bien contempla la eficiencia del método de riego para el cálculo (dada la influencia de la forma de administración del agua en las pérdidas por escorrentía e infiltración) asume que en cada evento de riego se suministra agua por el tiempo necesario para satisfacer la demanda neta, tiempo que depende del diseño del sistema de riego pero también de las características edafológicas del predio [92–94]. La literatura sugiere que la programación del riego es una buena práctica que aún no se encuentra totalmente masificada, específicamente por la necesidad de un análisis de suelo para definir los tiempos de riego en cada predio, punto que se discute a continuación.
- **Al tratarse de un análisis preliminar del consumo hídrico a nivel nacional, no se cuenta con análisis edafológicos que caractericen los suelos de los predios.** Si bien se trata de información relevante al momento de estimar el consumo hídrico (pues definirá los flujos de infiltración, escorrentía y la programación del riego necesaria), se considera un nivel de detalle que no es posible abordar de acuerdo con los alcances de este estudio.
- **La agrupación en clases representativas de las distintas especies pertenecientes al rubro frutícola conlleva la asunción de un coeficiente de cultivo (K_c) que no necesariamente se corresponde con cada especie en particular.** Considerando que se trata de un coeficiente que depende de las características fenológicas de cada cultivo y que varía según la época del año, esta simplificación reduce la precisión de los resultados. No obstante, se considera que los criterios de agrupación utilizados (ver sección 3.3) reúnen características que permiten distinguir diferencias entre cultivos y dar una aproximación cercana a lo que podría ocurrir en la realidad.
- **La construcción de Factores Específicos de Consumo contempla un rendimiento generalizado para las regiones, como también una densidad de plantación específica.** Lo anterior influye directamente en el factor obtenido considerando que es construido a partir del consumo hídrico neto de una hectárea regional “tipo” de los cultivos analizados. Quien utilice las cifras reportadas para el fin que requiera, debe considerar lo anterior para analizar la pertinencia del uso de estos datos en caso de cambiar de contexto y/o escala geográfica.

El procesamiento postcosecha también contempla fuentes de variabilidad, específicamente:

¹⁴ La programación del riego, en el rubro agrícola, se comprende como una metodología para la asignación óptima de agua a un cultivo. Establece el momento oportuno de riego (frecuencia de riego) y el flujo de agua necesario en cada evento de riego [93].

- La ausencia de información conlleva a que los datos que sustentan este cálculo provengan de una **única planta de procesamiento de fruta**, lo que generaliza una lógica de operación particular que no necesariamente representa la realidad nacional, repercutiendo en el resultado final.
- Los criterios de agrupación de las especies pertenecientes al sector frutícola en sus respectivas clases representativas no consideran la tecnología de *packaging* como una variable. Esto provoca cierta distorsión al momento de estimar el consumo hídrico que puede representarse a través de un ejemplo: las frutas consideradas *berries* (frambuesas, moras, arándanos, etc.) se incluyen en la clase representativa “manzana” a partir del criterio taxonómico (ver Capítulo 3, sección 3.3), sin embargo, en la etapa de procesamiento postcosecha, los berries se tratan en líneas de baja complejidad y por ende, no son lavados. Al agrupar los berries en la clase “manzana”, implícitamente se está sobreestimando el consumo hídrico de la clase.

Considerando lo expuesto, se analizó el impacto de esta decisión a través de la comparación del consumo hídrico bajo dos escenarios: i) usando la metodología que considera la agrupación por clases representativas descrita en la sección 3.3 y; ii) el cálculo del consumo hídrico bajo la misma agrupación para la etapa de producción en el campo, pero considerando una nueva agrupación (según la complejidad de la línea de procesamiento) para la etapa de postcosecha. Tras esta comparación se obtuvo que la variación del consumo hídrico en la etapa de postcosecha es de entre un 10% y 20%, cifra que puede parecer relevante. Sin embargo, al comparar el consumo hídrico total del sector por macrozonas, la diferencia es igual o menor al 1%, lo que se adjudica a que el consumo hídrico de la producción en el campo es desde 6 a 40 veces mayor que el consumo de la etapa de postcosecha (las cifras varían según la macrozona que se analice).

Pese a todo lo mencionado anteriormente, se considera que los cálculos realizados y los resultados obtenidos permiten representar de manera preliminar el consumo hídrico a nivel nacional. Para efecto de la toma de decisiones y considerando la vulnerabilidad y la situación del país en términos de escasez hídrica, es pertinente que el objetivo sea disminuir el consumo de agua. La relevancia de los resultados está, más que en el número final correspondiente al total de litros consumidos, en la distribución de este consumo a lo largo del territorio nacional y de las especies analizadas que vienen a representar la diversidad del sector.

Respecto a las mejoras posibles para el estudio, además de considerar las fuentes de variabilidad expuestas, se considera relevante realizar un análisis de casos bajo distintos escenarios climáticos, para lo que se recomienda proyectar las variaciones en las precipitaciones a lo largo del territorio nacional y utilizar expresamente la ecuación de Penman-Monteith para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_0), con el fin de considerar su dependencia en función de la temperatura, velocidad del viento y otras variables que afectan la transferencia de agua desde el suelo a la atmósfera y son críticas al momento de analizar escenarios futuros de Cambio Climático.

3.5 Categoría de Impacto: Intensidad de Emisiones de GEI

3.5.1 Metodología de cálculo: ecuaciones generales

A continuación se presenta la estructura general de las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo de emisiones a nivel nacional y su detalle dependiendo de las diferentes fuentes de emisión. Las fuentes de emisión corresponden a actividades involucradas en el proceso que generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Dicho de otra forma, cuando usted encuentre el término “fuente de emisión” en las ecuaciones, entienda que se hace referencia a una categoría, por ejemplo: uso de fertilizantes, consumo de electricidad, de combustibles, etc.

Para cada tipo de Gas de Efecto Invernadero, el cálculo de las emisiones asociadas a una fuente específica está dada por la siguiente ecuación general:

$$Emisiones_{fuente,g} = \sum_{fuente} C_{fuente} \cdot FE_{g,fuente} \quad (3.4)$$

Donde:

- $Emisiones_{fuente,g}$: Emisiones del GEI g asociada a una fuente de emisión particular [kg GEI]
- C_{fuente} : Consumo/uso del insumo asociado a la fuente de emisión analizada, cuya unidad de medida dependerá de la fuente emisora¹⁵.
- $FE_{g,fuente}$: Factor de emisión del GEI g asociado a una fuente específica de emisión [kg GEI/unidad asociada al consumo del insumo referido a la fuente emisora] (factores por defecto del IPCC)

Utilizando el potencial de calentamiento global de cada GEI es posible representar las emisiones totales de GEI en masa de CO₂eq:

$$Emisiones_{fuente} = \sum_g Emisiones_{fuente,g} \cdot PCG_g \quad (3.5)$$

Donde:

- $Emisiones_{fuente}$: Emisiones totales de GEI asociadas a una fuente de emisión específica [kg CO₂eq]
- $Emisiones_{fuente,g}$: Emisiones del GEI g asociada a una fuente de emisión particular [kg GEI]
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global del GEI g [kgCO₂eq/kg GEI]

Una vez comprendida la lógica de cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para una fuente en particular, es posible introducir la metodología de cálculo de emisiones del sector frutícola. Se utiliza como base de cálculo un kg de fruta consumible, en línea con los indicadores propuestos en la Tabla 3.2.

Las emisiones del sector se estiman a partir de una adaptación de la estructura propuesta por las Directrices del IPCC (2006) para la elaboración de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero:

$$Emisiones_{fuente} = \sum_z \sum_i FE_{fuente,i}^z \cdot DA_i^z \quad (3.6)$$

¹⁵ Ej: [masa de fertilizante], [energía consumida], [litros de combustible], etc.

Donde:

- $Emisiones_{fuente}$: Emisiones nacionales de GEI asociadas a cierta fuente de emisión [kg CO₂eq/año]
- $FE_{fuente,i}^z$: Factor de Emisión asociado a la fuente de emisión analizada para la clase representativa i en la macrozona z [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- DA_i^z : Datos de la actividad para la clase representativa i en la macrozona z [kg fruta consumible]

A su vez, el término $FE_{fuente,i}^z$ se estima de manera similar a la ecuación (3.5). El cálculo es prácticamente análogo, con la salvedad de que las emisiones se encuentran normalizadas para coincidir con la base de cálculo definida (kg de fruta consumible). A continuación se presenta una ecuación que permite, a partir de un factor de consumo asociado al insumo fuente de emisión (energía, fertilizantes, etc.), obtener las emisiones específicas de GEI¹⁶:

$$FE_{fuente,i}^z = \sum_g \sum_k FC_{i,k}^z \cdot FE_{g,k} \cdot PCG_g \quad (3.7)$$

Donde:

- $FE_{fuente,i}^z$: Factor de Emisión asociado a la fuente de emisión analizada para la clase representativa i en la macrozona z [kg CO₂eq/kg fruta producida]
- $FC_{g,k}^z$: Factor de Consumo del insumo asociado a la fuente de emisión k para la clase representativa i en la macrozona z [masa de insumo que emite¹⁷/kg fruta producida]
- $FE_{g,k}$: Factor de emisión del GEI g asociado a la fuente de emisión k [kg GEI/masa de insumo que emite]
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global del GEI g [kg CO₂eq/kg GEI]

Por su parte, los factores de consumo de los insumos que generan emisiones en el proceso para las distintas macrozonas ($FC_{g,k}^z$), se construye a partir de factores de consumo a nivel regional según el aporte de cada región a la producción de la clase representativa en la macrozona respectiva:

$$FC_{i,k}^z = \sum_j FC_{i,k}^j \cdot p_{i,j,z} \quad (3.8)$$

Donde:

- $FC_{i,k}^z$: Factor de Consumo de la fuente de emisión k para la clase representativa i en la macrozona z [masa del insumo que emite/kg fruta producida]
- $FC_{i,k}^j$: Factor de Consumo de la fuente de emisión k para la clase representativa i en la región j [masa de producto que emite/kg fruta producida]
- $p_{i,j,z}$: Ponderador de la participación de la región j en la producción de la clase representativa i dentro de la macrozona z (adimensional)

Los factores de emisión utilizados corresponden a los factores por defecto del IPCC. El Potencial de Calentamiento Global de cada GEI se utiliza a partir del Quinto Informe de Evaluación de Cambio Climático

¹⁶ Las emisiones específicas corresponden a emisiones por unidad de masa.

¹⁷ Note que la unidad referida al consumo de cada insumo puede variar. Por ejemplo, el consumo de combustibles puede expresarse en unidades energéticas o de volumen. Las unidades físicas, entonces, deben adaptarse en función de la información disponible.

del IPCC. Los datos de actividad corresponden a la masa de fruta producida (consumible), estimación que se realizó en el Capítulo 2. De esta forma, el principal desafío está en la estimación de los factores de consumo a nivel regional para los diferentes insumos y clases representativas del sector.

3.5.1.1 Intensidad de Emisiones de GEI en el campo

Para cada fuente de emisión considerada se tienen distintas formas de representar los factores de consumo. De esta manera, para obtener un Factor de Consumo Específico asociado a cada fuente de emisión (normalizado por masa de producto consumible), una vez que se estima el respectivo consumo (en unidades de [TJ/ha], [kWh/L], [kg N agregado/ha], etc. como se verá a continuación) se opera con los rendimientos, superficies sembradas o litros consumidos, según corresponda, para cada clase representativa, de manera de transformar el Factor de Consumo a unidades que permitan el uso de las ecuaciones anteriormente descritas.

Adicionalmente, se debe destacar que, para la mayoría de las fuentes de emisión de la producción en el campo, se trabajó con fichas técnicas para los distintos cultivos, desagregadas por región y zona homogénea. De esta manera, los cálculos para la obtención del factor regional $FC_{i,k}^j$ se construye de manera análoga a la ecuación (3.8), pero considerando un ponderador asociado a la participación de cada zona homogénea en la producción regional de cada clase representativa. El uso de este ponderador busca representar la región de acuerdo con la zona homogénea que más aporte a la producción de la región. A modo de ejemplo, si usted toma una manzana al azar perteneciente a la región de Coquimbo, lo más probable es que dicha manzana provenga de la zona homogénea que más produce dentro de la región. Dicho de otra forma, se busca representar el factor de consumo asociado a la producción de un kilogramo de fruta a nivel regional según aquellos campos más productivos dentro de la región. El detalle de la construcción de este ponderador se encuentra descrito en el Anexo D (ver sección D.2.2.2).

La Tabla 3.13 presenta las principales consideraciones metodológicas a tener en cuenta para la estimación de emisiones desde las distintas fuentes de origen. El detalle del procedimiento para cada fuente de emisión se encuentra disponible en el Anexo D (ver sección D.1).

Tabla 3.13: Consideraciones metodológicas respecto a las fuentes de emisión de la etapa de producción en el campo. Elaboración propia.

Fuente de Emisión y sección de consulta.	Consideraciones metodológicas
Combustibles (ver detalles en sección D.1.3.1)	Se considera el Diésel como principal combustible de la maquinaria agrícola. No se consideran emisiones por uso de lubricantes. El consumo de combustible se estima a partir del costo de arriendo de maquinaria. Se calcula la fracción de dichos costos que corresponde al consumo de combustible y, con el precio del diésel referido al año y región de la información, se obtiene el volumen de diésel consumido por hectárea (ver Anexo E, sección E.2.2.1)
Electricidad (ver detalles en sección D.1.3.2)	Los Factores de Consumo eléctrico regionales de cada clase representativa se construyen considerando la porción de agua que es suministrada al cultivo promedio regional a través de métodos de riego tecnificado. A partir de fichas técnico-económicas de la ODEPA se estimó un Factor de Consumo Eléctrico por litro de agua ([kWh/L]) suministrado al cultivo en un régimen de riego por goteo, asumiendo que la energía necesaria para bombear un litro de agua no depende del tipo de cultivo ni de la zona geográfica donde este se encuentre. El Factor de Emisión utilizado corresponde al de la matriz eléctrica chilena al año 2020, siendo el dato más actualizado al momento de realizar los cálculos [95].

Fertilizantes (ver detalles en sección D.1.4)	Se consideran emisiones directas e indirectas (por volatilización y lixiviación). Para el caso de fertilización con urea y cal, se consideran además las emisiones de CO ₂ asociadas a la degradación del carbono en presencia de agua o por acción de microorganismos. La fracción de volatilización y lixiviación se extrae de las directrices del IPCC. Se asume lixiviación desde la región de Ñuble al sur,
Residuos (ver detalles en sección D.1.5)	Se consideran exclusivamente residuos de poda y hojarasca, excluyendo residuos de cosecha (ver Tabla 3.6 sobre alcances del estudio). Los destinos de disposición de residuos se remiten a las categorías del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (combustión en el campo, uso como leña, incorporación al suelo), cada una con su respectivo factor de emisión reportado por el IPCC. En esta categoría, el factor de consumo se entiende como un factor de generación de residuos, a modo de dar lógica a las ecuaciones descritas. Se cuantifican únicamente emisiones de CH ₄ y N ₂ O. Las emisiones de CO ₂ no se contabilizan en línea con lo dispuesto en las directrices del IPCC, que asume que las absorciones anuales de CO ₂ derivadas del crecimiento vegetativo están en equilibrio con las emisiones de carbono asociadas a la combustión o descomposición sobre el suelo de la estructura vegetal que fue extraída del cultivo [99].

3.5.1.2 Intensidad de Emisiones de GEI en el procesamiento postcosecha

Las emisiones asociadas al consumo energético en las plantas de postcosecha se calculan a partir de un modelo presente en el estudio enmarcado en el proyecto de cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania “NAMA: Energías Renovables para Autoconsumo en Chile”, implementado por el Ministerio de Energía, el Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables (CIFES) y *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) [72]. Este modelo contempla los distintos consumos energéticos presentes en procesos típicos de *packaging*, considerando las líneas de distinta complejidad mencionadas anteriormente.

El estudio contempla tres fuentes de energía: electricidad, GLP y diésel y establece los consumos energéticos específicos para las distintas operaciones según la complejidad de la línea de procesamiento (ver sección 3.4.1.2 para más detalle). Las principales consideraciones metodológicas se describen a continuación:

Tabla 3.14: Consideraciones metodológicas respecto a las fuentes de emisión de la etapa de procesamiento postcosecha. Elaboración propia.

Fuente de emisión y sección de consulta	Consideraciones
Electricidad (ver detalles en sección D.2.2)	Corresponde a la energía utilizada para la climatización durante la etapa de almacenamiento. El estudio de referencia modela el consumo energético para climatización en función de las toneladas de fruta procesadas. Además, sensibiliza el consumo eléctrico para frío en función de la localización de la planta a lo largo del territorio nacional. A partir de esta información, se construye un factor de consumo específico (en [kWh/t fruta consumible]) regional. Este factor se utiliza como fuente de emisión para todas las clases representativas, considerando que todas requieren de almacenamiento en frío. Se utiliza el factor de emisión más actualizado a la fecha de ejecución de los cálculos, correspondiente al de la matriz eléctrica nacional al año 2020 [95].
Combustibles (ver detalles en sección D.2.2)	Se considera el consumo de GLP para el acondicionamiento de agua de lavado del personal, la limpieza de equipos, el lavado y secado de fruta. No se considera el consumo de GLP asociado a la operación de grúas horquilla debido a la ausencia de información de base. El consumo de diésel se asocia a operaciones electromecánicas. Cada operación tiene su respectivo factor de consumo específico (en [kWh/t fruta consumible]). El cálculo del factor asociado a cada clase representativa

se realiza considerando los factores de consumo asociados a las distintas operaciones según la complejidad de la línea correspondiente.

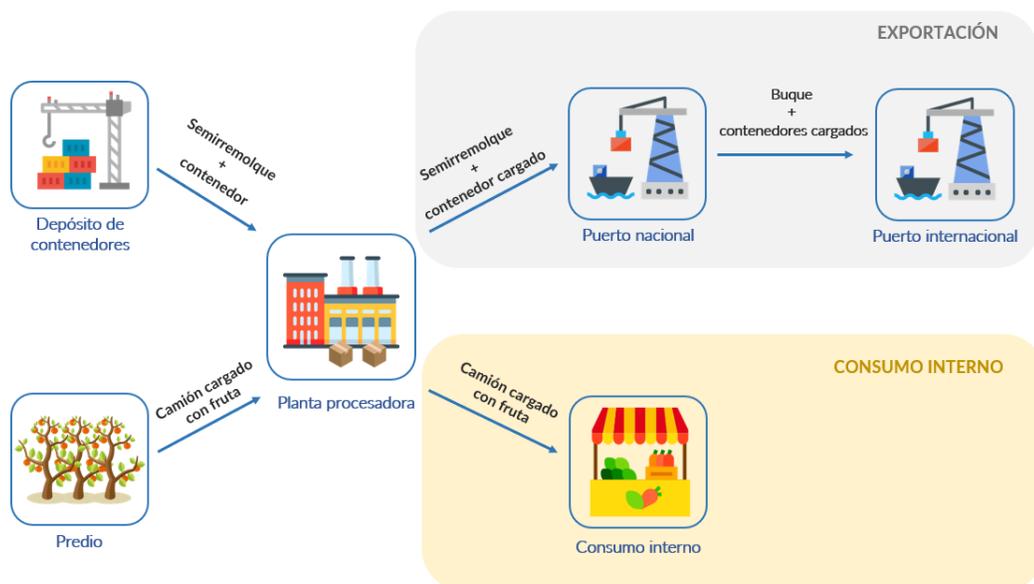
3.5.1.3 Intensidad de Emisiones de GEI en la distribución de productos

Las emisiones atribuidas a la etapa de distribución de la fruta están sujetas, principalmente, al consumo de combustibles de los medios de transporte. Al tratarse de productos que pueden requerir refrigeración según su destino, existen emisiones asociadas al uso de refrigerantes para mantener la cadena de frío, sin embargo, la cuantificación de dichas emisiones no está considerado en los alcances de este estudio (ver Tabla 3.6 en la sección 3.2.2.1.2). Adicionalmente, debido a que la exportación de fruta se lleva a cabo en su mayoría por vía marítima, no se considera el transporte aéreo [96].

El sector frutícola distribuye sus productos principalmente por carretera al interior del país y por vía marítima en el caso de exportaciones. Como se menciona en la sección 3.1.3, las rutas de transporte fueron divididas en los siguientes tramos [97]:

- Campo - Planta de procesamiento postcosecha
- Planta de procesamiento postcosecha - Consumo interno
- Planta de procesamiento postcosecha - Puerto nacional
- Puerto nacional - Puerto internacional

Para el caso de la exportación de productos frutícolas, la logística establecida entre empresas exportadoras y servicios logísticos derivan en la existencia de dos trayectos considerados al momento de transportar la fruta desde la planta de procesamiento postcosecha hacia el puerto de embarque. En primer lugar, el vehículo que lleva el contenedor refrigerado debe retirar este contenedor desde un depósito de contenedores, para posteriormente dirigirse hacia la planta de procesamiento de la fruta. Una vez en la planta, el contenedor es cargado y transportado hacia el puerto de embarque correspondiente¹⁸. La Figura 3.12 muestra los tramos considerados en el caso de estudio.



¹⁸ Esta información fue obtenida a través de la comunicación personal con la Gerencia de Operaciones de la empresa exportadora de frutas Frusan.

Figura 3.12: Tramos y vehículos definidos para el estudio de la distribución de productos frutícolas. Elaboración propia.

La Tabla 3.15, por su parte, muestra la caracterización de los vehículos utilizadas para la estimación de emisiones.

Tabla 3.15: Caracterización de los vehículos considerados en la cadena de distribución del sector frutícola. Elaboración propia a partir de [97-105].

Destino	Tramo	Vehículo y Combustible	Capacidad	Rendimiento [km/L]	Observaciones
Consumo interno	Campo – planta de procesamiento	Camión sin refrigeración (diésel)	11.540 [kg]	3,52	Se considera un ponderado según la participación de los diferentes medios de transporte (ver Anexo D, sección D.3.1)
	Planta de procesamiento – Consumo Interno				
Exportación	Campo – planta	Camión sin refrigeración (diésel)	11.540 [kg]	3,52	Se considera un ponderado según la participación de los diferentes medios de transporte (ver Anexo D, sección D.3.1)
	Depósito de Contenedores – Planta	Semirremolque con contenedor apto para refrigeración (diésel)	28.000 [kg]	2,52	Se considera la capacidad de 1 [FEU]*
	Planta - Puerto				
	Puerto - Puerto	Buque transportador de contenedores (fuelóleo residual)	4.000 [FEU]*	0,015	Definición de capacidad y estimación del rendimiento de combustible en la sección E.4.1.

*1 [FEU] equivale a un contenedor de 40' [103].

La definición de los vehículos considerados se basa en un estudio realizado para la Subsecretaría del Ministerio de Energía, que aborda la caracterización del transporte de carga en distintos sectores industriales, considerando la distribución de los tipos de vehículos, además de los rendimientos y capacidades de cada uno [97].

Los contenedores refrigerados también representan un consumo de combustible asociado al funcionamiento de generadores que permiten mantener la cadena de frío. Este consumo se asocia al tiempo de operación, de forma que el rendimiento del contenedor se reporta en literatura como un volumen de combustible por unidad de tiempo. Esta cifra fue transformada a unidades de volumen de combustible por distancia recorrida en función del vehículo que transporta el contenedor (ver Anexo E, sección E.4.2), con el fin de facilitar el cálculo de las emisiones. La Tabla 3.16 presenta los resultados de la estimación del rendimiento de combustible:

Tabla 3.16: Rendimiento de combustible para un contenedor de 40' dependiendo del medio de transporte. Elaboración propia a partir de [99,100,104,105].

Vía de transporte	Vehículo	Velocidad promedio [km/h]	Rendimiento del contenedor [km/L]
-------------------	----------	---------------------------	-----------------------------------

Terrestre	Camión	90,00	32,35
Marítima	Buque de carga	41,67*	14,98

*Estimación en Anexo E, sección E.4.1

Con lo anterior, para obtener el consumo de combustible solo resta definir la distancia promedio recorrida en cada tramo. La tabla a continuación resume las principales consideraciones al respecto:

Tabla 3.17: Consideraciones metodológicas asociadas a la etapa de distribución. Elaboración propia.

Tramo	Consideraciones metodológicas
Campo – Planta Postcosecha (ver detalles en sección D.3.1.1)	La distancia promedio entre el predio y su respectiva planta de procesamiento postcosecha se obtiene a partir del estudio realizado para la Subsecretaría del Ministerio de Energía, que modela la configuración regional de predios y plantas de postcosecha para la estimación de la distancia existente entre dichos puntos [97].
Planta Postcosecha – Consumo Interno (ver detalles en sección D.3.1.2)	Para el transporte interregional se toma como principal supuesto que, independiente de la región de origen, todas las regiones restantes reciben un porcentaje de la fruta transportada. Además, se trabaja con la hipótesis de que el consumo de fruta a nivel regional es proporcional a la población de dicho territorio, por lo que el número de viajes a cada región también será proporcional a la población en dicho territorio. De esta forma, la distancia promedio recorrida a partir de cada región de origen se construye a partir de la ponderación entre las distancias a las distintas regiones de destino y la población de cada región de destino.
Planta Postcosecha – Puerto (ver detalles en sección D.3.1.3)	Como puntos de origen se consideran dos opciones, asociadas a provincias con mayor superficie plantada de huertos frutales. El puerto de destino se define considerando la mayor cantidad de viajes realizados entre la región respectiva y los distintos puertos posibles [147]. Posteriormente, las distancias definidas entre los dos posibles puntos de origen y el puerto de destino se promedian para establecer una distancia representativa de la realidad nacional. La cadena logística de exportación se simplifica considerando que el depósito de contenedores se ubica en las cercanías al puerto de embarque ¹⁹ . Se asume que el recorrido inicia en el depósito de contenedores y que la distancia existente entre el depósito y el puerto es despreciable, lo que se traduce en que la distancia de ida hacia la planta postcosecha (a cargar la fruta) y de vuelta al puerto (a embarcar), es la misma.
Puerto nacional – Puerto internacional (ver detalles en sección D.3.1.4)	La estimación de las distancias entre puertos considera los tres principales puertos de destino de la fruta de exportación: i) Filadelfia (Estados Unidos); ii) Rotterdam (Unión Europea) y; iii) Shanghái (China) [86,87]. Se obtiene un Factor de Consumo Específico de combustible y de emisión para cada ruta de exportación (asociado al combustible consumido por el buque de carga y los contenedores refrigerados). Posteriormente, estos factores se ponderan según la participación de cada mercado en las exportaciones del sector silvoagropecuario, obteniéndose los factores de consumo y de emisión promedio para la ruta de exportación.

Una vez definidas las rutas y el consumo de combustible asociado a cada tramo, se calculan dos Factores de Emisión Específicos: uno para la fruta destinada al consumo interno y otro para la fruta destinada a la exportación. Ambos factores son genéricos para cualquier fruta, pues se asume no existen diferencias entre los recorridos para las distintas clases representativas. El Factor de Emisión Específico asociado a cada clase representativa se construye a partir de la ponderación de los Factores de Emisión Específicos mencionados según la distribución porcentual de fruta que se exporta y que se destina al consumo interno, referida a cada clase representativa (ver Anexo E, sección E.1.7).

¹⁹ Esta información fue confirmada a través de comunicación personal con la Gerencia de Operaciones de la empresa exportadora de frutas "frusan".

3.5.2 Resultados y Discusiones parciales

Tras el desarrollo de la metodología de cálculo se obtienen resultados que pueden presentarse con distinto nivel de detalle. En esta sección se exponen resultados generales que abordan las Emisiones de GEI anuales promedio del sector frutícola (ver Figura 3.13), además de un Factor Específico de Emisión de GEI para una fruta promedio, considerando la ponderación de la participación de las distintas clases representativas en la producción nacional del sector frutícola (ver Figura 3.14). Adicionalmente, se expone el Factor de Emisión Específico para cada clase representativa a lo largo del territorio nacional y para cada etapa del proceso productivo (ver Figura 3.15).

La Figura 3.13 da cuenta de la contribución a las emisiones de GEI en las distintas etapas productivas del sector frutícola. La producción en el campo y el transporte internacional son las etapas que más aportan a las emisiones del sector. Adicionalmente puede observarse que la macrozona central contribuye en mayor medida a las emisiones del sector, lo que se explica por la escala de producción de dicho territorio.

Al igual que en el caso del consumo hídrico, la Figura 3.14 presenta un Factor de Emisión Específico para cada clase representativa analizada a nivel nacional. Este factor es construido ponderando los Factores de Emisión territoriales de las clases representativas (a nivel de macrozona, ver Figura 3.15) según su participación en la producción nacional. Esta información permite reforzar lo que inicialmente proponía este estudio: si bien los procesos al interior del sector frutícola son similares, generalizar el sector frutícola a partir de un solo producto podría perder de vista resultados relevantes asociados con las diferencias fenológicas de cada cultivo. Se trata de información especialmente útil al momento de pensar en medidas de mitigación asociadas a cultivos particulares, por ejemplo: las medidas de mitigación asociadas al cultivo de palta requieren un enfoque en el consumo energético, mientras que en el caso de la mandarina, la palta y la uva de mesa es fundamental pensar en las emisiones asociadas a la distribución internacional.

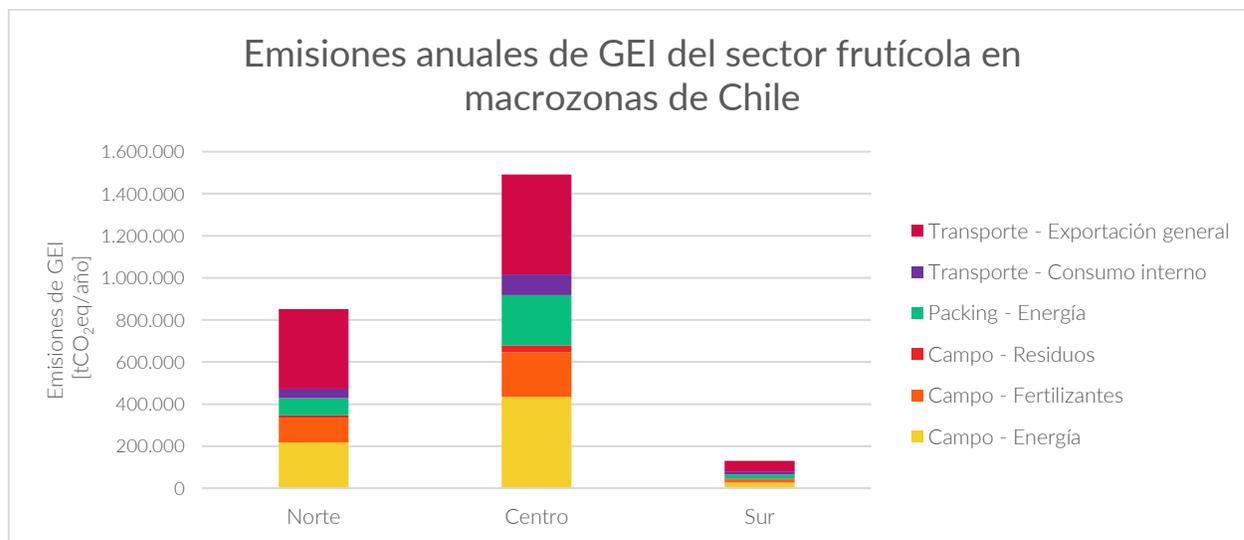


Figura 3.13: Emisiones anuales de GEI del sector frutícola por macrozonas de Chile y etapa de producción. Elaboración propia.

Si bien las proporciones entre las distintas fuentes de emisión se asemejan entre macrozonas, al comparar la macrozona norte y centro se tiene que la etapa de *packing* en la macrozona norte presenta una menor emisión de GEI respecto al resto de las etapas productivas, conducta que no se repite en la macrozona centro pues, como se observa en el gráfico, las emisiones de la etapa de *packing* de fruta son incluso mayores que las emisiones asociadas a la fertilización en el campo. Lo anterior se atribuye principalmente a las especies que

son cultivadas en ambos territorios. Según lo expuesto en las secciones 2.2 y D.2, en la macrozona norte se tiene una producción mayoritaria de frutas que son procesadas en líneas de baja a media complejidad (uvas, cítricos, paltas, etc.), mientras que en la macrozona central se producen principalmente frutas que son procesadas en líneas de alta complejidad, lo que consume más energía y, por ende, genera más emisiones.

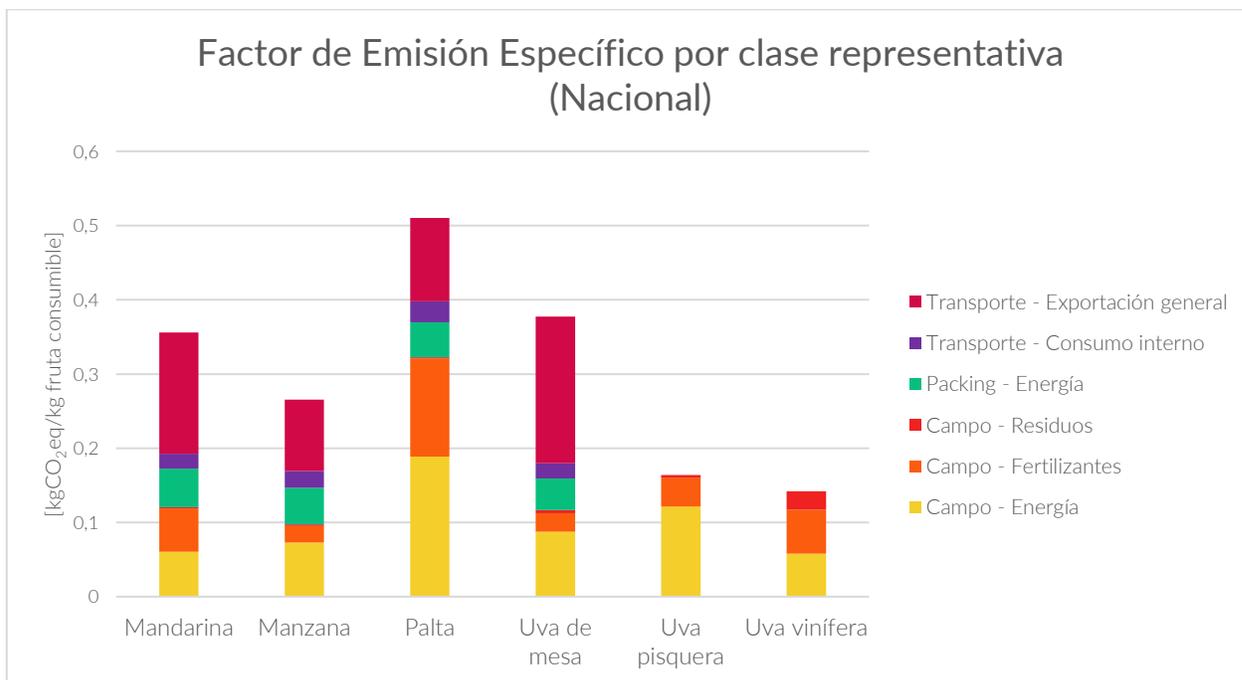


Figura 3.14: Factor de emisión específico por clase representativa y etapa productiva a nivel nacional. Elaboración propia.

En caso de querer complejizar y detallar aún más el análisis, por ejemplo, con el fin de tomar decisiones e implementar medidas a nivel local y orientada a la planificación agrícola, se tienen resultados por macrozona y por clase representativa (ver Figura 3.15).

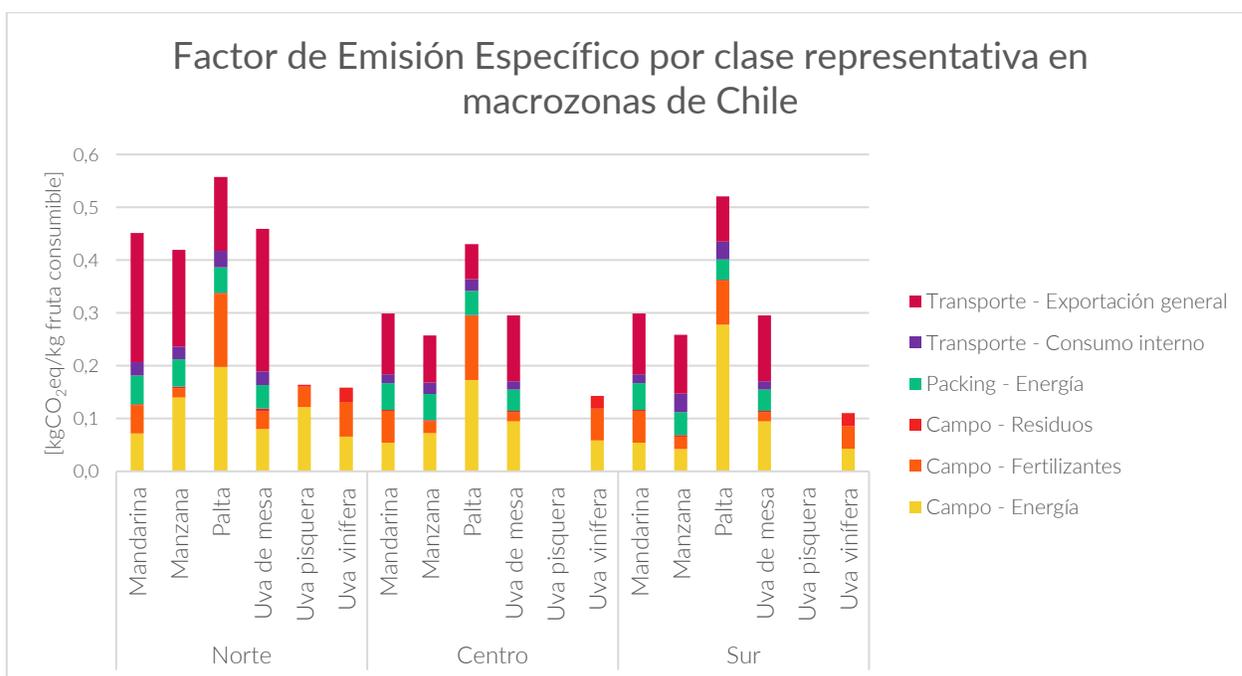


Figura 3.15: Factor de emisión específico por clase representativa y por macrozona. Elaboración propia.

Los Factores de Emisión Específicos expuestos en la Figura 3.15 permiten obtener algunas conclusiones respecto a la toma de decisiones a nivel territorial y por tipo de cultivo. Nuevamente se tiene que la clase representativa *palta* requiere especial atención al ser la que más GEI emite en las tres macrozonas²⁰. A diferencia del caso del consumo hídrico, se trata de una clase representativa con un nivel semejante de emisiones entre la macrozona norte y sur, incluso teniéndose rendimientos diferentes (en la macrozona norte, el rendimiento por hectárea es del doble). Lo anterior permite dar cuenta de que el cultivo de palta en la macrozona norte no es eficiente en términos de intensidad de emisiones, pues cultivar en el norte emite una cifra semejante a un cultivo del sur, que rinde la mitad. Esto, sin embargo, no es suficiente para tomar la decisión de cultivar en la macrozona sur, pues en este territorio, la misma clase representativa consume aproximadamente un 40% más de agua (ver Figura 3.11). La reflexión, entonces, apunta a que la cuantificación de una categoría de impacto puede dar nociones sobre como actuar en función de dicha categoría, sin embargo, para la toma de decisiones se requiere de un análisis integral.

Este ejemplo busca ilustrar la utilidad de detallar el análisis a nivel más localizado que el caso de un análisis a nivel nacional, lo que también es aplicable a una comparación entre clases representativas al interior de un mismo territorio. Se debe tener en cuenta que, al tratarse de un análisis por clases representativas y no por especies en particular, el factor específico de emisión respectivo presenta desviaciones respecto a un factor asociado a la especie como tal. Lo anterior, sin embargo, no quita que los resultados mostrados den cuenta de ciertos cultivos a los que se debe prestar especial atención al momento de planificar y/o proponer medidas de mitigación o adaptación.

A raíz del ejemplo mencionado, vale la pena analizar el caso particular de la uva vinífera y la uva pisquera. Estas clases representativas corresponden a productos intermedios que no responden a la misma lógica de consumo del resto de las clases representativas. Al ser productos intermedios que no se consumen una vez cosechados, las emisiones totales de GEI del ciclo de vida de estas clases incluyen más procesos industriales entre la etapa

²⁰ Note que los cultivos pertenecientes a la clase representativa "palta" corresponden a especies con baja producción a nivel nacional (ver Tabla 3.9 y archivo BD_producción_superficie_agrícola.xlsx) por lo que, incluso, se podría decir que es particularmente esta especie la que tiene el mayor impacto en términos de emisiones y de consumo hídrico.

de postcosecha y distribución (asociados a la elaboración de vino y pisco). En este sentido, las emisiones totales del producto final (vino y pisco, respectivamente) estarían subestimadas. Tomar decisiones a partir de la comparación de las emisiones totales de las clases *uva vinífera* y *uva pisquera* con la clase representativa *manzana* presentadas en la Figura 3.15, por ejemplo, perdería de vista que el alcance del ciclo de vida considerado en estas estimaciones no es el mismo, pudiendo llevar a conclusiones erróneas. Lo que sí permite el diagnóstico realizado es comparar las emisiones de las clases estudiadas durante la etapa de cultivo en el campo, facilitando también la propuesta de medidas de mitigación y adaptación en esta etapa.

La Figura 3.16 muestra las emisiones específicas para una fruta *promedio* cultivada en el territorio chileno. Este factor, al igual que el obtenido en el caso del consumo hídrico, fue construido a partir de la ponderación de las emisiones específicas para cada clase representativa según su participación en la producción frutícola de cada macrozona.

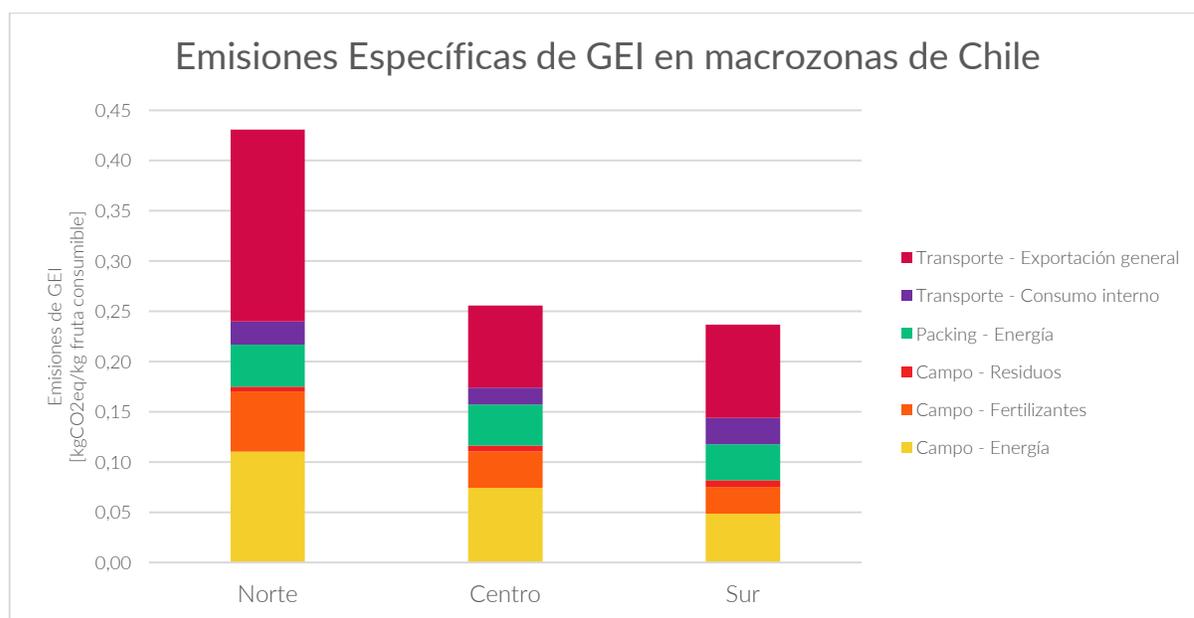


Figura 3.16: Emisiones específicas de GEI por macrozonas y etapa productiva del sector frutícola. Elaboración propia.

Con respecto a los resultados presentados, es preciso señalar que existen fuentes de variabilidad para las emisiones específicas y a nivel nacional. A continuación se presenta un detalle de aspectos a tener en cuenta:

- El consumo de combustibles en el campo está parcialmente caracterizado.** Para la estimación de las emisiones asociadas al consumo energético en el campo, específicamente el consumo de combustibles, hay dos puntos a considerar. En primer lugar, se tiene una aproximación del consumo de diésel basada en los costos establecidos para las labores agrícolas, lo que podría ser más preciso si se contara con información asociada al consumo como tal. Si bien esto es una fuente de variabilidad de los resultados, se realizó un cálculo adicional con el fin de comprobar el orden de magnitud de la cifra obtenida para la fracción de costos de operación asociadas al combustible. Este cálculo contempla la asunción de potencias promedio de los tractores e implementos utilizados en el campo, además de las horas de funcionamiento de las máquinas para la aproximación del consumo volumétrico de combustible y posterior estimación de los costos asociados. La estimación de la fracción del uso de combustibles (0,30) difiere en un 12% de la fracción de costos utilizada (0,34), lo que se considera aceptable considerando el orden de magnitud de ambas cifras.

En segundo lugar, se tiene la calidad de los datos utilizados. Si bien existen diferentes fuentes que reportan fichas de costo anual para el cultivo de una hectárea de distintos frutales (por ejemplo: ODEPA y CNR), las magnitudes entre sí llegan a diferir en más de un 60%. Para discernir cuál fuente utilizar se optó por establecer un límite superior e inferior de combustible utilizado, basándose en las potencias mínimas (60 HP) y máximas (150 HP) de un tractor tipo destinado a labores agrícolas, lo que permite obtener una aproximación de la magnitud del consumo de combustible [106]. A partir de esto, se decide trabajar con datos de la Comisión Nacional de Riego, que además de contar con una mayor cantidad de información, se trata de datos que se ajustan en mayor medida al orden de consumo promedio de combustible calculado previamente.

- **Se requiere una mayor caracterización del consumo eléctrico por concepto de riego mediante métodos tecnificados.** Respecto a las emisiones referidas al consumo eléctrico, se tiene una fuente de incertidumbre asociada a la falta de información y la consecuente aproximación del consumo a partir de fichas de costos particulares tanto a nivel territorial como para el tipo de cultivo que disponía de tal información (ver Anexo E, sección E.2.3.1). Adicionalmente, no se considera el consumo asociado a actividades domésticas al interior del predio o que no estén directamente relacionadas con el consumo hídrico de los cultivos (alumbrado del sector, artefactos electrónicos, etc.), lo que resulta en la subestimación de las emisiones de GEI asociadas a esta categoría.
- **El cálculo de las emisiones asociadas al uso de fertilizantes no contempla a cabalidad las características locales del territorio de aplicación y omite el impacto asociado a la producción de este insumo.** En relación a la estimación de emisiones por concepto de aplicación de fertilizantes, es necesario destacar que si bien las fuentes utilizadas reportan la masa de fertilizante aplicada por hectárea de cultivo para cada región, se trata de una fuente que contempla un predio “tipo” y no retrata específicamente la dosificación de fertilizante realmente necesaria para el cultivo, la que depende no solo de los requerimientos nutricionales de la especie frutal, sino que también de elementos que pueden variar a lo largo de una misma región, como las características del suelo, del tipo de fertilizante, de la marca del mismo, etc. Sumado a lo anterior, los Factores de Emisión utilizados corresponden a los reportados por el IPCC y corresponden a factores nivel 1, lo que involucra cierta variabilidad sujeta al contexto local en donde se aplique el fertilizante. Adicionalmente, y en línea con el límite de este estudio, la literatura reporta que la mayor fuente de emisión asociada al uso de fertilizantes radica en la elaboración y distribución de los mismos, lo que corresponde a un alcance 3 (emisiones indirectas) desde la perspectiva metodológica de Análisis de Ciclo de Vida, que no fue considerado en este trabajo [87]. Esto se traduce en que los resultados presentados no reflejan el total de responsabilidad del sector frutícola en las emisiones asociadas a la fertilización pues, en definitiva, si bien la elaboración de esta materia prima no se produce por el sector frutícola, dichos fertilizantes son producidos según la demanda del mismo sector.

Quien lea podrá razonablemente preguntarse ¿por qué incluir la emisión asociada a la producción de fertilizantes en este sector y no en el sector industrial que los produzca directamente? Y la respuesta a esta pregunta está dada según el objetivo del estudio: usted podría considerar dichas emisiones en ambos sectores pensando en que se trata de una responsabilidad compartida. Por un lado, considerar la producción de fertilizantes como una emisión directa de la industria química podría apuntar a medidas de mitigación orientada a modificaciones tecnológicas de la producción de fertilizantes como tal y, por otro, considerar las emisiones como responsabilidad del sector frutícola permite establecer medidas que reduzcan las emisiones asociadas a la aplicación de fertilizantes desde una perspectiva de reducción de la demanda de los mismos.

- **Las emisiones por disposición de residuos están sujetas a información parcialmente disponible y no consideran la etapa de cosecha.** Las emisiones generadas por efecto de la disposición de residuos están sujetas a la densidad de plantación en cada predio, lo que no fue posible de establecer con base en literatura para cada región, recurriéndose a aproximaciones según regiones que contaran con datos y fueran cercanas a aquellas cuya densidad de plantación promedio se desconoce. Lo anterior añade incertidumbre al análisis, sumado a que además, en la estimación se consideran únicamente los residuos generados por efecto de la poda de frutales, no así aquellos residuos asociados a la cosecha o descarte de frutas de menor calidad, subestimándose los resultados obtenidos. De todas formas y pese a la distorsión que supongan las fuentes de variabilidad mencionadas, las cifras obtenidas permiten tener una primera aproximación a medidas en términos de la gestión de residuos.
- **No se consideran las emisiones asociadas al uso de refrigerantes en la etapa postcosecha.** Dado el alcance de este estudio, no se consideran las emisiones asociadas al uso de refrigerantes, lo que subestima los resultados obtenidos considerando que dichas emisiones tienen un potencial de calentamiento global hasta diez mil veces mayor al del dióxido de carbono [107]. Sumado a esto, tampoco se consideran emisiones asociadas al tratamiento de residuos generados en esta etapa, lo que también subestima los resultados finales. Dado todo lo anterior, resulta necesaria la generación de información sobre el consumo de refrigerantes y la generación de residuos en esta etapa industrial, a fin de poder aportar mayor precisión al resultado. No obstante, se considera que el consumo energético del sector permite establecer una primera aproximación a lo que es el caso de estudio, aportando en el diagnóstico del sector para la toma de decisiones a lo largo de la cadena productiva.
- **La estimación de las rutas de transporte interno asume un consumo equitativo para toda la población del país.** En relación a las emisiones por concepto de distribución de los productos, la definición de las rutas asociadas al consumo interno asume que el consumo de fruta es proporcional a la población de los territorios. Esto pierde de vista aspectos como la accesibilidad a los alimentos desde un punto de vista económico, pero también técnico, pues en la realidad es posible notar que, en regiones del sur de Chile, la oferta de fruta disminuye en comparación a las regiones de mayor producción no solo por la menor demanda, sino que también por las dificultades de distribución que suponen los recorridos de dichos territorios más alejados de los puntos de producción. En este sentido, las distancias (y en consecuencia, el consumo de combustible) podrían estar sobreestimadas.
- **El rendimiento del combustible se asume constante en el tiempo para todos los vehículos.** Para los vehículos terrestres supone un consumo constante de combustible en el tiempo de viaje, lo que pierde de vista el efecto de la velocidad y del estado de las calzadas sobre el rendimiento. En el caso de los barcos, se asume una velocidad promedio que también puede variar según las condiciones de navegación.
- **Se asume una capacidad tipo para los contenedores asociados a cada vehículo.** La capacidad de contenedores que puedan transportar los barcos afecta las emisiones específicas de un viaje, razón por la que generalizar la totalidad de los viajes nacionales en un único tipo de vehículo permite una aproximación genérica que puede variar respecto a la realidad. Al igual que en las categorías anteriores, el Factor de Emisión por consumo de combustibles es una cifra general reportada por el IPCC que no necesariamente se corresponde con la realidad nacional, lo que también influye en el resultado final.
- **El asumir que los contenedores transportan el total de su capacidad afecta el valor del Factor de Emisión Específico.** En primer lugar, las emisiones consideradas para un viaje en específico dependen exclusivamente del combustible utilizado, lo que se enlaza directamente con la distancia recorrida a través del rendimiento del vehículo, pero no necesariamente con la masa transportada. En este sentido

¿Cambian las emisiones del viaje si el vehículo completa su capacidad en relación a un viaje a media capacidad? Esta pregunta busca orientar a quien lee respecto a la pertinencia y cuidado en el uso del Factor de Emisión Específico definido para la etapa de distribución. En términos metodológicos, el uso de este factor permite aproximar las emisiones del sector en la medida que los viajes realizados consideren el transporte a máxima capacidad (pues es el factor másico que permite construir este término). Si los viajes no son realizados bajo estas condiciones, el cálculo de las emisiones específicas estará subestimado y será preciso reconstruir el factor para una mejor aproximación (ver más detalles en el Anexo D, sección D.3.2)

Quien lea podrá notar que existen múltiples variables que pueden mejorar en este estudio y que agregan incertidumbre al resultado obtenido. No obstante, al tratarse de una aproximación general a nivel nacional, se requiere tomar supuestos y decisiones responsables para representar la realidad, pero considerando las limitaciones de este estudio. En muchos casos alcanzar un nivel de detalle mayor implica una inversión de tiempo y capacidades que no necesariamente justifica la variación en el resultado final. Por último, este trabajo tiene como objetivo final la elaboración de una metodología de planificación y toma de decisiones, por lo que la primera aproximación del impacto ambiental del sector frutícola como caso de estudio se considera suficiente para continuar con el desarrollo de esta herramienta.

3.6 Generalización de la metodología de caracterización de procesos

Quien lea las secciones precedentes podrá notar que la metodología seguida para la caracterización del proceso productivo del sector frutícola tiene una serie de pasos que involucran cálculos específicos para el sector y un nivel de detalle que puede resultar difícil de abstraer para sectores industriales diferentes (ej: sector minero, sector forestal, etc.). No obstante, el esfuerzo realizado permite deducir una metodología general que puede seguirse para distintos procesos industriales, y es lo que en esta sección se busca explicar.

La primera recomendación para abordar la caracterización de un sector industrial genérico es considerar como preguntas orientadoras: ¿Cuál es el escenario actual de la industria estudiada, en términos de mitigación y adaptación al cambio climático? ¿Qué escenario considerar para la comparación de efectos producidos tras la implementación de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático? La Figura 3.17 presenta la serie de pasos sugeridos para responder a estas interrogantes, cuyo detalle se encuentra a continuación:

1. **Describir a rasgos generales el sector productivo.** En esta etapa se recomienda evaluar la pertinencia de dividir el sector en subsectores para facilitar el análisis. Se recomienda describir someramente los procesos productivos del sector e identificar similitudes y diferencias que permitan agruparlos en subsectores.

Una vez evaluada la pertinencia de división en subsectores, se sugiere estudiar de manera preliminar las operaciones unitarias involucradas en todo el ciclo de vida de las clases representativas seleccionadas, a fin de contar con un panorama general de las responsabilidades ambientales asociadas a la producción de un bien particular. En esta etapa es preciso detallar las tecnologías utilizadas a lo largo del proceso y, posteriormente, generalizar de la manera más responsable el proceso productivo a estudiar.

2. **Definir las categorías de impacto ambiental e indicadores de cuantificación.** Como el objetivo principal del plan sectorial es la mitigación y adaptación al Cambio Climático, es preciso que las categorías de impacto propuestas se relacionen directamente con variables que permitan evaluar el potencial de mitigación y de adaptación del sector (o subsector, según corresponda). Una vez definida la categoría de impacto ambiental, es preciso definir cómo se cuantificará, definiendo el indicador respectivo.

Se sugiere considerar dos tipos de indicadores:

- Indicador sectorial anual: que permita comparar los impactos del sector industrial en distintos territorios del país (en este caso, entre macrozonas). Se sugiere la elaboración de este indicador a fin de pensar en medidas que aborden la planificación a nivel territorial del sector industrial, además de aspectos técnicos del mismo.
- Indicador de impacto normalizado: que permita comparar los impactos sobre una base de cálculo o, en otras palabras, un flujo de referencia. Se sugiere escoger un normalizador que represente de la mejor forma posible la retribución del sector a la sociedad, a fin de pensar en mejoras que consideren el impacto ambiental y el rol de la industria para la ciudadanía. Para el caso de la producción de materias primas puede resultar directo pensar en una unidad de masa producida, sin embargo, en sectores prestadores de servicios o cuyos productos se remiten a tratamientos posteriores a la extracción, puede existir otro normalizador más atingente.

Para el caso de la mitigación resulta directo considerar como categoría de impacto la intensidad de emisiones de GEI y como indicador las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (masa en CO₂eq). El caso de la adaptación resulta más complejo, ya que involucra un espectro más amplio de variables que expresen qué tan adaptado al Cambio Climático está un sector industrial. A modo de orientación para identificar estas variables, se recomienda considerar preguntas del estilo [108]:

- ¿Qué efectos potenciales podría sufrir el sector industrial frente al Cambio Climático?
- ¿Afectará solo la productividad del sector o existen otros parámetros que pueden ser afectados (ej: acceso al bien producido)?
- ¿Qué variables hacen vulnerable al sector? (ej: disponibilidad hídrica)
- ¿Qué variables se asocian a la resiliencia del sector frente al Cambio Climático? (ej: consumo específico de agua)
- ¿Cuán expuesto está el sector al cambio en dichas variables?
- ¿Cuán sensible es el sector frente al cambio en estas variables?

Luego de responder estas preguntas, se sugiere buscar o, en su defecto, elaborar indicadores que permitan cuantificar la vulnerabilidad, capacidad adaptativa y/o la resiliencia del sector frente a las variables identificadas, a fin de establecer la(s) categoría(s) de impacto más pertinente(s) según el sector analizado.

3. **Definir el alcance del estudio.** En este punto debe considerarse tanto el límite de batería del proceso como los alcances en la cuantificación de las categorías de impacto (ej: emisiones directas, indirectas, etc.). Como principal recomendación se tiene el considerar un balance entre la profundidad del estudio y el tiempo y capacidades existentes para abordarlo. En este sentido, al momento de priorizar alcances y/o acotar el límite de batería del proceso, puede ser útil investigar antecedentes que apunten a identificar aquellas etapas más críticas en términos del impacto ambiental asociado a las categorías de impacto o indicadores definidos en el punto 2.
4. **Cuantificar los indicadores asociados a las categorías de impacto.** En esta etapa se cuantifica el impacto ambiental del sector según las categorías de impacto definidas previamente. La estimación estará limitada a las fuentes de contribución definidas según el alcance del estudio. Al hablar de fuente de contribución, se está haciendo referencia a aquellas fuentes que permiten la cuantificación de la categoría de impacto definida para la mitigación y adaptación del sector al Cambio Climático, específicamente, aquellos elementos que contribuyen a las variaciones en el potencial de mitigación y de adaptación a lo largo de la línea productiva.

4.1 Definir los factores de caracterización asociados a cada fuente de contribución. Para cada fuente de contribución, se considera la definición de un subindicador de impacto que permitirá componer el indicador final asociado a la categoría de impacto seleccionada. Este subindicador precisa definir un factor de caracterización y un cuantificador de la actividad asociada a la fuente de contribución.

$$ICI_f = FC \cdot CA \quad (3.9)$$

Donde:

- ICI_f : Subindicador de Categoría de Impacto asociado a la fuente de contribución “f”
- FC : Factor de Caracterización
- CA : Cuantificador de Actividad²¹

La ecuación presentada corresponde a una generalización de las ecuaciones planteadas en el caso de estudio, que son detalladas y adaptadas según las distintas fuentes de contribución. A modo de ejemplo y para comprender el uso de los factores de caracterización se tiene que, para el caso de la mitigación del Cambio Climático, el factor de caracterización corresponde al factor de emisión de gases de efecto invernadero, mientras que el cuantificador de actividad dependerá de la fuente de contribución (ej: distancia recorrida, energía consumida, consumo hídrico, masa de fertilizantes utilizada, etc.)

4.2 Estimar cuantitativamente los factores de caracterización asociados a cada fuente de contribución, para cada clase representativa. Ya sea mediante la búsqueda bibliográfica o la estimación propia. Se recomienda utilizar factores que representen de la mejor manera posible la realidad territorial donde se realiza el estudio, a fin de considerar el contexto y precisar el análisis.

4.3 Cuantificar los indicadores asociados a las categorías de impacto definidas para cada clase representativa en cada macrozona. Mediante la composición de subindicadores, cuantificar la categoría de impacto seleccionada. En el caso de estudio, para la mitigación del cambio climático, los subindicadores corresponden a las emisiones de GEI atribuidas a las distintas etapas y fuentes de emisión del proceso, las que al sumarse permiten obtener las emisiones sectoriales (a nivel territorial y por unidad de masa producida).

4.4 Generalizar a nivel nacional. Considerando los cuantificadores de actividad para las respectivas clases representativas y macrozonas.

Con el fin de ejemplificar el uso de esta metodología en el caso de estudio, a continuación se muestra un resumen de los pasos seguidos para la caracterización del sector y el establecimiento del escenario actual para el planteamiento de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático:

Tabla 3.18: Síntesis de la aplicación de la metodología de caracterización al caso de estudio. Elaboración propia.

Paso de la metodología	Resultado tras la ejecución	Ejemplo aplicado al caso de estudio: subsector frutícola
1. Descripción del proceso productivo	Operaciones Unitarias del proceso productivo generalizado	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de insumos • Producción en el campo (establecimiento + plena producción) • Postcosecha • Distribución • Consumo • Disposición

²¹ El término “Cuantificador de Actividad” se define de esta forma a fin de establecer un término intuitivo para quien realice los cálculos, sin embargo, en este trabajo el término es utilizado de manera indistinta con la expresión “Datos de la Actividad”, considerando que esta última corresponde a la nomenclatura del IPCC.

2. Definición de categorías de impacto e indicadores de cuantificación	Indicadores de impacto orientados a mitigación y adaptación al Cambio Climático <ul style="list-style-type: none"> • Sectorial Anual • Normalizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de GEI anuales y consumo hídrico por macrozonas [kgCO₂eq/año] [m³/año] • Emisiones de GEI específicas y consumo hídrico específico [kgCO₂eq/kg fruta consumible] [L/kg fruta consumible]
3. Definición de Alcances	Diagrama de bloques, flujos materiales y energéticos a considerar en el estudio (límite de batería).	<ul style="list-style-type: none"> • Producción en el campo (plena producción) <ul style="list-style-type: none"> ○ Fertilizantes (emisiones directas e indirectas) ○ Energía (combustibles + electricidad) ○ Residuos (poda y hojarasca, según disposición) ○ Agua para riego • Postcosecha <ul style="list-style-type: none"> ○ Energía (combustibles + electricidad) ○ Agua para lavado de fruta y equipos • Distribución <ul style="list-style-type: none"> ○ Energía (combustibles + electricidad) <p>*Para más detalle, ver Tabla 3.6 y Figura 3.1</p>
4. Cuantificación		
4.1 Definición de Factores de Caracterización	Expresión para los Factores de Caracterización, con unidades de medida	<p>Observación: a continuación, se presentan los Factores de Caracterización utilizados por categoría, sin embargo, estos fueron posteriormente transformados de forma que todos los factores se expresaran en unidades de [kg GEI/kg fruta consumible]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de fertilizantes <ul style="list-style-type: none"> ○ Emisiones por masa de nitrógeno incorporada al suelo [kg GEI/kg N] • Residuos <ul style="list-style-type: none"> ○ Emisiones de GEI por masa seca de residuo combustionado [kg GEI/kg biomasa seca] ○ Emisiones de GEI por masa de nitrógeno incorporada al suelo [kg GEI/kg N] • Energía <ul style="list-style-type: none"> ○ Emisiones por consumo de combustibles para la generación de energía [kg GEI/TJ] ○ Emisiones asociadas a la matriz eléctrica [kg GEI/MWh] • Agua <ul style="list-style-type: none"> ○ Consumo hídrico por kilogramo de fruta consumible [L/kg fruta consumible]
4.2 Estimación de Factores de Caracterización	Valores numéricos para los Factores de Caracterización	Ver estimaciones en Anexos (Anexo D y Anexo E).
4.3 Cuantificación de indicadores	Valores numéricos para los indicadores establecidos en el punto 2.	Ver estimaciones en Anexos (Anexo D y Anexo E).
4.4 Generalizar a nivel territorial	Valores numéricos para los indicadores seleccionados, clasificados por territorio.	Ver estimaciones en Anexos (Anexo D y Anexo E).

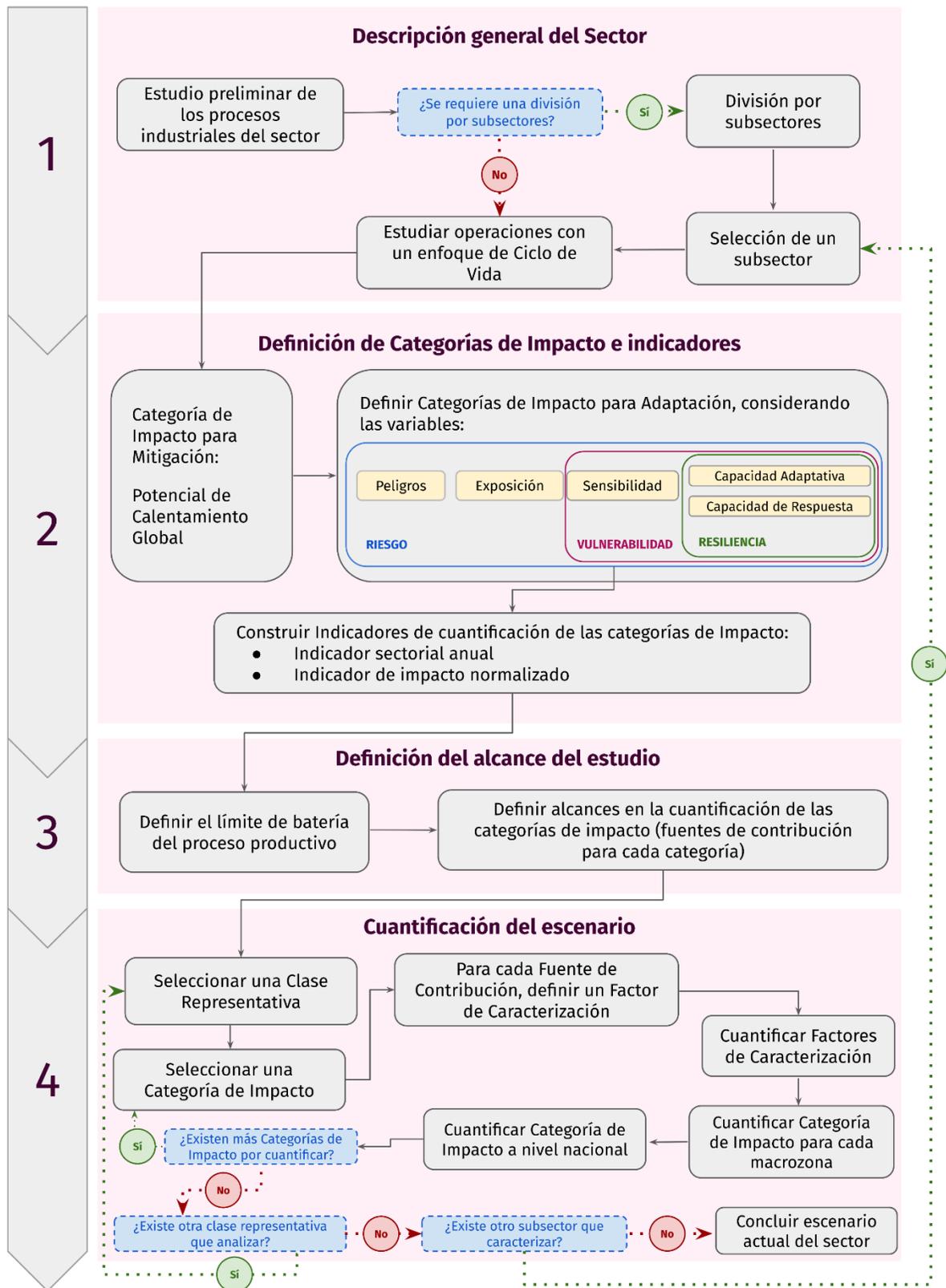


Figura 3.17: Metodología general para la caracterización de procesos productivos. Elaboración propia.

3.7 Reflexiones Finales

Esta sección establece algunas reflexiones y recomendaciones a nivel general a tener en cuenta al momento de elaborar un plan sectorial en materia de Cambio Climático, referidas principalmente al diagnóstico o caracterización del sector industrial estudiado.

La importancia de caracterizar correcta y responsablemente el escenario actual de un sector productivo recae en contar con una base de comparación y evaluación de impactos tras la implementación de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Se trata de un paso fundamental al momento de plantear una Hoja de Ruta que haga frente a la crisis climática, debido a que permite la toma de decisiones sostenidas por un diagnóstico claro. Este diagnóstico facilita la planificación a nivel sectorial y territorial, permitiendo la propuesta de medidas que cambien la forma de producir, además de otorgar nociones sobre cómo, dónde y cuándo implementar dichas medidas.

Sobre el uso de clases representativas y la división territorial

La metodología seguida para el establecimiento de la base comparativa contempla la generalización de un sector industrial a partir de la selección de clases (o productos) representativas(os) y un análisis territorial desagregado según macrozonas. Ambos aspectos resultan relevantes al momento de caracterizar el sector: el uso de clases representativas permite visualizar posibles cambios internos del sector, es decir, modificaciones técnicas relacionadas con la forma o nivel de producción de ciertos productos por sobre otros, la necesidad de reformar la tecnología utilizada o la logística de producción, entre otros aspectos; la división territorial, por su parte, permite un análisis asociado a la planificación del sector, respondiendo preguntas como dónde producir o si es igual el impacto ambiental si se produce en un territorio o en otro. Todo lo anterior entrega herramientas para tomar decisiones que consideren la relación del sector industrial con el territorio y medio ambiente en el que está inserto, lo que resulta relevante al enfrentar un problema complejo que involucra no solo el sector productivo desde una perspectiva técnica, sino que también su relación y efectos en el territorio en donde se emplaza.

Sobre la lógica de Análisis de Ciclo de Vida

La propuesta de caracterización y diagnóstico de los sectores industriales establecida en este trabajo busca ampliar la mirada hacia una visión más sistémica a través el enfoque de Ciclo de Vida. Quien lea podría preguntarse ¿cuál es el sentido de abordar el ciclo de vida de un producto para un plan que estará enfocado en un sector industrial particular? ¿Tiene sentido considerar la distribución de los bienes o la producción de materias primas utilizadas por el sector? Tras la aplicación de este ejercicio, se concluye que sí, debido a que el análisis desde la perspectiva de Ciclo de Vida permite integrar y coordinar la implementación de medidas intra e intersectoriales, como también interterritoriales (tanto a nivel nacional como internacional). Estos dos últimos aspectos son de especial relevancia para enfrentar los desafíos de coordinación interna que supone el Cambio Climático, dada su naturaleza global.

Adicionalmente cabe preguntarse ¿en qué medida es el sector industrial analizado responsable de la actividad de otros sectores como el transporte, producción de insumos químicos, etc.? y es precisamente esta pregunta la que permite visualizar de manera más clara la relación entre los distintos sectores industriales. Particularmente, considerando el caso de estudio del sector frutícola ¿es responsable este sector del movimiento de barcos y/o camiones? ¿es responsable de la producción de fertilizantes, combustibles fósiles, pesticidas, etc.? ¿puede el sector frutícola tomar decisiones relacionadas con quiénes lo abastecen o por qué vías distribuye su producción? Un enfoque de Ciclo de Vida permite ampliar el campo de decisiones a partir de una mirada sistémica del problema, lo que si bien puede resultar complejo, también es más responsable.

Independiente de lo mencionado, se debe destacar el efecto de buscar al sector responsable del impacto ambiental en la comprensión y abordaje del problema general. La búsqueda del sector y/u organismo responsable es una tarea que agrega dificultad a la problemática principal y que, probablemente, aporta menos que tomar acciones concretas. Si bien se reconoce la necesidad de un trabajo equitativo y acorde a las capacidades de cada sector industrial, trabajar bajo la lógica de que todos los sectores tienen responsabilidad en el problema y avanzar en consecuencia promueve la coordinación y acción conjunta entre distintos organismos, industrias, etc., aumentando la sintonía entre el objetivo de la Hoja de Ruta y las acciones a realizar en consecuencia.

Si bien en este estudio se consideró un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida, no se siguieron los formalismos involucrados y regulados por la norma ISO 14040, debido a la necesidad de simplificar un análisis de esta envergadura dado los límites del trabajo. De igual forma, la metodología seguida permite responder a las interrogantes planteadas. La pertinencia del uso de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida de forma estricta dependerá, entonces, del objetivo del trabajo, específicamente al momento de definir cuál es la unidad funcional que se someterá al análisis, ya que este paso es el que define qué elementos deben cuantificarse y cuál es el alcance pertinente. La definición de la Unidad Funcional se relaciona con la función que presta el objeto que es sometido al Análisis de Ciclo de Vida y, en consecuencia, define un flujo de referencia que permite el cumplimiento de dicha función y que puede variar según la comparación que se haga.

A modo de ejemplo, si el caso de estudio hubiera considerado como categoría de impacto el aporte a la soberanía alimentaria desde una perspectiva nutricional, una unidad funcional posible podría haber sido un gramo absorbido (por una persona) de vitamina C. Lo anterior puede provocar que para el análisis de la clase representativa “mandarina” se requiriera un flujo de referencia diferente al de la clase representativa “manzana”, considerando el aporte vitamínico de cada especie. En el caso de estudio de este trabajo se consideró indistintamente el concepto de “Unidad Funcional” y “Flujo de Referencia”, pues se asumió como función del sector industrial “la producción de una masa definida de fruta” y fue sobre esta misma base que se realizaron las estimaciones de impacto ambiental²². Si bien no es necesario que quien lea y aplique la metodología sugerida en este capítulo conozca a cabalidad los formalismos del Análisis de Ciclo de Vida, se hace esta mención de modo que se tenga en cuenta que se trata de una herramienta que podría ser útil al momento de planificar y adoptar medidas dentro de un sector industrial.

Sobre las variables a considerar en la caracterización del sector

En el presente caso de estudio, la caracterización del sector se centró en variables asociadas de manera directa a la mitigación y adaptación al Cambio Climático (emisiones de GEI y consumo hídrico, respectivamente). Esto, sin embargo, no cierra la puerta a otras variables de estudio.

Considerando que parte de los objetivos de este trabajo es recoger un análisis multicriterio de las vías de acción para enfrentar el Cambio Climático, considerar variables diagnósticas que permitan posteriormente evaluar acciones bajo ópticas distintas a la ambiental puede resultar útil, especialmente cuando la propuesta de medidas tiene repercusiones más allá de lo ambiental como, por ejemplo, sociales o culturales. Adicionalmente, diagnosticar el estado de las variables relacionadas con la implementación de las medidas como, por ejemplo, el factor humano (personas afectadas, personas relacionadas laboralmente con el sector, capacidades disponibles, etc.), puede colaborar con la evaluación de la factibilidad de implementar una medida u otra. Considerar las capacidades humanas disponibles, personas involucradas, entre otras variables posibles, en el

²² Note que el análisis realizado contempla como flujo de referencia un kilogramo de fruta y no contempla un análisis de *la función* que este kilogramo de fruta podría prestar, por ejemplo, a la ciudadanía. La consideración de esta función podría cambiar todos los flujos cuantificados y la manera de cuantificarlos, y es esta la principal etapa que fue obviada durante este trabajo.

escenario basal permitirá, posteriormente, una evaluación social y/o de factibilidad frente a la implementación de una u otra medida.

Si bien en el Capítulo 6 se profundizará sobre esta idea, esta reflexión busca evidenciar que, si bien en primera instancia las variables y categorías a diagnosticar se relacionan directamente con aspectos ambientales, la evaluación bajo múltiples criterios exige una base comparativa que considere variables que permitan distinguir los cambios entre el escenario basal y aquel donde se implementa una medida particular. En este sentido, el diagnóstico del sector analizado puede requerir de la incorporación de nuevas variables de estudio (o categorías de impacto) conforme avanza el desarrollo de esta metodología.

Debilidades, dificultades y recomendaciones para abordarlas

Con respecto a las dificultades enfrentadas en el caso de estudio, y a fin de incluir recomendaciones que permitan facilitar el trabajo, se destacan los siguientes puntos:

- **Acceso a la información:** la barrera asociada tanto a la disponibilidad de datos como a la facilidad de acceso a los mismos resultó ser una de las dificultades más evidentes durante el trabajo. En primer lugar, las plataformas estatales suelen presentar información dispersa y, en algunos casos, sin coherencia frente a una misma problemática, lo que dificulta la elección de la fuente a considerar. Sumado a lo anterior, los mecanismos de acceso vía consulta por la plataforma de transparencia no siempre permiten la entrega oportuna de información, lo que ralentiza los estudios y la acción frente a distintas problemáticas. Resulta primordial mejorar las vías de acceso y la disponibilidad de información pública.
- **Definición del límite y alcance del estudio:** que dependerá de los recursos disponibles para llevar a cabo el trabajo. Se sugiere iniciar el estudio considerando los impactos más directos de la actividad industrial y ampliar desde este punto el análisis según las herramientas disponibles. A su vez, la precisión territorial también puede simplificarse y seguir siendo representativa. Por ejemplo, en el caso de estudio se analizaron zonas homogéneas para aproximar la realidad regional respectiva, sin embargo, las variaciones entre los datos de zonas homogéneas de una misma región no influyen sustancialmente al momento de analizar el resultado final²³. De esta forma, escoger una zona homogénea representativa de la región podría ser una alternativa para ahorrar trabajo sin necesidad de condicionar sustancialmente los resultados.
Existe un punto a destacar en la consideración de las etapas de distribución en los análisis de impactos ambientales a nivel nacional, específicamente, en las rutas de exportación por aguas internacionales. Pese a que no se trate de un territorio sobre el que se tenga soberanía, se considera pertinente incluir esta etapa en los diagnósticos, específicamente porque el Cambio Climático no distingue entre territorios y/o soberanías. Al no prestar atención a lo que ocurre en territorios que no pertenecen a ningún gobierno en particular, se pierden de vista efectos que impactan de igual forma a los ecosistemas y que contribuyen a la problemática medioambiental global. Considerar estos efectos permite evaluar medidas conjuntas a nivel internacional que podrían disminuir impactos ambientales no menores involucrados en el ciclo productivo²⁴.
- **Análisis del contexto territorial:** para facilitar el análisis y la planificación territorial es necesario representar de la manera más responsable posible la actividad industrial inserta en el contexto y medio

²³ Esta aseveración fue verificada a partir de la sensibilización de los cálculos de emisiones y consumo hídrico en las macrozonas frente a la variación de las zonas homogéneas consideradas dentro de una región.

²⁴ Note que, para el caso de estudio, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociados a la exportación de fruta son comparables o incluso mayores a las emisiones derivadas de la producción en el campo (ver sección 0).

ambiente en que se encuentra. En este sentido, el análisis por macrozonas en Chile involucra la agrupación regional y la ponderación según el nivel de producción de cada región perteneciente a la macrozona respectiva. Esto conlleva a que el diagnóstico está mayoritariamente representado por aquellas regiones donde hay una mayor actividad del sector, lo que podría traer dificultades al momento de pensar en políticas regionales o tomar acción en territorios más acotados. Al trabajar con Factores de Caracterización ponderados para cada macrozona, resulta cada vez más difícil utilizar estos valores en contextos o territorios diferentes, pues el nivel de detalle alcanzado puede distorsionar los resultados tras su uso en otras localidades específicas. Así, se trata de una metodología de análisis territorial particular, razón por la que se debe cuidar el alcance de la aplicación y su posterior generalización, según el objetivo de planificación.

- Información relativa a la Adaptación al Cambio Climático: lo que está alineado con el primer punto de esta lista. La disponibilidad de información asociada a la mitigación permite contar con estimaciones más representativas que en el caso de la adaptación. En este sentido, se requiere del desarrollo de indicadores e/o índices relativos a los riesgos que enfrenta el sector industrial, su nivel de exposición y la sensibilidad frente a estas amenazas. Lo anterior permitiría un análisis más acabado que considere la variedad de aspectos que podrían afectar al sector industrial frente a distintos escenarios climáticos, facilitando así la toma de decisiones y evaluación de medidas de adaptación.

Recomendaciones generales

De manera general para quien aplique esta metodología, es preciso mencionar que el caso de estudio abordado tiene diversos aspectos que podrían mejorar en función de los recursos disponibles. En primer lugar, la consideración de más categorías de impacto ambiental permitiría ampliar el análisis antes de tomar decisiones, específicamente, en materia de adaptación. Si bien el consumo hídrico es una variable relevante al momento de considerar la capacidad de adaptación del sector agrícola (y de cualquier otro sector), existen muchas otras categorías de impacto relevantes por considerar, entre las que pueden mencionarse: daño sobre bienes abióticos y bióticos de los ecosistemas, potencial de acidificación de los océanos, del daño a la capa de ozono, degradación de suelos, etc.

En segundo lugar, y como se mencionó en capítulos precedentes, un diagnóstico más preciso permite una mejor asignación de los recursos económicos y técnicos frente a un problema. En esta línea, contar con Factores de Caracterización territorio-específicos resulta útil para mejorar el análisis y disminuir la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos. En línea con el correcto uso de las capacidades disponibles, es necesario contar con la articulación y coordinación de las distintas instituciones públicas a fin de facilitar el flujo de información y la toma de decisiones. El trabajo conjunto y colaborativo tiene especial relevancia al momento de enfrentar problemas globales desde un enfoque sistémico.

Considerando que el análisis realizado siempre estará limitado por los recursos disponibles, la simplificación responsable de los estudios y la conciencia de los impactos de estas simplificaciones son fundamentales al momento de definir el límite del estudio. Particularmente para el caso de estudio, la representación de las macrozonas a partir de una región representativa habría provocado un aumento en la incertidumbre de los resultados, pero posiblemente seguiría siendo una primera aproximación razonable para la toma de decisiones. Un ejemplo más concreto sobre el *trade-off* entre el esfuerzo y el resultado obtenido se visualiza en el análisis realizado para la etapa de *packaging*, donde el análisis regional del consumo energético fue desagregado a un nivel de detalle poco significativo al momento de comparar su impacto entre macrozonas.

Hasta el momento se ha logrado establecer una metodología de representación y diagnóstico del sector industrial en el contexto del Cambio Climático. El capítulo siguiente se centra en las directrices para proponer medidas de mitigación y adaptación, dirigiéndose hacia la posterior evaluación y calendarización de medidas.

Capítulo 4. Propuesta de medidas de Mitigación y Adaptación

Una vez que se cuenta con un diagnóstico del sector industrial, lo siguiente a plantear en la construcción de una Hoja de Ruta es una propuesta de medidas. Quien lea podría preguntarse ¿qué aspectos considerar para proponer medidas? ¿Quién debería hacer estas propuestas? ¿Cómo establecer un portafolio de medidas que sea pertinente y apunte a resolver un problema determinado? ¿Cuántas medidas deben proponerse para construir una buena Hoja de Ruta?

El propósito de este capítulo es establecer directrices generales para elaborar un portafolio de medidas. Esta tarea representa una oportunidad para aumentar las instancias de participación colectiva en proyectos relacionados con la mitigación y adaptación al Cambio Climático. La inclusión de diferentes grupos de interés en la toma de decisiones permite la obtención de un portafolio más completo que incluya las distintas miradas y los diversos intereses de la ciudadanía. Adicionalmente, la generación de instancias de participación contribuye a la transparencia del proceso de elaboración de Hojas de Ruta, lo que resulta útil al momento de contar con la colaboración de los grupos de interés en la implementación del plan.

Quien lea encontrará a continuación la metodología seguida para obtener un portafolio de medidas y su aplicación al sector agrícola. Al igual que en los capítulos anteriores, el caso de estudio se acota al subsector frutícola, pues el procedimiento es análogo para el resto de los subsectores (cerehalero, forrajero, hortícola, etc.). Las etapas seguidas se resumen en: i) Identificación de grupos de interés o *stakeholders*; ii) Diseño de un proceso de consulta; iii) Ejecución del proceso de consulta; iv) Procesamiento de resultados y; v) Investigación bibliográfica complementaria.

4.1 Identificación de grupos de interés

Los grupos de interés o *stakeholders* se definen como “*personas o grupos de personas que afectan o pueden verse afectados por la actividad y búsqueda de objetivos de una empresa u organización*” [109,110]. Si bien el análisis de grupos de interés puede desarrollarse en mayor o menor profundidad según sea el objetivo de la organización, este trabajo se remitirá a la identificación de *stakeholders* para acotar el público objetivo del proceso de consulta, sin analizar en profundidad su clasificación e importancia para la elaboración de la Hoja de Ruta y/o las maneras en que las organizaciones a cargo deben relacionarse con cada uno de ellos.

En línea con la definición expuesta, la identificación de grupos de interés se realiza a partir de un mapeo general de actores que puedan relacionarse de alguna forma con la actividad frutícola y la implementación de una Hoja de Ruta sectorial en materia de mitigación y adaptación al Cambio Climático en el subsector. Así, el análisis no se remite a los objetivos y actividades de una única empresa u organización, sino que se extiende a la industria frutícola en general. La distinción de grupos de interés se realiza respondiendo a las preguntas:

- ¿Quién(es) podría(n) estar interesado/a(s) en la implementación de medidas de mitigación y adaptación en el sector frutícola?
- ¿Quién(es) podría(n) influir (positiva o negativamente) en la implementación de estas medidas?
- ¿Quién(es) podría(n) verse afectados(as) tras la implementación de las medidas?
- Considerando el límite de batería definido en la caracterización del proceso ¿Quiénes pueden aportar a la propuesta de medidas que contribuyan a la adaptación y mitigación del Cambio Climático en el sector?

Para el caso de estudio, considerando que el objetivo del sector agrícola (y por ende, sus subsectores) se enmarca en satisfacer la necesidad de alimentación de la ciudadanía, y que, particularmente, el MINAGRI tiene como misión “*avanzar hacia un sector agroalimentario y forestal competitivo, sustentable, innovador y*

moderno, comprometido socialmente con el desarrollo regional y rural”, se establecen los siguientes grupos de interés:



Figura 4.1: Grupos de interés identificados en el caso de estudio (sector frutícola). Elaboración propia.

Si bien es posible identificar más grupos de interés conforme se responden las preguntas expresadas anteriormente, el proceso de consulta tiene como principal objetivo la identificación de medidas que apunten a la mitigación y adaptación al Cambio Climático a lo largo del proceso productivo, razón por la que quienes propongan soluciones deben tener cierto grado de conocimiento que les permita apuntar a medidas que cumplan con el objetivo propuesto y se enmarquen en los límites definidos en la caracterización del proceso (ver Capítulo 3, sección 3.2.2.1.2). No obstante, quien realice este estudio tiene completa libertad para ampliar el universo consultado, a fin de reunir más visiones y enriquecer el origen de las propuestas.

4.2 Proceso de consulta y recopilación de propuestas

4.2.1 Diseño del proceso de consulta

El diseño del proceso de consulta es un factor de suma importancia al momento de incorporar las visiones de los diferentes grupos de interés. La elección de la metodología de consulta y la planificación de las actividades y plazos a realizar debe adecuarse a los objetivos de la consulta, como también al público al que se dirija.

Como primera aproximación de diseño del proceso se recurre a la búsqueda de mecanismos de participación ciudadana. Entre los mecanismos reportados por la División de Organizaciones Sociales del Ministerio Secretaría General de Gobierno se encuentran dos principales modalidades, a saber [111]:

- Modalidad Presencial: específicamente, a través de Diálogos Participativos (DP).
- Modalidad Virtual.

Modalidad Presencial: Diálogo Participativo

Consiste en la generación de espacios de discusión dirigidos a un amplio grupo de personas para dialogar respecto a un tema y posteriormente debatir, tomar y priorizar acuerdos en torno a una problemática específica. El diseño y ejecución de estas instancias contemplan tres etapas:

1. **Diseño y Planificación:** donde se definen los objetivos, contenidos y metodologías que se abordarán en las instancias de diálogo. También se define el equipo que conducirá las instancias y sus

responsabilidades (facilitadores de discusión, secretaría técnica, etc.), además de programar la convocatoria, localidad, tiempos y otros requerimientos para llevar a cabo la actividad.

En esta etapa debe elaborarse una Minuta de Posición, documento que contiene los fundamentos y antecedentes técnicos de la temática sometida a consulta, además de los resultados esperados y principales acciones asociadas al diseño de políticas, planes, programas o cualquiera sea el elemento sometido a consulta.

2. **Desarrollo del Diálogo Participativo:** cada instancia de diálogo contempla, a grandes rasgos, la siguiente estructura.
 - a. Presentación introductoria: donde se presentan los objetivos de la actividad, la metodología a utilizar y los espacios y formas de participar.
 - b. Desarrollo Temático: que comienza con una breve exposición de la Minuta de Posición, donde se deben enfatizar los puntos que serán discutidos en la instancia. Esta etapa busca entregar las herramientas necesarias para que quienes asisten al taller, independiente de si leyeron o no previamente la Minuta de Posición, puedan participar del diálogo de manera informada, por lo que es fundamental explicar con la mayor claridad posible de modo de asegurar la comprensión de la información.
Posterior a la exposición de la Minuta de Posición, se procede al trabajo en talleres, los que deben estar a cargo de un(a) facilitador(a) y un secretario(a) técnico(a), cuyo rol corresponde a promover la discusión y el establecimiento de acuerdos entre los participantes. En esta instancia pueden aplicarse distintas metodologías participativas que faciliten el trabajo grupal.
 - c. Plenario: donde se sintetizan las ideas discutidas y los acuerdos grupales para dar a conocer las principales conclusiones de cada grupo a todos los asistentes.
 - d. Sistematización de la información: corresponde al procesamiento de la información recopilada en las instancias de diálogo participativo.
3. **Seguimiento de Resultados y Respuestas:** que consiste en la publicación de los resultados del proceso de consulta pública, donde las autoridades competentes entregan respuestas y compromisos referidos a las inquietudes planteadas por la ciudadanía.

Modalidad Virtual

Esta modalidad utiliza como principales herramientas las plataformas digitales para el proceso de consulta. El proceso de diseño y ejecución bajo esta metodología se basa en la siguiente estructura:

1. **Diseño y Planificación**
 - a. Construcción del Contenido de la Consulta: que contempla la elaboración de una Minuta de Posición sobre el tema sometido a consulta, además de la determinación del procedimiento para la participación de la ciudadanía y las plataformas digitales a utilizar.
 - b. Difusión y Divulgación de la Consulta Ciudadana: cuidando que la información expuesta sea de fácil acceso y comprensión y definiendo una estrategia comunicacional que permita llegar a la mayor cantidad de público posible.
2. **Inicio y término del proceso de consulta:** correspondiente al período comprendido entre la apertura y cierre del proceso en la plataforma digital.
3. **Sistematización de resultados:** que contempla el procesamiento de la información obtenida tras el proceso de consulta.
4. **Seguimiento y Publicación de Informe y/o Respuestas:** al igual que en la modalidad presencial, consiste en la publicación de los resultados del proceso de consulta pública, donde las autoridades competentes entregan respuestas y compromisos referidos a las inquietudes planteadas por la ciudadanía.

Las metodologías expuestas anteriormente son solo algunas de las herramientas de consulta posibles. Se trata de una descripción general de las dos principales formas de realizar un proceso de consulta (de manera virtual o presencial), independiente de si se trata de una instancia de participación ciudadana o no. Respecto a la modalidad presencial, existen diversas metodologías que pueden ser evaluadas al momento de identificar cuál es la idónea para cumplir con el objetivo de la consulta, entre las que pueden mencionarse metodologías de participación que incorporen juegos, sociogramas, dinámicas de grupos focales (*focus groups*), entre otros [112,113].

4.2.1.1 Aplicación en el caso de estudio

Particularmente para el caso de estudio, se procede a utilizar la metodología de consulta virtual. Lo anterior, debido a que este trabajo se desarrolla en el contexto de pandemia COVID-19, lo que imposibilitó la realización de consultas de manera presencial. Respecto a las y los participantes del proceso de consulta, se tiene un total de 7 consultados pertenecientes a los diferentes grupos de interés identificados previamente cuya caracterización se muestra en la figura a continuación:

De las siguiente opciones ¿con qué sector se identifica?

7 respuestas

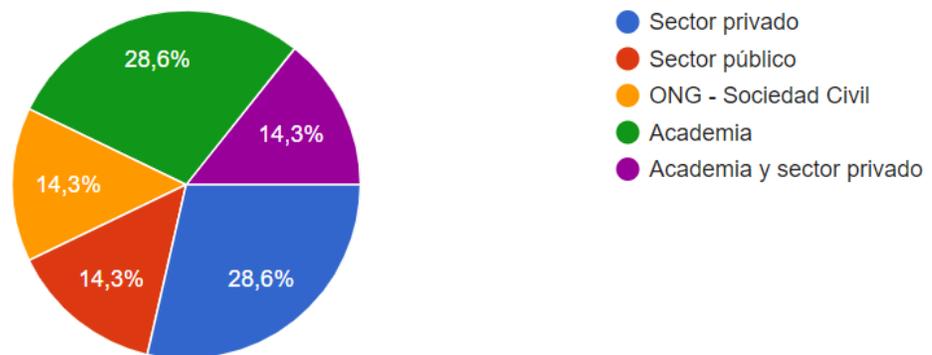


Figura 4.2: Caracterización de las personas consultadas en el caso de estudio.

Entre los participantes pertenecientes al sector privado se encuentran el gerente de una exportadora de frutas, un productor frutícola independiente y una ingeniera de una consultora ambiental, que también es docente en la Universidad de Chile, específicamente, en materia de sostenibilidad. Por otro lado, en el sector público se cuenta con la participación de un investigador del INIA. Respecto a los participantes pertenecientes a la academia, se cuenta con dos académicos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, cuyas áreas de especialización corresponden Sustentabilidad y Economía Circular y Biotecnología, respectivamente. Finalmente, se cuenta con la participación de una agricultora a pequeña escala bajo técnicas agroecológicas, que además participa como investigadora en una ONG dedicada a la defensoría ambiental.

La consulta se realiza a través de la plataforma “Google Forms” siguiendo la siguiente estructura general (ver Figura 4.3):



Figura 4.3: Estructura de la consulta sobre propuestas de medidas aplicada al caso de estudio. Elaboración propia.

Si bien el principal objetivo de la encuesta es recabar propuestas de medidas para la mitigación y adaptación al Cambio Climático, contar con la participación de distintos actores involucrados representa una oportunidad para obtener información que puede resultar provechosa para las etapas futuras de esta metodología. Por esta razón, la consulta incorpora preguntas acerca de la percepción de urgencia de acción tanto para los territorios como para las etapas del proceso productivo.

A continuación se detalla la estructura de la encuesta aplicada:

1. Consulta sobre medidas de Mitigación del Cambio Climático en el sector frutícola:
 - a. Definición del concepto de Mitigación del Cambio Climático
 - b. Entrega de información referida a las emisiones de GEI (totales y específicas) referidas a la producción de fruta. Los gráficos expuestos corresponden a las Figuras 3.13 y 3.16, disponibles en el Capítulo 3.
 - c. Preguntas referidas a:
 - Priorización entre macrozonas según urgencia de acción en materia de mitigación.
 - Priorización entre etapas del proceso productivo según la urgencia de acción en materia de mitigación.
 - Criterio de priorización utilizado por cada participante en las preguntas anteriores.
 - Propuesta de medidas de mitigación del Cambio Climático, tanto para la producción local como para la producción destinada a exportación.
 - Espacio para comentarios adicionales de quien participa.
2. Consulta sobre medidas de Adaptación al Cambio Climático en el sector frutícola:
 - a. Definición del concepto de Adaptación al Cambio Climático y de la categoría de impacto abordada en el estudio (uso de agua)
 - b. Entrega de información referida al consumo hídrico (total y específico) para la producción de fruta en el campo. Los gráficos expuestos corresponden a las Figuras 3.9 y 3.10, disponibles en el Capítulo 3.
 - c. Preguntas referidas a:
 - Propuesta de medidas de adaptación al Cambio Climático, tanto para la producción local como para la producción destinada a exportación.
 - Espacio para comentarios adicionales de quien participa.
3. Priorización entre acción en materia de mitigación o adaptación al Cambio Climático.

Es importante destacar que las preguntas asociadas a la priorización de territorios, etapas del proceso, etc. se realizan con el propósito de enriquecer el diagnóstico realizado en el capítulo anterior, además de contar con información potencialmente útil para las etapas posteriores de esta metodología. En este sentido, las respuestas a las preguntas planteadas corresponden a un levantamiento de ideas y de posibles medidas, pero no a la jerarquización de las mismas. La obtención de la jerarquía para implementar medidas será desarrollada en capítulos posteriores.

4.2.2 Investigación bibliográfica complementaria

Sumado a la consulta a grupos de interés, se realiza una investigación bibliográfica orientada a proponer medidas adicionales orientadas a la mitigación y adaptación al Cambio Climático. Esta búsqueda se orienta a modificaciones técnicas en el proceso productivo desde el cultivo de fruta hasta su distribución. Las propuestas recopiladas corresponden a modificaciones implementadas tanto a nivel internacional como también a nivel local, poniendo especial énfasis en la exploración de métodos de cultivo orientados a la integración de los sistemas agroalimentarios en el entorno.

En la sección siguiente, quien lea podrá encontrar los resultados de este barrido bibliográfico.

4.3 Resultados y Discusiones parciales

Tras la consulta a grupos de interés y la investigación bibliográfica se identifican diversas medidas que, en general, resultan complementarias para el ámbito de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Estas medidas consideran, en su mayoría, un cambio en la estructura global de la lógica y tecnologías productivas utilizadas, apuntando a un manejo integral de los predios bajo técnicas que permitan asemejar los espacios productivos a un ecosistema natural, evitando así la degradación intensiva provocada por las técnicas utilizadas actualmente. Adicionalmente, se proponen medidas que apuntan a cambiar la conducta de los mismos consumidores y a modificar el marco normativo referido al sector agrícola.

Entre las propuestas identificadas se encuentran medidas de recirculación de flujos materiales que habitualmente son considerados residuos (aguas grises, lodos provenientes de PTAS, estiércol del sector ganadero, residuos agrícolas, etc.) hacia las mismas tierras, actuando como fuente de nutrientes orgánicos para los cultivos, además de mejorar la permeabilidad del suelo y evitar el uso de fertilizantes sintéticos. En lo relativo al riego, se propone la tecnificación a nivel nacional del riego, además de técnicas de programación que permitan aumentar la eficiencia en el uso del agua. Con respecto al ámbito energético, se proponen sinergias con el sector pecuario para la producción de energía a partir de fuentes no convencionales (biogás), como también el abastecimiento a partir de fuentes renovables (como energía solar). Un mayor detalle de las propuestas puede verse en la Tabla 4.2.

En cuanto a las consultas referidas a la priorización de territorios, de etapas del proceso productivo y de acciones de mitigación o adaptación según la urgencia de acción en materia de Cambio Climático, se tiene:

Tabla 4.1: Priorización según categorías consultadas a las personas encuestadas. Elaboración propia.

Categoría	Priorización	Criterios de priorización reportados
Urgencia de acción en territorios (macrozonas)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Norte y Centro 2. Sur 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitud de las emisiones específicas de GEI • Emisiones totales de GEI en el territorio • Superficie de cultivo en los territorios • Escala de producción en los territorios

<p>Urgencia de acción en etapas del proceso productivo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Campo - Energía 2. Campo - Residuos 3. Campo - Fertilizantes 4. Distribución 5. Postcosecha 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento sobre otros impactos ambientales (eutrofización de cuerpos de agua, gestión de residuos, etc.) • Emisiones de GEI de la etapa • Etapas que pueden abordarse con mayor afinidad desde el campo • Experiencia
<p>Urgencia de acción en mitigación o adaptación frente al Cambio Climático</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adaptación 2. Mitigación 	<p>N/A</p>

La Tabla 4.1 permite extraer ideas sobre aquellas etapas que se perciben como críticas frente al planteamiento del diagnóstico del sector en términos de mitigación y adaptación. Esta información resultará especialmente útil al momento de seleccionar aquellas medidas que serán jerarquizadas mediante el análisis multicriterio. Quien lea podrá notar que, considerando la cantidad de medidas propuestas en la Tabla 4.2, resultará necesaria una selección preliminar antes de priorizar cuáles deben ser implementadas. Si bien en las secciones posteriores se explorarán algunas vías para esta selección, la información dispuesta en la Tabla 4.1 puede facilitar la toma de decisiones. De la misma manera, los criterios de priorización reportados para priorizar cuáles territorios y etapas del proceso productivo requieren mayor acción otorgan una visión inicial de la óptica de evaluación que consideran los distintos actores involucrados al momento de tomar decisiones.

Adicionalmente, lo expuesto en las tablas 4.1 y 4.2 permite ejemplificar la variedad de información que puede obtenerse a través de un diseño consciente del proceso de consulta. La importancia del diseño de las preguntas puede evidenciarse a través del siguiente ejemplo: si bien usted podría querer saber qué territorio es el que más le importa al participante al momento de pensar en medidas de mitigación y/o adaptación, consultar por la prioridad de acción entre las tres macrozonas permite obtener la respuesta, pero, además, proporciona información adicional respecto al resto de los territorios consultados. Lo mismo ocurre en el caso de la priorización de las etapas del proceso, donde se puede extraer no solo aquella etapa que se considera más relevante, sino que también cómo se priorizan el resto.

Tabla 4.2: Síntesis de las propuestas de mitigación y adaptación al Cambio Climático en el sector frutícola. Clasificación según fuente de origen. Elaboración propia.

Etapa del proceso	Categoría	Medida	Detalle	Fuente
Cultivo en el Campo	Fertilización	Eficiencia en la aplicación de fertilizantes	Debido a que la aplicación de fertilizantes requiere de un análisis de suelo, actualmente la dosificación no considera los requerimientos edafológicos, razón por la que se suele sobre dosificar con el fin de asegurar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Los nutrientes que quedan en el suelo siguen disponibles para los procesos de nitrificación y desnitrificación, emitiéndose N ₂ O como subproducto. Una dosificación más eficiente podría disminuir las emisiones de esta fuente.	CGI + IBC ([114])
		Uso de efluentes urbanos y/o provenientes de la ganadería	Se propone el manejo integral del estiércol en el sector ganadero para su incorporación como fuente de nitrógeno en cultivos agrícolas. En el caso de los efluentes urbanos, se plantea realizar un tratamiento de los residuos obtenidos en las PTAS con el fin de obtener fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo.	IBC ([114,115])
		Uso de fertilizantes de liberación lenta	Corresponden a fertilizantes recubiertos por un polímero semipermeable o con azufre. La tasa de liberación dependerá de la humedad y temperatura del suelo. Este método aumenta la eficiencia de aplicación de fertilizantes.	IBC ([87,116])
		Cultivos fijadores de Nitrógeno	Uso de cultivos diversos, incorporando plantas fijadoras de nitrógeno (como leguminosas trébol, etc.) entre los frutales. La fijación de nitrógeno por parte de otras plantas enriquece el suelo sin necesidad de incorporar fertilizantes sintéticos.	IBC ([114,115])
	Residuos	Generación de bioenergía	Considerando simbiosis con los residuos del sector pecuario, reemplazar la combustión de rastrojos por la generación de energía a partir de biomasa.	IBC ([87,114])
		Incorporación al suelo	Reemplazo de la combustión de rastrojos por su incorporación al suelo. La técnica consiste en la trituración de los residuos y su incorporación mediante el uso de rastra o dejando la materia orgánica como cubierta del suelo.	IBC ([117])
		<i>Mulching</i>	Consiste en incorporar una capa de materia orgánica o inorgánica en la superficie del suelo para aislarlo y mejorar la retención de humedad. También es una medida que contribuye a disminuir la erosión del suelo y a mejorar el control biológico de plagas.	IBC ([115])
		Compostaje	Corresponde a la descomposición controlada de materia orgánica, permitiendo obtener un fertilizante natural. Existen distintas técnicas para llevar a cabo este proceso, entre los que se encuentran el vermicompostaje, el compostaje domiciliario, compostaje industrial, etc.	CGI + IBC ([87,114,115])
		<i>Hugelkultur</i>	Técnica agrícola que busca reproducir el proceso de descomposición natural en los suelos forestales. Consiste en la elaboración de montículos de materia orgánica dispuestos sobre una cama de madera descompuesta enterrada en el suelo. Permite mejorar la irrigación del suelo y su fertilidad.	IBC ([115])
	Riego	Recolección de aguas lluvia para riego	Captación de aguas provenientes de los eventos de precipitación y su posterior uso para riego.	IBC ([115,118])
		Tratamiento de aguas grises para riego	Consiste en el tratamiento de aguas provenientes de uso doméstico (aseo personal, lavado de utensilios, etc.) y su reutilización para riego.	CGI + IBC ([119])
		Programación eficiente del riego	Contempla una planificación exhaustiva de la frecuencia y volumen de riego, a fin de disminuir las pérdidas por infiltración y/o escorrentía.	CGI + IBC ([87,120])
		Tecnificación del riego	Se propone la implementación de riego tecnificado de alta eficiencia (microaspersión, goteo) a nivel nacional, con el fin de utilizar menos agua para regar una misma superficie.	CGI

		Pavimentación de canales de conducción	Considerando que existen pérdidas por infiltración y evaporación en los procesos de conducción, se propone impermeabilizar los canales existentes para disminuir estas pérdidas.	CGI
	Energía	Eficiencia energética	Promover técnicas y tecnologías de eficiencia energética en la maquinaria agrícola (maquinaria con mejor rendimiento) y en el riego.	CGI
		Uso de ERNC	Se propone el uso de Energías Renovables No Convencionales, tanto para el riego de los cultivos (energía solar, eólica, etc.) como también para la maquinaria agrícola (biodiesel, hidrógeno verde, etc.)	CGI
	General	Reducción del tamaño de los predios	Reducción del área cultivada por cada agricultor, de manera de diversificar el área existente entre propietarios y especies cultivadas, promoviendo el aumento de la resiliencia del sistema.	CGI
		Rotación de Cultivos	Consiste en cultivar distintas especies por temporada en una misma sección de suelo. Permite mantener la fertilidad del suelo, disminuir el potencial de erosión y aportar en materia de control de plagas.	IBC ([114,115,121])
		Planificación de cultivos según geografía y proyecciones climáticas	Planificación de las temporadas agrícolas según las condiciones geográficas y climáticas. Considerar planes a nivel regional, por cuenca hidrográfica y a nivel predial, con el fin de reducir el cultivo de aquellas especies que pueden verse perjudicadas por las condiciones existentes (menores o mayores temperaturas, precipitaciones, etc.).	CGI
		Cultivo con enfoque genético	Adecuar el material genético de las especies según los territorios en que se cultivan. Lo anterior mediante programas de mejoramiento genético que involucren el cruce y selección de organismos.	CGI
		Técnicas agroecológicas, agroforestería	Considera la aplicación de principios ecológicos en la gestión de predios agrícolas y ganaderos de manera integrada. La agroecología contempla un cambio en el modo de producción actual, suponiendo el abandono de los monocultivos y su reemplazo por cultivos diversos, el uso de residuos para enriquecer los suelos, el reciclaje de aguas lluvia, el control biológico de plagas, entre otros. Evita el uso de elementos sintéticos en la producción. La agroforestería es un sistema que busca integrar bosques, cultivos agrícolas y ganado en un mismo predio, con el fin de mantener la fertilidad de las tierras y conservar la biodiversidad.	CGI + IBC ([114,115,122,123])
		Policultivos	Consiste en el cultivo de distintas especies en un mismo espacio, con el fin de aprovechar las propiedades que cada una le otorga al suelo para evitar las cargas que supone la plantación de monocultivos.	CGI + IBC ([115,122])
		Técnicas de cultivo cero labranza	Corresponde a la siembra sin intervención de maquinaria para la preparación del suelo. Sus beneficios radican en la reducción de pérdidas de agua por infiltración y en la disminución de la erosión del suelo.	CGI
Postcosecha	General	Vender a granel	Busca reducir el uso de plásticos en las etapas de envasado y, en consecuencia, la contaminación de cuerpos de agua y las emisiones asociadas a la fabricación de estos materiales.	CGI
		Reutilización del material de embalaje	A través de técnicas de reciclaje o de reutilización directa, con el fin de reducir los impactos asociados a la disposición de los residuos y a la producción de los envases.	CGI
		Reemplazo de los plásticos de un solo uso	Uso de envases degradables o reutilizables para disminuir los impactos asociados a la disposición de residuos.	CGI
Distribución	General	Reorganización de las rutas de transporte	A partir del análisis de las rutas de transporte identificadas en la sección D.3.1, se propone cambios en el establecimiento de destinos y rutas entre predios y puntos de consumo, con el fin de disminuir el consumo de combustible y, con ello, emisiones de GEI.	IBC (ver Tabla Anexo D.17)
		Transporte de carga basado en ERNC	Recambio del parque vehicular de carga hacia transportes basados en funcionamiento a partir de electricidad, biocombustibles, hidrógeno verde, etc.	CGI

		Reemplazo del transporte carretero por transporte ferroviario	A partir del análisis de los vehículos utilizados en el transporte de fruta al interior del país, se propone analizar el beneficio del uso de transporte ferroviario de carga, considerando que además de reducir los tiempos de viaje y facilitar la logística de transporte, reduce las emisiones específicas de Gases de Efecto Invernadero de los productos transportados.	IBC ([124])	
		Cambio en los destinos de exportación	Como medida de mitigación, se propone reducir las emisiones asociadas a la exportación, específicamente en la etapa de distribución. Lo anterior a partir de un plan progresivo de priorización de aquellos destinos ubicados en América Latina como clientes.	CGI	
		No exportar/importar algunos productos	Se sugiere instaurar una política de cierre de algunos productos, eliminando de manera progresiva la producción interna los productos agrícolas que producen mayor impacto ambiental, además de reducir la importación de productos que no se producen localmente y provienen de regiones muy lejanas, con el fin de respetar la ocupación histórica de personas en el campo.	CGI	
		Mejorar la logística de embarque	Se señala que existe una gran pérdida de energía asociada a la mantención de la cadena de frío en la etapa de distribución. Mejorar la logística de embarque podría reducir el consumo energético asociado al funcionamiento de contenedores refrigerados.	CGI	
Otros	Conducta de consumidores	Preferir productos con menor impacto ambiental	Implementar sistemas de sellos que reporten el impacto ambiental de los productos, como la huella hídrica, huella de carbono, etc.	CGI	
	Conducta de productores	Cambios en la formación agronómica	Con el fin de promover conductas de producción más sustentables, se sugiere actualizar la formación de las y los profesionales en agronomía, capacitándolos para proponer nuevas tecnologías y actualizar las ya existentes.	CGI	
	Normativa y Fiscalización	Fiscalización en riego, fertilización y generación de residuos	Cambios en las normativas asociadas a la gestión del agua, como también al manejo agrícola en general, instaurando políticas de fiscalización para evitar el daño ambiental.	CGI	
	Planificación territorial	Gestión de tierras a nivel de cuencas	Otorgar la responsabilidad de gestión de las tierras a los gobiernos locales y planificar a nivel de cuencas hidrográficas, con el fin de evaluar impactos integrados de manera sistémica en los territorios.	CGI	
	Investigación		Factores de Emisión	Mejorar los factores de emisión existentes, aterrizando la información a la realidad local. Esto podría contribuir a identificar acciones de mitigación más claras.	CGI
			Estudios de suelo	Contribuye a medidas planteadas anteriormente en materia de incorporación de residuos, planificación predial y gestión hídrica. Lo anterior permite implementar medidas tanto de adaptación como de mitigación.	CGI
			Indicadores de adaptación a nivel local	Generación de indicadores de adaptación que permitan evaluar de mejor manera los escenarios y la implementación de medidas, con el fin de proponer medidas pertinentes con mayor certeza.	CGI

*CGI: Consulta a Grupos de Interés; IBC: Investigación Bibliográfica Complementaria.

A partir del proceso de consulta, el procesamiento de resultados y la investigación bibliográfica complementaria para este caso de estudio particular, se identifican los siguientes puntos a discutir:

- **Sobre la representatividad del proceso:** Al tratarse de un caso de estudio y, considerando la situación sanitaria en que este se desarrolla, la cantidad de personas consultadas no permite afirmar que se tiene una representación clara de los grupos de interés identificados. No obstante, se considera que esto no es un impedimento para el desarrollo del trabajo, considerando que su objetivo es la elaboración de una metodología. Independiente del número de personas involucradas en el estudio, el producto de esta etapa es una cartera de medidas, lo que se obtuvo satisfactoriamente para este caso. De todas maneras, quien siga esta metodología debe tener en cuenta la necesidad de contar con un amplio espectro tanto de grupos de interés como de participantes, a fin de recoger la mayor diversidad posible de propuestas, como también de hacer partícipe de la toma de decisiones a quienes participan o se verán afectados por las medidas que se implementen.
- **Sobre la modalidad de consulta:** En línea con el punto anterior, la modalidad virtual de consulta puede ofrecer una alternativa para abordar la problemática que supone encuestar a un amplio público. El tiempo y los recursos necesarios para consultar a muchas personas puede ser una limitante al momento de definir una cota para la cantidad de encuestados. En este sentido, la modalidad virtual permite paralelizar el proceso en el tiempo, como también ampliar el público objetivo posible de abordar.

A pesar de las ventajas que esta herramienta supone, se deben tener en cuenta ciertos aspectos que podrían dificultar el proceso. En primer lugar, la participación mediante formularios restringe la posibilidad de establecer una discusión, lo que puede suponer una barrera al momento de obtener información por parte de la persona encuestada. En segundo lugar, es preciso adecuar el lenguaje con el fin de adaptar la consulta a los distintos niveles de conocimiento que puede presentar el público objetivo y, con esto, obtener respuestas sin un sesgo asociado a la comprensión de las preguntas. Finalmente, se debe notar que la modalidad virtual representa una barrera para algunos grupos sociales, específicamente, aquellos que no cuentan con recursos técnicos para acceder al proceso (internet, electricidad, etc.) o con el conocimiento necesario para el manejo de las plataformas virtuales. Es importante que los procesos de consulta consideren la realidad territorial del público objetivo al momento de ser diseñados. De esta manera, las herramientas utilizadas se vuelven acordes con el espíritu de la propuesta metodológica para la elaboración de Hojas de Ruta, que contempla como uno de sus principales ejes la participación de distintos actores involucrados.

- **Sobre el formulario aplicado y las respuestas obtenidas:** Respecto a la encuesta realizada, se identifica como una necesidad el trabajo conjunto interdisciplinario para el diseño de las preguntas y la forma de presentar la información con el objetivo de no condicionar las respuestas de quienes participan del proceso. Si bien en este caso se trata de una encuesta que busca recabar propuestas de medidas, la presentación de gráficos que exponen las emisiones de GEI o consumo hídrico, desagregados por categorías, resulta sugerente al momento de priorizar etapas del proceso o macrozonas, lo que podría no ser acertado considerando que se está presentando solo parte de la información referida a impactos ambientales y no el escenario completo respecto a, por ejemplo, problemáticas referidas a la adaptación al Cambio Climático. En este sentido, es importante evaluar el efecto que puede causar la forma de presentar la información referida a la caracterización del proceso y, en la misma línea, trabajar para establecer una línea base que represente de la manera más integral posible el escenario actual, tanto en materia de mitigación como de adaptación al Cambio Climático, con el fin de reunir

propuestas que apunten a solucionar los aspectos críticos pertinentes, los que deben ser justificados a partir de un buen diagnóstico.

- **Sobre la investigación bibliográfica complementaria:** las propuestas recabadas a partir de este procedimiento permiten ampliar el espectro de medidas posibles, sin embargo, es importante que se utilice como un complemento al conocimiento local o proveniente de las mismas experiencias de los actores involucrados. Basarse únicamente en la investigación bibliográfica o centrada en un grupo de interés particular dificulta obtener una visión colectiva del problema, lo que podría reducir el abanico de propuestas posibles. En este sentido, se sugiere desarrollar tanto el proceso de investigación como el participativo para contar con la mayor cantidad de medidas propuestas, y solo posteriormente, discernir cuáles serán pertinentes de evaluar y bajo qué criterios.

4.4 Generalización de la metodología de propuesta de medidas

Una vez llevado a cabo el proceso de consulta para el caso de estudio, es posible abstraer ciertos rasgos genéricos de esta etapa de la metodología. Al contar con el diagnóstico inicial con el que se trabajará, sea cual sea el sector industrial analizado, corresponde preguntarse: considerando el escenario actual ¿Qué puede hacerse para mitigar y adaptarse al Cambio Climático? ¿Dónde priorizar las acciones? A continuación se describe el procedimiento sugerido para abordar de la mejor manera posible el objetivo de recabar propuestas:

1. **Identificación de grupos de interés:** Se trata de un aspecto fundamental para recabar propuestas, pues son precisamente estos actores quienes tienen experiencia en el sector o se relacionan con él directamente. Es preciso mencionar que un grupo de interés no corresponde únicamente a quien se desarrolla profesionalmente en el área, o a quien establece una relación económica con el sector industrial. Las comunidades pertenecientes a los territorios productivos o que podrían verse afectados tras la implementación de medidas (directa o indirectamente), también son grupos de interés a considerar.

Para identificar los grupos de interés, se sugiere considerar las siguientes preguntas orientadoras:

- ¿Quién podría estar interesado en la mitigación y/o adaptación al Cambio Climático en el sector?
- ¿Quién podría verse afectado tras la implementación de medidas de mitigación o adaptación en el sector?
- ¿Quiénes tienen conocimiento en el área?
- ¿Qué necesidad(es) satisface el sector industrial? ¿A quién(es) pertenece(n) esa(s) necesidad(es)? ¿Quién(es) está(n) a cargo de satisfacerla(s)?

2. **Diseño del proceso de consulta:** En este paso, se debe elaborar el proceso que permitirá obtener información por parte de los grupos de interés, para lo que se sugiere lo siguiente.

- a. **Definición de la modalidad de consulta:** se sugiere, en la medida de lo posible, adoptar una modalidad híbrida (virtual y presencial), considerando la posibilidad de realizar instancias presenciales regionales o a nivel de macrozonas, además de adaptar las condiciones según los grupos de interés lo requieran y las capacidades de quien ejecute el proceso de consulta. Para esto, se recomienda considerar la realidad territorial, conocimientos y recursos disponibles por parte de los grupos de interés, como también las capacidades y herramientas de trabajo por parte del equipo organizador.
- b. **Definición de capacidades y recursos necesarios:** Para las etapas de diseño, ejecución y posterior evaluación del proceso, se recomienda la conformación de un equipo de trabajo interdisciplinario, con el fin de complementar desde las respectivas disciplinas el diseño de las

preguntas, procesamiento de la información, metodologías de participación, etc. El apoyo de profesionales en el área sociológica resulta especialmente importante al momento de seleccionar a los participantes y formular las preguntas, pues la metodología utilizada para desarrollar ambas tareas puede sesgar los resultados.

- c. Elaboración de la herramienta para ejecutar el proceso de consulta: En este paso se requiere definir la metodología a utilizar, considerando métodos participativos en el caso de que se opte por una modalidad presencial (actividades expresivas, descriptivas, analíticas, etc.). Adicionalmente, se crean las preguntas o problemáticas a abordar en cada instancia, además de la vía de exposición de la información previa existente, a fin de contextualizar a los participantes y equiparar el nivel de conocimiento respecto a la materia que se discutirá.
3. **Ejecución del proceso de consulta:** Corresponde a la implementación del proceso de consulta como tal, lo que considera la obtención de información mediante las instancias participativas presenciales y/o virtuales, además de las respuestas de formularios y/u otros elementos elaborados para el proceso de consulta. Adicionalmente, contempla el procesamiento de los resultados obtenidos.
4. **Investigación complementaria:** De manera paralela al proceso participativo, y dentro de las posibilidades existentes, se sugiere realizar una investigación paralela que considere la elaboración de propuestas a partir de experiencias internacionales, de bibliografía, de proyectos de innovación, entre otros.
5. **Sistematizar la información:** clasificando las propuestas generadas, con el fin de organizar la información y facilitar el trabajo en las etapas posteriores.

4.5 Reflexiones finales

En esta sección es posible encontrar directrices generales para definir propuestas de mitigación y adaptación al Cambio Climático en un sector industrial específico. Respecto a este procedimiento, es preciso destacar la importancia de contar con un buen diagnóstico de la actividad industrial analizada. Las variables, indicadores y datos considerados configuran el escenario base en torno al que se tomarán medidas. Si este escenario no representa a cabalidad la realidad territorial, se corre el riesgo de invertir recursos en la implementación de medidas que no necesariamente sean efectivas o cumplan con el objetivo inicial de la Hoja de Ruta.

Realizar un diagnóstico a nivel nacional a partir de productos representativos en distintas macrozonas representa un especial potencial para esta etapa. Al contar con información diferenciada por territorios y productos, es posible obtener propuestas diferenciadas y atingentes a diferentes contextos, lo que facilita la selección de medidas y la asignación de recursos a nivel más localizado.

Quien lea este capítulo podrá notar que hay una especial atención hacia los procesos participativos como método de elaboración de propuestas. Si bien la amplia participación puede suponer un mayor esfuerzo por parte de quien ejecute el proceso, considerar las propuestas y opiniones de distintos grupos de interés o actores involucrados es necesario para cualquier planificación que afecte territorios, actividades industriales, entre otros, por diversas razones. En primer lugar, ayuda a redefinir la relación entre el Estado y las personas [125]. La participación permite aumentar la comunicación entre el Estado y la sociedad, disminuyendo barreras asociadas a la inseguridad y/o fragilidad de quienes se verán afectados tras la ejecución de medidas de cualquier índole, facilitando su posterior aceptación una vez que deban implementarse y promoviendo una mejor relación con los organismos públicos.

En segundo lugar, permite reunir propuestas que vengan desde la misma experiencia o conocimiento de las personas, lo que resulta especialmente relevante al momento de abordar problemas ambientales, cuyas consecuencias suelen evidenciarse directamente sobre el entorno físico de las poblaciones. Considerando que las comunidades son quienes más se relacionan con los territorios que habitan, es de suma importancia tener en cuenta su conocimiento al momento de reflexionar sobre cómo abordar un conflicto en que se encuentran involucrados. En esta misma línea, implementar medidas de cualquier tipo sobre un territorio o actividad industrial sin una consulta previa o la elaboración de un proyecto conjunto puede resultar invasivo para quienes se vean afectados, lo que puede afectar directamente la relación con las instituciones a cargo de la implementación de las medidas. Finalmente, la participación de las comunidades en proyectos de gestión o planificación disminuye el centralismo y facilita el aumento de la resiliencia en el sector, considerando que la organización y cooperación colectiva permite sobreponerse ante situaciones de adversidad, como supone la crisis climática [126].

Como principales conclusiones de esta sección se tiene que la propuesta de medidas requiere un correcto diagnóstico, enfocado en los impactos ambientales asociados a la crisis climática. Estas propuestas deben apuntar a cumplir con el objetivo principal de la Hoja de Ruta: mitigar y adaptarse al Cambio Climático. Además, deben considerar la participación de la mayor cantidad de grupos de interés posible, para lo que deben plantearse modalidades y metodologías de participación que faciliten la llegada a los distintos actores involucrados. Es importante considerar la participación de responsables de políticas públicas, empresarios del sector y expertos, valorando también el conocimiento local de la ciudadanía, pequeños productores y/o habitantes de los territorios que pueden verse afectados. Un trabajo conjunto puede no solo aportar nuevas ideas, sino que también permitir una gestión más integrada y fluida de los proyectos a implementar.

Capítulo 5. Definición de criterios de evaluación

Una vez que se cuenta con un diagnóstico del sector y una cartera de propuestas de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático, es preciso evaluar estas alternativas para decidir cuáles son más oportunas. Como se mencionó anteriormente, este trabajo establece como herramienta de priorización el Proceso Analítico Jerárquico, una metodología de análisis multicriterio. Antes de plantear el problema de priorización, la metodología requiere la definición de una estructura jerárquica que establezca criterios y subcriterios (si corresponde) bajo los que se evaluarán las alternativas.

¿Qué considerar al momento de evaluar medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático? ¿Qué es lo que define que una medida sea deseable o no? ¿Cómo definir los criterios que permitan evaluarlo? En este capítulo, quien lea encontrará propuestas de criterios y subcriterios que podrían resultar oportunos para la evaluación. Posteriormente, encontrará la selección de criterios para el caso de estudio. Finalmente, dispondrá de directrices generales para responder a las preguntas planteadas.

5.1 Criterios y subcriterios de evaluación

Un criterio de evaluación corresponde a un principio que permite evaluar una medida, con el fin de tomar una decisión respecto a la conveniencia de implementarla o no. Para efectos de este trabajo, se propone considerar cuatro ejes o criterios de evaluación a nivel general, los que se detallarán posteriormente en la definición de subcriterios. Los criterios propuestos buscan ser un eje de evaluación de los distintos impactos derivados del Cambio Climático, considerando además un criterio asociado a la viabilidad de implementación de las medidas propuestas.

1. **Técnico:** Este criterio hace referencia a aquellos aspectos relacionados con la factibilidad tecnológica de implementación, desarrollo y operación de las medidas.
2. **Económico:** Se refiere a todos aquellos aspectos que permiten evaluar la eficiencia de la inversión en un proyecto y las consecuencias económicas que este pueda traer. En este sentido, considera elementos asociados a los costos y beneficios económicos derivados o implicados en la implementación de una medida.
3. **Ambiental:** Busca evaluar los efectos (positivos o negativos) sobre el ambiente, los ecosistemas y su interacción con las personas.
4. **Social:** Conciernen aspectos que condicionan la calidad de vida de las personas y la satisfacción de las necesidades fundamentales de la sociedad.

5.1.1 Subcriterios

Se entenderá como subcriterio una categoría perteneciente a un criterio, pero que se refiere a un aspecto particular de este. En otras palabras, los criterios se compondrán por diferentes subcriterios, cada uno referido a un aspecto específico. Los subcriterios facilitan la comparación de medidas, pues corresponden a aspectos más concretos y fáciles de distinguir que los criterios.

Las siguientes subsecciones muestran, para cada criterio, distintas opciones de subcriterios que facilitarían un análisis integral de alternativas. Esta recopilación deriva de una revisión bibliográfica de los mecanismos de evaluación implementados a nivel nacional e internacional (ver referencias consultadas en las tablas 5.1 a 5.4), como también de propuestas propias, basadas en esta misma revisión. Se debe destacar que los subcriterios propuestos corresponden a una porción de las posibilidades de evaluación que existen, pudiendo proponerse más alternativas según corresponda.

El alcance de estas subsecciones se remite a la propuesta y descripción de subcriterios, por lo que no se considera la definición de indicadores de evaluación. Quien lea podrá encontrar, en el siguiente capítulo, los indicadores asociados a los subcriterios de evaluación que se utilizarán en el caso de estudio. No obstante, es preciso notar que habrá algunos subcriterios que buscarán ser maximizados con la implementación de una medida, mientras que otros buscarán ser minimizados. Esto cobrará especial importancia en el capítulo siguiente (ver Capítulo 6), donde se realizará la evaluación multicriterio y se requerirá elaborar una escala de evaluación.

5.1.1.1 Subcriterios técnicos

Como se mencionó anteriormente, la evaluación técnica de un proyecto o medida considera aquellos aspectos relacionados con la factibilidad tecnológica de implementación, del desarrollo y de la operación de las medidas. En este sentido, existen diversos subcriterios a considerar, entre los que se encuentran:

Tabla 5.1: Subcriterios técnicos. Definiciones y posibles indicadores. Elaboración propia a partir de [127–130].

Subcriterio	Descripción
Ajuste a normativas actuales	Condiciona la factibilidad de ejecutar un proyecto en términos de los requerimientos legales necesarios. En su defecto, permite cuestionar las normas existentes.
Aceptación Sectorial	Alude a la afinidad por parte de los actores afectados tras la implementación de una medida (gremios, productores, consumidores, comunidades aledañas al territorio de implementación, etc.), suponiéndose que, a mayor aceptación, mayor será la factibilidad técnica de la medida.
Nivel de capacitación necesario	Considera el nivel de aprendizaje o habilidades adicionales a a capacitar en las personas involucradas en la implementación de las medidas.
Recambio tecnológico	Se refiere a la necesidad de cambiar las tecnologías existentes para la implementación de una medida. Así, una medida requerirá menos recambio si puede ejecutarse con la tecnología existente y utilizada actualmente en el sector. Considera también la necesidad de adquirir nuevos insumos o materiales para desarrollar la actividad productiva.
Cambio sobre el rendimiento de materias primas	Corresponde a las variaciones en el rendimiento de las materias primas tras la implementación de medidas.
Tasa de producción	Corresponde a la masa producida por unidad de tiempo.
Durabilidad tecnológica	Se refiere a la necesidad de mantención de la tecnología utilizada y a la frecuencia con que sería requerida.
Personal necesario	En línea con la necesidad de formación de capacidades, este subcriterio busca representar la necesidad de ampliar el equipo técnico según la medida a implementar.
Tiempo de implementación	Corresponde al intervalo temporal comprendido entre la creación de un plan de trabajo y el momento en que la medida se encuentra operando.
Eficacia	Se refiere a la capacidad de la medida para alcanzar el objetivo o meta para el que se diseñó.
Escala territorial de implementación	Se entenderá como la extensión territorial en que se implementará la medida.
Variación en la masa de producto obtenida	Busca reflejar la variación en la producción del bien elaborado por el sector industrial.

En esta categoría también pueden incluirse otros Indicadores de Desempeño o KPI's²⁵ relacionados con el sector industrial específico analizado.

5.1.1.2 Subcriterios económicos

Como subcriterios económicos de evaluación se proponen aspectos referidos a los costos y beneficios económicos que puede suponer la implementación de una medida. Mediante estos subcriterios se busca considerar los costos de inversión y operación, los beneficios económicos que podrían derivar de la implementación de la medida, y aspectos asociados a la rentabilidad del proyecto, la eficiencia económica y la repercusión económica sobre los consumidores del producto elaborado por el respectivo sector industrial.

Tabla 5.2: Subcriterios económicos. Definiciones y posibles indicadores. Elaboración propia.

Subcriterio	Descripción
Inversión necesaria (CAPEX)	Involucra los gastos incurridos en la adquisición de los activos fijos necesarios para permitir la puesta en marcha de la medida. En otras palabras, se trata de aquellos costos que se dan desde la concepción de la idea hasta antes de iniciar la operación de la medida.
Variación de Costos Operacionales (Δ OPEX)	Se entenderán como costos operacionales todos aquellos que permiten el funcionamiento de la medida en el día a día. Dicho de otra manera, corresponden a gastos periódicos entre la puesta en marcha del proyecto y el final de su vida útil (sueldos, insumos, impuestos, costos de mantención, etc.). La variación en los costos operacionales será respecto al escenario basal.
Variación en el precio del producto	Corresponde a la variación en los costos que debe pagar quien consume el producto final respecto al costo inicial, asociado al escenario base en torno al que se compara la medida.
Beneficios económicos generados	Se refiere a las ganancias monetarias derivadas de la implementación de la medida.
Eficiencia económica	Considera la razón entre los recursos económicos utilizados y el nivel de producción.
Rentabilidad de la medida	Indica qué tan beneficiosa, en términos económicos, es una inversión. Considera el uso de indicadores de rentabilidad económica como el Valor Actualizado Neto, la Tasa Interna de Retorno, etc.

5.1.1.3 Subcriterios ambientales

Los elementos de los ecosistemas (agua, suelo, biodiversidad, etc.) y su relación con las personas puede afectarse de diferentes formas, para lo que se proponen subcriterios que representen dichos impactos de manera particular. Gran parte de los subcriterios presentados en esta categoría corresponden o se inspiran en las Categorías de Impacto sugeridas por la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), una metodología de evaluación de impactos ambientales ampliamente utilizada a nivel mundial.

Tabla 5.3: Subcriterios ambientales. Definiciones y posibles indicadores. Elaboración propia a partir de [108,131–135].

Subcriterio	Descripción
Aporte a las emisiones de GEI	Indica el nivel de emisiones de GEI generado tras la implementación de la medida.
Vulnerabilidad frente al Cambio Climático	Corresponde al grado de susceptibilidad o predisposición a sufrir daños frente al fenómeno del Cambio Climático. Se relaciona con conceptos que incluyen la sensibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación [108].

²⁵ Del inglés *Key Performance Indicator*

Resiliencia frente al Cambio Climático	Se entenderá como resiliencia la capacidad de un sistema y de sus componentes para prever y absorber los efectos de un suceso peligroso, adaptarse a ellos y recuperarse de manera oportuna y eficaz, asegurando la conservación, restauración o incluso mejora de sus estructuras y funciones esenciales [131].
Cambios en ciclos biogeoquímicos	Corresponde a variaciones en cualquier ciclo biogeoquímico (Nitrógeno, Carbono, Fósforo, Agua, etc.), las que se representarán según la alteración de una o más etapas del ciclo.
Erosión del suelo	Corresponde al nivel de degradación del suelo alcanzado tras la implementación de la medida.
Conservación del agua	Se refiere a la capacidad de la medida de reducir el consumo hídrico desde la fuente, apuntando a la preservación del agua.
Pérdida de biodiversidad	La biodiversidad corresponde a la variedad de organismos biológicos presentes en un ecosistema, además de la variedad genética dentro de cada especie, la variedad de interacciones entre los miembros de un ecosistema, entre otros [132]. Este subcriterio busca reflejar el impacto en la disminución de esta diversidad tras la implementación de una medida.
Ecotoxicidad	Corresponde al potencial impacto tras la incorporación de compuestos tóxicos en los ecosistemas (cuerpos de agua, suelo, etc.)
Agotamiento de la Capa de Ozono	Se asocia al potencial de destrucción de la capa de ozono a partir de la emisión de gases como Clorofluorocarbonos, Hidroclorofluorocarbonos, etc.
Acidificación de cuerpos de agua o de suelos	Se refiere al potencial de acidificación del suelo o cuerpos de agua por efecto de la implementación de medidas. Generalmente los compuestos acidificantes son óxidos de nitrógeno o de azufre [133].
Eutrofización	Corresponde a la acumulación de nutrientes en cuerpos de aguas, suelos, etc. Provocando alteraciones en los ecosistemas.
Desertificación	Proceso de degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de factores climáticos y humanos [134].
Cambio en el uso del suelo	Hace referencia a un cambio en el uso o gestión del suelo por parte de seres humanos, lo que modifica la cubierta terrestre [135].
Emisiones de material particulado	Corresponde al nivel de emisión de MP2,5 o MP10 tras la implementación de la medida.
Agotamiento de recursos naturales	Se refiere a la disminución de la disponibilidad de recursos naturales tras la implementación de la medida.
Generación de residuos	Corresponde a la masa de residuos generada tras la implementación de una medida en particular.
Superficie afectada tras la implementación de la medida	Corresponde al área (terrestre, marítima, etc.) que sería intervenida durante la implementación de la medida.

5.1.1.4 Subcriterios sociales

En cuanto a los subcriterios sociales, se consideran como principales referencias los ejes de evaluación social propuestos por la CEPAL, el IPCC y la OMS. La Tabla 5.4 presenta una propuesta preliminar de subcriterios que pueden evaluar los impactos sociales, pudiendo existir subcriterios alternativos y complementarios a esta selección.

Tabla 5.4: Subcriterios sociales. Definiciones y posibles indicadores. Elaboración propia a partir de [85,136,137].

Subcriterio	Descripción
Variación en la disponibilidad de producto	Se refiere a la masa de producto existente en relación con los habitantes del país. Busca representar la presencia del bien producido para las personas que lo consumen.

Aporte a la calidad de vida	Busca representar el nivel de aumento en el bienestar de las personas tras la implementación de la medida. El eje de análisis varía según el sector industrial que se analice. Por ejemplo, para el sector alimentario, puede asociarse al aporte nutricional del alimento.
Variación de la estabilidad en el suministro y acceso al producto	Corresponde a la seguridad de abastecimiento y de acceso continuo del producto para la población, considerando aspectos como niveles de producción, estabilidad del precio o de ingresos de las personas, etc.
Aporte a la equidad de género	Hace referencia a las posibilidades que otorga la implementación de la medida para disminuir la brecha de género en oportunidades, derechos y beneficios asociados.
Disminución de la desigualdad	Corresponde al impacto en la disminución de la inequidad en el acceso a bienes por parte de las personas.
Aporte a la seguridad alimentaria	Corresponde a la <i>“situación que existe cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y saludable”</i> (traducido de [85])
Aporte al Desarrollo Humano	Se refiere al nivel de desarrollo humano de un país, basándose en indicadores la esperanza de vida, la educación el PIB per cápita.
Disminución de la pobreza	La pobreza se entiende como la carencia de ingresos necesarios para llevar una vida dentro de los estándares de bienestar adecuados. Así, este subcriterio busca evaluar el nivel de reducción de la pobreza tras la implementación de las medidas seleccionadas.
Fortalecimiento de la Educación	Corresponde a un derecho humano clave para la creación de conocimiento y capacidades. Se considera un subcriterio relevante ya que mediante el fortalecimiento de la educación se pueden enfrentar brechas de desigualdad y lograr la inserción de las personas en la sociedad [136].
Aporte a la salud de las personas	Considera aspectos asociados al bienestar físico, mental y social de las personas [137]. Bajo este subcriterio se busca evaluar el aporte de las medidas al aumento de este bienestar en la sociedad.
Aporte en el acceso a la vivienda	Se define como un derecho social que considera el acceso a una vivienda que permita el abastecimiento de servicios básicos como agua potable, servicios sanitarios, electricidad, etc. Así, este subcriterio busca evaluar cómo impacta la implementación de una medida en el acceso a este bien por parte de las personas [136].
Variación en la disponibilidad de empleo	Considera la generación o disminución de empleos tras la implementación de una medida, teniendo en cuenta de que el empleo es una fuente de ingreso seguro para las personas y contribuye al bienestar social [136].

5.1.2 Caso de estudio

Los criterios propuestos en la sección precedente pueden aplicarse directamente a un caso particular o pueden detallarse aún más con el fin de representar la realidad sectorial y el contexto en que serán aplicados. A modo de ejemplo para el caso del sector agrícola, se puede considerar la necesidad de acotar algunos subcriterios de manera de incluir la duración de los ciclos fenológicos de los cultivos, el cambio en el rendimiento de las cosechas, la variación en el consumo de agua para riego, etc. Al analizar un caso de estudio particular, se debe considerar la necesidad de adaptar ciertos indicadores o proponer unos nuevos que permitan evaluar impactos específicos sobre la realidad sectorial analizada.

Considerando los recursos disponibles y que el caso de estudio busca ser un ejemplo de aplicación de la metodología de elaboración de Hojas de Ruta, se hace necesario acotar los criterios de evaluación. Para esto, se seleccionan aquellos criterios más afines con el ámbito de la ingeniería, correspondientes a lo técnico, económico y ambiental. Los esfuerzos para incluir el criterio social pueden acompañarse de un trabajo interdisciplinario, aspecto que queda fuera del alcance de este estudio. No obstante, quien lea debe tener

presente que este ejercicio corresponde a un caso de aplicación que busca validar y analizar la metodología de Análisis Multicriterio como una herramienta para la elaboración de Hojas de Ruta sectoriales. Desde la perspectiva de este estudio, si bien la consideración de aspectos sociales es enriquecedora y necesaria para un desarrollo integral de una Hoja de Ruta, su omisión no modifica en mayor medida los aspectos metodológicos propuestos en la evaluación multicriterio.

En línea con los argumentos presentados anteriormente, es necesario acotar también la lista de subcriterios. Se consideran subcriterios de naturaleza cualitativa y cuantitativa, con el fin de mantener la complejidad del análisis e ilustrar como pueden implementarse ambos tipos de subcriterios en la evaluación.

Para el caso del criterio ambiental, se contemplan aquellos subcriterios que: i) se relacionan en mayor medida con la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la perspectiva del sector frutícola y; ii) pueden ser evaluados bajo el escenario ambiental inicial dispuesto en el Capítulo 3 (ver sección 3.2.1), considerando que este último aborda emisiones de Gases de Efecto Invernadero y el Consumo Hídrico derivado del riego durante la etapa de cultivo en el campo de los frutales. En otras palabras, teniendo en cuenta que la evaluación está basada en la comparación de escenarios *con medida* contra un escenario base, se opta por aquellos subcriterios ambientales que permitan distinguir diferencias en términos de mitigación y adaptación del sector al Cambio Climático, sobre la base de la información disponible.

A continuación se presentan los subcriterios considerados para el caso de estudio:

Tabla 5.5: Criterios y subcriterios considerados para el caso de estudio. Elaboración propia.

Criterio	Subcriterio
Técnico	Tiempo de implementación
	Aceptación sectorial
	Recambio Tecnológico
Económico	Costo de Inversión (CAPEX)
	Variación en los costos Operacionales (OPEX)
Ambiental	Aporte a la mitigación del Cambio Climático
	Aporte a la Resiliencia del sector frente al Cambio Climático
	Aporte a la conservación de agua

5.2 Generalización de la metodología de planteamiento y selección de criterios

Al momento de plantear una evaluación de medidas es preciso determinar el conjunto de criterios a comparar. Considerando que cada sector industrial tiene sus particularidades y que distintos criterios y subcriterios pueden o no ser pertinentes según sea el caso, en esta sección se entregan algunas directrices que orientan su selección, de manera de evaluar responsablemente cada medida de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Una evaluación multicriterio puede ser difícil de abordar desde una perspectiva genérica asociada a criterios que reúnan una amplia variedad de conceptos e interpretaciones. En este sentido, se sugiere estructurar la evaluación mediante la definición de criterios generales, y posteriormente desglosar estos conceptos en respectivos subcriterios específicos. A continuación se presentan una serie de pasos sugeridos para plantear criterios y subcriterios de evaluación:

1. **Plantear criterios de evaluación.** Se recomienda considerar como interrogante orientadora ¿En qué ejes temáticos debe dividirse la evaluación? ¿Qué impactos a evaluar podrían ser de especial interés? Como primera aproximación, se sugiere considerar la lista propuesta en la sección 5.1 (criterios técnico, económico, ambiental y social). Al ser una división general, es posible que con la lista propuesta sea suficiente para iniciar una lluvia de ideas de subcriterios. Sin embargo, según sea el caso, podría ser pertinente retroceder unos pasos en la metodología y volver a plantear las preguntas orientadoras.
2. **Para cada criterio, realizar una lluvia de ideas de subcriterios que parezcan pertinentes.** Esta lluvia de ideas puede derivar de la misma organización que esté llevando a cabo el trabajo, como también de consultas a expertos u otros grupos de interés. Una primera aproximación para proponer subcriterios es considerar la definición general de cada criterio y qué es lo que busca representar. Para el caso de los criterios propuestos, se sugieren las siguientes preguntas orientadoras:
 - a. Criterio técnico:
 - i. ¿Cómo podría verse afectado el sector industrial, en términos prácticos o, en otras palabras, respecto a la operación del sector?
 - ii. ¿Cómo se vería afectada la producción del bien generado por el sector industrial?
 - iii. ¿Qué aspectos podrían dificultar la factibilidad técnica de implementar una u otra medida?
 - b. Criterio económico:
 - i. ¿Qué impactos económicos puede causar la medida?
 - ii. ¿En qué sentido la implementación de una medida podría afectar la economía del sector?
 - c. Criterio ambiental: es preciso considerar que la Hoja de Ruta que busca construirse corresponde a un plan de mitigación y adaptación al Cambio Climático, por lo que es preciso que los subcriterios propuestos permitan plasmar el aporte de cada medida en esta materia. Una primera alternativa es considerar como subcriterios la mitigación y la adaptación como tales, sin embargo, para el caso de la adaptación puede resultar un concepto más genérico y difícil de medir, incluso cualitativamente. En este sentido, para identificar subcriterios relacionados con la adaptación y que permitan desagregar esta categoría, se sugiere considerar las siguientes preguntas orientadoras:
 - i. ¿Cuáles son los mayores impactos ambientales derivados de la operación del sector industrial?
 - ii. ¿Cuáles presentan un mayor riesgo para la operación del sector tras una catástrofe asociada al Cambio Climático?
 - iii. ¿De qué elementos naturales depende mayoritariamente el funcionamiento del sector industrial analizado? ¿Cuán expuestos están frente a los peligros que supone el Cambio Climático?
 - iv. ¿De qué variables depende la vulnerabilidad del sector frente al cambio climático?
 - v. ¿Qué elementos pueden aumentar la resiliencia del sector?La inspiración de estas preguntas deriva de la revisión del Marco de Evaluación de Vulnerabilidad propuesto por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, además de las definiciones del IPCC referidas a las variables que afectan la adaptación de un territorio frente al Cambio Climático (riesgo, vulnerabilidad, exposición, capacidad de respuesta, etc.) [108,138]. Se sugiere revisar esta bibliografía para complementar las preguntas propuestas.
 - d. Criterio social: para la propuesta de estos subcriterios puede ser útil considerar la perspectiva de la ciudadanía.
 - i. ¿Qué variables sociales podrían verse afectadas tras la implementación de la medida?

- ii. ¿En qué sentido podrían verse afectadas?
3. **Seleccionar aquellos criterios y subcriterios más relevantes para el estudio.** En primer lugar, es preciso mencionar que entre más criterios y subcriterios sean considerados, más prolija será la evaluación. Ahora, también es importante destacar que, dadas las capacidades del equipo responsable y la incontable cantidad de subcriterios que podrían proponerse, lo más probable es que exista la necesidad de seleccionar sólo algunos para la evaluación. En este sentido, es de suma importancia recordar el propósito de la Hoja de Ruta a fin de seleccionar los subcriterios más relevantes. Se sugiere considerar las siguientes preguntas orientadoras:
- a. ¿Se alinea el criterio/subcriterio con el objetivo de la Hoja de Ruta?
 - b. ¿El criterio/subcriterio permite establecer una comparación (cualitativa o cuantitativa) entre un escenario *con medida* y el escenario base?
 - c. ¿Qué subcriterios son imprescindibles para contar con una evaluación responsable? Para este caso, es primordial contar con, al menos, subcriterios que den cuenta del potencial de mitigación y adaptación al climático, considerando el propósito del plan sectorial.
 - d. ¿Existen las capacidades para evaluar las medidas bajo el criterio/subcriterio en cuestión?
4. **Clasificar los subcriterios según su naturaleza cualitativa o cuantitativa.** Con el fin de facilitar el desarrollo posterior de la evaluación, que requerirá de la definición de un indicador o escala de evaluación.

5.3 Reflexiones finales

En este capítulo se han establecido los criterios y subcriterios que conformarán la estructura jerárquica a utilizar en la evaluación bajo la herramienta de Análisis Multicriterio según el Proceso Analítico Jerárquico. Se trata de una etapa fundamental para definir el problema de priorización que será abordado en los capítulos posteriores pues, en definitiva, es aquí donde se determinan las variables que establecerán si la implementación de una medida es deseable o no.

Quien lea podrá notar que en este capítulo se definieron dos niveles jerárquicos: criterios generales, y subcriterios específicos y concretos. De todas maneras, esta no es una restricción metodológica: quien realice el estudio tiene libertad para establecer los niveles jerárquicos que estime necesarios para abordar el análisis. Un ejemplo de esto podría ser el caso de establecer, dentro del criterio ambiental, un subcriterio ligado a la adaptación al cambio climático. La adaptación podría estar compuesta de múltiples factores, como el riesgo, la vulnerabilidad, las capacidades de reacción, el nivel de exposición a un desastre, entre otros. Estos factores podrían estar en un nivel jerárquico inferior al de subcriterio, si así se deseara.

Lo anterior refleja la potencialidad asociada a la estructuración y comprensión de un problema. Definir una estructura jerárquica de este tipo facilita la descomposición de un criterio que puede ser complejo de caracterizar, en varios subcriterios más acotados, lo que puede ser una ventaja al momento de establecer a qué prestar atención al momento de comparar, cuáles aspectos considerar (o cuáles no), etc. Si bien esto puede ser positivo, tiene una dificultad asociada para las etapas posteriores del estudio. Como se verá en los capítulos posteriores, el Proceso Analítico Jerárquico supone la realización de encuestas de priorización de criterios, subcriterios y otros niveles jerárquicos, según sea el caso. Mientras más sean estos niveles o los elementos presentes en cada nivel jerárquico, más extensa será la encuesta a realizar, lo que puede dificultar la implementación de esta y el procesamiento de las respuestas.

Respecto a la selección de criterios y/o subcriterios, se debe destacar su relación con la línea base establecida como diagnóstico del sector industrial. Es posible que, tras seleccionar ciertos criterios o subcriterios, se haga necesario incluir nuevas variables de estudio o categorías de impacto en la línea base, con el fin de facilitar la evaluación comparativa entre el escenario actual de la industria y aquel en que se implementan las medidas de

mitigación y adaptación. A modo de ejemplo se puede recurrir al caso de estudio, donde el diagnóstico se centra en el consumo hídrico y las emisiones de GEI. Si se hubiera decidido evaluar medidas considerando el subcriterio ambiental relacionado con el nivel de erosión del suelo, o el potencial de eutrofización de cuerpos de agua, habría sido necesario cuantificar estos impactos en el escenario actual de la industria frutícola, con el fin de establecer la base comparativa que permita evaluar correctamente el impacto de las medidas propuestas.

La selección de categorías de impacto realizada en el Capítulo 3 tiene relación con los criterios de evaluación, específicamente los ambientales, pues, implícitamente al seleccionar una categoría de impacto, se está estableciendo aspecto a evaluar evaluación. El preguntarse *¿Qué variables permitirán evaluar el potencial de mitigación y adaptación de una medida?* dará nociones sobre qué criterios considerar al momento de evaluar las medidas.

Respecto al caso de estudio propuesto, y particularmente al subsector que está utilizándose como ejemplo para la composición de la Hoja de Ruta, se ha caracterizado la industria considerando categorías de impacto que buscan reflejar y establecer la línea base de mitigación y adaptación al cambio climático. En otras palabras, se ha definido un nivel actual de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de cuán adaptado está el sector²⁶ frente al Cambio Climático. También se han propuesto medidas que apunten a disminuir el nivel de emisiones y aumentar el nivel de adaptación. Finalmente, se han establecido los criterios y subcriterios que determinarán qué tan deseable es la implementación de una medida. Con lo anterior, ya es posible establecer una estructura jerárquica que permita formular y resolver el problema de priorización mediante el Proceso Analítico Jerárquico, estructura que será construida en el siguiente capítulo.

²⁶ Si bien la variable de adaptación del caso de estudio se relacionó con el consumo hídrico, quien lea debe recordar que no se trata de un indicador de adaptación absoluto, sino que, para efectos del ejemplo, el concepto de adaptación fue simplificado, relacionándolo únicamente con el consumo del elemento crítico en el sector agrícola: el agua.

Capítulo 6. Jerarquización bajo el Proceso Analítico Jerárquico

Para el desarrollo de una Hoja de Ruta, se han establecido las necesidades de: i) contar con un diagnóstico claro del sector analizado; ii) proponer medidas que apunten a solucionar el problema planteado (en este caso, mitigar y adaptarse al cambio climático) y; iii) evaluar y jerarquizar estas medidas propuestas. En el capítulo anterior se han dado directrices para definir criterios y subcriterios que permiten evaluar las medidas o qué elementos considerar al momento de definir una medida como *deseable*. En este capítulo se abordará el uso del Proceso Analítico Jerárquico como herramienta para integrar múltiples criterios de evaluación y, a partir de estos, obtener una jerarquía u orden de medidas, desde la más deseable a la menos deseable.

6.1 El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)

El proceso analítico jerárquico es una herramienta para la toma de decisiones que busca, a través de la formulación de un problema matemático, obtener una jerarquía sostenida por criterios de evaluación y su importancia relativa. Se trata de una metodología que involucra la emisión de juicios de importancia y la comparación formal de alternativas según diferentes ópticas.

La motivación de esta metodología nace de la necesidad de priorizar una variedad de alternativas bajo múltiples criterios posibles. Diversos estudios sociológicos señalan que, mientras menos sean los elementos a comparar, más fácil es para las personas hacer este ejercicio de priorización. En esta línea, Thomas Saaty, autor de esta metodología, propone la descomposición de un problema de jerarquización de múltiples alternativas en varios subproblemas de jerarquización entre pares de alternativas [139]. A partir de esta idea, el Proceso Analítico Jerárquico formula un problema matemático para obtener el orden de prioridades de un conjunto de alternativas sobre la base de comparaciones de dos en dos. Un mayor detalle de los fundamentos matemáticos que sustentan esta herramienta se encuentra disponible en la sección F.1 (ver Anexo F).

La metodología propuesta considera tres principales pasos que se describen a continuación. Se desarrollará cada una en mayor detalle en la aplicación al caso de estudio.

1. **Definición de la estructura jerárquica del problema:** corresponde al planteamiento del problema. Busca visibilizar qué se desea resolver y, luego, los niveles jerárquicos de comparación. De esta forma, en un primer nivel jerárquico, se tiene el objetivo que se busca alcanzar y, en los niveles inferiores, los distintos criterios, subcriterios, o más niveles que reflejen perspectivas de evaluación. En el último nivel jerárquico, se encuentran las alternativas a evaluar (ver ejemplo aplicado al caso de estudio en la Figura 6.1).
2. **Valoración:** en esta etapa se construyen matrices de comparación por pares para la priorización de criterios y medidas, basándose en comparaciones cualitativas (a través de juicios de valor) o cuantitativa, según corresponda. Las matrices de comparación obtenidas permiten formalizar el problema matemático a resolver, a través del planteamiento de un sistema de que expresa la comparación de cada alternativa con las demás, para cada criterio de evaluación. Tras la resolución del problema matemático, se obtienen prioridades locales²⁷ para cada nivel jerárquico. El sistema de ecuaciones se construye mediante dos niveles de comparación (valoración) y una etapa de análisis, a saber:

²⁷ Se entenderá como “prioridad local” la importancia relativa de los elementos considerando un único nivel jerárquico, expresada a partir de un vector de tantas componentes como elementos a priorizar. A modo de ejemplo, si se tienen dos criterios y cada uno tiene dos subcriterios asociados, se tendrán tres vectores de prioridad local: uno que señale la importancia relativa entre los criterios de evaluación; otro que señale la importancia relativa entre los subcriterios pertenecientes al primer criterio; y otro que señale la importancia relativa entre los subcriterios referidos al segundo criterio.

- a. Valoración de criterios: la valoración de criterios se realiza a partir de la comparación por pares y la emisión de juicios de valor respecto a la importancia de un criterio (o subcriterio, según corresponda) sobre otro. Para la emisión de juicios de valor, se utiliza la escala propuesta por Saaty (ver Tabla 6.1). Con estas valoraciones se construye una matriz de comparación por cada nivel jerárquico y se plantea el sistema de ecuaciones a resolver. Posteriormente, se obtiene el vector de prioridad local mediante el método del autovector (ver Anexo F, sección F.1).
 - b. Valoración de medidas: esta valoración se realiza de igual manera. Se construye una matriz de comparaciones entre pares para cada criterio de evaluación. En otras palabras, para cada criterio se priorizan las medidas y se obtiene un vector de prioridad local. Esta etapa de valoración cuenta con la salvedad de que, en caso de poder cuantificar el peso relativo de una medida por sobre otra respecto a un criterio, no es necesario remitirse a la escala de valoración cualitativa, siendo esto último necesario cuando no es posible cuantificar claramente la relación entre medidas para un criterio o subcriterio dado. Finalmente, se procede de igual forma que con los criterios para obtener los vectores locales de prioridad, obteniéndose, para cada criterio y/o subcriterio un vector de prioridad local, relativo a las medidas evaluadas.
 - c. Análisis de consistencia: considerando que la emisión de juicios de valor en la comparación por pares suele tener cierto grado de inconsistencia, para cada matriz de comparación se realiza un análisis que permite conocer si las respuestas son coherentes o no. Con el análisis de consistencia se evalúa la necesidad de repetir la etapa de valoración o de eliminar la valoración de ciertas personas entrevistadas, en caso de ser necesario.
3. **Priorización y síntesis**: una vez obtenidos los vectores de prioridad local, se ponderan según los pesos asignados a los distintos niveles jerárquicos existentes, obteniéndose un vector final de prioridades, que representa la priorización de las alternativas bajo los múltiples criterios considerados. Con lo anterior, es posible realizar un análisis y obtener conclusiones.

Tabla 6.1: Escala de valoración de Saaty para la emisión de juicios de comparación entre pares. Traducida desde [139].

Intensidad del juicio	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos comparados contribuyen de igual forma a la propiedad o criterio
3	Importancia débil de un elemento sobre otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Importancia fuerte	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Importancia mucho más fuerte, demostrada	Un elemento domina fuertemente y su dominio está probado en la práctica.
9	Importancia absoluta	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2,4,6,8	Valores intermedios de los juicios anteriores	Se utilizan cuando es necesario y la escala de números impares no permite discernir claramente la importancia de un elemento por sobre otro.

6.1.1 Uso del Proceso Analítico Jerárquico para la composición de Hojas de Ruta

Quien comprenda la metodología del proceso analítico jerárquico puede notar que el uso más directo que puede dársele a esta herramienta es el de selección de una opción entre un conjunto de alternativas. El método provee una priorización de alternativas evaluadas bajo diversos criterios, sin embargo, cabe preguntarse ¿cómo se relaciona esta jerarquía con la construcción de una Hoja de Ruta?

La respuesta a esta pregunta se sostiene en que, para la construcción de una Hoja de Ruta, se requiere responder, al menos, dos preguntas: i) ¿qué medidas adoptar? y ii) ¿cuándo?

Frente a múltiples alternativas posibles, esta herramienta supone una forma de acotar el conjunto de opciones disponibles, a partir de la selección de aquellas que parezcan más convenientes, según los criterios de evaluación definidos. Además, la jerarquía obtenida puede dar una noción del orden en que deberían implementarse las medidas, lo que estará sujeto a cómo se planteen los criterios de evaluación. Los criterios y subcriterios buscan representar las variables más relevantes al momento de seleccionar una medida por sobre las demás. Por ejemplo, la consideración de criterios técnicos y económicos representa, de cierta manera, una evaluación de factibilidad que condiciona que una medida pueda implementarse o no. Lo técnico y económico está acotado por los recursos disponibles por parte del responsable de la implementación de la Hoja de Ruta (en este caso, del Estado). En el caso de los criterios ambientales, estos representan una forma de evaluar el potencial de aporte de una medida frente a la crisis climática, lo que a su vez definirá la urgencia de implementación considerando que, dado el contexto global, mientras mayor sea el aporte de una medida en materia climática, más imprescindible será su implementación. Dicho esto, tiene sentido suponer que la medida que resulte más deseable tras la priorización, sea la primera que deba implementarse.

A partir de lo anterior, es válido preguntarse ¿la jerarquía obtenida tras la realización del Proceso Analítico Jerárquico define el mejor orden posible para la implementación de medidas? Esta pregunta cobra especial relevancia cuando existen diferentes medidas que pueden afectar una misma área de un sector industrial, o cuando la implementación de una medida cambia el escenario de tal manera que la siguiente medida preseleccionada como importante pierde impacto. A modo ilustrativo, se mostrará un breve ejemplo que describe esta problemática.

Como se verá en las secciones posteriores, para el caso de estudio se considerarán cuatro medidas: i) Tecnificación del riego a nivel nacional; ii) Incorporación de Residuos al Suelo; iii) Riego Solar y; iv) Recambio en el transporte interregional. Los costos asociados a la implementación del riego solar están sujetos al nivel de tecnificación existente a nivel nacional. Además, los impactos referidos a la conservación del agua tras la incorporación de residuos al suelo están sujetos al método de riego existente en el predio. En este sentido, para una primera priorización, se evalúan las medidas comparando el impacto que tendrían frente al escenario actual del sector frutícola, sin embargo, una vez obtenida la jerarquía y, asumiendo que la medida prioritaria será la primera en implementarse, el escenario basal de comparación de las medidas restantes habrá cambiado en consecuencia. Por ejemplo, si en primer lugar se implementa la tecnificación del riego, los costos y emisiones asociados a la implementación del Riego Solar variarán, por lo que conservar la evaluación bajo el escenario inicial correspondería a una comparación injusta con el resto de las medidas. Así, la metodología mejor adaptada a este problema tendría una estructura condicional del tipo: *dada la implementación de la medida X, ¿cuál sería la siguiente medida en importancia?*

Para solucionar esto, se propone utilizar la herramienta AHP de manera recursiva. Considerando que el escenario de implementación de una medida puede configurar la evaluación posterior de las medidas restantes, se aplicará la herramienta AHP para seleccionar aquella medida más preferible a partir de un conjunto de alternativas y, posteriormente, la medida seleccionada será eliminada del conjunto posible de soluciones (pues se asume que será implementada en primer lugar). Una vez realizado lo anterior, se procederá a aplicar nuevamente el Proceso Analítico Jerárquico con las medidas restantes y considerando un escenario en que la medida obtenida tras el primer ejercicio de priorización ha sido implementada. Así, se obtendrá una jerarquía que considere el nuevo escenario de comparación.

Se espera que a partir de esta metodología, la jerarquía final obtenida permita no solo acotar un conjunto de medidas a partir de la selección de aquellas que parezcan más deseables, sino que también facilite la composición de la agenda que supone una Hoja de Ruta.

6.2 Caso de Estudio

Debido a que el caso de estudio representa un ejemplo de aplicación y, considerando las limitaciones temporales de este trabajo, previo a la aplicación de la herramienta se acotaron las alternativas a evaluar. En esta sección se presentan las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático seleccionadas y, posteriormente, su jerarquización mediante el Proceso Analítico Jerárquico.

6.2.1 Selección de medidas e indicadores de logro

Considerando que existen múltiples medidas que pueden aportar a la mitigación y adaptación al cambio climático, se seleccionan algunas medidas para la evaluación. Se sugiere que la selección de medidas a evaluar contemple la pertinencia y factibilidad técnica de su implementación evaluándose, en primer lugar, si la medida realmente se alinea con el objetivo de mitigación y adaptación al cambio climático y, en segundo lugar, si su implementación es técnicamente posible en el contexto nacional. Una primera aproximación para decidir puede ser la consideración de experiencias nacionales e internacionales previas, a fin de contar con datos empíricos que permitan afirmar la factibilidad técnica en caso de que no pueda realizarse un estudio específico para la medida.

Para efectos de este trabajo, se consideraron las experiencias nacionales e internacionales, pero también se tomaron en cuenta las opiniones referidas a las etapas del proceso donde es prioritario tomar acción. Así, considerando que las prioridades están principalmente referidas a la producción en el campo y la distribución (ver Tabla 4.1 para mayor detalle). La Tabla 6.2 presenta las medidas seleccionadas que serán sometidas al análisis multicriterio, además de las metas o indicadores de logro que representan el cumplimiento del objetivo de cada medida.

Tabla 6.2: Medidas a jerarquizar con la herramienta AHP en el caso de estudio.

Medida	Detalle	Meta o indicador de logro
Tecnificación del riego	Reemplazo de los sistemas de riego gravitacionales por sistemas de riego por goteo.	Tecnificación del 100% del sector frutícola en el territorio nacional.
Incorporación de residuos al suelo	Reemplazo de la combustión de residuos y su uso como leña por su incorporación al suelo.	Reemplazo del 100% de la combustión y uso como leña por su incorporación al suelo.
Riego Solar	Abastecimiento energético para el riego tecnificado a partir de energía solar fotovoltaica.	Abastecimiento del 100% del riego tecnificado con energía solar fotovoltaica.
Recambio en transporte interregional	Cambio en el transporte terrestre interregional, desde transporte camionero a transporte ferroviario.	Distribución del transporte ferroviario y camionero de tal forma que, al menos, el 50% del transporte del sector sea por vía ferroviaria.

Las metas establecidas responden, en su mayoría, a la urgencia de enfrentar la crisis climática y a la ambición necesaria para contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático. En el caso del recambio en el transporte interregional, se toma una cota inferior del reemplazo del 50% del transporte del sector frutícola

de camión a tren. Esta decisión se toma a partir de la comparación entre el plan nacional de impulso a la carga ferroviaria y la hoja de ruta del sector transporte de la Unión Europea²⁸.

6.2.2 Estructura jerárquica del problema

El primer paso para aplicar la metodología AHP consiste en estructurar el problema a resolver, para lo que es necesario establecer el objetivo del análisis, además de definir los niveles jerárquicos presentes. Lo anterior permite tener una visualización más clara que facilitará la comprensión general del problema y el desarrollo de las etapas posteriores del proceso. Como puede observarse en la Figura 6.1, la estructura del problema cuenta con cuatro niveles jerárquicos, siendo el primero el objetivo general del análisis. Los niveles posteriores se estructuran considerando los criterios generales de jerarquización con sus respectivos subcriterios. En el cuarto nivel se encuentran las alternativas a evaluar, donde las líneas que conectan los subcriterios con las alternativas representan las comparaciones por pares que deben realizarse.

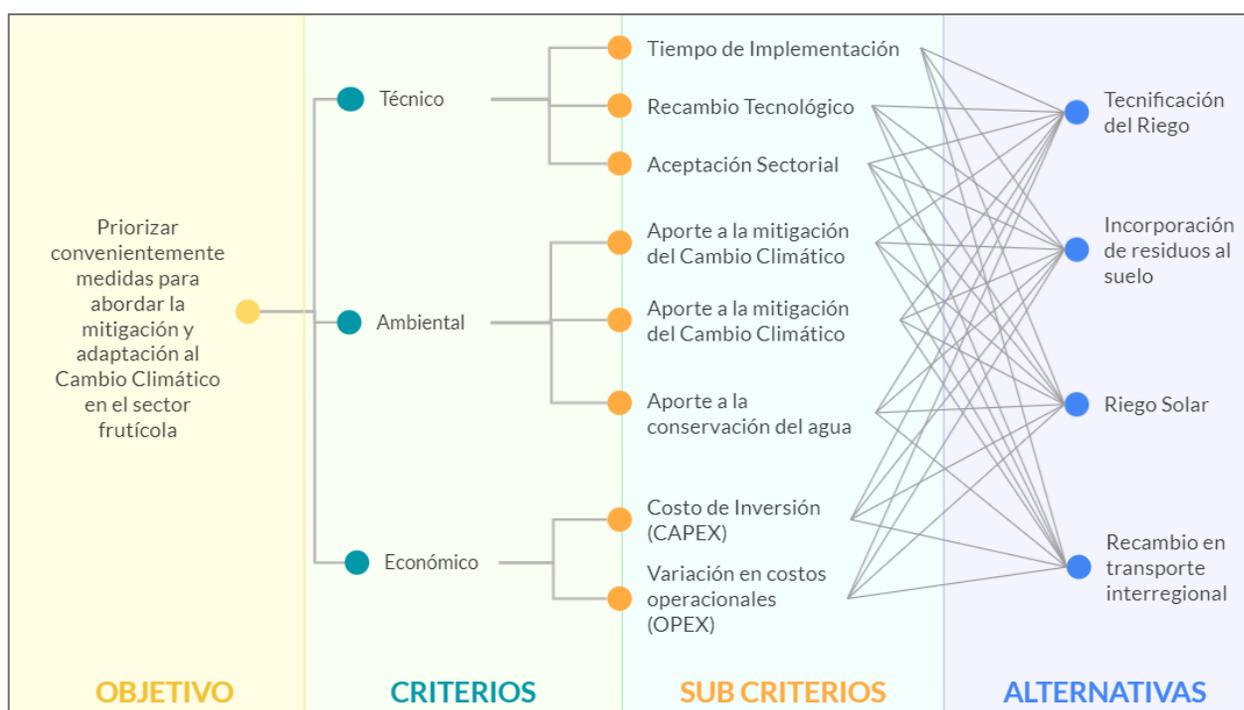


Figura 6.1: Estructura jerárquica del problema asociado al caso de estudio. Elaboración propia.

6.2.3 Valoración de criterios y medidas

Para la valoración de criterios y medidas se cuenta con la participación de personas provenientes de distintos grupos de interés. Para la valoración de criterios y subcriterios se utiliza la escala de valoración de Saaty (ver Tabla 6.1), adaptándose según las distintas encuestas realizadas que contemplaban la emisión de juicios de por parte de los participantes, como se verá en las secciones siguientes.

Para el caso de la valoración de medidas bajo los distintos criterios y subcriterios, no todas las matrices de comparación se construyen en torno a juicios de valor. La evaluación de las medidas bajo algunos subcriterios

²⁸ En el caso chileno, el plan de impulso a la carga buscaba duplicar el tonelaje de carga a nivel nacional (proveniente de distintos sectores industriales) entre el 2013 y el 2020. Con esto se realizaron estimaciones (ver Anexo F, sección F.3.4) para determinar cuánto tiempo tomaría, a igual tasa, alcanzar el 100% del transporte de carga por ferrocarril (considerando que el plan nacional debe contemplar carga proveniente de distintos sectores industriales), lo que posteriormente se compara con las metas establecidas en la hoja de ruta del sector transporte de la Unión Europea. Así, se define como una meta más realista, para el sector frutícola en particular, apuntar a un 50% del recambio en el transporte.

puede cuantificarse, lo que permite obviar el uso de la escala de valoración presentada previamente y utilizar indicadores para completar la matriz de comparaciones y establecer el vector de prioridad local respectivo. A continuación se presenta la definición de los métodos de valoración considerados para la construcción de matrices de comparación de medidas respecto a cada subcriterio:

Tabla 6.3: Método de valoración de medidas según los diferentes subcriterios de evaluación.

Criterio	Subcriterio	Forma de valoración para la construcción de matrices de comparación
Técnico	Tiempo de implementación	Cuantificación según años requeridos para la implementación.
	Aceptación sectorial	Uso de escala de valoración de Saaty en entrevista a expertos(as).
	Recambio Tecnológico	Uso de escala de valoración de Saaty en entrevista a expertos(as).
Económico	Costo de Inversión (CAPEX)	Cuantificación en [USD].
	Variación en los costos Operacionales (OPEX)	Cuantificación en [USD/año] de los costos operacionales adicionales a los existentes en el sector frutícola.
Ambiental	Aporte a la mitigación del Cambio Climático	Cuantificación porcentual de la reducción de emisiones de GEI, respecto al escenario base.
	Aporte a la Resiliencia del sector frente al Cambio Climático	Uso de escala de valoración de Saaty en entrevista a expertos(as).
	Aporte a la conservación de agua	Cuantificación porcentual de la reducción del volumen de agua para riego, respecto al escenario base.

Como se mencionó en el Capítulo 5, quien lea podrá notar que algunos subcriterios buscan ser maximizados (como por ejemplo la aceptación sectorial, el aporte a la mitigación y resiliencia frente al Cambio Climático o a la conservación del agua) mientras que otros (como el tiempo de implementación, el recambio tecnológico, el costo de inversión o la variación en los costos operacionales), minimizados. Esto puede resultar una dificultad para la evaluación bajo la escala de valoración de Saaty propuesta (ver Tabla 6.1)²⁹ por lo que es importante que la valoración sea del estilo *más es mejor*. En este sentido, puede ser necesario diseñar las preguntas para los participantes de manera que siempre aquella medida que tenga más puntaje sea la más deseable o, en su defecto, modificar la explicación de escala de valoración en caso de que las medidas se evalúen bajo una lógica de *menos es mejor*.

6.2.3.1 Valoración de criterios

La valoración de criterios y subcriterios se realiza a partir de entrevistas actores involucrados con el sector frutícola. Específicamente, se consideraron actores de los sectores público y privado, además de personas pertenecientes a la academia, sociedad civil y organismos internacionales. En total, se cuenta con trece participantes, cuya caracterización se muestra a continuación (ver Figura 6.2):

²⁹ A modo de ejemplo, si una medida A requiere mayor recambio tecnológico que una medida B. La valoración debe reflejar que A es una peor alternativa que B (bajo este subcriterio). Así, la medida B debería tener un mayor puntaje que A. Esto resulta poco intuitivo considerando que la escala de Saaty se refiere siempre a *la medida que predomina por sobre otra* lo que, dependiendo del criterio analizado, puede ser o no deseable.

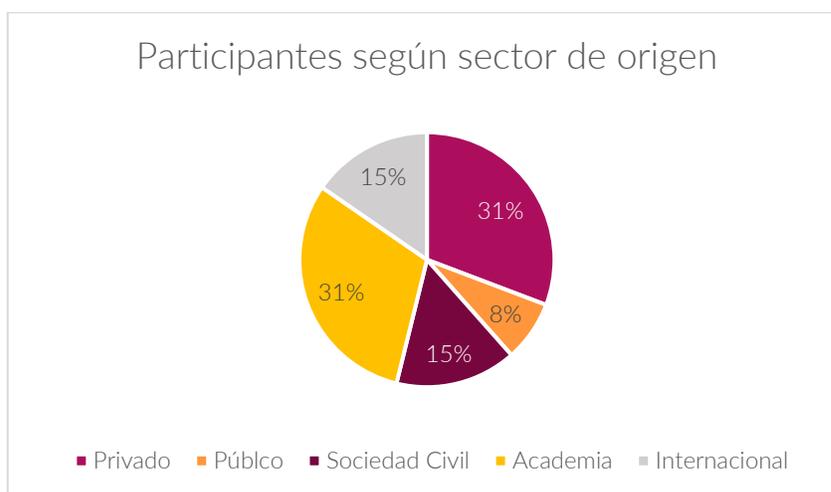


Figura 6.2: Caracterización de participantes en valoración de criterios. Elaboración propia.

A modo de detalle sobre el nivel de conocimiento de los participantes, a continuación se detalla el origen por institución, además de especificar las áreas de trabajo (ver Tabla 6.4):

Tabla 6.4: Instituciones y áreas de trabajo de participantes en valoración de criterios. Elaboración propia.

Sector	Instituciones de Origen	Áreas de trabajo
Privado	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa exportadora de frutas • Instituto de Investigaciones Agropecuarias • Consultora Medioambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Administración y finanzas en exportación de frutas • Medición de huella de carbono • Agronomía • Gestión integral del agua
Público	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio del Medio Ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de huella de carbono
Sociedad Civil	<ul style="list-style-type: none"> • Organización No Gubernamental • Sociedad Civil por la Acción Climática (SCAC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Defensoría del medio ambiente en conflictos socioambientales
Academia	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Chile (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas) • Universidad de la República (Uruguay, Facultad de Agronomía) • Universidad Austral de Chile (Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales) • Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT, Alemania) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustentabilidad • Economía Circular • Resiliencia en sector frutícola • Ecología • Adaptación al cambio climático • Manejo de desastres naturales
Internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas productivos sostenibles • Agua y agricultura

Utilizando la escala de valoración de Saaty, se elaboró un formulario de comparación por pares (ver Anexo F, sección F.2) que fue respondido por cada participante de manera individual considerando el contexto nacional. En otras palabras, y como se discutirá más adelante, la aplicación del formulario no consideró la división territorial por macrozonas. A partir de las respuestas de cada participante se construyeron las respectivas

matrices de comparación, adecuando el procesamiento de las respuestas para que los vectores de prioridad se ajustaran a una lógica de *más puntaje es mejor*. Se obtuvieron los respectivos vectores de prioridad para cada participante, los que posteriormente se promediaron para encontrar un vector promedio.

Para el análisis de consistencia, se consideró un límite de tolerancia del 20% en torno al cálculo del Índice de Consistencia (ver metodología de análisis de consistencia en el Anexo F, sección F.1.2.1) [140]. En caso de contarse con respuestas inconsistentes, se repitió la encuesta para aquellos participantes. En los casos donde la inconsistencia se mantuvo tras la segunda aplicación del formulario, no se utilizaron las respuestas del participante para la construcción del vector promedio de prioridades. Dicho de otra forma, el vector promedio se calcula únicamente con aquellas respuestas consistentes.

La Tabla 6.5 muestra la puntuación promedio de prioridades obtenida. El vector final de prioridades de los subcriterios se construye a partir de la ponderación de la prioridad de cada criterio con sus respectivos subcriterios, facilitando la comparación entre subcriterios que se corresponden a criterios diferentes.

Tabla 6.5: Valoración de criterios y subcriterios para el caso de estudio. Elaboración propia.

PUNTUACIÓN FINAL PRIORIDADES				
Criterio	Prioridad	Subcriterio	Prioridad	Vector final de prioridades subcriterios
Técnico	0,297	Tiempo de Implementación	0,18	0,05
		Aceptación Sectorial	0,58	0,17
		Recambio Tecnológico	0,24	0,07
Económico	0,217	Costo de Inversión (CAPEX)	0,45	0,10
		Variación en los costos Operacionales (OPEX)	0,55	0,12
Ambiental	0,486	Aporte a la mitigación del Cambio Climático	0,17	0,08
		Aporte a la Resiliencia del sector frente al Cambio Climático	0,37	0,18
		Aporte a la conservación de agua	0,46	0,22
		Total	1,00	1,00

6.2.3.2 Valoración de medidas

Para la valoración de medidas se adoptan diferentes metodologías según sea la naturaleza del subcriterio de evaluación. Para el caso de subcriterios cualitativos, se utiliza el método establecido por Saaty, evaluando según juicios de valor por parte de expertos. Por otro lado, en el caso de los subcriterios cuantitativos, la evaluación se realiza mediante el establecimiento de indicadores de evaluación y su posterior cuantificación (ver Tabla 6.3).

6.2.3.2.1 Valoración bajo subcriterios cualitativos

Para la valoración de medidas según juicios de valor por parte de expertos, se consideran parte de los entrevistados en la sección previa. En este caso, la valoración de medidas para cada criterio cuenta con una participación diferente, debido a que para cada participante, se abordó la evaluación de medidas bajo los criterios afines con sus áreas de conocimiento. A continuación se presenta la caracterización de los participantes de las encuestas:

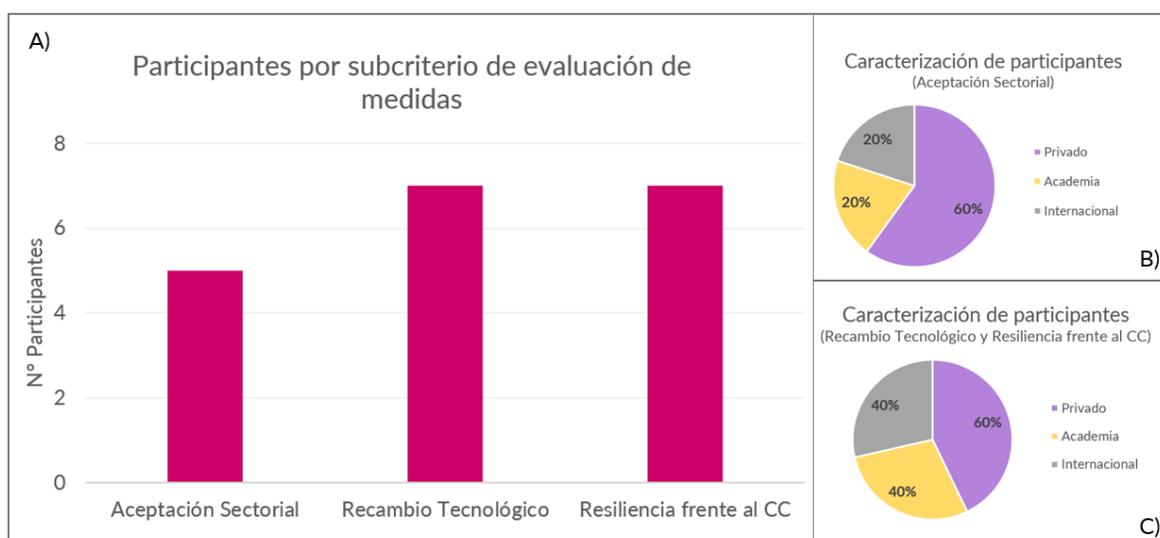


Figura 6.3: Caracterización de participantes en el caso de estudio según subcriterio de evaluación.

Respecto a las áreas de conocimiento de los participantes, la Tabla 6.6 presenta sus instituciones de origen y áreas de trabajo, además de las respuestas consistentes obtenidas tras la aplicación de las encuestas.

Tabla 6.6: Caracterización de participantes y respuestas obtenidas en la valoración de medidas. Elaboración propia.

	Subcriterios Técnicos		Subcriterios Ambientales
	Aceptación Sectorial	Recambio Tecnológico	Resiliencia frente al Cambio Climático
Nº participantes	5	7	7
Nº de respuestas consistentes	4	4	1
Instituciones de origen participantes	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa exportadora de frutas • Instituto de Investigaciones Agropecuarias • Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) • Universidad de Chile (Facultad de Ciencias Agronómicas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa exportadora de frutas • Instituto de Investigaciones Agropecuarias • Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) • Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT, Alemania) • Universidad de Chile (Facultad de Ciencias Agronómicas) • Universidad de la República (Uruguay, Facultad de Agronomía) 	
Áreas de trabajo participantes	<ul style="list-style-type: none"> • Administración y finanzas en exportación de frutas • Agronomía • Agroecología • Sistemas productivos sostenibles • Gestión integral del agua y agricultura 	<ul style="list-style-type: none"> • Resiliencia en sector frutícola • Administración y finanzas en exportación de frutas • Agronomía • Agroecología • Sistemas productivos sostenibles • Gestión integral del agua y agricultura • Adaptación al cambio climático • Manejo de desastres naturales 	

6.2.3.2.2 Valoración bajo subcriterios cuantitativos

Para la valoración bajo subcriterios cuantitativos se utilizan los indicadores descritos en la Tabla 6.3. A modo de ejemplo, se mostrará la valorización de medidas para la primera serie del Proceso Analítico Jerárquico, donde se toma el escenario actual del sector frutícola (sin la implementación de ninguna medida) como base de comparación. Así, al cuantificar las medidas bajo las distintas categorías técnicas, económicas y ambientales, se tienen los siguientes resultados (ver Tabla 6.7):

Tabla 6.7: Valoración de medidas bajo subcriterios cuantitativos. Elaboración Propia.

Medida	Subcriterios de Evaluación				
	Tiempo de implementación [Años]	CAPEX [USD]	Variación en el OPEX [USD/año]	Aporte a la mitigación del Cambio Climático (variación porcentual de emisiones de GEI)	Aporte a la conservación de agua (variación porcentual del consumo hídrico)
Tecnificación del Riego	7	\$173.191.442	\$14.272.185	0,5%	-14,8%
Incorporación de Residuos al Suelo	12	0	\$102.638.191	0,9%	-5,4%
Riego Solar	18	\$272.273.629	\$-100.869.445	-23,5%	0,0%
Recambio en transporte interregional	28	0	\$131.606.819.135	-4,7%	0,0%

La metodología de evaluación que describe la variación en el consumo hídrico y las emisiones de gases de efecto invernadero siguen las mismas directrices señaladas en el Capítulo 3 (ver secciones 3.4 y 3.5). La Tabla 6.8 muestra las variaciones metodológicas que se consideran en el cálculo de emisiones de GEI y de consumo hídrico en el sector frutícola. Para el caso del tiempo de implementación, costo de inversión y variación en el costo operacional, la metodología de cálculo se encuentra disponible en el Anexo F (ver sección F.3). Adicionalmente, los resultados de la cuantificación de medidas bajo estos mismos criterios para la segunda y tercera serie del Proceso Analítico Jerárquico (considerando escenarios base con la implementación de medidas previas ya ejecutadas), se encuentran disponibles en el Anexo F (ver sección 0).

Tabla 6.8: Consideraciones para la evaluación de medidas bajo subcriterios ambientales.

Medida	Consideraciones para la variación en Emisiones de GEI		Consideraciones para la variación en el Consumo Hídrico	
	Fuente	Descripción	Fuente	Descripción
Tecnificación del Riego	Consumo eléctrico en el campo	<ul style="list-style-type: none"> La tecnificación del riego involucra el uso de energía eléctrica para el suministro del agua, lo que provocará variaciones en el uso de energía proveniente de la matriz energética del país y, con ello, las emisiones asociadas. Al aumentar la eficiencia del uso de agua en riego, existe una variación en el consumo de este bien, lo que, en consecuencia, afecta el consumo energético asociado al riego. 	Participación de métodos de riego	La tecnificación del riego implica un cambio en el % de participación de los métodos de riego a nivel regional. Se asumirá que los métodos de riego asociados a aquellas hectáreas no tecnificadas actualmente, se reemplazarán por riego por goteo. Así, se considera que aquellos % asociados a métodos tecnificados, como microaspersión o aspersión, se mantienen como tal y no son incorporados en la tecnificación hacia riego por goteo, considerando que se trata de métodos tecnificados de similar eficiencia.
Incorporación de Residuos al suelo	Fertilizantes	La incorporación de residuos al suelo requiere la adición de fertilizantes nitrogenados para evitar el fenómeno llamado “hambre de nitrógeno” ³⁰ . Se asume un suministro adicional de urea para mantener una proporción C:N de 30:1, considerando que de esta forma se mantiene la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos.	Eficiencia de los métodos de riego	La incorporación de residuos al suelo permite un cambio en la composición del mismo, afectando principalmente en la porosidad del mismo. En este sentido, la adición de residuos al suelo contribuye a la retención del agua y la disminución de pérdidas por escorrentía. Para visibilizar este efecto, el aumento en la retención de agua tras la adición de residuos se relaciona con la eficiencia de riego (ver Anexo F, sección F.3.2.2) y, sumado a datos bibliográficos, se establece un aumento del 10% en la eficiencia para los distintos métodos de riego no tecnificados, asumiendo que la contribución a los métodos tecnificados es nula [141]. Esta variable se incorpora en el cálculo de la demanda bruta de los cultivos (ver sección D.1.1), obteniéndose
	Participación de métodos de disposición de residuos	Al reemplazar la combustión de residuos por su incorporación al suelo, el porcentaje de participación de este último método de disposición de residuos asciende a un 100%, mientras que la disposición en forma de leña o de combustión en el campo se reduce a un 0%.		
	Consumo de combustibles	La incorporación de residuos al suelo consiste en su trituración y posterior deposición y rastra sobre el		

³⁰ El *hambre de nitrógeno* corresponde a la situación de ausencia de nitrógeno orgánico disponible para las plantas debido a la competencia con microorganismos presentes en el suelo, que también consumen nitrógeno [231].

		suelo. En este sentido, se tiene un mayor uso de maquinaria agrícola. Específicamente, se asume el uso de una trituradora de rastrojos de poda y una incorporadora de rastrojos.		finalmente la variación en el consumo hídrico a nivel nacional.
Riego Solar	Consumo eléctrico en el campo	El abastecimiento exclusivo a partir de proyectos de energía solar fotovoltaica implementados al interior del campo implica una independencia de la matriz energética chilena (que considera combustibles fósiles). Esto implica no considerar las emisiones asociadas a este suministro.	No aplica	El cambio en la fuente de abastecimiento energético no provoca variaciones en el consumo de agua para riego.
Recambio en Transporte Interregional	Consumo de combustibles	El recambio en el método de transporte interregional desde transporte camionero a ferroviario implica una variación en el rendimiento del vehículo de transporte y también en la capacidad, lo que conlleva a una variación en el factor de consumo de combustible por kilogramo de fruta. Lo anterior provoca una variación en las emisiones del sector frutícola.	No aplica	El cambio en el transporte interregional no provoca variaciones en el consumo de agua para riego.

6.2.4 Priorización y síntesis

Tras la valorización de las alternativas y la priorización de criterios, se construyen las matrices de comparación y se priorizan las medidas. La metodología AHP se aplicó recursivamente contando con un total de tres series donde, para cada una, se recalcularon los indicadores asociados a criterios cuantitativos y se seleccionó la alternativa con mayor prioridad tras la resolución matemática del problema de jerarquización. Respecto a la valoración basada en juicios de expertos, se toma como supuesto que los juicios emitidos (tanto para la valoración de criterios como para la valoración de medidas) se mantienen. La jerarquía obtenida tras la valoración y consideración de la importancia relativa entre criterios y subcriterios se muestra en la tabla a continuación

Con respecto a los resultados presentados en la Tabla 6.9, es posible observar que la jerarquía obtenida no varía entre cada serie de priorización, sin embargo, sí se observa un cambio en las posiciones relativas entre las alternativas evaluadas. Esto queda en evidencia al analizar la diferencia relativa entre los puntajes de las medidas de Riego Solar e Incorporación de Residuos al Suelo en las primeras dos series, observándose una diferencia porcentual de un 0,5% entre los puntajes obtenidos para la primera serie, y una diferencia de un 6,3% para la segunda serie, que considera como base comparativa un escenario donde se implementa la tecnificación del riego a nivel nacional.

Tabla 6.9: Priorización obtenida tras la aplicación de la metodología AHP. Elaboración propia.

Medidas	Puntuación Final Promedio			Jerarquía Final
	Serie 1	Serie 2	Serie 3	
Tecnificación del Riego	0,441	-	-	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tecnificación del Riego 2. Riego Solar 3. Incorporación de Residuos al Suelo 4. Recambio en transporte interregional
Riego Solar	0,215	0,385	-	
Incorporación de Residuos al Suelo	0,213	0,361	0,588	
Recambio en transporte interregional	0,130	0,255	0,412	

Finalmente, la Tabla 6.10 muestra la variación en las Categorías de Impacto cuantificadas para evaluar el aporte a la mitigación y adaptación al Cambio Climático tras la implementación de las medidas en el horizonte temporal definido para la Hoja de Ruta (año 2050).

Tabla 6.10: Variación en la cuantificación de Categorías de Impacto tras la aplicación de las medidas. Elaboración propia.

Categoría de Impacto	Adaptación	Mitigación
	Uso de Agua [millones de m ³ /año]	Intensidad de Emisiones [tCO ₂ eq/año]
Escenario base (actual)	4.193	2.473.987
Escenario con medidas (2050)	3.572	1.826.866
Variación respecto al escenario base	- 15%	- 26%

6.2.5 Discusiones parciales

A partir de la Tabla 6.9 es posible concluir que, considerando los criterios de evaluación y la importancia asignada a cada uno de ellos, la medida más conveniente corresponde a la tecnificación del riego. Lo anterior cobra sentido teniendo en cuenta que los subcriterios con mayor prioridad en la selección corresponden a la

conservación del agua, la resiliencia frente al cambio climático y la aceptación sectorial, donde la tecnificación del riego cobra especial importancia dada su contribución en estos aspectos (ver Tabla 6.5).

Tras la jerarquización de medidas y el establecimiento de un escenario hipotético de implementación, se proyecta una reducción de las emisiones de GEI del subsector de un 26%, mientras que en el caso del Uso de Agua, se proyecta una disminución del 15%. Estos aportes están atribuidos principalmente a las medidas de Tecnificación del Riego y de Riego Solar (ver Tabla 6.7), lo que podría conllevar a seleccionar estas medidas y descartar aquellas asociadas a los residuos de poda o al transporte interregional. Esto, sin embargo, pierde de vista otros posibles aportes de estas últimas medidas, como puede ser el aporte de la incorporación al suelo a la calidad de la tierra, o la posibilidad de que el transporte ferroviario se integre a otros sectores industriales también. Por lo anterior, es preciso contar con una evaluación integral para facilitar la toma de decisiones.

Con respecto a los resultados obtenidos, existen diversos aspectos discutibles. En primer lugar, se debe destacar que las estimaciones cuantitativas asociadas a costos y tiempos de implementación corresponden a aproximaciones referenciales que pueden variar en función de las simplificaciones o supuestos tomados (ver Anexo F, sección F.3). Esto podría derivar en una jerarquía diferente a la presentada, por lo que se debe tener en cuenta la importancia de una cuantificación responsable de los indicadores seleccionados para cada evaluación.

En segundo lugar, para la evaluación de medidas, ya sea mediante valoración basada en juicios o en indicadores cuantitativos, no se consideró una proyección de escenarios climáticos, es decir, se asumió un escenario en que las condiciones climáticas actuales se mantienen en el tiempo. Lo anterior es especialmente importante considerando que, dada la crisis climática y la vulnerabilidad del país frente a este fenómeno, es probable que existan variaciones en torno a estas condiciones, lo que puede derivar en la obtención de una jerarquía diferente. Adicionalmente, la valoración de medidas con respecto al criterio de “Resiliencia frente al Cambio Climático” a partir de juicio experto considera una única respuesta consistente, lo que deja en evidencia la dificultad que presentan las personas para emitir respuestas consistentes. El hecho de considerar una respuesta en la valoración conlleva a un resultado que difícilmente puede ser suficiente para concluir un resultado final. Dada la importancia que se le otorgó al subcriterio de resiliencia (el segundo subcriterio con mayor peso en el vector final de prioridades, ver Tabla 6.5), esta única respuesta condiciona el vector final promedio obtenido para la evaluación de medidas bajo este subcriterio, lo que deriva en una jerarquía obtenida con baja representatividad. Esto, sin embargo, no impide la continuación de este trabajo metodológico para la composición de Hojas de Ruta, es más, permite reflexionar y obtener aprendizajes para proyectar y ampliar el uso del método, aspectos que serán discutidos más adelante.

Por otro lado, a partir del ejercicio realizado es posible notar que, independiente de las diferencias cuantitativas o cualitativas que puede haber en la evaluación de las distintas medidas, la resolución numérica del problema de jerarquización puede resultar en puntuaciones muy similares, como es el caso de las medidas de riego solar e incorporación de residuos, que tras el primer ejercicio de priorización, presentan una diferencia relativa de un 0,5%. Realizar la segunda serie de priorización permite aumentar la resolución del análisis, observándose una diferencia relativa de un 6,3%. Lo anterior tiene sentido considerando que el escenario base sobre el que se implementa una medida u otra cambia respecto al caso inicial, pues se considera la implementación de la medida de tecnificación del riego, lo que tiene implicancias directas tanto en la evaluación del riego solar, como en la incorporación de residuos al suelo (ver más detalles en la Tabla 6.8 y en el Anexo F, sección 0).

Con respecto a la valorización de criterios y subcriterios es preciso notar que, en el contexto de la elaboración de una Hoja de Ruta en materia de Cambio Climático, el promedio de los participantes consideró que el criterio ambiental es el más relevante a considerar en este tipo de análisis. Específicamente, se priorizan aquellos subcriterios que tienen estrecha relación con el contexto climático a nivel nacional (la necesidad de conservar

el agua y de aumentar la resiliencia), incluso por sobre el escenario económico, contrario a lo que podría suponer, por ejemplo, un análisis costo-beneficio o una consulta orientada específicamente al sector privado. En este sentido, la metodología multicriterio, y específicamente la herramienta AHP, permite representar de mejor manera las variables que definen qué es lo que hace más deseable una medida, incorporando la opinión de distintos actores involucrados para hacer del resultado no solo más integral, sino que también más representativo.

Consideraciones metodológicas

La aplicación de la metodología en el caso de estudio permitió contar con diversos aprendizajes que pueden recogerse para experiencias futuras. En primer lugar, al tratarse de un ejemplo de aplicación, no se cuenta con una participación que permita afirmar que las opiniones mostradas y los resultados obtenidos representan la realidad nacional. En este sentido, se requiere de un mayor número de personas provenientes de diversos sectores interesados en la actividad industrial para poder contar con una jerarquía que realmente represente el escenario complejo en que se desenvuelve este proceso de toma de decisiones.

En segundo lugar, durante la realización de encuestas fue posible notar cierta dificultad en los participantes para jerarquizar criterios, específicamente, debido a la importancia del contexto territorial donde se realiza el análisis. A modo de ejemplo, en el caso de la jerarquización de subcriterios ambientales, se mencionó recurrentemente la necesidad de priorizar, absolutamente, la conservación del agua en el caso de la macrozona norte, mientras que, en la zona sur, esta decisión no resultó ser directa. De esta forma, una evaluación multicriterio realizada con mayor resolución territorial (por ejemplo, realizando evaluaciones diferenciadas en las distintas macrozonas) podría ser una mejor herramienta para la toma de decisiones.

En tercer lugar, es preciso reflexionar sobre la metodología utilizada para la valoración de criterios y medidas. En el presente estudio se realizó una encuesta por persona y, posteriormente, se tomaron aquellos resultados cuya consistencia fuera tolerable y fueron generalizados utilizando un promedio simple. Lo anterior tiene dos aspectos discutibles: i) lo referido al nivel de consistencia y; ii) la generalización de la valorización.

Con respecto al primer punto, existen diversas discusiones en torno al límite de lo consistente, pues mientras mayor sea el número de elementos a comparar (es decir, mientras mayor sea el tamaño de una matriz de comparación), más complejo será alcanzar un nivel de consistencia aceptable. Adicionalmente, se ha discutido que la escala de valoración condiciona no solo el nivel de consistencia obtenido³¹, sino que también la jerarquía final. Este problema ha provocado que diversos autores propongan nuevas escalas de valoración, lo que puede representar una oportunidad de mejora para el uso de esta metodología [142]. También fue posible identificar cierta influencia de la estructura de la encuesta en el índice de consistencia, específicamente, a partir del orden en que se realiza la comparación por pares. Tras la aplicación de los formularios de valoración a los distintos participantes, existieron algunas respuestas con un índice de inconsistencia fuera de lo tolerable, problema que se abordó repitiendo el ejercicio, pero esta vez, explicándole a quien respondía la condición de consistencia, cómo esto se traduce en las respuestas del formulario y, además, cambiando el orden en que se realizaron las preguntas, específicamente, estableciendo un orden que facilitara al participante visualizar las relaciones de transitividad entre respuestas ante la comparación por pares. Todo esto facilitó la obtención de nuevas respuestas con un índice de consistencia aceptable. En este sentido, se sugiere poner especial atención a la elaboración del formulario como tal, para así anteponerse a posibles confusiones de quien responde y, finalmente, facilitar la obtención de respuestas consistentes.

³¹ Esta modificación se adjudica a que la escala utilizada condiciona el índice de consistencia aleatorio obtenido, modificando en consecuencia el índice de consistencia.

En relación con el punto ii), referido a la generalización de la valoración, la utilización de un promedio simple entre las respuestas obtenidas no es la única vía para obtener un resultado final. En este sentido, cabe preguntarse ¿es la mejor alternativa? ¿de qué otras opciones se disponen? El promedio simple fue utilizado considerando una premisa de que ninguna opinión es más valorable o representativa que otra, a diferencia de lo que podría haber significado el uso de un promedio ponderado. Sin embargo, utilizar un promedio simple para generalizar la valorización diluye opiniones que pueden ser totalmente contrapuestas, lo que frente a un escenario de planeación de políticas públicas puede no ser lo más conveniente al momento de tomar decisiones.

Ante lo mencionado, se propone como alternativa desarrollar una metodología participativa en torno a grupos de discusión, donde la valorización generalizada derive de actividades grupales en las que se deba llegar a un consenso entre los participantes. Esta propuesta puede contribuir a una mayor sensación de representatividad por parte de los actores involucrados, además de tener el potencial de impactar en el conocimiento de quienes participan, pues la discusión grupal permite generar un espacio de intercambio de opiniones, experiencias y conocimientos que no necesariamente se abordan desde una metodología personalizada como lo es la respuesta de un formulario de manera individual [143]. Adicionalmente, la búsqueda del consenso, en términos de políticas públicas, suele ser una oportunidad para aumentar el nivel de aceptación, por parte de los actores involucrados, tras la toma de decisiones (en este caso, la implementación de una medida de mitigación o adaptación al cambio climático).

A partir de lo anterior, se recomienda explorar metodologías comunicacionales para llevar a cabo una evaluación multicriterio de manera grupal y que tienda a la búsqueda de consensos. A modo de ejemplo, se ha propuesto la implementación de un “AHP grupal”, donde quienes participan deben llegar a acuerdos para responder las preguntas relativas a la comparación por pares de alternativas [143] (ver Anexo F, secciones F.2 y F.4.1). Otra opción puede ser utilizar el método Delphi, que considera un grupo de participantes que, de forma anónima responden individualmente un cuestionario (que, para este caso, podría ser el formulario de valorización). Posteriormente las respuestas son procesadas y se vuelve a repetir la encuesta a los mismos participantes, con la salvedad de que, en cada repetición, los participantes cuentan con los resultados parciales de la iteración anterior [144]. Lo que busca expresarse con estas ideas es que, para aumentar la representatividad de los resultados, no necesariamente basta con aumentar el número de participantes, sino que la implementación de diferentes métodos de consulta puede contribuir a una participación que contraiga más beneficios que la mera representatividad.

Un último aspecto a mencionar relacionado con consideraciones metodológicas y la valoración de criterios, corresponde a la complejidad que supone elaborar una estructura jerárquica del problema que logre representar correctamente la intención de la evaluación de la manera más simple posible. A lo largo de la ejecución de las encuestas, fue posible observar que la dependencia entre criterios y subcriterios dificultó el proceso de respuesta para los participantes. A modo de ejemplo, se puede notar que existe una dependencia entre el subcriterio “Resiliencia frente al Cambio Climático” y “Conservación del Agua”, considerando que mientras más se conserve el agua en el sector frutícola, mayor será la resiliencia del mismo, por ejemplo, frente a un evento de sequía. Lo anterior provocó una dificultad para quien debía priorizar un criterio por sobre otro. A partir de esto, fue posible notar que, cuando se tienen criterios que no se independizan lo suficiente, es posible que no evidenciar una jerarquía clara. En este sentido, resulta fundamental para este estudio caracterizar correctamente los subcriterios, de modo que recojan individualmente aspectos a evaluar y puedan independizarse en la mayor medida posible del resto de los subcriterios.

6.3 Generalización de la metodología de jerarquización bajo el Proceso Analítico Jerárquico

La generalización para el uso de la herramienta del Proceso Analítico Jerárquico en el contexto de la elaboración de Hojas de Ruta para sectores industriales se basa en la experiencia y aprendizajes obtenidos tras la aplicación de la metodología al caso de estudio. Para priorizar las medidas propuestas en cualquier sector industrial, se identifican los siguientes pasos a seguir (ver síntesis en la Figura 6.4):

- 1. Selección de medidas:** considerando que en las etapas previas de la elaboración de la Hoja de Ruta se han propuesto diversas medidas, probablemente sea necesario acotar el conjunto de medidas a evaluar. En esta etapa se propone la aplicación de un primer filtro de selección que considere la pertinencia de las medidas, recordando que estas deben apuntar a un objetivo claro (la mitigación y adaptación del sector al cambio climático) y la factibilidad técnica de implementación. Una primera aproximación sobre cómo abordar este último aspecto considera la observación de experiencias previas, que hayan ejecutado las medidas concretas u otras similares, en el ámbito nacional o internacional.
- 2. Revisión de criterios:** en la etapa previa a la ejecución de la evaluación multicriterio se definieron los criterios que definen cuándo una medida es deseable o conveniente. En este paso, se sugiere independizar, dentro de lo posible, los criterios y subcriterios. Lo anterior, con el objetivo de definir una estructura jerárquica para la metodología AHP que facilite la priorización a través de la comparación por pares. En este sentido, para revisar y orientar la interdependencia de los criterios y subcriterios seleccionados, se sugieren las siguientes preguntas orientadoras:
 - a. ¿Cómo interactúa un criterio/subcriterio con el resto de los criterios/subcriterios? ¿son independientes?
 - b. ¿Existe una dependencia estricta entre un criterio/subcriterio y otro? ¿Pueden expresarse de manera independiente, pero manteniendo su propósito de evaluación?
 - c. ¿Existe algún criterio/subcriterio que esté implícitamente abordado en otro criterio/subcriterio? ¿Pueden separarse?
- 3. Estructura del problema:** en este paso se busca establecer la estructura jerárquica del problema, tal como se muestra en la Figura 6.1, para posteriormente facilitar la valoración de criterios y medidas. De esta forma, el árbol de jerarquía debe representar claramente cómo se estructura el esquema de evaluación, y los pares de comparaciones que se realizarán durante las etapas posteriores.
- 4. Determinar la escala de aplicación:** Considerando que el resultado de la evaluación multicriterio puede variar según el contexto geográfico donde se implemente, se sugiere analizar previamente la escala de aplicación: a nivel nacional, a nivel de macrozonas o de regiones. Esto dependerá tanto de las capacidades disponibles como de las semejanzas de los mismos territorios o de las problemáticas climáticas que enfrentan, pues esto define qué resulta más deseable o no en un contexto de elaboración de una Hoja de Ruta en materia de cambio climático.
- 5. Valoración de criterios:** como resultado de esta etapa, se debe contar con una jerarquía clara entre los criterios y subcriterios de evaluación. Para esto, se requiere definir la escala y la metodología de valoración, para lo que se sugiere abordar los siguientes puntos:
 - a. Determinar participantes: en este caso se sugiere considerar actores involucrados que provengan de diferentes orígenes, con el fin de representar de la mejor manera posible la opinión de la totalidad del sector.
 - b. Definir metodología de encuesta: para este punto, se debe definir cómo se ejecutará la valoración de los criterios y subcriterios, específicamente, cómo obtener un resultado general que pueda incorporarse en las matrices de comparación involucradas en la metodología AHP.

- Así, debe definirse si se utilizará una metodología que apunte a la llegada a consensos, o si se tratará de una metodología de encuestas individuales y una posterior generalización (por ejemplo, mediante un promedio simple).
- c. Elaboración y aplicación de Formularios: se debe poner especial atención en una redacción que evite los sesgos en las respuestas y que facilite la obtención de respuestas consistentes. En esta etapa debe definirse, además, la escala de valoración.
6. **Valoración de medidas:** considerando si las medidas se evalúan de forma cuantitativa o bajo el criterio de expertos y la emisión de juicios mediante una escala de valoración, se tendrán distintos procedimientos a realizar.
 - a. Bajo escala de valoración: para este caso, se sugiere seguir los pasos del punto 4 descrito previamente. Se debe tener especial consideración en que, para la evaluación de medidas bajo los distintos criterios y subcriterios, probablemente se deba contar con la participación de diferentes expertos, según corresponda. Adicionalmente, se sugiere valorar el conocimiento basado en la experiencia, además del conocimiento científico.
 - b. Bajo el uso de indicadores: en este caso se deben definir los indicadores cuantitativos que permiten evaluar el impacto de la medida tras su implementación en el escenario base, caracterizado en los Capítulos 2 y 3.
 7. **Completar matrices de comparación:** siguiendo la metodología descrita en el Anexo F (ver sección F.1.2).
 8. **Priorización y síntesis:** en donde se debe resolver el sistema de ecuaciones definido tras la elaboración de matrices de comparación (ver Anexo F, secciones F.1.2 y F.1.3). Como resultado de esta etapa se obtiene aquella medida que, según los criterios e importancia relativa definidos, es más deseable. También es posible descartar aquellas medidas que tengan una puntuación significativamente menor al resto de las medidas, por lo que se debe evaluar esta opción según sea el caso.

Si el orden de la implementación de las medidas no afecta la valoración realizada para cada medida en los pasos 5 y 6, la priorización obtenida corresponde a la jerarquía final. De lo contrario, se debe continuar con el paso 9.
 9. **Jerarquización recursiva:** una vez obtenida la medida más deseable, la priorización del resto de las medidas se realiza aplicando nuevamente la metodología AHP. Para esto se debe considerar:
 - a. Reestructuración del caso base: considerando el escenario hipotético de la implementación de aquella medida más deseable. En esta etapa se deben reconfigurar los indicadores cuantitativos asociados al escenario base de comparación, como también los formularios de valoración, según sea necesario.
 - b. Repetir pasos 3 a 7, hasta obtener la jerarquía final.
 10. **Calcular la variación en las categorías de impacto en el escenario de aplicación de las medidas jerarquizadas.** Con el fin de evaluar el aporte de la Hoja de Ruta a la mitigación y adaptación del Cambio Climático en el sector.

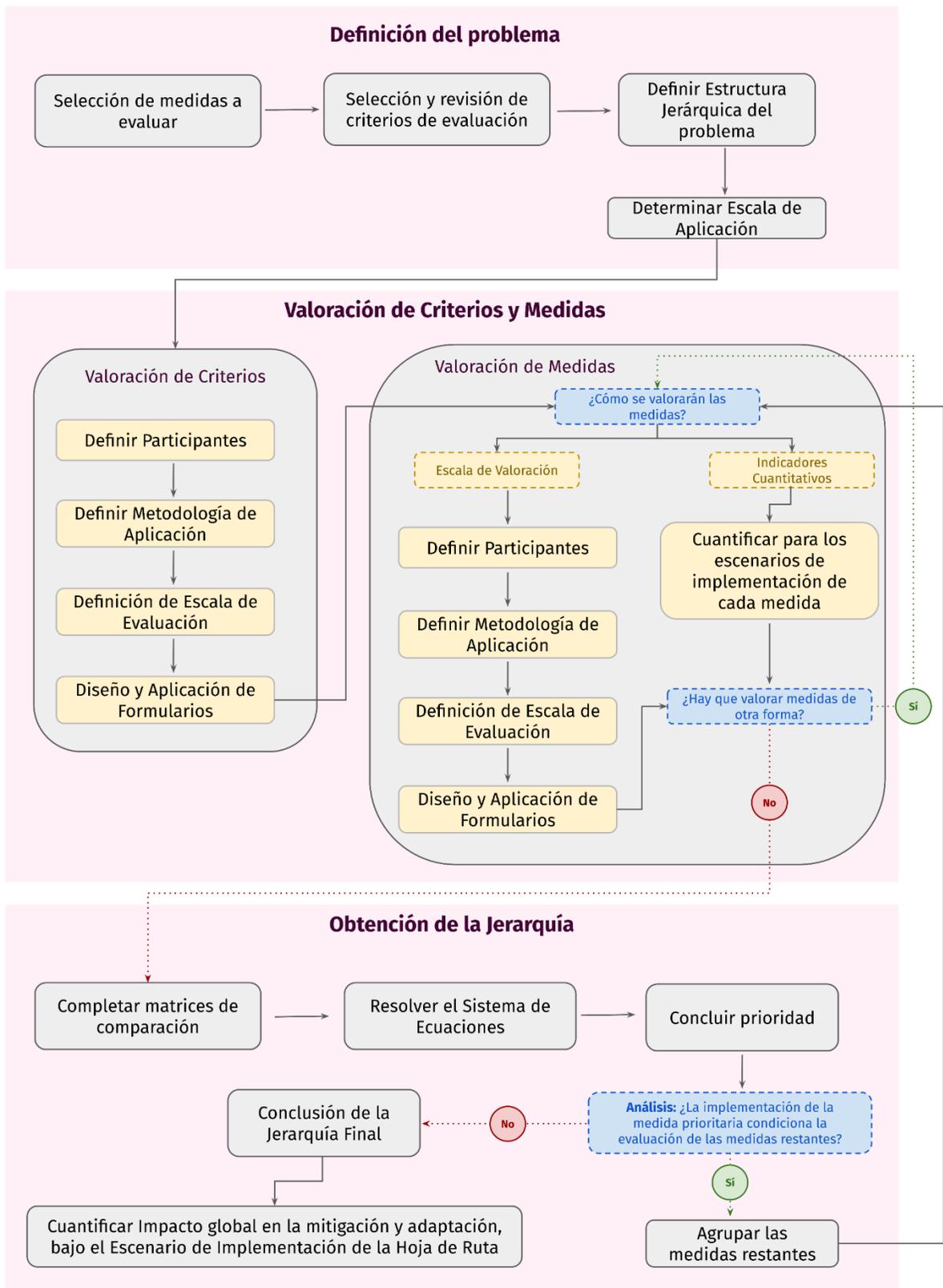


Figura 6.4: Síntesis de la metodología de Jerarquización con AHP. Elaboración propia.

6.4 Reflexiones Finales

El Proceso Analítico Jerárquico permite formalizar un problema de jerarquización a través de la formulación de un problema matemático. En este sentido, se trata de una herramienta de priorización clara que permite reunir la participación de múltiples actores, y evaluaciones cuantitativas y/o cualitativas, según la emisión de juicios de valor, para posteriormente matematizar y estructurar de manera clara un problema a resolver, lo que no ocurre necesariamente cuando este mismo problema de priorización se aborda bajo metodologías como mesas de trabajo, grupos focales, entrevistas, etc. De esta forma, se evidencian tres ventajas a partir de lo expresado: i) el hecho de poder estructurar de manera clara y asegurar la obtención de una jerarquía basada en la resolución de un problema matemático establecido a partir de una lógica cotidiana de comparación; ii) la oportunidad de incluir evaluaciones que pueden ser difíciles de abordar bajo métodos cuantitativos, utilizando un método cualitativo que, de igual forma, permite formalizar la estructura de la evaluación y; iii) la posibilidad de incluir distintos actores involucrados, provenientes de diferentes orígenes, en la evaluación multicriterio.

La metodología AHP puede ser útil para la priorización puntual de medidas bajo un único escenario, pero también para dar una primera noción del orden de aplicación de medidas para un escenario que puede variar en el tiempo. La aplicación recursiva de la metodología AHP permite responder diversas interrogantes: dada la situación actual del sector industrial, y considerando ciertos criterios de evaluación, ¿cuál medida es la más deseable? Posteriormente, considerando que se implementa aquella medida más deseable, ¿cómo cambia la jerarquía de las medidas restantes?, ¿cuál es la medida más deseable bajo este nuevo escenario? El proceso se repite de manera sucesiva hasta resolver estas preguntas para todas las medidas consideradas en el ejercicio de evaluación. Todo esto permite obtener una primera aproximación a lo que será la planificación de la implementación de las medidas evaluadas.

El potencial de aporte a la planificación por parte de la herramienta AHP se expresa también en la utilidad que esta presenta al enfrentarse a un problema de priorización enmarcado en el contexto de crisis climática, donde el escenario de comparación puede variar notablemente en el tiempo. Si bien la proyección de escenarios climáticos no fue aplicada en el caso de estudio, el contar con estas proyecciones permite que, al aplicar la metodología AHP de manera recursiva, se visibilice claramente una jerarquía entre medidas a evaluar que considera el contexto de implementación, lo que facilita la toma de decisiones en torno a la distribución de recursos y esfuerzos hacia proyectos con mayor potencial o efectos positivos sobre el medio ambiente y la sociedad. En el mismo sentido, la proyección de escenarios podría incorporar la visión de posibles (y probables) efectos sinérgicos entre los impactos de diferentes sectores industriales, lo que haría a esta herramienta más robusta y útil para la toma de decisiones.

En línea con lo anterior, es posible notar que la herramienta utilizada es adaptable al contexto geográfico de evaluación, estableciéndose un escenario de comparación que considere tantas variables como se desee. No obstante, su utilización a nivel macro o, en otras palabras, a nivel nacional, puede no ser la alternativa más idónea, sobre todo en un territorio donde las condiciones climáticas, sociales, etc. difieren significativamente entre regiones o macrozonas. Esta dificultad puede abordarse considerando un análisis basado en el contexto y evaluando la implementación de medidas en zonas geográficas más acotadas como, por ejemplo, macrozonas o regiones. De esta forma, se tiene un análisis con mayor resolución y adecuada a cada contexto territorial, lo que resulta especialmente importante al momento de enfrentar problemas de índole ambiental o social, que se corresponden con el fenómeno climático actual.

A partir de lo expuesto, resulta valioso cuestionarse si buscar una metodología aplicable a nivel nacional es una buena aproximación para realizar una Hoja de Ruta en materia de Cambio Climático o, dicho de otra forma, si una Hoja de Ruta a nivel nacional es funcional considerando la variedad territorial existente, o resulta mejor pensar inmediatamente en hojas de ruta regionales, por ejemplo. A partir de este ejercicio se considera que el

establecimiento de un plan nacional permite una coordinación más clara y eficiente al momento de implementar medidas en territorios más acotados, lo que aumenta la capacidad de acción conjunta frente a un fenómeno global. Sin embargo, considerando la importancia de los contextos donde se implementan las medidas, un mejor enfoque de planificación podría basarse en una metodología *de abajo hacia arriba* considerando, en primer lugar, una priorización y toma de decisiones a nivel de macrozonas y, posteriormente, la composición de una agenda a nivel nacional.

Otra consideración que cabe tener en cuenta al momento de utilizar esta herramienta tiene relación con las capacidades y recursos disponibles. Quien lea este trabajo notará que se requiere de un amplio trabajo, idealmente interdisciplinario, para obtener un resultado que sea representativo de la realidad nacional del sector industrial. Se requiere de una amplia participación de distintos actores involucrados en la actividad industrial, además de capacidades asociadas a la elaboración de formularios, realización de actividades de valoración, procesamiento de datos, etc. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la dificultad que representa trabajar con la emisión de juicios para la valoración de criterios o alternativas, considerando la naturaleza humana ligada a la inconsistencia. Respecto a esto último, es preciso destacar que una respuesta consistente no quiere decir que se cuenta con una respuesta correcta al problema de valoración, sino que sólo se cuenta con una respuesta lógica [139].

Hasta este punto, el caso de estudio ha abordado un diagnóstico del sector industrial a nivel nacional, la propuesta de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático, el establecimiento de criterios y subcriterios de evaluación y una priorización de estas medidas. Una vez que se cuenta con la jerarquía de medidas y se sabe qué es lo que se considera más deseable de implementar, se está en condiciones de avanzar hacia la composición de una agenda sectorial, tema que será abordado en el siguiente Capítulo.

Capítulo 7. Composición de la Hoja de Ruta

Los capítulos desarrollados previamente exponen cómo definir un grupo de medidas a implementar en un sector industrial específico. El camino recorrido contempla la elaboración de un diagnóstico del sector y la propuesta de medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Posteriormente, estas medidas fueron evaluadas con el Proceso Analítico Jerárquico como herramienta de análisis multicriterio, que permitió obtener una jerarquía para la implementación de las medidas a lo largo del tiempo. Si bien esta jerarquía puede representar una primera orientación para la calendarización de medidas, cabe preguntarse ¿cómo se puede lograr el objetivo propuesto para cada medida? ¿qué acciones deben tomarse y cómo pueden distribuirse en el tiempo? ¿la jerarquía obtenida exige necesariamente una implementación en serie de las medidas seleccionadas? En este capítulo se desarrollarán algunas herramientas que pueden resultar útiles al momento de planificar la implementación de las medidas seleccionadas.

Quien haya leído este trabajo de tesis habrá notado una estructura similar entre los distintos capítulos ya expuestos, basada en la presentación de la metodología seguida en el caso de estudio y la posterior generalización de la misma para ser aplicable a distintos sectores industriales. En este capítulo, la lógica se invierte. Se abordará inicialmente la metodología general para definir y calendarizar las acciones concretas para cumplir con los objetivos planteados para las distintas medidas a implementar y, posteriormente, se ilustrará el uso de la metodología en el caso de estudio. Finalmente, se presentarán los resultados obtenidos, discusiones y reflexiones en torno a esta sección en particular.

7.1 Metodología de composición de la Hoja de Ruta

La composición de una Hoja de Ruta es una planificación a nivel estratégico, es decir, corresponde a un programa definido a largo plazo, que traza las directrices generales para cumplir con un objetivo determinado. Se trata de un plan general que permitirá, posteriormente, la definición de acciones más concretas (a un nivel táctico y operacional). En este sentido, una de las principales características de este tipo de planes es su flexibilidad, pues al tratarse de una línea de acción a largo plazo, debe considerar la ocurrencia de posibles contingencias que obliguen a cambiar el plan de acción.

La metodología propuesta a continuación se orienta al cumplimiento de cinco objetivos parciales:

- La definición de un comité de coordinación destinado al cumplimiento, evaluación y seguimiento del plan asociado a cada medida.
- La definición de iniciativas y acciones estratégicas que apunten al cumplimiento de cada medida. Se entenderá como “iniciativa” una idea general asociada a un objetivo específico para el cumplimiento de cada medida, mientras que las “acciones” se comprenderán como actos más concretos que permiten trazar un camino para cumplir con el objetivo de cada iniciativa (ver esquema representativo en Figura 7.1).
- La definición de organismos impulsores, actores clave, etc. para cada acción estratégica.
- La definición de plazos de cumplimiento de estas acciones.
- La composición de una agenda estratégica según los plazos establecidos.

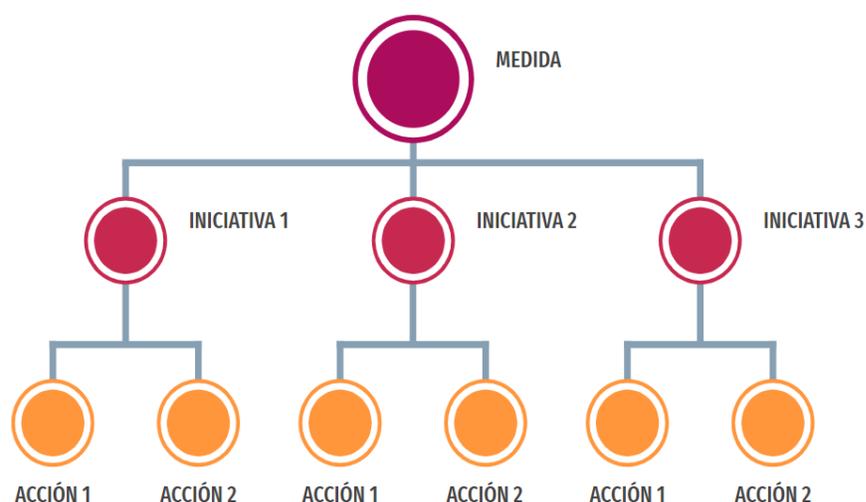


Figura 7.1: Esquema tipo de definición de iniciativas y acciones estratégicas para las respectivas medidas. Elaboración propia.

De esta forma, e inspirándose en la estructura seguida en la Hoja de Ruta de Economía Circular [145], se propone organizar la definición de iniciativas, acciones, responsables y plazos de la siguiente manera (ver Tabla 7.1):

Tabla 7.1: Presentación de cada iniciativa estratégica con sus respectivas acciones de cumplimiento. Elaboración propia.

INICIATIVA 1	CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Nombre Iniciativa. [Descripción de Iniciativa]				Institución(es) a cargo de la iniciativa	Eje estratégico al que pertenece la iniciativa
ACCIONES	CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Acción 1.				Organismo(s) a cargo de la acción	Grupos de interés para la implementación de la acción
b. Acción 2.					
c. Acción 3.					

*CP: Corto Plazo; MP: Mediano Plazo; LP: Largo Plazo

La tabla a continuación muestra una síntesis de la metodología que se propone seguir para el cumplimiento de cada objetivo, además de los resultados esperados al final de cada etapa.

Tabla 7.2: Metodología propuesta para la composición de la Hoja de Ruta. Elaboración propia.

Objetivo Parcial	Metodología propuesta	Resultados esperados
Definición de comité de coordinación	1. Análisis de actores involucrados en la ejecución de la medida y con capacidades técnicas para la coordinación.	Obtención de un <i>cluster</i> de organizaciones del sector público, a cargo de la coordinación del plan para cada medida.
Definición de iniciativas y acciones estratégicas	2. Análisis FODA: con el fin de analizar las características internas del comité de coordinación, además de la situación externa, permitiendo identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. 3. Definición de iniciativas y acciones estratégicas: elaborando una Matriz Analítica de Definición de Estrategias (MAFE) que considere el análisis anterior. Las iniciativas corresponden a ideas generales con un	Para cada medida, una cartera de iniciativas estratégicas a impulsar, con sus respectivas acciones de concreción, para el cumplimiento de dichas iniciativas.

	objetivo específico para el cumplimiento de cada medida, mientras que las acciones se definen como actos más concretos que permiten trazar una metodología para cumplir con el objetivo de cada iniciativa.	
Definición de organismos impulsores para cada acción	<ol style="list-style-type: none"> 4. Análisis de <i>stakeholders</i>, basado en la institucionalidad existente. 5. Definición de responsables y de posibles colaboradores. 	Para cada acción, la definición de un grupo de actores del sector público-privado que aporte al cumplimiento dentro de los plazos establecidos.
Definición de plazos de cumplimiento	<ol style="list-style-type: none"> 6. Definición, para cada medida, de la duración (en años) del corto, mediano y largo plazo. 7. Clasificación de las iniciativas y acciones en categorías de corto, mediano y largo plazo, considerando la necesidad de sucesión y paralelización de actividades para el correcto funcionamiento del plan, además de las restricciones temporales existentes para el desarrollo de cada medida. 	Establecimiento de los años requeridos para cumplir con cada iniciativa y acción propuesta. Se obtiene una primera aproximación de la sucesión y paralelización de actividades para cada medida.
Composición de la agenda	<ol style="list-style-type: none"> 8. Revisión de la sucesión y paralelización de las acciones de cada iniciativa 9. A partir de lo anterior, ordenar cronológicamente las iniciativas, para cada medida. 10. Con el orden interno de iniciativas para cada medida, situar en una misma línea temporal todos los eventos de las diferentes medidas. 11. Una vez obtenido el panorama general, evaluar la posibilidad de reorganizar las iniciativas, considerando la visión global de todas las medidas en una misma calendarización. Esto, considerando posibles restricciones presupuestarias, la jerarquía obtenida en el análisis multicriterio, la necesidad de sucesión entre iniciativas pertenecientes a distintas medidas y la posibilidad de paralelizar el desarrollo de otras. 12. Definición de hitos de seguimiento y evaluación. 	Línea temporal de todas las iniciativas a seguir para el cumplimiento de las distintas medidas, con sus respectivos hitos de evaluación.

7.2 Caso de estudio

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras seguir el procedimiento descrito en la Tabla 7.2 para el caso de estudio asociado a la industria frutícola. Los pasos 1 a 7 de metodología se implementaron para cada medida, para luego proceder a la composición de la Hoja de Ruta según los pasos 8 a 12 dispuestos en la metodología propuesta.

Cabe recordar que si bien el caso de estudio contempla el sector agrícola, desde la sección 3.2.2 en adelante se ha acotado el ejemplo de aplicación al subsector frutícola. Esto, sin embargo, no supone cambios en la metodología, pues la composición de la Hoja de Ruta supone el desarrollo de este procedimiento para cada subsector. Así, la Hoja de Ruta del sector agrícola se remite a la composición de Hojas de Ruta de los distintos subsectores asociados, que se construyen de manera análoga a la propuesta que se desarrolla para el subsector frutícola.

7.2.1 Definición de iniciativas, acciones y organismos impulsores

La planificación de la implementación de las medidas seleccionadas requiere de la definición de tareas a realizar. Para efectos de este trabajo, estas tareas se dividen en iniciativas, cada una compuesta por diferentes acciones.

Antes de plantear las respectivas iniciativas y acciones, se definen diferentes comités de coordinación según su pertinencia en la implementación de cada medida. En segundo lugar, se realiza el análisis interno y externo mediante la herramienta de análisis FODA y, posteriormente, se construye la Matriz Analítica de Definición de Estrategias (MAFE). Posteriormente, se definen las iniciativas y acciones estratégicas, para finalmente definir los plazos de acción, los responsables y actores involucrados en cada iniciativa. El desarrollo completo de esta etapa se encuentra disponible en el Anexo G (ver sección G.1).

A continuación se muestran las principales conclusiones obtenidas tras los análisis FODA y la construcción de matrices MAFE (ver Tabla 7.3). Las iniciativas definidas tras esta etapa se presentan en la sección de resultados y discusiones parciales (ver sección 7.2.3).

Tabla 7.3: Principales conclusiones obtenidas tras el análisis FODA y la elaboración de la Matriz Analítica de Definición de Estrategias. Elaboración propia.

Medida	Comité de Coordinación definido	Principales Conclusiones tras el análisis FODA y MAFE
Tecnificación del Riego	Ministerios: Agricultura, Medio Ambiente, Obras Públicas, Ciencias, Energía, Economía.	Las principales fortalezas y oportunidades se asocian a la posibilidad de acoplar esta medida al abastecimiento energético solar fotovoltaico, lo que permite enfrentar la resistencia del sector a adoptar la medida por efecto de los costos operacionales que esta supone. Para asegurar la efectividad de la medida se requiere de una correcta planificación del riego, por lo que el diseño e implementación de estos sistemas debe considerar información climática y edafológica de los predios. Existen programas y financiamientos para proyectos de tecnificación, sin embargo, se deben establecer criterios más claros de evaluación y fomentar la inversión privada para hacer de ellos oportunidades más competitivas.
Riego Solar	Ministerios: Agricultura, Medio Ambiente, Obras Públicas, Ciencias, Energía, Economía.	Chile es un país con alto potencial energético a partir de la fuente solar fotovoltaica ³² . Esta medida se encuentra bastante más trabajada en términos de información disponible y culturalmente en el sector agrícola. Existe especial interés en reducir los costos operacionales asociados al riego tecnificado y, adicionalmente, se presenta la oportunidad de conectarse a la red de distribución y obtener beneficios económicos. El principal aspecto a tener en cuenta es que, para un correcto diseño e implementación de esta medida, se requiere contar con, al menos, el diseño del sistema de riego tecnificado a utilizar en el predio.
Reincorporación de Residuos al Suelo	Ministerios: Agricultura, Medio Ambiente.	La principal barrera se asocia a la resistencia cultural del sector agrícola. Los productores se encuentran acostumbrados a la combustión de residuos debido a los bajos costos que significa este acto. Existe una oportunidad asociada a un marco

³² Incluso en regiones extremas, como la región de Magallanes, la irradiación solar es similar a la de países con gran desarrollo en abastecimiento energético basado en energía solar (ej: Alemania) [232,233].

		<p>regulatorio existente que fiscaliza la combustión de rastrojos en distintas épocas del año y que impulsa la restauración de suelos degradados.</p> <p>Para aprovechar al máximo los beneficios que supone la incorporación de residuos al suelo, es necesario conocer las características edafológicas de este, aspecto que no se ha profundizado en el sector agrícola.</p>
Recambio en el Transporte Interregional	<p>Ministerios: Agricultura, Medio Ambiente, Transporte y Telecomunicaciones, Obras Públicas, Economía.</p>	<p>Se trata de una medida compleja para el sector frutícola, puesto que el principal determinante para el éxito de implementación corresponde a la existencia de infraestructura, lo que no está a cargo del sector. De todas formas, existen planes de impulso a la carga ferroviaria e incluso se han desarrollado pilotos de transporte de carga en plantas exportadoras de frutas. Tras el análisis y la consulta a expertos, se identifica como principal barrera lo poco competitivo, en términos económicos, del transporte ferroviario en comparación con el transporte camionero. Adicionalmente, se observa una falta de inversión en el sector ferroviario, lo que dificulta su posicionamiento como una oportunidad más eficiente en términos de logística y seguridad vial.</p>
Transversal al sector frutícola	<p>Ministerios: Agricultura, Medio Ambiente.</p>	<p>Para todas las medidas estudiadas se identifican normativas existentes que no consideran los impactos ambientales de los proyectos agrícolas o que priorizan el crecimiento económico en desmedro de los bienes naturales (como es el agua o el suelo). Adicionalmente, se identifica la necesidad de instaurar una cultura que visualice el sector frutícola como parte de un sistema agroalimentario que requiere de la participación de productores y de consumidores para ser sostenible en el tiempo.</p> <p>Dentro de las principales debilidades para todos los comités organizadores de las respectivas medidas, se tiene la dificultad de coordinación y articulación interna entre organismos públicos, además de la falta de una visión integrada y alineada entre todos los participantes del comité respecto al cambio climático. Finalmente, se debe destacar la reticencia de la ciudadanía frente a políticas públicas, para lo que se sugiere potenciar los mecanismos de participación en los procesos de toma de decisiones.</p>

7.2.2 Calendarización de medidas e hitos de evaluación

Una vez concluida esta etapa, se clasifican las iniciativas según aquellas que son específicas para la implementación de cada medida, y aquellas que son transversales al sector. Esto permite facilitar la etapa de calendarización de las iniciativas, como se verá a continuación. La heurística seguida para la calendarización sigue la lógica propuesta en los puntos 8 a 12 de la Tabla 7.2. De esta forma, una vez que se cuenta con la definición de iniciativas y acciones para dar cumplimiento al objetivo de cada medida, se requiere asignar plazos y, posteriormente, ordenar cronológicamente los eventos. Lo anterior se realiza de la siguiente manera:

1. Para cada cartera de iniciativas referidas a la implementación de una medida específica, se define el plazo máximo de cumplimiento. Para este caso de estudio, se utilizan los tiempos definidos en la sección 6.2.3 (ver Tabla 6.1).

2. A partir de los tiempos definidos en el punto anterior, se establecen divisiones temporales que representarán períodos de Corto Plazo (CP), Mediano Plazo (MP) y Largo Plazo (LP), siendo este último el plazo máximo de cumplimiento.
3. Una vez definido lo anterior, para cada acción perteneciente a una iniciativa, se asigna la duración estimada que se requiere para dar cumplimiento a la iniciativa, especificando si se tratará de corto, mediano o largo plazo. En este punto es importante considerar la necesidad de sucesión entre acciones, pues el cumplimiento de algunas puede determinar la posibilidad de iniciar otras. En caso de que se requiera un cumplimiento parcial y no total, es posible considerar una paralelización entre acciones.
4. A partir de lo realizado, es posible deducir el plazo máximo de implementación de cada iniciativa, que corresponderá al mayor plazo definido para las acciones contenidas en la iniciativa analizada.
5. Al contarse con definiciones temporales para cada iniciativa, estas se sitúan en una línea temporal que considera los tiempos definidos en los puntos 1 y 2 descritos previamente. El resultado de este proceso corresponde a un orden cronológico interno de iniciativas, para cada medida.
6. Los respectivos calendarios internos de cada medida se agrupan en una única línea temporal, asumiendo como año inicial el presente (en este caso, 2022). Este corresponde al caso ideal en que la implementación de todas las iniciativas inicia lo antes posible, permitiendo el cumplimiento del objetivo de la Hoja de Ruta en el menor plazo posible.
7. Considerando la posibilidad de restricciones que impidan la calendarización ideal, reorganizar la implementación de las medidas (conservando su propia calendarización interna). De requerirse una reorganización, considerar la jerarquía obtenida en el Capítulo 6 (ver sección 6.2.4) para discernir qué medida implementar antes y cuáles después.
8. Situar en la línea temporal los hitos de seguimiento y evaluación.

Respecto a los hitos de evaluación, en la Tabla 7.4 se presentan los hitos de evaluación de progreso propuestos a lo largo de la Hoja de Ruta. Para todas las medidas se propusieron dos hitos: uno de evaluación parcial de progreso; y otro de evaluación final. Para cada hito se espera evaluar una serie de indicadores, que sean contrastados según el inicio del plan y el final del mismo, a modo de concluir sobre el cumplimiento de los objetivos propuestos en los plazos definidos. Como una Hoja de Ruta se asocia a un plan estratégico, la propuesta de evaluación se rige principalmente por la meta final propuesta en cada medida (ver columna “Meta” de la Tabla 7.4). No obstante, para una evaluación integral que permita tener una visión más general del panorama y del progreso del plan, se propone, para cada hito de evaluación, la elaboración de un reporte que evalúe, en conjunto con el avance respecto al objetivo general de la implementación de la medida, los siguientes aspectos:

- % de acciones finalizadas respecto del total
- Indicadores de progreso asociados al impacto de cada iniciativa en el objetivo general de la medida (ej: Indicadores de cambio cultural, social, económico, etc. medidos en evaluación de diagnóstico y progreso)
- Presupuesto disponible respecto al inicial
- Evaluación interna del equipo de trabajo (coordinación interna, capacidad de resolución de conflictos, etc.)

Tabla 7.4: Hitos de evaluación por medida. Elaboración propia.

Medida	Meta	Hito de Evaluación	Año	Progreso respecto a la meta propuesta
Tecnificación del Riego	Tecnificación del 100% de las hectáreas no tecnificadas en el sector frutícola a lo largo del territorio nacional.	Evaluación Parcial	2025	30% de hectáreas tecnificadas (respecto a las no tecnificadas al año 2022)
		Evaluación Final	2029	100% de hectáreas tecnificadas en el sector frutícola.
Riego Solar	Abastecimiento del 100% del riego tecnificado con energía solar fotovoltaica.	Evaluación Parcial	2035	Abastecimiento del 30% del riego tecnificado con energía solar fotovoltaica
		Evaluación Final	2044	Abastecimiento del 100% del riego tecnificado con energía solar fotovoltaica
Reincorporación de Residuos al Suelo	Reemplazo del 100% de la combustión de rastrojos y/o su uso como leña por su incorporación al suelo.	Evaluación Parcial	2036	Reemplazo del 30% de la combustión de rastrojos y/o su uso como leña por su incorporación al suelo.
		Evaluación Final	2042	Reemplazo del 100% de la combustión de rastrojos y/o su uso como leña por su incorporación al suelo.
Recambio en Transporte Interregional	Distribución del transporte ferroviario y camionero de tal forma que, al menos, el 50% del transporte del sector sea por vía ferroviaria.	Evaluación Parcial	2045	20% del transporte del sector vía ferroviaria
		Evaluación Final	2067	50% del transporte del sector vía ferroviaria

7.2.3 Resultados y Discusiones Parciales

La Tabla 7.5 muestra una síntesis de las iniciativas definidas para cada medida, agrupadas según diferentes ejes de acción (Coordinación, Investigación y Desarrollo, Normativa e Institucionalidad, Cultura y Vinculación con el medio e Implementación). El detalle con las respectivas acciones definidas para cada iniciativa se encuentra disponible en el Anexo G (ver sección G.1).

La Hoja de Ruta obtenida (ver Figura 7.2) muestra de manera gráfica las iniciativas generales a desarrollar para cumplir con el objetivo propuesto para cada medida, considerando en la programación la jerarquía obtenida. Se debe destacar que, para efectos de la calendarización de las medidas, una primera aproximación podría corresponder al caso ideal en que todas las iniciativas inician su implementación de manera inmediata, de manera de terminar lo antes posible (ver heurística propuesta en la sección 7.2.2). No obstante, para aumentar el realismo de la propuesta se decide tomar en cuenta las posibles restricciones presupuestarias que supone la implementación de múltiples proyectos dentro de un mismo período de gobierno. En este sentido, se tomó como referencia la duración de un período presidencial para determinar cuándo debe iniciar una medida, considerando que en los cambios de administración pueden ocurrir los cambios presupuestarios a nivel del MINAGRI y MMA que den pie al correcto desarrollo de la Hoja de Ruta.

Considerando lo mencionado, la calendarización contempla el comienzo de una medida cada cuatro años, escogiéndose en primer lugar aquella que presentó mayor jerarquía tras el análisis multicriterio (ver Capítulo 6). Se debe destacar que para el caso del recambio del transporte interregional no se consideró este factor en

la calendarización por dos principales razones: i) se considera que el presupuesto asociado a esta medida es, en su mayoría, independiente a las medidas que se relacionan directamente con gestiones del MINAGRI (pues depende, principalmente, de la inversión en infraestructura ferroviaria por parte del Ministerio de Transporte y/o de Obras Públicas) y; ii) la necesidad de una acción inmediata, considerando la magnitud de tiempo que requiere la implementación de la medida.

La Hoja de Ruta presentada es una herramienta que facilita la planificación de actividades de largo aliento, además de la toma de decisiones. La síntesis gráfica de la Figura 7.2 permite visualizar de manera genérica las tareas a realizar, plasmando gran parte del trabajo realizado. Se tiene una selección de medidas basada en un diagnóstico sector-específico y territorio-específico. En segundo lugar, presenta una calendarización basada en una evaluación multicriterio que considera la participación de diferentes actores tanto en la definición y selección de medidas, como de criterios que permiten discernir qué medida es más deseable en el contexto de crisis climática. Finalmente, contempla una definición de estrategias que se sustenta en una evaluación del contexto interno y externo de implementación.

Respecto a los resultados obtenidos y la metodología seguida en la presente sección, existen diversos temas que pueden discutirse. En primer lugar, se tiene la definición del comité de coordinación y organismos a cargo. Es preciso destacar que la definición del comité de coordinación se realiza contemplando la necesidad de una coordinación interministerial que permita alinear los objetivos y la misión fundamental de la Hoja de Ruta: proveer un plan que permita la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector frutícola. De no tenerse un comité interministerial o teniendo uno poco coordinado, se corre el riesgo de perder el foco del plan, considerando que cada ministerio tiene su propia misión, visión y planes estratégicos, y que no necesariamente se encuentran alineados. En este sentido, para el cumplimiento de los objetivos es fundamental respetar y priorizar la misión de la Hoja de Ruta a lo largo de todo el proceso de diseño e implementación del plan.

En segundo lugar, se debe enfatizar la necesidad de realizar un buen diagnóstico sobre la situación actual del sector, que será el escenario en torno al que se construirán los cambios a realizar. Este diagnóstico se requiere no solo en el sentido de establecer una línea base respecto al estado del sector en materia de emisiones de gases de efecto invernadero o de vulnerabilidad, sino también de establecer las ventajas y las barreras existentes frente a la implementación de las medidas propuestas para la mitigación y adaptación al cambio climático. De esta manera, un análisis interno y externo, tanto de los organismos estatales a cargo de la implementación de las medidas, como del contexto económico, político, geográfico, climático, etc. en que se desarrollará el plan es clave para la correcta identificación de iniciativas y acciones. A este respecto, se debe precisar que las iniciativas y acciones propuestas podrían mejorar con un análisis más exhaustivo, que considere una mayor cantidad de participantes en un grupo de discusión, además del uso de otras metodologías de análisis interno y externo complementarias (análisis PESTEL, análisis de la cadena productiva, Fuerzas de Porter, etc.).

Tabla 7.5: Síntesis de iniciativas obtenidas para el caso de estudio. Elaboración propia.

Responsables y Ejes de Acción	Tecnificación del Riego	Riego Solar	Incorporación de Residuos al Suelo	Recambio en Transporte Interregional
Comité de Coordinación	Ministerios: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Medio Ambiente • Obras Públicas • Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación • Economía, Fomento y Turismo 	Ministerios: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Medio Ambiente • Energía • Obras Públicas • Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación • Economía, Fomento y Turismo 	Ministerios: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Medio Ambiente 	Ministerios: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Medio Ambiente • Obras Públicas • Transporte y Telecomunicaciones • Economía, Fomento y Turismo
Coordinación	1 Gobernanza sólida y colaborativa en el diseño y ejecución de planes. Promover la acción conjunta y articulada de organismos públicos y privados para cumplir con los objetivos y metas planteadas en los plazos definidos.			
Investigación y Desarrollo	2 Caracterización de contextos frutícolas locales. Fomentar el desarrollo de líneas de investigación y desarrollo con potencial de facilitar el correcto dimensionamiento de sistemas de riego, permitiendo acelerar la transición al riego tecnificado en el país.			
	3 Implementación de sistemas de información local. Desarrollar material y plataformas informativas que faciliten el acceso y la comprensión de información asociada al diseño, implementación y evaluación de sistemas de riego, abastecimiento energético, disposición de residuos, entre otras materias asociadas al manejo sostenible del predio agrícola.			
	4 Investigación y Desarrollo para un sector frutícola sostenible. Fomentar el desarrollo de líneas de investigación y desarrollo con potencial de acelerar la transición a un sistema frutícola sostenible, incluyendo materias como: eficiencia energética e hídrica, soluciones basadas en la naturaleza, agroecología, medición de huella hídrica, etc. procurando un enfoque aplicado que conecte el trabajo de investigación con desafíos y oportunidades concretas y atingentes al contexto local.			
Normativa e Institucionalidad	5 Regulación y Control del agua. Mejorar los sistemas actuales de gestión del agua y aumentar la regulación en su uso.	Modificación del marco regulatorio existente. Replantear los elementos regulatorios existentes en materia de riego y abastecimiento energético de los sistemas tecnificados, con el fin de asegurar su uso de manera sostenible.	Regulación y Control del suelo y su manejo. Replantear los elementos regulatorios existentes en materia de manejo de suelo e instaurar nuevos sistemas que aseguren su uso de manera sostenible.	Modificación del marco regulatorio existente. Replantear los elementos regulatorios existentes en materia de transporte de carga.

Cultura y vinculación con el medio	6	Generación de espacios y canales de encuentro y participación. Promover la participación de la ciudadanía en el diseño, implementación y evaluación de proyectos, programas o planes que potencien el desarrollo sustentable del sector agrícola, con el fin de incluir la visión de la ciudadanía, comunidades, productores y otros actores involucrados en el desarrollo de cada plan, proyecto o programa.			
	7	Cultura de producción sostenible en el sector frutícola. Generar conocimiento y reflexión, a nivel de productores, sobre la importancia de una industria frutícola sostenible en el tiempo, que respete los límites planetarios y asegure mínimos sociales para un desarrollo armónico.			
	8	Cultura de sistema alimentario sostenible. Generar conocimiento y reflexión a nivel país sobre la importancia de un sistema alimentario sostenible en el tiempo.			
Implementación	9	Promoción de métodos de riego tecnificado. Promover la adopción de métodos de riego tecnificado por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la preservación del recurso, capacitaciones, entre otros.	Promoción del riego solar. Promover el abastecimiento energético para riego a partir de energía solar por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la eficiencia energética, capacitaciones, entre otros.	Promoción de incorporación de residuos al suelo. Promover la adopción de esta práctica por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la producción sostenible, capacitaciones, entre otros.	Promoción del transporte ferroviario en el sector frutícola. Motivar al sector privado tanto a la inversión en proyectos ferroviarios como a la participación en los mismos, a través del pilotaje de experiencias de transporte de carga en tren y la implementación de alternativas económicas para su adopción.
	10	Implementación de sistemas de riego tecnificado a nivel regional. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de sistemas de riego tecnificado a lo largo del país.	Implementación de programas de riego solar a lo largo del territorio nacional. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de proyectos de riego abastecido de energía solar fotovoltaica.	Implementación de programas de gestión de residuos agrícolas para la preservación de suelos. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de programas que potencien la preservación de suelos a través de la incorporación de rastrojos al mismo.	

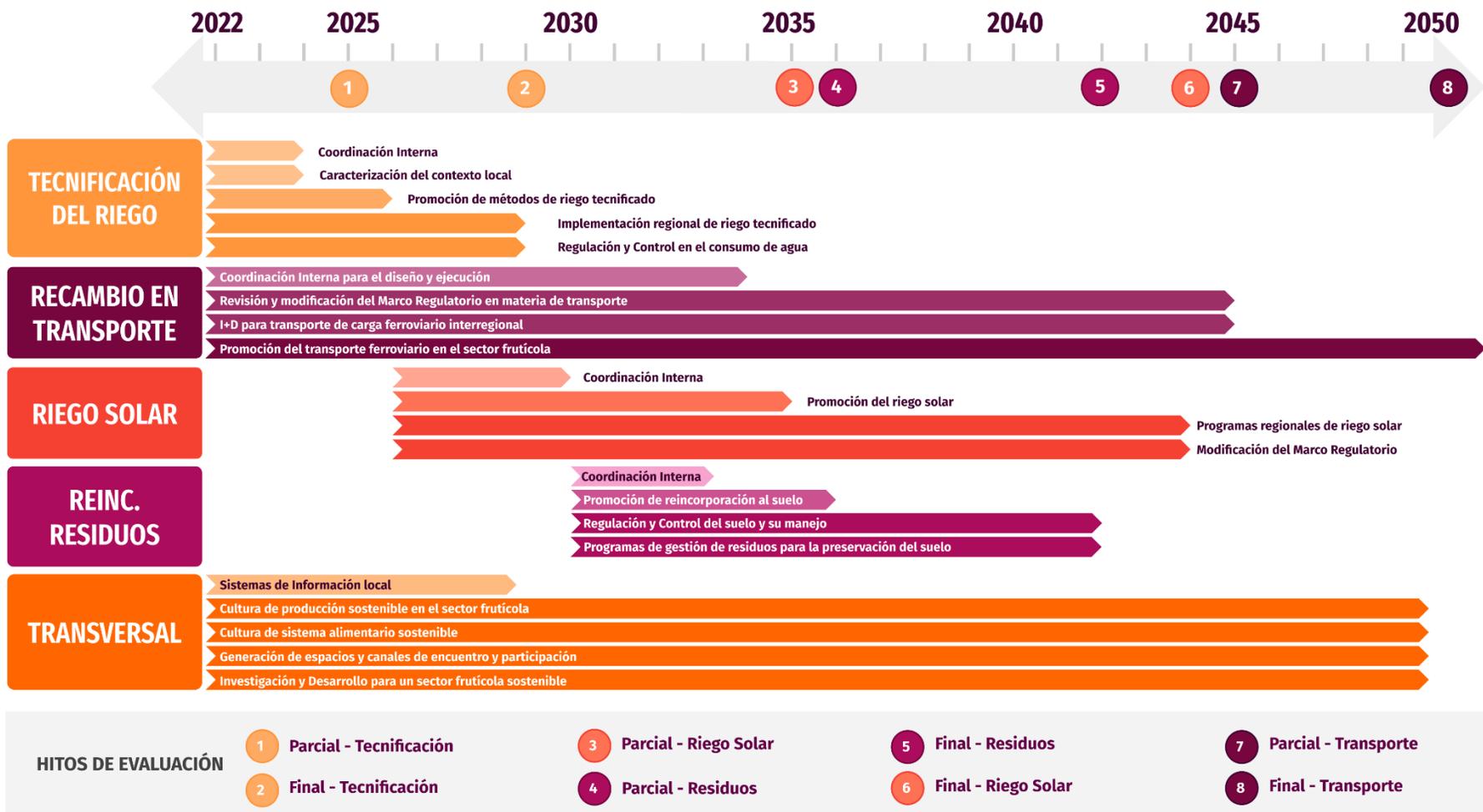


Figura 7.2: Hoja de Ruta propuesta para el sector frutícola. Elaboración propia.

En tercer lugar, se tienen discusiones respecto a la heurística de calendarización propuesta. Si bien existen plazos de implementación sustentados en experiencias anteriores, analogías de implementación con otros sectores o países, etc., lo que se obtuvo en el caso de estudio corresponde solo a una primera aproximación, pudiendo variar según la discusión con expertos en la materia o con los entes responsables de la coordinación. En la misma línea, la definición de acciones según corto, mediano o largo plazo también puede ser discutida. No obstante, se considera que esta situación es propia de la elaboración de una Hoja de Ruta, teniendo presente la necesidad de que se trate de un plan flexible, dada la incertidumbre intrínseca a una planificación de largo plazo. Respecto a esto último, se destaca el aporte de la jerarquización de medidas, pues permite otorgar un rango temporal de acción entre el caso ideal y uno más realista, que considera restricciones de diferente naturaleza. En este sentido, utilizar la jerarquización de medidas puede aportar a reducir en cierto grado la incertidumbre que supone el establecimiento de metas y plazos de un plan estratégico.

Adicionalmente, la calendarización de medidas transversales al sector frutícola se realiza considerando un plazo de cumplimiento independiente del tiempo de implementación de cada medida, principalmente debido a que se trata de iniciativas que requieren un esfuerzo constante para la implementación de las medidas, pero también para la mantención en el tiempo de sus efectos. En este sentido, al tratarse de iniciativas involucradas directamente con las medidas orientadas a cambios en la producción en el campo, se define un plazo de implementación desde el presente al 2050, en línea con la Estrategia Climática de Largo Plazo, como también con los tiempos de finalización de implementación de las medidas seleccionadas para esta Hoja de Ruta.

En relación con los hitos de evaluación, se debe comentar acerca de la definición de metas intermedias de cumplimiento. Pese a que, para quien lea, pueda parecer lógico que en un hito de evaluación intermedio contemple el cumplimiento del 50% de la meta inicial, esta definición se hizo suponiendo que la puesta en marcha de un plan suele tomar más tiempo, especialmente debido a la incertidumbre existente y a la necesidad de una etapa de planificación a nivel táctico y operativo, que condiciona el inicio de las actividades específicas de implementación. Adicionalmente, existe una oportunidad de detallar aún más los indicadores de evaluación para cada iniciativa, además de establecer ciertas metodologías de monitoreo y seguimiento. Si bien esto no se realizó en el presente caso de estudio (principalmente debido a la limitación relativa al alcance temporal de este estudio), se trata de algo que ya se ha implementado en otros planes de Cambio Climático y que aporta significativamente a la gestión del plan.

Con respecto a las posibles mejoras de esta Hoja de Ruta, se deben mencionar dos aspectos más: la necesidad de incluir un presupuesto de implementación relacionado con cada iniciativa y la posibilidad de involucrar una planificación que integre la división por macrozonas utilizada en el diagnóstico del sector (ver Capítulo 2). Respecto al presupuesto, si bien se cuenta con cifras aproximadas sobre la inversión asociada a los proyectos, no se consideran los gastos administrativos asociados a iniciativas transversales o de índole normativo. Lo anterior es algo que no se abordó debido, principalmente, al alcance de este estudio, pero sin duda, corresponde a una necesidad que permite esclarecer aquellas restricciones presupuestarias que fueron asumidas para la calendarización, además de otorgar un plan más completo.

En lo referido a una Hoja de Ruta que integre las diferencias territoriales, existe la potencialidad de esta herramienta de incorporar los aspectos particulares relacionados con las distintas macrozonas del país. La jerarquización de medidas a nivel nacional supuso una restricción frente a una planificación más detallada, sin embargo, una proyección de este trabajo podría involucrar una planificación a nivel más acotado territorialmente, considerando la información disponible para el diagnóstico. De todas maneras, se considera que el uso de esta división facilita profundizar la calendarización, pero también permite una mayor certeza respecto a la distribución de recursos al momento de evaluar, seleccionar y priorizar medidas. Como se mencionó en capítulos anteriores, mientras mejor sea el diagnóstico, más seguridad existirá en la estimación

impactos al implementar una u otra medida y más responsable será la decisión tomada, sin embargo, conviene tener presente el trabajo y tiempo que involucra esta tarea. En este sentido, será tarea de quien elabore cada Hoja de Ruta sopesar las dificultades y los beneficios que supone profundizar el diagnóstico.

7.2.3.1 Análisis comparado con el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario

Con el fin de identificar potencialidades y desventajas del plan propuesto, se realiza un análisis comparado entre los aspectos estructurales y metodológicos de la Hoja de Ruta obtenida y el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario (en adelante, PACCSAP). Si bien el enfoque sectorial entre la Hoja de Ruta planteada y el PACCSAP difiere en cuanto a escala, recursos y tiempo disponible para su desarrollo, se escoge este plan para realizar la comparación debido a la inexistencia de un plan específico para el sector frutícola y a que se considera que la extrapolación desde la Hoja de Ruta obtenida para este subsector a una Hoja de Ruta asociada al sector silvoagropecuario sigue una metodología análoga a la de este trabajo, basándose en la composición de distintas Hojas de Ruta subsectoriales. De esta manera, se espera que los resultados no varíen en términos estructurales o metodológicos respecto al obtenido en el caso de estudio. La Tabla 7.6 presenta una síntesis de los aspectos comparados entre los planes mencionados previamente.

A partir de este análisis es posible afirmar que existen diferencias metodológicas entre el PACCSAP y la Hoja de Ruta relacionadas con el contenido de las medidas a implementar, además de la metodología utilizada para la propuesta, selección y calendarización de medidas. La metodología seguida para la elaboración de la Hoja de Ruta propuesta se diferencia de la del PACCSAP en la consideración de diferentes actores a lo largo de todos los pasos de elaboración, además de diferir en las herramientas para la selección y evaluación de medidas. Adicionalmente, la propuesta obtenida tras el trabajo con el caso de estudio abordado presenta una calendarización resumida a través de una herramienta gráfica que permite visualizar las acciones a realizar en el largo plazo, lo que es una contribución tanto en la facilitación de la planificación como de la toma de decisiones posteriores.

Una diferencia fundamental identificada tras este ejercicio comparativo corresponde a las bases que definen el objetivo de cada plan. La lógica detectada en el PACCSAP para el planteamiento de medidas considera, como primera directriz, la misión y visión del Ministerio de Agricultura. Si bien esta misión puede no ser estrictamente contraria al objetivo de enfrentar el Cambio Climático, sí puede perder de vista el objetivo central del plan. La priorización de la misión y visión ministerial por sobre la crisis climática condiciona todos los pasos siguientes de la metodología pues, en general, los ministerios existentes hoy en día no tienen como principal objetivo hacer frente al fenómeno climático global. La metodología propuesta en este trabajo, en cambio, hace técnica una definición diferente: para efectos de esta Hoja de Ruta, el problema global que supone el Cambio Climático es más importante que la misión del respectivo ministerio, lo que no quiere decir que esto último no sea relevante. A lo que apunta esta reflexión es a que esta diferencia en la concepción del plan configura estructuralmente la metodología a seguir, invitando además a la reflexión sobre cómo puede estructurarse y/u organizarse el Estado para sintonizar con los desafíos ambientales de gran escala.

Según lo expuesto anteriormente, se considera que el producto obtenido corresponde a una herramienta que aporta en términos de planificación a partir del uso de metodologías que permiten formalizar datos cuantitativos y valoraciones subjetivas provenientes de distintos orígenes del plano local. Todo esto contribuye a una planificación conjunta frente a un problema que presenta consecuencias a lo largo de todo el territorio y que requiere abordarse de manera colaborativa. De todas maneras, no debe dejarse de lado que aún existen aspectos sobre los que se debe trabajar robustecer la herramienta como, por ejemplo, el desarrollo de un procedimiento claro para establecer presupuestos, indicadores y métodos de control y seguimiento. No

obstante, se considera que la metodología seguida permite establecer un primer insumo para formalizar la elaboración de Hojas de Ruta a nivel industrial, lo que se profundizará en la siguiente sección.

Tabla 7.6: Análisis comparativo entre el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Silvoagropecuario y la Hoja de Ruta propuesta en el caso de estudio. Elaboración propia.

Aspecto	PACCSAP	Hoja de Ruta del sector frutícola	Comentarios
Gestión del Plan	Se propone como parte de la gestión interna del MINAGRI	Se propone la creación de un comité específico para esta tarea, conformado por personal del MINAGRI y el MMA.	Se considera que el trabajo interdisciplinario y coordinado a nivel de ministerios favorece el desarrollo de un plan de trabajo que involucra la dependencia entre organismos (tanto para la toma de decisiones como para la implementación del mismo)
Lineamientos del Plan	Se exige el desarrollo en el marco de los lineamientos estratégicos del MINAGRI	Propone la elaboración de una misión propia del plan, que apunte al cumplimiento del objetivo de mitigación y adaptación al cambio climático. Sugiere la reestructuración de la misión y visión del ministerio en caso de no alinearse con los objetivos de combatir la crisis climática.	La elaboración de una misión propia para la Hoja de Ruta permite establecer como prioridad central la mitigación y adaptación frente al cambio climático, que corresponde el fin del plan. En este sentido, fijar un objetivo propio permite alinear la visión del comité executor, además de mantener el foco central en combatir la crisis climática. Al tratarse de un problema de índole mundial, es de suma importancia que la operación de los organismos se integre a la misión del plan, a diferencia del PACCSAP, que pone como primera prioridad la misión y visión del MINAGRI, que podría eventualmente incluso contradecir principios de sostenibilidad ³³ .
Diagnóstico que sustenta el plan	El análisis se centra en los posibles impactos del Cambio Climático en el sector a nivel nacional. El sustento es principalmente bibliográfico (estudios, informes, etc.). El análisis es genérico para los subsectores (forrajero,	El análisis también se sustenta en bibliografía, pero se diferencia por macrozonas y cultivos específicos. Las medidas son propuestas y jerarquizadas según la participación de distintos actores involucrados con el sector frutícola, además de una investigación bibliográfica (estudios, informes, etc.).	En términos de adaptación no se tiene un diagnóstico robusto en ninguno de los dos casos, por lo que sería prudente elaborar indicadores de adaptación que permitan establecer una comparación entre el caso basal y el caso tras la implementación del plan. De todas formas, la Hoja de Ruta propuesta tiene la potencialidad de considerar diferentes actores involucrados, provenientes de diferentes orígenes, al momento de proponer y jerarquizar medidas, facilitando la integración de la ciudadanía en la toma de decisiones respecto a un conflicto global.

³³ La misión del MINAGRI corresponde a: "Avanzar hacia un sector agroalimentario y forestal competitivo, sustentable, innovador y moderno, comprometido socialmente con el desarrollo regional y rural" [234].

	cerealero, frutícola, etc.)		
Contenido de las medidas	El contenido se centra en ejes como la investigación, la modernización del sector, la transparencia, la sustentabilidad y competitividad del sector.	El contenido considera ejes como la investigación, modernización del sector, transparencia y sustentabilidad, pero también incorpora ejes relacionados con el cuestionamiento de aspectos normativos, culturales y económicos, apuntando a una producción que asegure el abastecimiento alimentario de manera armónica con el medio ambiente.	En ambos casos se visibiliza la importancia de modernizar el sector y potenciar la investigación y transparencia. La Hoja de Ruta propuesta permite plasmar la importancia de establecer una visión integral en el objetivo del plan que haga frente al cambio climático, pues esta se materializa en el contenido de las medidas propuestas. Un eje importante que asegure la sostenibilidad de las medidas en el tiempo corresponde a cambios culturales y normativos, de manera de asegurar una producción responsable con la protección del medio ambiente.
Estructura de presentación de las medidas	Presenta medidas generales con sus respectivas acciones específicas. En algunos casos define plazos y presupuestos, además de responsables a cargo de cada medida. En situaciones particulares, define metas específicas, cobertura y metodologías de monitoreo y control de las medidas.	Se presentan medidas con una meta específica. Las medidas son desglosadas en iniciativas (análogas a las medidas del PACCSAP) y acciones para el cumplimiento de la meta. Se definen plazos para todas las medidas, iniciativas y acciones. No se presentan metodologías de monitoreo y control, sino que hitos de evaluación a rasgos generales. No se presenta un presupuesto asociado a las iniciativas y acciones comprometidas.	Ambas herramientas presentan una estructura relativamente similar. No obstante, la Hoja de Ruta propuesta puede mejorar, incorporando el presupuesto asociado a cada iniciativa y metodologías de monitoreo y control para el seguimiento del plan estratégico.
Jerarquización de medidas	No se presenta una jerarquización de	Se presenta una priorización de medidas que puede ser utilizada	La jerarquización de medidas presenta la potencialidad de facilitar la toma de decisiones frente a un escenario de recursos técnicos y

	las medidas propuestas.	tanto para la selección de alternativas a implementar, como para la calendarización de aquellas medidas que ya se han seleccionado.	económicos limitados. En este sentido, la herramienta de análisis multicriterio establece un procedimiento formal que involucra a distintos actores involucrados, criterios y alternativas, para así tomar decisiones de manera integral, seleccionando aquello que parezca más conveniente según las prioridades de un grupo diverso que convive en una misma sociedad.
Calendarización de medidas	No se presenta una calendarización de las medidas a lo largo del tiempo.	Se presenta una calendarización que considera la jerarquía obtenida tras un análisis multicriterio, la necesidad de sucesión entre diferentes iniciativas y la posibilidad de simultaneidad entre las mismas. Se desarrolla una herramienta gráfica para resumir el plan.	La calendarización de medidas propuesta facilita una planificación efectiva para cumplir con objetivos de largo plazo. La consideración de la jerarquía propuesta permite tomar decisiones respecto a la sucesión de actividades en un contexto de presupuestos limitados.

7.3 Reflexiones Finales

En el presente capítulo se ha concluido el caso de estudio del sector frutícola, obteniéndose una Hoja de Ruta compuesta por la síntesis gráfica y el conglomerado de iniciativas y acciones propuestas. Este resultado reúne todas las conclusiones obtenidas en los capítulos previos, incluyendo un diagnóstico y representación del sector frutícola, una propuesta y selección de medidas a implementar para la mitigación y adaptación del sector al Cambio Climático, su posterior priorización y, finalmente, su calendarización.

En el caso de estudio se abordó, inicialmente, el sector agrícola para el establecimiento de la metodología de elaboración de Hojas de Ruta. No obstante, conforme se avanzó en el desarrollo del caso, fue necesario acotarlo al subsector frutícola, considerando la complejidad que suponía abordar un diagnóstico completo del sector. Pese a esto, se considera que la metodología seguida a partir del Capítulo 3 permite proceder de manera análoga con el resto de los subsectores, pudiéndose así construir una Hoja de Ruta para el sector agrícola en su totalidad. Otra alternativa posible consiste en limitar la profundidad del diagnóstico o establecimiento de la línea base, considerando las capacidades existentes. El punto es, entonces, que cada paso de esta metodología requiere de la toma de decisiones respecto al alcance a abordar, y de esto dependerá la precisión del resultado, pero también la responsabilidad con que el plan aborda la crisis climática.

En relación con los resultados obtenidos, es importante destacar el rol de los aspectos normativos y culturales en las acciones a desarrollar. La estructura normativa que configura la operación del Estado, sumado a la cultura existente en los distintos sectores productivos, la ciudadanía, etc. han configurado la llegada a la situación actual y pueden condicionar de manera importante la implementación de medidas. Por esta razón, resulta conveniente abrirse a la posibilidad de incorporar estos ejes en los cambios necesarios para lograr el objetivo de la Hoja de Ruta. También debe destacarse la necesidad de que la Hoja de Ruta se trate de un plan flexible, donde puedan adecuarse las acciones a realizar según la contingencia requiera, pero siempre conservando el objetivo final del plan.

Con respecto a las iniciativas y acciones a plantear en una Hoja de Ruta, resulta esencial que estas se aborden en función del objetivo de mitigar y adaptarse al Cambio Climático. La técnica que configura una metodología puede sostenerse en diferentes ideas, sin embargo, algunas pueden estar más sintonizadas que otras con los desafíos ambientales globales que se viven actualmente. En este sentido, si bien cada sector industrial puede configurar sus metodologías a partir de sus propios objetivos estratégicos (económicos, políticos, etc.), tomar una postura que apunte a abordar el problema particular que se desea enfrentar probablemente lleve a resultados más acordes al escenario global. Más que *adecuar el plan de Cambio Climático a la gestión interna*, es importante *que la gestión interna de cada organismo se adecúe a la necesidad de enfrentar el Cambio Climático*. Esto apunta a reflexionar sobre las distintas alternativas que tiene un sector industrial para integrarse con la sociedad a la que abastece, con el ecosistema en el que se desenvuelve y con las problemáticas globales que enfrenta.

En este capítulo se concluye el trabajo con el sector frutícola en específico, y se reflexiona brevemente sobre cómo se puede generalizar este caso particular a un sector industrial más amplio como es el sector agrícola. Lo que resta para cerrar este trabajo es dar, de manera más específica, las directrices necesarias para construir una Hoja de Ruta desde cualquier sector industrial, cuestión que se abordará en el siguiente capítulo.

Capítulo 8. Generalización de la metodología propuesta

El presente capítulo constituye una propuesta metodológica para la elaboración de Hojas de Ruta en materia de adaptación y mitigación del cambio climático para diferentes sectores industriales de Chile. Se trata de una generalización obtenida a partir del trabajo en el caso de estudio abordado en este trabajo, donde se intenta resumir y abstraer los principales pasos a seguir para construir un plan estratégico en materia de cambio climático.

A continuación, quien lea podrá encontrar algunas ideas generales respecto a cómo desarrollar una Hoja de Ruta que permita a los distintos sectores industriales enfrentar la crisis climática, a través de la propuesta e implementación de medidas que resulten pertinentes para el caso. Posteriormente, encontrará discusiones respecto a la metodología sugerida, para finalmente dar paso a las conclusiones de este trabajo.

8.1 Metodología de Composición de Hojas de Ruta de mitigación y adaptación al cambio climático

A partir del caso de estudio realizado, se identificaron aspectos metodológicos generales para componer una Hoja de Ruta en materia de Cambio Climático. Si bien existen particularidades asociadas a la toma de decisiones, búsqueda de información, etc. respecto al caso de estudio analizado, el ejercicio realizado permite abstraer una metodología genérica aplicable a distintos sectores. La Figura 8.1 y la Tabla 8.1 representan una síntesis de esta metodología. Se trata de un procedimiento general dirigido a organismos tomadores de decisiones en materia de mitigación y adaptación al Cambio Climático a nivel nacional, aunque no es excluyente a un uso en un nivel territorial más acotado.

La organización actual del Estado y la Ley Marco de Cambio Climático apuntan al Ministerio del Medio Ambiente como organismo idóneo para la coordinación del diseño de la Hoja de Ruta, considerando su rol planificador frente al Cambio Climático. De todas formas, cabe destacar que, tras la experiencia y los aprendizajes derivados del caso de estudio, se abre la posibilidad de reflexionar sobre una organización diferente, con el fin de aumentar la sintonía con un problema de escala multidimensional. El objetivo central de la Hoja de Ruta, independiente del sector industrial analizado, corresponde a mitigar y adaptarse al Cambio Climático. En este sentido y, considerando que los objetivos estratégicos de los distintos ministerios que operan actualmente son concebidos para abordar problemáticas particulares de la sociedad, la propuesta metodológica invita a la reflexión sobre la conformación de un organismo estatal dedicado específicamente a los desafíos que supone el Cambio Climático, integrando diversas disciplinas y asumiendo la coordinación de los sectores involucrados. Quien lea podrá preguntarse ¿qué tendría de diferente esta organización con el Ministerio del Medio Ambiente? Y la respuesta se remite al foco y las tareas asumidas. Actualmente, el Ministerio del Medio Ambiente asume responsabilidades más allá del Cambio Climático, lo que podría dificultar el desarrollo y ejecución de este tipo de planes.

La Figura 8.1 muestra una serie de pasos a seguir para elaborar una Hoja de Ruta en materia de cambio climático. El paso a paso está descrito en bloques de color rosa, mientras que los bloques anaranjados describen las preguntas orientadoras que motivan la existencia de cada etapa. Adicionalmente, los bloques de color rosa que involucran las etapas de “Diagnóstico del Sector” hasta la etapa de “Planificación” presentan un número que se asocia al contenido de la Tabla 8.1. Esta tabla presenta un mayor detalle metodológico para cada etapa, las preguntas clave que busca resolver cada paso y algunas recomendaciones para facilitar el trabajo.

El primer paso para la elaboración de una Hoja de Ruta en materia de Cambio Climático es la definición de una misión y visión del plan, además de conformar un comité ejecutivo pertinente para llevar a cabo la coordinación interna. Definir una misión y visión suele ser una práctica abordada para la planificación de un quehacer

organizacional. En este trabajo, sin embargo, se propone la creación de una misión y visión propia para el plan sectorial, en lugar de adecuar el plan a la misión y visión de alguna organización preexistente. Lo anterior permite estructurar el diseño de la Hoja de Ruta en función de la problemática ambiental que se busca enfrentar, fortaleciendo la idea de que las políticas ambientales respecto a la crisis climática sean políticas de Estado, es decir, que su implementación no dependa del gobierno de turno, sino que sea transversal y a largo plazo.

En Chile, los distintos ministerios y sectores industriales cuentan con sus propias misiones y visiones, que pueden o no involucrar aspectos de sustentabilidad y Cambio Climático. Cuando estos existen, suelen incorporarse en adición a más objetivos estratégicos de otra naturaleza. Configurar una Hoja de Ruta de Cambio Climático en función de misiones y visiones que fueron concebidas a partir de múltiples objetivos (y no necesariamente relacionados con el objetivo del plan), puede conllevar a la implementación de acciones ineficaces. La definición de un objetivo propio del plan y transversal a los organismos participantes, en cambio, permite sintonizar de mejor manera el diseño de la Hoja de Ruta con el problema que supone el Cambio Climático.

En línea con lo mencionado al inicio de esta sección, si existiera un organismo gubernamental compuesto por integrantes de múltiples ministerios y encargado particularmente de los esfuerzos locales frente a la crisis climática, la misión y visión de esa organización podría configurar la Hoja de Ruta sin el riesgo de que el objetivo central del plan se vea configurado por otros objetivos estratégicos no necesariamente relacionados con el Cambio Climático. Esto resulta coherente con la necesidad de adecuarse a los desafíos globales que surgen y varían a lo largo del tiempo. Ahora bien, considerando la situación actual de la organización interna del Estado y los organismos públicos existentes, se propone el establecimiento de una misión y visión propia del plan y que, de ser necesario, los distintos organismos involucrados incorporen objetivos estratégicos relacionados con la Hoja de Ruta en su misión y visión interna. Alinear los objetivos ministeriales a la misión y visión de la Hoja de Ruta facilitará abordar un problema complejo que requiere de la acción de múltiples actores.

La Figura 8.1 presenta también tres hitos de evaluación, orientados a verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos y que los resultados parciales obtenidos estén alineados con la misión y visión del plan. En caso de que esto no ocurra, existen dos posibilidades: repetir el procedimiento poniendo énfasis en alinearse con el objetivo central de la Hoja de Ruta; o replantear la misión y visión del plan, en caso de que no se haya logrado plasmar correctamente el objetivo central de la Hoja de Ruta.

Una vez que se tenga una propuesta de Hoja de Ruta de mitigación y adaptación al Cambio Climático, se incorporan dos etapas: i) el ajuste del plan según acuerdos políticos y una evaluación presupuestaria y; ii) una etapa de consulta ciudadana. El ajuste del plan contempla una evaluación presupuestaria que cuantifique los recursos necesarios para la implementación de la Hoja de Ruta y las posibilidades de financiamiento, además de la articulación política entre el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio sectorial respectivo³⁴ y los distintos organismos y autoridades competentes en la implementación de la Hoja de Ruta, con el fin de lograr acuerdos y ajustar el plan según los recursos y capacidades disponibles para su implementación. Las modificaciones derivadas de la evaluación presupuestaria y los acuerdos políticos pueden asociarse a cualquier punto descrito en la Tabla 8.1.

La consulta ciudadana tiene los siguientes objetivos: i) transparentar el proceso de construcción y; ii) incluir las opiniones de la ciudadanía que pudieron no haber sido recogidas a lo largo del desarrollo de la metodología. Es importante que en esta etapa se facilite el acceso a la propuesta para contar con una retroalimentación representativa que permita adecuar y modificar la Hoja de Ruta en función de lograr consensos y aumentar la

³⁴ Para el caso de estudio, correspondería al Ministerio de Agricultura.

aceptación por parte de la ciudadanía. En la medida que se tenga un amplio apoyo a las iniciativas, se espera que su ejecución sea más expedita en comparación a un escenario donde la ciudadanía se opone a la implementación.

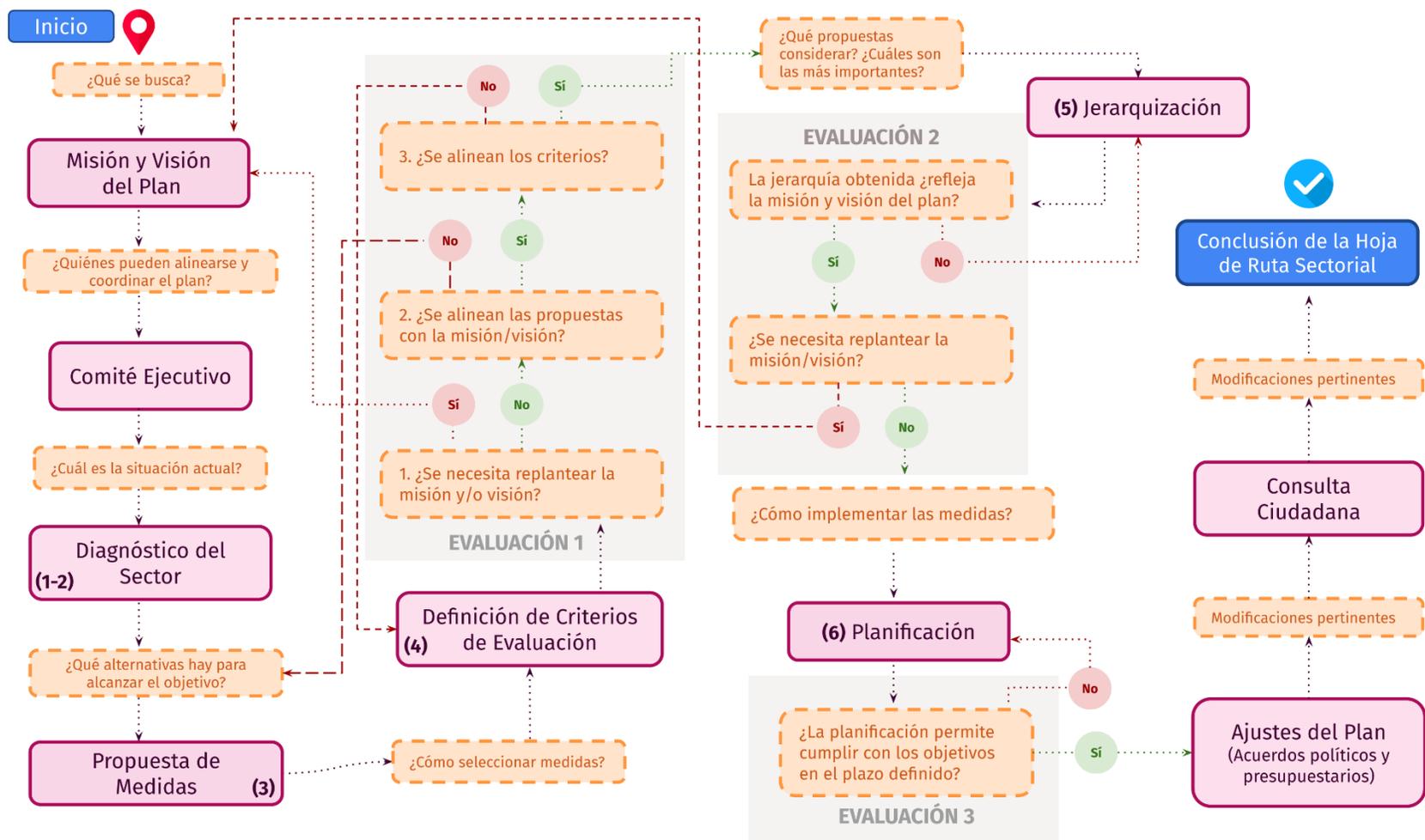


Figura 8.1: Mapa de decisiones para plantear una Hoja de Ruta. Elaboración propia.

Tabla 8.1: Síntesis de la metodología para la Composición de Hojas de Ruta de mitigación y adaptación al cambio climático en sectores industriales. Elaboración propia.

Objetivo	Acciones	Consideraciones
1 Caracterizar y representar la industria: se busca representar de la manera más responsable posible el sector industrial a estudiar, seleccionando productos representativos en caso de que la industria produzca diversos bienes, además de caracterizar la producción a lo largo del territorio nacional. El resultado de esta etapa considera la definición de qué productos representan el sector industrial, a fin de estudiar sus procesos productivos en el siguiente paso.	1. Realizar un barrido bibliográfico del sector industrial	Pregunta clave: <i>En la actualidad ¿Cuáles son las principales características del sector industrial?</i> Se busca tener un panorama general del sector para establecer criterios de generalización de los productos. Así, se deben explorar aspectos como la escala de producción, el aporte a la economía nacional, etc.
	2. Determinar la totalidad de productos elaborados y su distribución a lo largo del territorio nacional	Pregunta clave: <i>¿Qué productos elabora el sector industrial y cómo se distribuyen a lo largo del territorio nacional?</i> En caso de que la industria sea responsable de la producción de una gran cantidad de bienes, considerar clasificarlos en "clases representativas" según similitudes en los sistemas de producción, uso o función para el usuario final, etc.
	3. Definir criterios de caracterización del sector	Pregunta clave: <i>¿Qué es lo que define a un producto como "representativo" del sector industrial?</i> En general, esta pregunta se responde en términos de niveles de producción, pues los productos característicos del sector suelen ser aquellos que se producen en mayor escala. Así, pueden considerarse criterios como: producción anual, contribución al PIB sectorial, etc.
	4. Determinar la cantidad mínima de productos que representarán la industria	Pregunta clave: <i>¿Cuántos productos representarán al sector industrial?</i> A mayor cantidad de productos, más preciso y más responsable será el estudio, sin embargo, se debe equilibrar la necesidad de realizar un estudio responsable con las capacidades y limitaciones existentes.
	5. Establecer el número de clases o categorías de productos que se abordarán a nivel de macrozonas	Pregunta clave: <i>¿Cuántos productos representarán la industria en cada macrozona?</i> Considerando el total de productos determinados en el paso anterior (n productos), dividir esta magnitud de manera de distribuir geográficamente la selección de productos representativos. Lo anterior, para incorporar la heterogeneidad geográfica y climática del país y cómo estas variables afectan la producción nacional.
	6. Definir productos representativos por macrozona y a nivel nacional	Pregunta clave: <i>¿Qué productos caracterizan o representan el sector industrial en cada macrozona?</i> Considerar en este análisis la heterogeneidad de productos (en términos de la posibilidad de estandarizar el proceso productivo, la diversidad en el uso de recursos, aporte a la economía, impacto medioambiental, etc.) En caso de contarse con subsectores de producción, considerar, al menos, un producto de cada subsector. En caso de que la producción no sea homogénea a nivel nacional, definir un producto representativo por macrozona.
2 Caracterizar los procesos productivos: en esta etapa se busca establecer un	1. Describir rasgos generales del sector productivo	Preguntas clave: <i>¿Cómo es el ciclo de vida del producto? ¿Qué operaciones unitarias componen el proceso industrial?</i>

<p>diagnóstico a través de una línea base que permita comparar los efectos ambientales de la implementación de diversas medidas sobre el sector industrial.</p> <p>Considerando que se trata de una Hoja de Ruta en materia de cambio climático, se debe caracterizar el nivel de emisiones e indicadores de adaptación para poder evaluar posteriormente el impacto ambiental de la implementación de medidas.</p>		<p>Definir en términos generales el ciclo de vida del producto y, de manera más específica, las operaciones unitarias asociadas al proceso productivo como tal. Especificar las fuentes de materia prima, disposición de productos, flujos materiales y energéticos existentes, etc.</p> <p>En caso de contarse con subsectores productivos, considerar la descripción de cada uno por separado.</p>
	2. Definir las categorías de impacto ambiental e indicadores de cuantificación	<p>Preguntas clave: <i>¿Cuáles son los impactos ambientales más críticos del sector? ¿Qué factores ambientales determinan en mayor medida el funcionamiento de la industria? ¿Qué categorías de impacto permiten visibilizar los avances del sector en materia de mitigación o adaptación al cambio climático?</i></p> <p>Para efectos de establecer una línea base para la mitigación del cambio climático, considerar las emisiones de GEI del sector. En el caso de la adaptación, reflexionar en torno a los aspectos ambientales críticos que determinan el funcionamiento del sector o que lo hacen vulnerable frente al cambio climático.</p> <p>Elaborar, al menos, dos tipos de indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador sectorial anual: que permita la comparación de impactos entre distintos territorios (macrozonas). • Indicador de impacto normalizado: que permita la comparación de impactos sobre un flujo de referencia que representa la retribución de la industria a la sociedad (ej: masa producida, nutrientes obtenidos, unidades de un bien, etc.)
	3. Definir el alcance del estudio	<p>Pregunta clave: <i>¿Cuáles serán los límites del estudio?</i></p> <p>Considerar la necesidad de equilibrar la precisión y profundidad del estudio con las capacidades disponibles.</p> <p>Se sugiere definir el límite de batería del análisis tomando en cuenta las etapas críticas donde se producen mayores impactos ambientales. La búsqueda de antecedentes bibliográficos puede aportar a delimitar el estudio.</p>
	4. Cuantificar los indicadores asociados a las categorías de impacto	<p>Pregunta clave: <i>¿Cuáles son los impactos ambientales que genera actualmente la industria?</i></p> <p>En este punto es donde se establece la línea base que permitirá la comparación de impactos ambientales bajo distintos escenarios de implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.</p> <p>Cada categoría de impacto estará compuesta por distintos subindicadores asociados a cada fuente de contribución (ej: contribución del consumo energético a las emisiones de GEI por kilogramo de producto)</p>
	4.1 Definir factores de caracterización asociados a cada fuente de contribución	<p>Pregunta clave: <i>Para cada fuente de contribución a la categoría de impacto ¿Qué factor permite relacionar el nivel de actividad de dicha fuente con el impacto a cuantificar?</i></p> <p>Considerar la necesidad de ponderar un cuantificador de la actividad asociada a cada fuente de contribución (ej: volumen de combustible consumido anualmente) con un factor de caracterización que permita establecer la equivalencia entre dicho cuantificador de actividad con el impacto ambiental buscado (ej: emisiones de GEI por unidad de volumen de combustible)</p>
	4.2 Estimar cuantitativamente los factores de caracterización	<p>Preguntas clave: <i>¿Qué valor cuantitativo toma el factor de caracterización según cada fuente de contribución? ¿Varía este valor según el territorio donde se aplique?</i></p>

	asociados a cada fuente de contribución	En caso de no contar con factores de caracterización propios de cada territorio, se recomienda utilizar los del IPCC ³⁵ .
	4.3 Cuantificar los indicadores asociados a las categorías de impacto definidas para cada clase representativa en las respectivas macrozonas	Preguntas clave: <i>¿Cuál es el impacto de cada clase representativa del sector industrial? ¿Cómo varía ese impacto a lo largo del territorio nacional?</i> Para cada producto representativo (o clase que agrupa ciertos productos) y en cada macrozona, cuantificar las categorías de impacto asociadas al ciclo de vida completo del producto analizado (considerando el límite de batería definido previamente).
	4.4 Generalizar los resultados a nivel territorial	Pregunta clave: <i>¿Cuáles son los impactos ambientales derivados del estado actual del sector industrial a nivel nacional?</i> A partir del desarrollo previo y los cuantificadores de actividad del sector para cada macrozona, generalizar los resultados obtenidos a nivel nacional.

3	Proponer medidas de mitigación y adaptación: una vez realizado el diagnóstico del sector industrial en términos ambientales, proponer medidas de mitigación y adaptación al cambio climático a partir del análisis de la línea base obtenida previamente, y de la participación de distintos grupos de interés.	1. Identificar los grupos de interés	Pregunta clave: <i>¿Quiénes pueden estar interesados o ser afectados por la implementación de medidas de mitigación/adaptación al cambio climático en el sector industrial?</i> Se busca identificar y reunir actores que puedan colaborar en la propuesta de medidas de mitigación y adaptación al sector, para lo que se debe valorar no solo el conocimiento técnico-científico, sino que también aquel conocimiento ligado a la experiencia.
		2. Diseñar el proceso de consulta	Pregunta clave: <i>¿Cómo obtener la información necesaria de los grupos de interés?</i> Se debe definir la modalidad de consulta (virtual, presencial o híbrida), las capacidades y recursos necesarios. Posteriormente, elaborar la herramienta de ejecución del proceso de consulta (formularios, grupos focales, etc.).
		3. Ejecutar el proceso de consulta	Pregunta clave: <i>¿Qué información, referida a medidas de mitigación/adaptación al cambio climático en el sector industrial, puede obtenerse a partir de la consulta a grupos interesados?</i> Implementar el proceso de consulta, asegurando la participación de la mayor cantidad de grupos interesados.
		4. Realizar una investigación complementaria	Pregunta clave: <i>¿Qué medidas de mitigación o adaptación al cambio climático se han propuesto en la actualidad para este sector industrial?</i> Se busca ampliar el universo de propuestas a partir de experiencias observadas en la comunidad internacional, de proyectos de innovación, aportes de la comunidad científica, entre otros.
		5. Sistematizar la información	Pregunta clave: <i>¿Qué medidas de mitigación y adaptación al cambio climático se proponen para el sector industrial?</i> Esta sección busca ordenar y clasificar las propuestas derivadas del proceso de consulta y de la investigación complementaria.

³⁵ Disponibles en las directrices del IPCC para la elaboración de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

4	<p>Definir criterios de evaluación: que serán utilizados en la evaluación multicriterio mediante la herramienta AHP (Proceso Analítico Jerárquico). Tras concluir esta etapa, se contará con los criterios y subcriterios que determinarán cuándo una medida es “deseable” o no para efectos de mitigar y adaptarse al cambio climático en un sector industrial específico.</p>	1. Plantear criterios de evaluación	<p><i>Preguntas clave: ¿Bajo qué ejes pueden evaluarse las medidas? ¿Qué impactos a evaluar son de especial interés?</i></p> <p>Se deben considerar criterios técnicos, económicos y ambientales. Se sugiere, adicionalmente, contemplar criterios sociales y culturales, considerando los impactos socio-ambientales del cambio climático y la existencia de poblaciones más vulnerables que otras.</p>
		2. Plantear subcriterios para cada criterio de evaluación	<p><i>Pregunta clave: ¿Qué aspectos específicos puede considerar cada criterio de evaluación?</i></p> <p>Considerar preguntas orientadoras que apunten a considerar la factibilidad técnica de implementación de cada medida, los impactos económicos y los principales impactos ambientales de los que el sector debe hacerse cargo. Contemplar que los subcriterios permitan evaluar el impacto de las medidas en materia de mitigación y adaptación del sector al cambio climático.</p>
		3. Seleccionar criterios y subcriterios más relevantes para el estudio	<p><i>Pregunta clave: ¿Qué criterios y subcriterios definen qué medida es más deseable frente a una comparación de alternativas?</i></p> <p>Considerar que estos criterios y subcriterios deben alinearse con el objetivo general de la Hoja de Ruta: la mitigación y adaptación al cambio climático desde el sector industrial. Para esto, seleccionar aquellos criterios y subcriterios que permiten una evaluación responsable del potencial de mitigación y adaptación, además de otros que aborden restricciones a la implementación (técnicas, económicas, sociales, etc.) o evalúen otros impactos posibles.</p>
		4. Plantear la manera de cuantificar el aporte de cada medida según los subcriterios escogidos	<p><i>Pregunta clave: ¿Cómo se evaluará el aporte de cada medida según los distintos subcriterios?</i></p> <p>Clasificar los subcriterios según su naturaleza de evaluación (cuantitativa o cualitativa) y, según corresponda, definir una escala de evaluación o un indicador cuantitativo. Para la escala de evaluación, se sugiere utilizar la sugerida por Saaty en el desarrollo del Proceso Analítico Jerárquico.</p>

5	<p>Seleccionar y Jerarquizar medidas con AHP: tras este paso, se obtiene la selección y posterior priorización de las medidas evaluadas, bajo los distintos criterios y subcriterios definidos anteriormente. Esto se realiza mediante la formalización matemática de un problema de jerarquización mediante la comparación por pares, la que se realiza de manera cuantitativa y/o cualitativa, según sea el caso.</p> <p>El problema de jerarquización se construye a partir de la valoración de criterios y subcriterios según distintos actores involucrados en el sector</p>	1. Seleccionar medidas a jerarquizar	<p><i>Pregunta clave: ¿Qué medidas serán evaluadas?</i></p> <p>El objetivo es acotar el universo de medidas posibles a evaluar. Se propone aplicar un primer filtro asociado a la pertinencia y foco de las medidas (recordando el objetivo general de la Hoja de Ruta). Posteriormente, pueden considerarse aspectos como factibilidad técnica o aquellas que parezcan más atractivas en términos de mitigación o adaptación, ya sea dada la observación de experiencias previas, el potencial de desarrollo comprobado científicamente, entre otros aspectos posibles.</p>
		2. Revisar los criterios y subcriterios de evaluación	<p><i>Pregunta clave: ¿Pueden evaluarse de manera independiente los criterios y subcriterios?</i></p> <p>Para facilitar el análisis multicriterio, se deben independizar en la mayor medida posible los criterios a evaluar, de modo de no condicionar las comparaciones por pares a realizar en las etapas posteriores de la jerarquización. Se sugiere reflexionar en torno a las interacciones de un subcriterio con otro o la dependencia entre estos, a modo de independizarlos dentro de lo posible, pero manteniendo el objetivo de la evaluación.</p>
		3. Definir la estructura del problema	<p><i>Pregunta clave: ¿Cuál es el problema de jerarquización?</i></p> <p>Representar de manera gráfica el problema a resolver, mediante un árbol de jerarquía. Esto facilitará la visión general del problema y la posterior valoración de criterios y medidas.</p>

<p>industrial analizado, para posteriormente valorar comparativamente las medidas y sus impactos sobre la línea base establecida en el paso 2. De esta metodología, ya sea de manera cuantitativa o cualitativa, mediante la valoración a través de juicios de expertos. Todo lo anterior se resume en un problema matricial con una única solución, que establece la jerarquía final de las medidas.</p>	4. Determinar la escala de aplicación de la evaluación	<p>Pregunta clave: <i>¿A qué escala territorial se realizará la evaluación multicriterio?</i></p> <p>El resultado de la jerarquización puede variar según el contexto geográfico donde se desarrolle, debido a las particularidades de cada contexto. En este sentido, se sugiere una evaluación a nivel de macrozonas para facilitar y adecuar la planificación posterior a cada contexto territorial.</p>
	5. Valorar criterios	<p>Pregunta clave: <i>¿Cuánta relevancia tiene cada criterio y subcriterio en la evaluación?</i></p> <p>Para esto, se deben definir a los participantes del proceso, considerando actores involucrados de diferentes orígenes para representar de la mejor manera la opinión del sector. Posteriormente, se define la metodología de aplicación del formulario de comparación por pares (encuestas individuales y posterior promedio, encuestas grupales que buscan consenso, etc.). Finalmente, se elaboran y aplican los formularios de valoración.</p>
	6. Valorar medidas	<p>Pregunta clave: <i>Para cada criterio ¿Cuánto impacta cada medida en relación al resto?</i></p> <p>Para el caso de una valoración cualitativa, aplicar el mismo procedimiento del punto 5, considerando la participación de expertos en la materia según sea el subcriterio a evaluar. En caso de una valoración cuantitativa, valorar los indicadores del punto 4.4 según los distintos escenarios de implementación de las medidas.</p>
	7. Completar matrices de comparación	<p>Pregunta clave: <i>¿Cuál es el problema matemático de priorización?</i></p> <p>Seguir la metodología de formulación del problema matemático descrito en el Proceso Analítico Jerárquico (ver Anexo F, sección F.1).</p>
	8. Priorización y Síntesis	<p>Pregunta clave: <i>¿Qué medida de mitigación/adaptación es más deseable frente al escenario basal planteado para el sector industrial?</i></p> <p>Resolver el problema matemático y obtener una jerarquía que puede facilitar la planificación u orden de implementación, como también el descarte de ciertas medidas que no resulten atractivas bajo los criterios de evaluación.</p> <p>Se debe evaluar si el orden de la implementación de las medidas afecta la valoración realizada en el paso 6 para cada medida. De ser así, se debe proceder a una jerarquización recursiva.</p>
	9. Jerarquización recursiva	<p>Pregunta clave: <i>Considerando la implementación de X medida, ¿Qué medida de mitigación/adaptación es más deseable ahora?</i></p> <p>Para esto, debe reestructurarse el caso base en torno al que se comparará el impacto de cada medida, asumiendo el escenario hipotético de implementación de la medida más deseable obtenida en la jerarquización anterior. Posteriormente, se deben repetir los pasos 3 a 7 (omitendo el paso 4) hasta obtener la jerarquía final.</p>

6	Componer la Hoja de Ruta: una vez concluida la jerarquización mediante la herramienta de análisis multicriterio, se procede a utilizar este resultado para la composición de una agenda estratégica,	1. Definir un comité de coordinación	<p>Pregunta clave: <i>¿Quiénes serán los encargados de gestionar el cumplimiento de cada medida?</i></p> <p>Considerar la necesidad de un grupo interdisciplinario con conocimientos técnicos y capacidad de gestión en torno a la materia involucrada en cada medida.</p>
		2. Definir iniciativas y acciones estratégicas	<p>Pregunta clave: <i>¿Qué iniciativas y acciones deben realizarse para cumplir con el objetivo de cada medida?</i></p>

<p>cuyo principal atributo debe ser la flexibilidad.</p> <p>La composición de la Hoja de Ruta debe contemplar un análisis interno del comité coordinador, además de un análisis externo del contexto en que se desenvuelve el sector industrial estudiado. Posteriormente, se consideran criterios de sucesión y simultaneidad, además de la jerarquía obtenida, para la ubicación de las medidas en una línea temporal. El resultado se resume en una herramienta gráfica.</p>		<p>Considerar un análisis interno del comité de coordinación y un análisis externo del contexto en que se ejecutará la Hoja de Ruta.</p>
	3. Definir organismos impulsores para cada acción	<p>Pregunta clave: <i>¿Qué organismos pueden aportar en el impulso y ejecución de cada iniciativa/acción?</i></p> <p>Definir los responsables de ejecución de cada iniciativa y acción, a partir de un análisis de <i>stakeholders</i> basado en la institucionalidad existente.</p>
	4. Definir plazos de cumplimiento	<p>Preguntas clave: <i>¿Cuánto tiempo se requiere para cumplir con la implementación de la medida? ¿Cuál es el plazo de implementación de cada iniciativa y acción?</i></p> <p>Clasificar las iniciativas y acciones en categorías de implementación en el corto, mediano y largo plazo, considerando este último como el tiempo máximo de implementación de la medida asociada a dichas iniciativas y acciones.</p>
	5. Componer la agenda	<p>Preguntas clave: <i>¿En qué orden cronológico deben implementarse las medidas? ¿Qué iniciativas deben implementarse antes o después?</i></p> <p>La composición debe considerar la jerarquía obtenida, la necesidad de sucesión de ciertas actividades y la posibilidad de paralelizar otras. A partir de la definición del paso anterior, calendarizar todas las medidas según el caso ideal en que todas inician su implementación lo antes posible. A partir de ese escenario, aterrizar a la realidad la planificación considerando los aspectos mencionados anteriormente y otras posibles restricciones.</p>

8.2 Discusiones y Reflexiones Finales

En la presente sección se abordan las principales discusiones y reflexiones referidas a los resultados obtenidos y al trabajo realizado. Para esto, se plantearán los principales aprendizajes tras la ejecución de este estudio, como también un análisis comparado de algunas metodologías de composición de planes estratégicos en materia de Cambio Climático a nivel nacional, y la metodología propuesta en este trabajo.

Con respecto a los aprendizajes obtenidos y recomendaciones para quien lea o desee aplicar esta metodología en la elaboración de una Hoja de Ruta, se deben destacar diversos aspectos. En primer lugar, se tiene que una buena planificación en materia de Cambio Climático requiere de un buen diagnóstico sobre el estado actual, en materia ambiental, del sector industrial a analizar. Esto podría facilitar la propuesta de medidas de mitigación y adaptación y, en conjunto con un análisis multicriterio, el establecimiento de metas de mitigación y adaptación diferenciadas, considerando que algunos cambios pueden ser más rápidos y significativos que otros. Adicionalmente, contar con una proyección de escenarios que refleje la incertidumbre asociada a los efectos territoriales del Cambio Climático sería un aporte significativo. En este espacio, la modelación puede ser una herramienta muy importante. En la medida que se cuente con más información referida al problema, más variables pueden ser consideradas en la toma de decisiones, lo que, si bien puede complejizar el proceso, permite fortalecer los resultados. En la misma línea, y como se ha mencionado en capítulos anteriores, establecer un escenario basal que represente fielmente la realidad del sector permitirá distribuir de manera estratégica los recursos disponibles para la implementación de medidas. De ahí la importancia de esta etapa.

En segundo lugar, se debe destacar la importancia de los esfuerzos técnicos e interdisciplinarios para elaborar una Hoja de Ruta funcional y, posteriormente, implementarla. Considerando que el cambio climático es un problema global y que involucra distintas aristas técnicas, se requiere de un trabajo interdisciplinario con múltiples actores que permita reunir las capacidades necesarias para enfrentar un desafío de esta escala. Esto puede resultar una dificultad en términos de coordinación, sin embargo, se considera un esfuerzo necesario teniendo en cuenta que, en un escenario donde un solo organismo (o un número reducido de estos) se hace cargo de diagnosticar y planificar la forma de resolver un problema de esta magnitud (en términos de complejidad y las relaciones sistémicas que involucra), es probable que se pierdan de vista aspectos clave para proponer medidas o hacer un diagnóstico representativo de la realidad.

En línea con lo anterior, el trabajo participativo también es relevante para la construcción de una Hoja de Ruta en materia de Cambio Climático. La metodología propuesta contempla etapas de participación que configuran estructuralmente el contenido de la Hoja de Ruta, pues las opiniones de los distintos actores involucrados afectan la matematización de un problema e inciden directamente en los resultados obtenidos. En este sentido, la metodología propuesta facilita una creación democrática de la Hoja de Ruta, otorgándole un mayor peso político a los distintos actores involucrados para la conformación de una política estatal basada en visiones multisectoriales.

Adicionalmente, la evidencia científica respalda que los grupos más vulnerables se asocian a personas en situación de pobreza, miembros de comunidades indígenas, niños y mujeres [146]. Si bien el uso de herramientas multicriterio permite una evaluación más integral que una evaluación económica, es importante que su desarrollo incorpore la participación de todos los actores involucrados con el sector industrial, más allá del sector productivo como tal. Lo anterior permite tener una visión más representativa de la opinión e impactos del sector, fortaleciendo la base sobre la que se sostienen las decisiones.

Siguiendo con los aprendizajes y recomendaciones, el desarrollo del caso de estudio demostró que una de las dificultades en su elaboración corresponde al tiempo y capacidades requeridas para desarrollar cada etapa. La metodología propuesta involucra una etapa exhaustiva de diagnóstico y, posteriormente, segmentos de

participación que involucran amplios esfuerzos, por ejemplo, en términos de representación territorial³⁶. Si bien estos análisis permiten tener un escenario más representativo de la realidad nacional -y concluir, entonces, una planificación aterrizada a esta- es importante sopesar los esfuerzos y las capacidades necesarias para desarrollar el estudio con este nivel de detalle. Debido a que la Hoja de Ruta representa un plan estratégico a nivel nacional, es posible simplificar algunas secciones del estudio al momento de tomar decisiones de esta escala como, por ejemplo, la precisión con que se aborda el diagnóstico a nivel de regiones o macrozonas. Otra posible solución frente a esta dificultad podría ser una planificación *de abajo hacia arriba*, delegando el diagnóstico y evaluación multicriterio a nivel de macrozonas, por ejemplo, a los gobiernos locales, para que posteriormente provean estos insumos a los ministerios nacionales que lleven a cabo la etapa de planificación. El hecho de que la metodología propuesta no requiera de una escala territorial específica facilita su adaptación a distintos territorios.

En línea con lo anterior, quien lea este trabajo podrá notar que, para efectos del caso de estudio, inicialmente se trabajó con el sector agrícola, sin embargo, dada la heterogeneidad de los productos elaborados en esta industria, se hizo necesario acotar el estudio a un subsector. La metodología propuesta permite elaborar Hojas de Ruta sub sectoriales y, posteriormente, componer una Hoja de Ruta sectorial. Esto resulta útil al momento de adaptar la metodología a distintos subsectores, sintonizando con la Estrategia Climática de largo Plazo donde, por ejemplo, establece metas para el subsector bovino, en el sector ganadero. Esto se alinea con lo propuesto anteriormente sobre una planificación desde lo particular a lo general, permitiendo proponer e implementar medidas en tiempos atinentes y centradas en el contexto sectorial específico.

Posibles mejoras y proyecciones: Comparación con la Estrategia Climática de Largo Plazo

Con el fin de proponer mejoras y proyecciones para este trabajo, se comparó la metodología propuesta con la utilizada para la elaboración de la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) que, si bien corresponde a un plan estratégico, tiene por objetivo general el establecimiento de metas en materia de mitigación y adaptación para los distintos sectores industriales de Chile. Es más, señala explícitamente que el plan no busca imponer acciones o estrategias a los distintos organismos públicos sectoriales a cargo y que es responsabilidad de cada uno establecer cómo se alcanzarán dichas metas. En este sentido, y al tener objetivos distintos, la metodología propuesta no es comparable en profundidad con el método seguido para la elaboración de la ECLP. No obstante, sí es posible extraer aspectos metodológicos que pueden enriquecer la propuesta obtenida en este trabajo.

A partir de la revisión de la metodología seguida en la elaboración de la ECLP y el análisis comparativo del PACCSAP con la Hoja de Ruta del sector frutícola (realizado en el Capítulo 7, sección 7.2.3), se encontraron diversos aspectos que podrían robustecer la propuesta. El primer aspecto a mejorar corresponde al análisis de escenarios climáticos futuros, con el fin de tomar decisiones bajo incertidumbre. El contar con un diagnóstico que incorpore las problemáticas clave a enfrentar en el futuro podría contribuir a tomar decisiones basadas en la probabilidad de ocurrencia de un escenario u otro, otorgándole mayor robustez a la metodología.

Sumado a lo anterior, la ECLP utiliza la metodología RDM (del inglés *Robust Decision Making*) para la toma de decisiones en materia de mitigación. Esta metodología considera como criterio básico para la selección de medidas la robustez de una acción frente a diversos escenarios de incertidumbre climática. Así, se desmarca de criterios de optimalidad e, incluso, propone ceder en la eficiencia de una medida si esta no es lo suficientemente robusta. Si bien esta metodología no fue implementada en este trabajo, es una potencial

³⁶ Como se menciona en el Capítulo 6, una alternativa para tener una jerarquía de medidas aterrizada a las distintas realidades territoriales del país, corresponde al uso de la herramienta AHP a un nivel de macrozonas, lo que no se realizó para efectos del caso de estudio. Esto se complementa con lo expuesto en el Capítulo 7 donde, de haber contado con una jerarquía diferente para cada macrozona, habría sido posible obtener un plan estratégico para cada territorio.

mejora que podría incluirse en la evaluación multicriterio, a través de la consideración de un criterio de robustez en la implementación del Proceso Analítico Jerárquico. El análisis de robustez resulta especialmente útil frente a escenarios de incertidumbre, pues permite aumentar la probabilidad de adaptación al cambio climático de los distintos sectores, además de contribuir a la implementación de medidas efectivas.

Otra posible mejora corresponde a la consideración de las restricciones asociadas a las capacidades del sector para enfrentar los desafíos propuestos. La ECLP establece presupuestos de carbono diferenciados para los distintos sectores productivos del país, basándose en el potencial de cada uno para alcanzarlos dentro de un plazo determinado. Como se mencionó en la introducción de este trabajo, el alcance del caso de estudio propuesto no incorpora aspectos relacionados con la estimación de recursos necesarios para la implementación de la Hoja de Ruta, lo que es fundamental al momento de analizar la factibilidad técnica de ejecución. En este sentido, si bien la metodología propone una evaluación presupuestaria, no detalla las estrategias de evaluación posibles en este ámbito, por lo que un mayor desarrollo de este segmento podría contribuir no solo estandarizar la metodología a seguir para cada sector, sino que también a contrastar las metas propuestas en la ECLP y las capacidades de cada sector para cumplirlas, pudiendo evaluarse el proveer más recursos a los sectores que lo requieran.

De todas maneras, las mejoras mencionadas son compatibles con la metodología elaborada en este trabajo. Es más, pueden incorporarse sin mayores dificultades durante las etapas de diagnóstico o de la evaluación multicriterio. Si bien la propuesta de este trabajo presenta aspectos que pueden profundizarse, se debe destacar que existen aspectos que pueden enriquecer la elaboración de políticas públicas como la Estrategia Climática de Largo Plazo. En primer lugar, se tiene el abordaje de la mitigación y adaptación al Cambio Climático de manera simultánea: gran parte de los planes nacionales tratan la mitigación y la adaptación como temas independientes, perdiendo de vista las relaciones existentes entre los sistemas ambientales y climáticos. Desagregar el problema y tratarlo de manera parcelada impide una visión sistémica, lo que repercute directamente en la toma de decisiones a partir de información parcial. En segundo lugar, la metodología propuesta plantea la necesidad de una visión propia y sintonizada con el desafío que supone el Cambio Climático, lo que puede facilitar la propuesta e implementación de medidas e, incluso, apuntar a medidas más eficaces que las observadas en la ECLP, que toma como restricción la misión y visión de cada organismo sectorial. Esto, a su vez, fortalece la adopción de los objetivos de la Hoja de Ruta y la implementación de la misma a largo plazo, independiente de las visiones y/o misiones propias del gobierno o instituciones del Estado. Por último, la metodología propuesta valora especialmente la construcción de un plan de manera participativa, formalizando el uso de una herramienta multicriterio para incorporar la participación ciudadana y multisectorial en la toma de decisiones.

La propuesta metodológica de este trabajo sienta las bases para formalizar y transversalizar una metodología de composición de Hojas de Ruta en materia de Cambio Climático. Se trata de un método configurado estructuralmente por el problema que busca resolver, facilitando la obtención de resultados que sintonicen con el escenario global actual. Uniformar la metodología facilita la toma de decisiones en torno a una misma visión por parte de los distintos sectores industriales, además de otorgar capacidades a los mismos para planificar sus propias acciones.

Capítulo 9. Conclusiones

El presente trabajo propone una metodología para la elaboración de Hojas de Ruta para la adaptación y mitigación del Cambio Climático en distintos sectores industriales de Chile, construida a partir de una primera propuesta aplicada a un caso de estudio y su posterior generalización para ser aplicada a otras industrias. En comparación con otras, esta metodología ofrece la construcción de un plan estratégico sostenido en: i) un diagnóstico basado en evidencia científica; ii) la formalización e incidencia de la participación de distintos actores involucrados en la definición de acciones y de criterios de evaluación y; iii) la evaluación de medidas mediante una herramienta de análisis multicriterio. Adicionalmente, es una propuesta que integra estructuralmente la importancia del Cambio Climático por sobre otras metas estratégicas posibles para un sector industrial u organización.

La metodología contempla una etapa de representación del sector industrial a partir de la división en subsectores industriales (según corresponda) y la selección de productos representativos, los que permiten posteriormente generalizar los procesos productivos a estudiar. Luego, se tiene una etapa diagnóstica donde se calculan indicadores de emisiones de GEI y de adaptación que establecen la línea base de comparación respecto a escenarios donde se implementan medidas de mitigación y adaptación. Una vez realizada la etapa diagnóstica, se proponen medidas de mitigación y adaptación, además de criterios de evaluación que establecen qué medida conviene implementar y que serán utilizados en una evaluación multicriterio. Esta evaluación se realiza utilizando la herramienta del Proceso Analítico Jerárquico, que permite formalizar matemáticamente un problema de priorización. Finalmente, se plantean estrategias para el cumplimiento de los objetivos de las medidas y se calendarizan considerando criterios de jerarquía, sucesión y simultaneidad.

Para el caso de estudio, la planificación en el sector agrícola se establece a partir de la composición de Hojas de Ruta de los distintos subsectores del rubro, acotando el ejemplo de aplicación al subsector frutícola. La línea base de mitigación y adaptación se construye a partir de los procesos productivos de la manzana, mandarina, palta y uva, evaluando las categorías de impacto de Intensidad de Emisiones de GEI y Uso de Agua en el territorio nacional. Se seleccionan y jerarquizan cuatro medidas bajo criterios ambientales, técnicos y económicos, obteniéndose como resultado la priorización: Tecnificación del Riego, Riego Solar, Incorporación de Residuos al Suelo y Recambio en el Transporte Interregional. Tras la implementación de la Hoja de Ruta, se proyecta la reducción de un 26% de las emisiones de GEI de la industria y de un 15% en el Uso de Agua.

A partir de la aplicación de esta metodología en el caso de estudio, se concluye la importancia de un buen diagnóstico sobre las contribuciones del sector a las emisiones de GEI del país, como también de las variables que afectan a la vulnerabilidad de la industria frente al cambio climático. El establecimiento de una línea base representativa a nivel territorial es esencial para facilitar la selección y evaluación de medidas de mitigación y adaptación. En la misma línea, la proyección de escenarios climáticos y sus efectos sobre el sector industrial también es un factor importante a considerar para facilitar la toma de decisiones bajo incertidumbre.

La metodología propuesta permite la planificación en distintos contextos y escalas territoriales, así como también a distintas escalas industriales, pudiendo utilizarse para planificar con un enfoque “de arriba hacia abajo” o “de abajo hacia arriba”, adaptándose a las necesidades correspondientes.

Por otro lado, la evaluación con la herramienta AHP y su aplicación recursiva permite concluir la factibilidad de seleccionar y/o priorizar medidas a partir de una cartera de alternativas, considerando diversos escenarios de implementación de medidas, además de criterios cuantificables y/o no cuantificables definidos a partir de un enfoque participativo. La colaboración de expertos y la correcta formulación de las encuestas son importantes para asegurar la consistencia de la evaluación, especialmente cuando se realiza bajo criterios cualitativos o no cuantificables. A su vez, la intervención de actores involucrados provenientes del sector público, privado,

sociedad civil, etc. resulta un aspecto clave para lograr una selección y priorización que represente la realidad sectorial.

Adicionalmente, se concluye la versatilidad de la herramienta para ser aplicada en distintos contextos, escalas territoriales y con distintos métodos participativos, evaluándose la organización de instancias grupales que apunten al consenso, o actividades individuales con un posterior tratamiento de respuestas a fin de obtener un resultado final. Todo esto permite adaptar la metodología al contexto en que se aplique y las capacidades existentes.

La propuesta metodológica para la elaboración de Hojas de Ruta considera la necesidad de seleccionar y priorizar ciertas alternativas de mitigación y adaptación por sobre otras, dadas las restricciones de recursos y capacidades existentes. Posibilita la planificación estratégica por parte de los distintos sectores industriales y territorios considerando un diagnóstico basado en evidencia científica, la selección y priorización de medidas a partir de la evaluación multicriterio y la participación de distintos actores involucrados, además de la calendarización de actividades considerando la jerarquía obtenida y un análisis interno y externo para la definición de estrategias a seguir. Adicionalmente, la metodología facilita la integración interministerial, promueve la colaboración de distintos agentes e, incluso, invita a la reflexión sobre una organización interna del Estado más acorde al desafío que supone el Cambio Climático. Para enfrentar un problema complejo, se requiere de una visión compartida, además de acciones conjuntas y coordinadas para diseñar e implementar soluciones efectivas.

Existen múltiples proyecciones y recomendaciones para potenciar la funcionalidad de esta metodología, entre las que pueden mencionarse la necesidad de establecer directrices claras para las evaluaciones presupuestarias, la consideración de las capacidades sectoriales internas, la evaluación bajo análisis de escenarios climáticos e incertidumbre, el desarrollo de indicadores de vulnerabilidad y adaptación para los distintos territorios, entre otros. Si bien la propuesta puede mejorarse desde múltiples enfoques, representa una primera aproximación a la estandarización de una estrategia para elaborar Hojas de Ruta en materia de Cambio Climático, proporcionando más antecedentes y herramientas para una planificación coordinada que permita enfrentar un problema complejo y de esta escala.

Bibliografía

- [1] NATIONAL GEOGRAPHIC. ¿Qué es el calentamiento global? [en línea] <<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>> [consulta: 7 de enero de 2020].
- [2] IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Informe de Síntesis, 176 pp.
- [3] CONAF [en línea] <<http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/cambio-climatico/>> [consulta: 31 de diciembre de 2019].
- [4] IPCC. 2019. Calentamiento Global de 1,5 °C, 110 pp.
- [5] UNFCCC. 2007. Unidos por el clima. United Nations Framework Convention on Climate Change, Conv. Marco las Nac. Unidas sobre el Cambio Climático., p. 16.
- [6] IPCC. 2014. Anexo II: Glosario., En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, p. 128.
- [7] Objetivo 13: Acción por el clima | PNUD [en línea] <<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html>> [consulta: 3 de enero de 2020].
- [8] Cambio climático | Naciones Unidas [en línea] <<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>> [consulta: 31 de diciembre de 2019].
- [9] La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) [en línea] <<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/CMNUCC.aspx>> [consulta: 2 de enero de 2020].
- [10] UNFCCC. 2004. Informando sobre cambio climático, p. 3.
- [11] UNFCCC. Introduction to Transparency [en línea] <<https://unfccc.int/Transparency>> [consulta: 17 de marzo de 2022].
- [12] Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) | CMNUCC [en línea] <<https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/contribuciones-determinadas-a-nivel-nacional-ndc>> [consulta: 2 de enero de 2020].
- [13] ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., K. NOONE, Å. PERSSON, CHAPIN, F.S., E. F. LAMBIN, T. M. LENTON, M. SCHEFFER, C. FOLKE, H. J. SCHELLNHUBER, B. NYKVIST, C. A. DE WIT, T. HUGHES, S. VAN DER LEEUW, H. RODHE, S. SÖRLIN, P. K. SNYDER, R. COSTANZA, U. SVEDIN, M. FALKENMARK, L. KARLBERG, R. W. CORELL, V. J. FABRY, J. HANSEN, B. WALKER, D. LIVERMAN, K. RICHARDSON, P. CRUTZEN, Y J. A. FOLEY. 2009. A safe operation space for humanity, Nature., 461(September), pp. 472–475.
- [14] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible | Comisión Económica para América Latina y el Caribe [en línea] <<https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>> [consulta: 6 de julio de 2020].
- [15] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2016. Tercera comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 505 pp.

- [16] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2018. TERCER INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CHILE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, 397 pp.
- [17] CNR MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2019. Contexto de cambio climático.
- [18] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE. 2020. Cuarto Informe Bienal de actualización de Chile sobre Cambio Climático, 445 pp.
- [19] Data portal | Climate Action Tracker [en línea] <<https://climateactiontracker.org/data-portal/?sector=Macro&indicator=Emissions> per capita&country=CL&country=BR&country=World&country=AR&scenario=historic&mode=countries> [consulta: 3 de enero de 2020].
- [20] LEY CHILE. DTO-100 22-SEP-2005 MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA [en línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=242302>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [21] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. 1994. APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE, p. 39.
- [22] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Estructura organizacional - MMA [en línea] <<https://mma.gob.cl/estructura-organizacional/>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [23] SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE. ¿Qué es la SMA? [en línea] <<https://portal.sma.gob.cl/index.php/que-es-la-sma/>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [24] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Consejo Consultivo del Medio Ambiente [en línea] <<https://mma.gob.cl/participacion-ciudadana/consejo-consultivo-del-medio-ambiente/>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [25] SEA Chile [en línea] <<https://sea.gob.cl/sea/quienes-somos>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [26] TRIBUNAL AMBIENTAL. ¿Qué es el Tribunal Ambiental? [en línea] <<https://www.tribunalambiental.cl/informacion-institucional/sobre-el-tribunal-ambiental/que-es-el-tribunal-ambiental/>> [consulta: 4 de enero de 2020].
- [27] GOBIERNO DE CHILE. 2017. Plan Nacional Climático 2017 2022, 250 pp.
- [28] GOBIERNO DE CHILE. 2020. Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) de Chile: actualización 2020, pp. 15–23.
- [29] CLIMATE ACTION TRACKER (CAT). Chile's NDC update [en línea] <<https://climateactiontracker.org/climate-target-update-tracker/chile-submitted-ndc-2020-04-09/>> [consulta: 6 de julio de 2020].
- [30] OBSERVATORIO LEY DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA CHILE. 2020. Ley de Cambio Climático en Chile [en línea] <<http://leycambioclimatico.cl/leyccchile/#1592205301790-7edc3fbd-b835>> [consulta: 6 de julio de 2020].
- [31] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2021. Cuarta Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático, 177 pp.
- [32] GOBIERNO DE CHILE. 2014. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), 80 pp.
- [33] CMNUCC. 2012. Países Menos Adelantados - Planes Nacionales de Adaptación.
- [34] PARIS21. 2017. Preparación Hoja de Ruta ENDE [en línea] <<https://nsdguidelines.paris21.org/es/node/312>> [consulta: 22 de enero de 2020].

- [35] FAO. 2013. National planning for GHG mitigation in agriculture: A guidance document, 39 pp.
- [36] IPCC. 2014. Resumen para las responsabilidades políticas, Cambio climático 2014 Mitigación del cambio climático. Contrib. del Grup. Trab. III al Quinto Inf. Evaluación del Grup. Intergub. Expert. sobre el Cambio Climático.
- [37] IPCC. 2019. Summary for Policymakers., Clim. Chang. L. an IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst., pp. 1–46.
- [38] IPCC. Comunicado de prensa del IPCC [en línea] <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2019-PRESS-IPCC-50th-IPCC-Session_es.pdf> [consulta: 7 de enero de 2020].
- [39] BANCO CENTRAL. 2019. Base de Datos Estadísticos [en línea] <<https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx>> [consulta: 7 de enero de 2020].
- [40] ODEPA. 2017. Aporte del sector a la economía de Chile al 2030, Agric. Chil. Reflexiones y Desafíos al 2030., pp. 43–54.
- [41] MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAGRI). 2013. Plan de adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario, p. 65.
- [42] MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAGRI). 2016. Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017 - 2025, pp. 79–81.
- [43] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2014. Plan de adaptación al cambio climático en biodiversidad, 97 pp.
- [44] MINISTERIO DE ENERGÍA. 2017. Plan de mitigación de gases de efecto invernadero para el sector energía, pp. 19–26.
- [45] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 2017. Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura 2017-2022.
- [46] MEDIATION. 2013. Decision Support Methods for Climate Change Adaptation, p. 124.
- [47] CONTRERAS, E. 2004. Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica, 108 pp.
- [48] ALCALDÍA DISTRITAL DE BUENAVENTURA, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, Y TROPICAL, C. I. DE A. Portafolio de Estrategias para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, p. 82.
- [49] AYUNTAMIENTO DE MURCIA. 2012. Estrategia Local Frente al Cambio Climático del Municipio de Murcia.
- [50] GUIDO ALDANA, P. A. 2017. Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación, 96 pp.
- [51] CLIMATE SERVICE CENTER GERMANY. 2018. Development of a Prioritization Tool for Climate Change Adaptation Measures in the Forestry Sector—A Nicaraguan Case Study, Econ. Tools Methods Anal. Glob. Chang. Impacts Agric. Food Secur., pp. 165–177.
- [52] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2019. Panorama de la agricultura Chilena (Chilean agriculture overview), 1–47 pp.

- [53] BANCO CENTRAL DE CHILE. PIB Regional [en línea] <<https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/pib-regional>> [consulta: 17 de marzo de 2022].
- [54] CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO). 1965. Geografía Económica de Chile (Tomo 1), 602 pp.
- [55] ODEPA. 2017. Matriz de labores de cultivos por macro zonas, p. 9.
- [56] CASTILLO R., D., ALFARO J., C., MADARIAGA B., R., MATUS T., I., HIRZEL C., J., Y VERA P., C. 2015. Manual de Buenas Prácticas para el manejo del Trigo Candeal, pp. 5–31.
- [57] ODEPA. Ficha técnico-económica poroto guarda, pp. 5–6.
- [58] GUGLIELMETTI, H. ., TAY, J. ., PAREDES, M. ., MIRANDA, O. ., ROJAS, C. ., RODRÍGUEZ, N. ., PARDO, F. ., CÁRDENAS, B. ., CABALLEROS, C. ., HETZ, E. ., Y IBÁÑEZ, M. 1977. Cultivo del poroto en la zona del centro sur, Inst. Investig. Agropecu., 9, pp. 1–9.
- [59] BLANCO, C., Y LAGOS, M.-J. 2017. Manual de producción de cebolla, Boletín Inia / N° 15., p. 104.
- [60] DEMANET FILIPPI, R. Establecimiento de pasturas sostenibles, pp. 23–28.
- [61] GARDIAZABAL, F. 2008. Palto y cítricos : Generalidades del cultivo, Manejo plagas en paltos y cítricos., pp. 15–40.
- [62] MERLET BADILLA, H., NAVARRO VILLARROEL, A., Y ROSALES J., C. 2015. Manual Técnico Productivo y Económico Manzana, CIREN., (191), pp. 1–78.
- [63] IBACACHE, A., BALBONTÍN, C., GONZÁLEZ, C., PUELLES, J., ABARCA, P., Y RIQUELME, J. 2017. Manual de producción de vides pisqueras, Boletín INIA N° 14., p. 79.
- [64] TORRES, E., RIVERA, S., MUENA, V., CORRADINI, F., SEPÚLVEDA, P., ABARCA, P., DEFILIPPI, B., MUÑOZ, I., SELLES VAN SCH., G., RODRIGUEZ, F., CAMPOS, A., Y RIQUELME, J. 2017. Principales Variedades de uva de mesa cultivadas en Chile, Man. del Cultiv. uva mesa. Conv. INIA-INDAP., 18, p. 152.
- [65] SOTOMAYOR, J. P. 2015. Vid (*Vitis vinifera* L.), En: Frutales: especies con potencial en el secano interior, p. 209.
- [66] FAO. Capítulo 5. Agricultura de conservación [en línea] <<http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s0a.htm>> [consulta: 9 de septiembre de 2020].
- [67] JORGE, G. 2013. Producción de poroto y garbanzo en el secano costero del Valle del Mataquito, Inst. Investig. Agropecu., 53(9), pp. 1689–1699.
- [68] UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. 2015. Agronoticias: Las tres opciones más atractivas para cultivar forrajes suplementarios [en línea] <<http://www.agronomiaudec.cl/las-tres-opciones-mas-atractivas-para-cultivar-forrajes-suplementarios/>> [consulta: 10 de septiembre de 2020].
- [69] DEMANET FILIPPI, R. 2007. Cátedras de Praderas y Pasturas - Praderas y Pasturas [en línea] <<http://praderasypasturas.com/new/index.php/component/content/article/80-catedras/praderas-y-pasturas/78-catedra-de-padreras-y-pasturas-ano-2007>> [consulta: 10 de septiembre de 2020].
- [70] DEMANET FILIPPI, R. 2005. Conservación de forrajes, pp. 1–94.
- [71] FAO. 2004. Capítulo II: Producción de Heno, En: Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles, pp. 13–42.

- [72] AIGUASOL, Y PIPARTNER. 2017. Análisis del sector de Packing e identificación de posibilidades para proyectos de ERNC.
- [73] AGRIFICIENTE. PACKING FRUTA [en línea] <<http://www.agrificiente.cl/rubro/elaboracion-fruta-y-packing/>> [consulta: 11 de septiembre de 2020].
- [74] COPEFRUT S.A. Mejorando la productividad y la calidad: El Trabajo de packing de manzanas COPEFRUT S.A, (Parte 3), pp. 1–15.
- [75] CONTRERAS, V. H. E., SAN MARTÍN, J. C., Y OLIVARES, A. G. 2019. Manejo Postcosecha de tomates y pimientos frescos de IV Gama, 53.
- [76] SOTO LIRA, C. 2018. Optimización de procesos en líneas de calibración y empaque en packing de frutas.
- [77] INDAP, PRODECOP, Y INTIHUASI, I. 1998. Manual de Producción de Cítricos, p. 72.
- [78] FDF. 2015. Mejoramiento de los manejos agronómicos y de postcosecha para disminuir la incidencia de Pardeamiento Interno en Cripp's Pink, p. 13.
- [79] INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC), Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2012. Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático, p. 62.
- [80] UN CC: LEARN. Módulo 3: Introducción a la Adaptación al Cambio Climático.
- [81] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 1993. Predicción de la erosión de suelos, Eros. suelos en Am. Lat. [en línea] <<http://www.fao.org/3/T2351S03.htm>> [consulta: 21 de septiembre de 2020].
- [82] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural, Boletín Tierras y Aguas la FAO. [en línea] <<http://www.fao.org/3/w4745s/w4745s14.htm>> [consulta: 21 de septiembre de 2020].
- [83] MIRZABAEV, A., WU, J., EVANS, J., GARCÍA-OLIVA, F., GALIL HUSSEIN, I. A., MUHAMMAD MOHSIN, I., KIMUTAI, J., KNOWLES, T., MEZA, F., NEDJRAOUI, D., TENA, F., TÜRKES, M., VÁZQUEZ, R. J., Y WELTZ, M. 2019. Desertification, Clim. Chang. L. an IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. sust., pp. 46–51.
- [84] OLSSON, L., BARBOSA, H., BHADWAL, S., COWIE, A., DELUSCA, K., FLORES-RENTERIA, D., HERMANS, K., JOBBAGY, E., KURZ, W., LI, D., SONWA, D. J., Y STRINGER, L. 2019. Land degradation, Clim. Chang. L. an IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst., pp. 355–367.
- [85] MBOW, C., ROSENZWEIG, C., BARIONI, L. G., BENTON, T. G., HERRERO, M., KRISHNAPILLAI, M., LIWENGA, E., PRADHAN, P., RIVERA-FERRE, M. G., SAPKOTA, T., TUBIELLO, F. N., Y XU, Y. 2019. Food security, Clim. Chang. L. an IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst.
- [86] MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAGRI), Y OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2018. ESTUDIO PARA EL DISEÑO Y MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN QUÍNOA, GRANADAS Y TUNAS.
- [87] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA), Y SERVICIOS DE INGENIERÍA DEUMAN LTDA. 2009. Estudio "Huella De Carbono En Productos De Exportación Agropecuarios de

Chile", Fund. para la Innovación Agrar., FIA EST-20, pp. 1–32.

- [88] URBINA VALEJO, V. 2010. MORFOLOGÍA Y DESARROLLO VEGETATIVO DE LOS FRUTALES. Capítulo 1: Las especies frutales.
- [89] SALVO DEL P, J., TORRES P, A., OLIVARES P, N., Y RIQUELME S, J. 2017. Manual del cultivo del Palto, Boletín Inia / N° 378., 378, p. 120.
- [90] ALLEN, R. G., PEREIRA, L. ., RAES, D., Y SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos., Roma FAO., 298(0).
- [91] ROJAS CONTRERAS, L. E. 2016. PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE JUGOS SIN ADITIVOS.
- [92] LÓPEZ-OLIVARI, R. 2016. Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el Sur de Chile: Conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico., Boletín INIA N°340., p. 156.
- [93] COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, Y UNIVERSIDAD DE TALCA (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS). 1999. Programación del Riego, 1, p. 3.
- [94] FERREYRA, R., SELLES, G., BURGOS, L., VILLAGRA, P., SEPÚLVEDA, P., Y LEMUS, G. 2010. Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica, Boletín INIA. Inst. Investig. Agropecu., 214(9), p. 102.
- [95] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Factores de Emisión – Energía Abierta [en línea] <<http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>> [consulta: 5 de mayo de 2022].
- [96] MUNDOAGRO. Logística de clase mundial para la exportación de fruta [en línea] <<https://www.mundoagro.cl/logistica-de-clase-mundial-para-la-exportacion-de-fruta/>> [consulta: 22 de enero de 2022].
- [97] ARISTO CONSULTORES LTDA. 2013. Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector transporte de carga. Informe Final.
- [98] DAVIES, WALDRON.; HARNISCH, JOCHEN.; LUCON, OSWALDO.; MCKIBBON, SCOTT.; SAILE, SHARON.; WAGNER, FABIAN Y WALSH, M. 2006. CAPÍTULO 3. Combustión Móvil, 78 pp.
- [99] FREIGHTWAVES. How many gallons of fuel does a container ship carry? [en línea] <<https://www.freightwaves.com/news/how-many-gallons-of-fuel-does-a-container-ship-carry>> [consulta: 30 de junio de 2021].
- [100] THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS. Fuel Consumption by Containership Size and Speed [en línea] <<https://transportgeography.org/contents/chapter4/transportation-and-energy/fuel-consumption-containerships/>> [consulta: 30 de junio de 2021].
- [101] ABB. Maritime cargo vessels: is bigger better? [en línea] <<https://new.abb.com/turbocharging/maritime-cargo-vessels---is-bigger-better>> [consulta: 30 de junio de 2021].
- [102] MERK, O. 2018. Container Ship Size and Port Relocation., Int. Transp. Forum., p. 23.
- [103] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT (ECMT), Y EUROSTAT. 2003. Glossary for Transport Statistics 3rd Edition.
- [104] ROGERS, A. 2010. Electric refrigerated container racks: technical analysis, Electr. Power Res.

Inst., (December).

- [105] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Ley fácil. Velocidad vehicular [en línea] <<https://www.bcn.cl/leyfacil/recurso/velocidad-vehicular>> [consulta: 13 de julio de 2021].
- [106] VELASCO, R., Y GONZÁLEZ, J. 2007. Costo de operación o uso de maquinaria agrícola ¿cómo evaluarlo?, INIA Quilamapu.
- [107] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 2016. Potencial de Calentamiento Global (PCG) ¿Por qué se usan valores específicos?, Ficha técnica Programa Acción por el Ozono.
- [108] CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 2018. Marco de evaluación de la vulnerabilidad., Guía Ref. para la plataforma Vis. simulaciones climáticas. Proy. "Simulaciones climáticas Reg. y marco evaluación la vulnerabilidad" mandatado por el Minist. del Medio Ambient., 2(Fondap 1511009), pp. 1–30.
- [109] CUADERNOS DE TRABAJO DE RSE PARA PYME. Anexo 2.5: El Diálogo con los Grupos de Interés, pp. 120–124.
- [110] AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA. 2006. Identificación de Grupos de interés.
- [111] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE GOBIERNO. 2014. Criterios y Orientaciones para la Implementación de Mecanismos de Participación Ciudadana en la Gestión Pública División de Organizaciones Sociales, p. 56.
- [112] CARRASCO, P., Y BASTÍAS CARRASCO, F. 2017. Guía de Metodologías participativas para facilitadores de grupos, p. 18.
- [113] Metodología participativa: Definición, características y técnicas [en línea] <<https://www.questionpro.com/blog/es/metodologia-participativa/>> [consulta: 22 de septiembre de 2021].
- [114] POUX, X., Y AUBERT, P.-M. 2018. An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating. Findings from the Ten Years For Agroecology (TYFA) modelling exercise, Iddri-AScA, Study., 09(18), p. 74.
- [115] OBERČ, B. P., ARROYO SCHNELL, A., Y INTERNATIONAL UNION FOR NATURE CONSERVATION (EURO). 2020. Approaches to sustainable agriculture: exploring the pathways towards the future of farming.
- [116] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), Y ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES. 2002. Los Fertilizantes y su uso: Una guía de bolsillo para los Oficiales de Extensión, 77 pp.
- [117] AGUILAR, J., ALBIACH, M., SORIANO, M., ESTELA, M., TARAZONA, F., Y POMARES, F. Efectos derivados de la aportación de los restos de poda en las propiedades del suelo y estado nutricional del arbolado en una parcela de cítricos.
- [118] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2013. Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia, 272 pp.
- [119] ALLEN, L. 2015. Manual de diseño para manejo de aguas grises, Greywater Action., p. 58.
- [120] BUCHLEITER, G. Improving irrigation efficiency.
- [121] SILVA, P., VERGARA, W., Y ACEVEDO, E. 2015. Rotación de cultivos, INIA Quilamapu., 308(59), pp. 48–67.

- [122] ALTIERI, M. A., HECHT, S., LIEBMAN, M., MAGDOFF, F., NORGAARD, R., Y O. SIKOR, T. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable.
- [123] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2018. Los 10 Elementos de la agroecología. Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles, p. 12.
- [124] STEER DAVIES GLEAVE. 2011. Análisis de costos y competitividad de modos de transporte terrestre de carga interurbana. Informe preparado para la Subsecretaría de Transporte, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 56(0), pp. 1-172.
- [125] SUBSECRETARÍA GENERAL DE GOBIERNO. GOBIERNO DE CHILE. La participación ciudadana como política pública: Chile Cumple, Particip. Ciudad. para una Mejor Democr., pp. 1-5.
- [126] PÉREZ TELLO, S. 2016. Metodologías participativas y fomento de la organización social., Mater. del curso "Vulnerabilidades ante Desastr. siconaturales", impartido en UAbierta, Univ. Chile., p. 6.
- [127] DIMAS ALONSO, R., PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), Y FUNDACIÓN SAN ALONSO RODRÍGUEZ. 2010. INFORME DE EVALUACION TECNICA EXTERNA PROYECTO "CONSTRUYENDO COMUNIDADES RESILIENTES A DESLIZAMIENTOS , TERREMOTOS E INUNDACIONES EN LOS MUNICIPIOS DE MARALE Y YORITO ", pp. 1-47.
- [128] WORLD WIDE WEB SERVICES. Attachment C : Technical Evaluation Criteria.
- [129] DEPARTMENT OF TREASURY AND FINANCE TASMANIAN GOVERNMENT. 2020. Guidelines on Tender Evaluation using Weighted Criteria for Building Works and Services, Dep. Treas. Financ. Tasmanian Gov., (July), pp. 0-11.
- [130] PNUD PANAMÁ. 2019. Evaluación Temática de las contribuciones del PNUD a la Igualdad de Género y el Empoderamiento de Mujeres, pp. 1-130.
- [131] IPCC. 2012. Glossary of Terms, Manag. Risks Extrem. Events Disasters to Adv. Clim. Chang. Adapt. A Spec. Rep. Work. Groups I II Intergov. Panel Clim. Chang., pp. 403-424.
- [132] NACIONES UNIDAS. Convenio sobre la Diversidad Biológica [en línea] <<https://www.un.org/es/observances/biodiversity-day/convention>> [consulta: 22 de octubre de 2021].
- [133] ECOCHAIN. 2020. Impact Categories (LCA) [en línea] <<https://ecochain.com/knowledge/impact-categories-lca/>> [consulta: 22 de octubre de 2021].
- [134] EVANS, J., GARCÍA-OLIVA, F., GALIL HUSSEIN, I. A., MUHAMMAD MOHSIN, I., KIMUTAI, J., KNOWLES, T., MEZA, F., NEDJRAOUI, D., TENA, F., TÜRKEŞ, M., VÁZQUEZ, R. J., Y WELTZ, M. 2019. Desertification, Clim. Chang. L. an IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst., pp. 46-51.
- [135] T.F., S., G.-KPLATTNER, D. Q., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V., Y MIDGLEY, P. M. Glosario, Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contrib. del Grup. Trab. I al Quinto Inf. Evaluación del Grup. Intergub. Expert. sobre el Cambio Climático.
- [136] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. 2019. Indicadores Sociales Básicos de la Subregión Norte de América Latina y el Caribe: Edición 2018-2019, pp. 1-15.
- [137] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Preguntas más frecuentes: ¿Cómo define la OMS la

salud? [en línea] <<https://www.who.int/es/about/frequently-asked-questions>> [consulta: 22 de octubre de 2021].

- [138] PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). 2018. Anexo I: Glosario, Calentamiento Glob. 1,5 °C, Inf. Espec. del IPCC sobre los impactos del calentamiento Glob. 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias Corresp. que deberían seguir las emisiones mundiales gases Ef. i.
- [139] SAATY, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychol.*, 15(3), pp. 234–281.
- [140] WEDLEY, W. C. 1990. Combining qualitative and quantitative factors-an analytic hierarchy approach, *Socioecon. Plann. Sci.*, 24(1), pp. 57–64.
- [141] EDEN, M., GERKE, H. H., Y HOUOT, S. 2017. Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review, *Agron. Sustain. Dev.*, 37(2).
- [142] FRANEK, J., Y KRESTA, A. 2014. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP, *Procedia Econ. Financ.*, 12(March), pp. 164–173.
- [143] ALDUNCE, P., LILLO-ORTEGA, G., ARAYA-VALENZUELA, D., ADLER, C., Y UGARTE, A. M. 2021. Learning from Each Other: An Experience of Capturing Learning for Adaptation to Climate Change, *Int. J. Clim. Chang. Impacts Responses.*, 13(2).
- [144] ESTÉVEZ, M., Y GALLASTEGUI, J. El Metodo DELPHI. Su implementacion en una estrategia didactica para la enseñanza de las demostraciones geometricas., *Rev. Iberoam. Educ.*
- [145] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE, MINISTERIO DE ECONOMÍA FOMENTO Y TURISMO, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO), Y AGENCIA DE SUSTENTABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO (ASCC). 2020. Hoja De Ruta Nacional a La Economía Circular.
- [146] IPCC. 2019. Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujo, 40 pp.
- [147] MINISTERIO DE ENERGÍA. 2014. Energía 2050. Política Energética de Chile, p. 157.
- [148] COMISIÓN EUROPEA. 2020. Investigación -El 7PM en breve [en línea] <https://ec.europa.eu/research/fp7/understanding/fp7inbrief/what-is_es.html> [consulta: 14 de enero de 2020].
- [149] CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC. 2010. Estimaciones de Costo y Potencial de Abatimiento de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para Diferentes Escenarios Futuros, p. 187.
- [150] GOBIERNO DE CHILE, COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, Y CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE RIEGO Y AGROCLIMATOLOGÍA (CITRA). Programación de riego usando Estaciones Meteorológicas Automáticas.
- [151] LOBOS L, G., VEAS V, A., BALBONTÍN N, C., MUÑOZ A, V., FRANCK B, N., Y PORTILLA S, Á. 2017. Manejo Hídrico en frutales bajo condiciones edafoclimáticas de Limarí y Choapa, *Boletín INIA N°355.*, p. 59.
- [152] COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 2014. Diagnóstico de la eficiencia de aplicación del riego en Chile.
- [153] PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [en línea]

- <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>> [consulta: 22 de marzo de 2021].
- [154] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2021. Estadísticas productivas [en línea] <<https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>> [consulta: 20 de marzo de 2021].
- [155] J, A. J. C., R, P. A., Y F, A. C. 2018. Metodología de cálculo de costos de uso de maquinaria agrícola para el cultivo de Maíz.
- [156] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2019. Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2016.
- [157] DE KLEIN, C., NOVOA, R. S. ., OGLE, S., SMITH, K. A., ROCHETTE, P., Y WIRTH, T. C. 2006. CAPÍTULO 11. Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea, Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. gases Ef. invernadero., 4, pp. 1-56.
- [158] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2020. Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018, p. 534.
- [159] IPCC. 2006. CAPÍTULO 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra, Directrices del IPCC 2006 para los Inventar. Nac. Gases Ef. Invernadero., 4, pp. 1-66.
- [160] INFOAGRO. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. [en línea] <https://infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm> [consulta: 29 de marzo de 2021].
- [161] 2007. MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic [en línea] <<https://www.marinetraffic.com/es/voyage-planner>> [consulta: 29 de junio de 2021].
- [162] GREENHOUSE GAS PROTOCOL. 2014. Global Warming Potential Values, pp. 1-4.
- [163] GARG, A., KAZUNARI, K., TINUS PULLES, GÓMEZ, D., WATTERSON, J., AMERICANO, B., HA, C., MARLAND, G., MATSIKA, E., NENGE, L., OSMAN-ELASHA, B., KALENGA, J., Y TREATON, K. 2006. CAPÍTULO 2. Introducción, 30 pp.
- [164] SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA, Y PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA PARA LA DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE. 2011. Determinación de los factores de emisión para los Alcances 1 y 2 de la estimación de la huella de carbono. Informe Final.
- [165] ESPINOZA OYARZÚN, J. 2012. La urea y su comercialización en Chile, Inf. ODEPA., (56 2), pp. 1-11.
- [166] QUIMIFER. Ficha técnica – Nitrato de potasio.
- [167] SQM. Hoja de especificaciones técnicas. Ultrasol K PLUS, p. 1.
- [168] HAIFA. Nitrato de Calcio Fertilizante - Haifa Cal [en línea] <<https://www.haifa-group.com/es/haifa-cal™-la-gama-de-fertilizantes-de-nitrato-de-calcio-de-haifa>> [consulta: 27 de marzo de 2021].
- [169] QUIMIFER. 2012. Ficha técnica Nitrato de calcio. Identificación del producto.
- [170] RUIZ S, R. 1999. Características De Algunos Fertilizantes Nitrogenados Para Uso En Goteo, Inf. INIA La Platina., 82.

- [171] INDUSTRIA SULFÚRICA S.A. Ficha técnica. Nitrato de Amonio.
- [172] EUROCHEM AGRO. 2014. Nitrofoska perfect.
- [173] SQM. Hoja de especificaciones técnicas. Fertilizante soluble Ultrasol MAP (Fosfato Monoamónico soluble), p. 16.
- [174] SERVICIO AGRICOLA GANADERO. 2005. Pauta técnica para la aplicación de guanos, Minist. Agric.
- [175] COMPO EXPERT. NovaTec ® Classic, 16, pp. 1-5.
- [176] ASOEX. 2019. Exportaciones De Fruta Fresca Chilena Temporada 2018-2019 Cifras Oficiales Asoex.
- [177] CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 2020. Datos de Precipitación [en línea] <<http://www.cr2.cl/datos-de-precipitacion/>> [consulta: 10 de marzo de 2021].
- [178] CENTRO DE AGRICULTURA Y MEDIOAMBIENTE. 2015. Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile, p. 110.
- [179] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. Catastro frutícola Cirén [en línea] <<https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas/catastro-fruticola-ciren-odepa>> [consulta: 10 de marzo de 2021].
- [180] MALDONADO, I. Método de riego por Borde o por Platabandas, Programa Riego., pp. 9-11.
- [181] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. ESTACION EXPERIMENTAL LA PLATINA. 1982. Riego por surcos [en línea] <<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/37275>> [consulta: 10 de marzo de 2021].
- [182] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, Y PORTAL TRANSPARENCIA. 2020. Respuesta a solicitud de información AR005T0000593 conforme a Ley N° 20.285 de Acceso a la Información Pública.
- [183] VARGAS, J. M., POBLETE, F., Y LEÓN, P. 2010. Desarrollo de un sistema de información de costos para los pequeños productores hortofrutícolas; Licitación Pública ODEPA N°688-46-LE10.
- [184] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2016. Ficha técnico-económica manzano 2015-16. Región del Maule.
- [185] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Estadísticas Hidrocarburos [en línea] <<https://www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo/>> [consulta: 19 de marzo de 2021].
- [186] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. Ficha Técnico Económica manzana 2017-18. Región de O'Higgins.
- [187] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2013. Ficha técnico-económica manzana 2012-13. Región del Biobío.
- [188] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. Palto en plano O'higgins 2016-2017. Ficha técnico-económica.
- [189] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Precio Medio de Mercado [en línea] <<https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/>> [consulta: 24 de marzo de 2021].
- [190] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Precio Nudo Corto Plazo [en línea] <<https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/precio-nudo-corto-plazo/>> [consulta: 24 de marzo de 2021].

- [191] BOWN, R., CORREA, R., CANALA-ECHEVERRÍA, M., MÉNDEZ, J. C., Y PÉREZ, A. Modernización de Tarifas Eléctricas: Una Necesidad Imperiosa, Exped. Export., (3).
- [192] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2017. Anuario Estadístico de Energía 2017 [Annual Statistics of Energy 2017], p. 164.
- [193] MEZA, F. 2020. Solicitud de ayuda. Tesis UChile. Comunicación Personal [en línea] <fmeza@inia.cl> [consulta: 5 de mayo de 2021].
- [194] BASTIN, S., Y HENKEN, K. 2011. Water Amounts in Fruits and Vegetables, Heal. Matters Progr., p. 2011.
- [195] YUNUS A. ÇENGEL. Transferencia de Calor y Masa. Un enfoque práctico, p. 854.
- [196] ENAP. Inversionistas y Mercado. Petróleo de Uso Marino IFO-380 [en línea] <https://www.enap.cl/pag/119/1304/petroleo_uso_marino_ifo_380> [consulta: 30 de junio de 2021].
- [197] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2007. VIII Censo Agropecuario y Forestal [en línea] <<https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>> [consulta: 1 de julio de 2021].
- [198] MORENO, J. 2002. El Proceso Análítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodologías y aplicaciones., Recta monográfico., pp. 1–33.
- [199] FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS. UNIVERSIDAD DE CHILE. 2014. Apunte Álgebra Lineal.
- [200] SPLRIEGO. 2020. Servicios: Riego por Goteo [en línea] <<https://splriego.cl/servicios/riego-por-goteo/>> [consulta: 25 de noviembre de 2020].
- [201] MARTÍNEZ B., L., Y PERALTA A., J. M. 2000. Conceptos de riego localizado, Boletín INIA - Inst. Investig. Agropecu., (22).
- [202] ZAGAL, E., Y MORALES, P. 2015. Fertilización de cultivos con manejo de rastrojos, Rastrojo Cultiv. y residuos For., pp. 84–105.
- [203] OTERO, M., Y OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2014. Maquinaria Agrícola, mecanización, tractor, tasa motorización.
- [204] Programa de Recuperación de Suelos Degradados | SAG [en línea] <<http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/programa-de-recuperacion-de-suelos-degradados>> [consulta: 2 de febrero de 2022].
- [205] GAMMA INGENIEROS S.A. Pre-factibilidad técnica y económica para la instalación de una planta FV en la industria química. Por encargo de Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania y e.
- [206] DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO - CDEC SIC. 2015. PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUBTRANSMISIÓN.
- [207] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2020. RESOLUCION EXENTA N° 377. Aprueba nuevo Informe Técnico Definitivo para la Fijación de Precios de Nudo Promedio del Sistema Eléctrico Nacional y del factor de ajuste a que se refiere el numeral 3. del artículo 1° de la Ley N° 21.185, de octubre de 2020, y, 5(1), p. 55.
- [208] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 2018. RESOLUCIÓN EXENTA N° 655. Dispone publicación

del listado de precios de energía y potencia de las subestaciones de distribución primarias del Sistema Eléctrico Nacional.

- [209] COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 2019. Catálogo de proveedores sistemas fotovoltaicos aplicados al sector agrícola.
- [210] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Proyecto Fotovoltaico Covadonga [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2141216590> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [211] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Solar Fotovoltaico Don Arturo [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2146316591> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [212] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Proyecto Fotovoltaico Solferino [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2147959193> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [213] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Solar Fotovoltaico Pedro de Valdivia [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2148337220> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [214] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: PARQUE FOTOVOLTAICO MOMANO [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2146654817> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [215] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Fotovoltaico Leyda [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2148380649> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [216] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Solar Fotovoltaico Ovejería [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2131714814> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [217] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: “Planta Fotovoltaica Quinta” [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2138977930> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [218] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Solar Villa Alegre [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2140811573> [consulta: 3 de febrero de 2022].
- [219] SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ficha del Proyecto: Parque Fotovoltaico Imperial Solar [en línea]
<https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2144976791> [consulta: 3 de febrero de 2022].

- [220] MAERSK. 2021. Solución logística de Quinta-Teno. Cotización.
- [221] TELECOMUNICACIONES, M. DE T. Y. 2013. Plan de impulso a la carga ferroviaria, Conectando Chile., p. 43.
- [222] MIERES, R. 2019. FORMULACIÓN DE UNA ESTRATEGIA PARA AUMENTAR EL TRANSPORTE DE CARGA RED EFE. TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS., UNIVERSIDAD DE CHILE.
- [223] DIRECTORATE - GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT. EUROPEAN COMMISSION. 2011. White paper on transport. Roadmap to a single European Transport Area - Towards a competitive and Resource - Efficient transport system, 32 pp.
- [224] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. 2020. Accesibilidad Terrestre a Puertos, Plan Nac. Desarro. Portuario.
- [225] PORTAL PORTUARIO. Fesur proyecta crecimiento en transporte de carga refrigerada en macrozona centro-sur de Chile [en línea] <<https://portalportuario.cl/fesur-proyecta-crecimiento-en-transporte-de-carga-refrigerada-en-macrozona-centro-sur-de-chile/>> [consulta: 22 de diciembre de 2021].
- [226] PORTAL PORTUARIO. Maersk inicia servicio ferroviario para cargas agroindustriales que une a regiones del Maule y O'Higgins con Puerto San Antonio - PortalPortuario [en línea] <<https://portalportuario.cl/maersk-inicia-servicio-ferroviario-para-cargas-agroindustriales-entre-las-regiones-del-maule-y-ohiggins-y-el-puerto-de-san-antonio/>> [consulta: 22 de diciembre de 2021].
- [227] SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES, MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES, Y SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES. 2011. ANÁLISIS DEL TRANSPORTE FERROVIARIO DE CARGA.
- [228] Inversión en infraestructura y nueva institucionalidad aumentarían la competitividad del ferrocarril de carga - CPI [en línea] <<https://www.infraestructurapublica.cl/inversion-infraestructura-nueva-institucionalidad-aumentarian-la-competitividad-del-ferrocarril-carga/>> [consulta: 22 de diciembre de 2021].
- [229] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. 2022. Conceptos Básicos. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica [en línea] <<https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>> [consulta: 17 de marzo de 2022].
- [230] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2022. Resultados del Censo Nacional Agropecuario y Forestal revelan que la ganadería, cultivos y frutales son las principales fuentes de ingresos para los productores [en línea] <<https://www.ine.cl/prensa/detalle-prensa/2022/01/20/resultados-del-censo-nacional-agropecuario-y-forestal-revelan-que-la-ganaderia-cultivos-y-frutales-son-las-principales-fuentes-de-ingresos-para-los-productores>> [consulta: 16 de abril de 2022].
- [231] LEYTON, G. 2011. CropCheck Chile: Manual de recomendaciones para el cultivo del trigo, Fund. CHile.
- [232] CONSULTORA MÁS ENERGÍA LTDA. 2011. Anexos Informe Final Estudio " Matriz Energética de Magallanes ".
- [233] UNIVERSIDAD DE MAGALLANES. CENTRO DE ESTUDIO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS, Y MINISTERIO DE ENERGÍA. 2015. Elaboración de propuesta de matriz energética para Magallanes

al 2050, pp. 1-474.

- [234] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Acerca de MINAGRI - Quiénes somos [en línea] <<https://www.minagri.gob.cl/acerca-de-minagri-quienes-somos/>> [consulta: 7 de enero de 2022].
- [235] PAÍS CIRCULAR. Evaluación ambiental a proyectos agrícolas: la iniciativa parlamentaria que avanza en el Congreso en el marco de la crisis hídrica [en línea] <<https://www.paiscircular.cl/biodiversidad/evaluacion-ambiental-a-proyectos-agricolas-la-iniciativa-parlamentaria-que-avanza-en-el-congreso-en-el-marco-de-la-crisis-hidrica/>> [consulta: 29 de diciembre de 2021].

Anexos

Anexo A. Metodologías de elaboración de estrategias de adaptación o mitigación del Cambio Climático en Chile.

A.1 Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales

La Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) se planifica para el período 2017-2025 y reporta como objetivo general el disminuir la desertificación, degradación de las tierras, sequías y vulnerabilidad de los recursos vegetacionales. Aumentar la resiliencia de los ecosistemas y contribuir a la mitigación del Cambio Climático [42].

Con respecto a la metodología reportada, se señala que las medidas de acción fueron elaboradas a partir de un proceso participativo y de consensos técnicos a nivel nacional.

La definición se reforzó a partir de un estudio de CONAF con apoyo técnico del Banco Mundial, ONU, CIREN, entre otras organizaciones.

Dicho estudio considera una metodología más clara que la reportada en la ENCCRV, que incluye:

1. Identificación técnica y participativa de las causales
2. Homologación y priorización de las causales por macrozonas de Chile
3. Caracterización cualitativa y cuantitativa de las causales en cuanto a efectos negativos en ámbitos sociales, ambientales y económicos
4. Definición de Actividades y Medidas de Acción para enfrentar las causales
5. Identificación de áreas/comunas prioritarias para implementar las Actividades y Medidas de Acción

A.2 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

El Plan Nacional de Adaptación (PNA) se establece como un instrumento articulador, entregando los lineamientos para la adaptación y la estructura operativa para la coordinación y coherencia de las acciones en los diferentes sectores. De esta forma, se establecen líneas de acción transversales y sectoriales, siendo estas últimas más detalladas en cuanto a su metodología.

Los pasos que se han establecido por el país para elaborar los planes sectoriales se detallan a continuación [32]:

1. Conformar equipos técnicos de diferentes instituciones. Estos equipos deberán ser debidamente capacitados en los temas relevantes de adaptación e impactos del cambio climático en el sector que se estudiará.
2. Identificar actores relevantes interesados en el plan de adaptación, considerando organizaciones ciudadanas, el sector público y privado. Una vez identificados dichos sectores, recoger sus visiones e incorporarlas en la discusión de los equipos técnicos.
3. Analizar los escenarios climáticos, considerando los componentes vulnerables del sector, los posibles impactos en el sector y el análisis y manejo de riesgo ante eventos climáticos extremos.
4. Identificar medidas de adaptación de forma participativa. Las medidas deben considerar:
 - a. Recomendaciones de la OCDE.
 - b. Lineamientos estratégicos de las respectivas instituciones y/o Ministerios.
 - c. Compatibilidad entre medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, buscando, dentro de lo posible, sinergias entre ellas.
 - d. Coherencia entre las medidas de adaptación de los diferentes sectores.

5. Elaborar un anteproyecto de Plan de Adaptación Sectorial, priorizando las medidas según las necesidades, urgencias y posibilidades concretas a nivel regional y local. Los criterios para priorizar las medidas están guiados por la CMNUCC:
 - a. **Vulnerabilidad:** medidas de adaptación que apunten a grupos más vulnerables y sectores más pobres de la población.
 - b. **Urgencia:** entendiéndose como aquellas medidas que necesiten una implementación pronta, considerando sectores donde el cambio climático ya haya provocado efectos o estos sean ineludibles.
 - c. **Sinergia entre medidas:** medidas que sean transversales, que tengan co-beneficios o que tengan potenciales efectos positivos para más de un sector o para más de una parte interesada.
 - d. **Medidas 'no regret' (sin arrepentimiento):** se señala que la implementación de estas medidas cobra mayor importancia cuando los impactos esperados tienen un nivel importante de incertidumbre, recomendándose priorizar aquellas medidas que tengan efectos positivos, independiente del objetivo de adaptación.
 - e. **Eficacia:** considerar aquellas medidas que sean más efectivas en términos de aumento de la capacidad adaptativa o de reducción de riesgos a los efectos del cambio climático.
 - f. **Factibilidad:** tomando en cuenta los mecanismos de implementación existentes, priorizar aquellas medidas que tengan mayor posibilidad de llevarse a cabo.
 - g. **Flexibilidad:** entendiéndose como medidas flexibles aquellas que presentan posibilidad de ajustarse en el futuro en el caso que los impactos del cambio climático sean diferentes a los esperados.
 - h. **Costo/Beneficio:** considerar análisis económicos, en caso de que existan, para priorizar las medidas.
6. Realizar una consulta ciudadana del anteproyecto del Plan de Adaptación Sectorial, de modo de recoger observaciones y sugerencias de las y los ciudadanos interesados.
7. Elaborar la versión final de Plan de Adaptación Sectorial.
8. Presentar el Plan al Consejo de Ministros para Sustentabilidad y Cambio Climático para su aprobación.

A.3 Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022

El objetivo general del Plan Nacional es promover la implementación de los compromisos adoptados por Chile ante la CMNUCC y enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático a corto y mediano plazo. De esta manera, se definen objetivos de adaptación y mitigación

Objetivo de adaptación: fortalecer la capacidad de Chile para adaptarse al Cambio Climático a través del estudio de los impactos y de la vulnerabilidad del país y la generación de acciones planificadas que permitan minimizar y aprovechar los efectos negativos y positivos, respectivamente.

Objetivo mitigación: proveer las condiciones que permitan implementar, cumplir y evaluar los compromisos de reducción de emisiones de GEI realizados por el país ante la CMNUCC.

Para la formulación del plan, no se menciona una metodología específica. Las medidas propuestas se basan en los objetivos específicos expuestos en la sección de antecedentes. Sin embargo, sí se mencionan los principios que fueron considerados para elaborar el plan nacional, descritos a continuación [27]:

- **Bien común:** entendido como una dimensión ética que se asocia al conjunto de condiciones que permiten que los grupos humanos y sus miembros alcancen su realización.

- **Equidad:** expresando la necesidad de un foco especial en la equidad de género, derechos humanos y etnias. Se refiere a que las medidas signifiquen un beneficio para todas y todos, priorizando sectores, comunidades, ecosistemas e infraestructura más vulnerables.
- **Sustentabilidad:** entendida como la capacidad de una sociedad de hacer uso responsable de los recursos disponibles, sin comprometer el acceso a los mismos por generaciones futuras. En otras palabras, no agotar los recursos disponibles y permitir que se renueven con el tiempo.
- **Precautorio:** hace referencia a que, con independencia de la existencia de certeza científica, si es que existe riesgo de daños graves e irreversibles al medio ambiente o la salud humana, se adoptarán medidas efectivas de prevención del daño ambiental.
- **Transparencia:** facilitar el acceso a la información sobre actos, resoluciones, procedimientos y documentos de la Administración.
- **Participación ciudadana:** considerar que la ciudadanía se involucre en los procesos de toma de decisiones públicas.
- **Cooperación y Sinergias:** establecimiento de alianzas entre los distintos sectores y niveles de gobernanza con el fin de apoyar la toma de decisiones a partir de la colaboración y traspaso del conocimiento científico.
- **Costo-Efectividad:** junto con el establecimiento de responsables y recursos necesarios, considerar la simplicidad y la relación costo-efectividad en el diseño e implementación de las medidas.
- **Flexibilidad:** considerar que el plan debe permitir incorporar nuevas medidas conforme avanzan los procesos de evaluación y aprendizaje de aquellas medidas que ya fueron implementadas, además de que debe permitir añadir nuevas necesidades y conocimientos científicos.
- **Coherencia:** el plan debe evitar contradicciones con otras políticas, siendo un implemento que soporte y complemente el desarrollo de las distintas acciones.

Específicamente, respecto al eje adaptación, se menciona que se procuró mantener la coherencia con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNA), la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) y el Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PENGRD).

Para el eje mitigación, por su parte, solo se menciona que el plan se estableció con base en las metas establecidas en la NDC de Chile (meta intensidad de carbono y meta forestal).

A.4 Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad

El objetivo general del plan de este sector consiste en fortalecer la capacidad del país para responder a los desafíos climáticos. Para lo anterior, se establecieron los siguientes objetivos específicos [43]:

- Investigación en biodiversidad y creación de capacidades en gestión, información y conciencia ambiental.
- Promoción de prácticas productivas sustentables para la adaptación al Cambio Climático en biodiversidad y mantención de servicios ecosistémicos.
- Consideración de objetivos de biodiversidad en los instrumentos de planificación, ordenamiento territorial u otros.
- Fortalecimiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas e implementación de medidas de adaptación al Cambio Climático a nivel de ecosistemas y especies.

Con respecto a la metodología reportada, no se detalla exhaustivamente un procedimiento, sin embargo, se plantean los lineamientos con los que se construyó el plan [43]:

1. Con base en un estudio sobre vulnerabilidad al Cambio Climático a nivel de ecosistemas y especies.
2. Se identificaron posibles medidas de adaptación al CC.

3. Posteriormente, estas medidas fueron consultadas a nivel de los distintos ministerios, obteniéndose opiniones y sugerencias.
4. Las sugerencias y recomendaciones fueron incorporadas en la elaboración final de medidas.
5. Se solicitó un segundo estudio que integrara información de dos sectores a las medidas de adaptación propuestas: los ecosistemas terrestres y las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), dejando pendiente la evaluación para sistemas marinos y acuáticos.
6. Se realizó una Consulta Ciudadana, difundiendo el anteproyecto en los sitios web oficiales del MMA, como también a través de la realización de talleres a nivel regional.
7. Las observaciones recibidas fueron respondidas y posteriormente analizadas y consideradas en las medidas propuestas.

A.5 Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario

El plan del sector silvoagropecuario no presenta objetivos específicos, como tampoco una metodología establecida. Sin embargo, establece los principios que se tomaron en cuenta para la elaboración del plan [41]:

- **Eficiencia:** a partir de la generación de sistemas productivos que permitan un menor consumo de agua, energía y agroquímicos, además de implementar tecnología que aborde una menor huella de carbono.
- **Flexibilidad:** estableciendo que debe ser un plan que pueda adaptarse a la variabilidad de las condiciones climáticas, a través del aumento en la biodiversidad de los productos y más dependientes de insumos locales.
- **Sustentabilidad:** específicamente, en la gestión de los suelos. Lo que apunta a minimizar o neutralizar los procesos de erosión y/o degradación.
- **Tolerancia:** entendiéndose como la capacidad de mantener la productividad en condiciones de estrés térmico, hídrico y/o salino.
- **Vulnerabilidad:** estableciendo que el plan sectorial debe enfocarse, principalmente, en los medianos y pequeños agricultores.

Por otro lado, a partir de la lectura del plan, fue posible concluir que, previo al establecimiento de medidas, se realizó un estudio de vulnerabilidad del sector, incluyendo los siguientes factores como ejes principales [41]:

- **Posibles efectos del Cambio Climático en el Medio Ambiente y en el sector Silvoagropecuario:** basados en estudios de AGRIMED de la Universidad de Chile, que cubrieron las zonas comprendidas entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.
 - Suelos.
 - Cultivos anuales: específicamente trigo, maíz, papa, frejol y remolacha.
 - Cultivos permanentes: específicamente frutales.
 - Plantaciones forestales.
 - Praderas.
 - Otros efectos: abordándose principalmente los efectos sobre las necesidades de riego y la probabilidad de sequías, heladas y lluvias dañinas.
- **Principios básicos que enmarcan el plan:** se considera que la adaptación al Cambio Climático del sector silvoagropecuario debe respetar los siguientes lineamientos.
 - Ser parte de la gestión propia del Ministerio de Agricultura.
 - Promover la modernización del sector.
 - Desarrollarse en el marco de los lineamientos estratégicos ministeriales.

A.6 Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el sector Energía

Considerando el nivel de emisiones que representa el sector energía y los compromisos del país en materia de mitigación, el gobierno propuso una Política Energética Nacional (PEN) que considera un 60% de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables en el 2035, mientras que la meta hacia 2050 es proveer, como mínimo, un 70% de la generación eléctrica a partir de energías renovables [147].

En línea con la implementación de la Política Energética Nacional, se incluye el Plan de Mitigación como un primer paso del sector bajo el compromiso del Acuerdo de París (AP). Este plan se realizó bajo una metodología multicriterio, especificada a continuación [44]:

1. Se realizó un análisis bibliográfico para identificar medidas con impacto en la mitigación, considerando la Agenda de Energía, Política Energética Nacional, entre otra información.
2. Se llevaron a cabo entrevistas grupales a actores clave del sector público (responsables de la implementación) y privado, con el fin de analizar la completitud y pertinencia de las medidas identificadas.
3. Se seleccionaron y diseñaron las medidas, considerando la NDC, condiciones habilitantes y barreras para la implementación. Las condiciones y barreras fueron identificadas a partir de discusiones con actores relevantes de la industria, el sector privado y la sociedad civil.
4. Se realizó un segundo ciclo de entrevistas con actores relevantes de la industria, sector privado y sociedad civil.
5. Discusión de la propuesta y obtención de resultados preliminares de una simulación, cuyo modelo se realizó en paralelo a los otros pasos. Se consideró la experiencia internacional en la aplicación de medidas y la comprensión de la situación del país para realizar la evaluación. Los criterios de evaluación considerados son:
 - a. **Efectividad ambiental:** considerando la contribución a la reducción de GEI y los efectos ambientales indirectos.
 - b. **Aplicabilidad política:** considerando un análisis costo-efectividad y criterios de equidad, competitividad y flexibilidad.
 - c. **Factibilidad de implementación:** tomando en cuenta los factores administrativos e institucionales, legales y financieros.
6. Consulta pública sobre el plan de mitigación.

El resumen del plan se encuentra disponible en la Figura A.1:

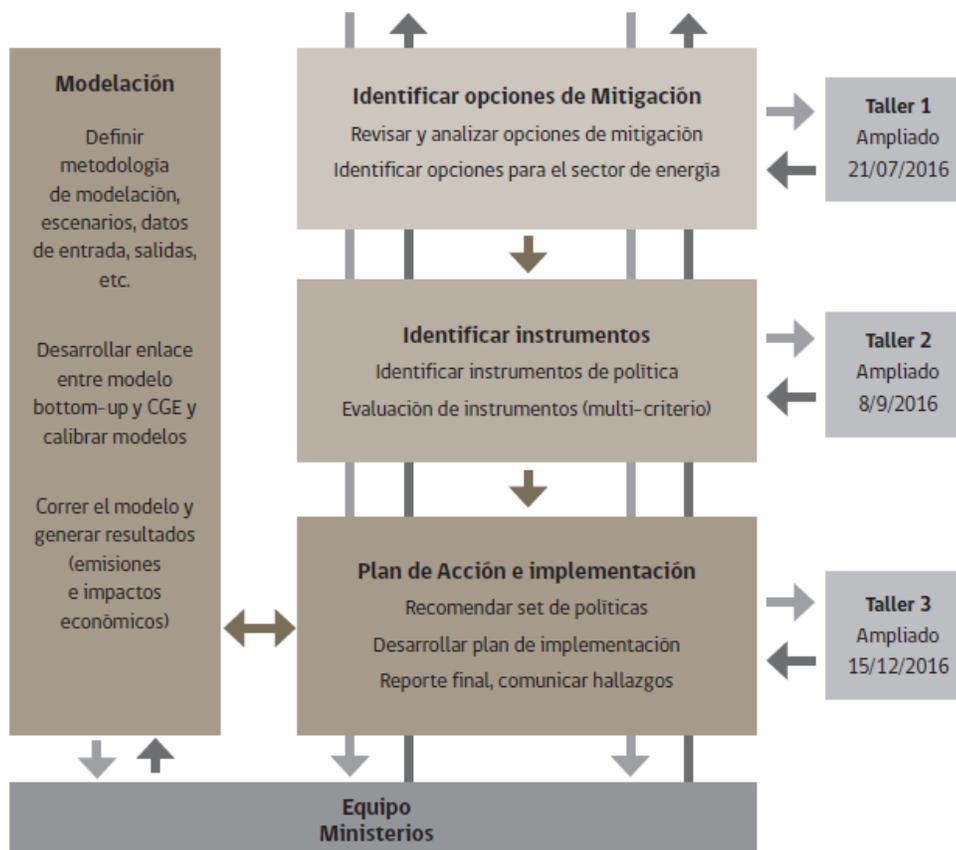


Figura A.1: Metodología de desarrollo del plan de mitigación del sector energía [44].

A.7 Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura

El Plan de acción de los servicios de infraestructura al Cambio Climático se presenta para el período 2017-2022 con el objetivo de incorporar este desafío en las políticas del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Planteando como ejes de acción la resiliencia, sustentabilidad y mitigación de GEI.

De esta manera, el plan tiene los siguientes objetivos específicos [45]:

- Adaptar los servicios de infraestructura a los impactos proyectados del Cambio Climático. Lo anterior, a partir del diseño y construcción de infraestructura resiliente, como también un blindaje climático preventivo.
- Orientar la construcción de obras del MOP hacia una infraestructura baja en carbono.
- Generar capacidades e institucionalidad en materia de adaptación y mitigación en el MOP.

El plan no presenta una metodología específica de elaboración, sin embargo, sí menciona la división en tres ejes principales: adaptación, mitigación y gestión del conocimiento. Además, plantea líneas de acción a trabajar en el futuro, indicando los responsables de llevar a cabo las distintas medidas propuestas.

A.7.1 Eje Adaptación

Las líneas de acción que muestra el Plan del MOP en materia de adaptación se resumen a continuación [45]:

- Cambios metodológicos en la evaluación, diseño y planificación de servicios de infraestructura: de modo de incluir el riesgo hidrológico en las labores mencionadas.
- Monitoreo de amenazas: específicamente, en torno a los recursos hídricos.

- Monitoreo de vulnerabilidad de la infraestructura: específicamente, obras fluviales y obras de infraestructura costera.
- Incorporación de los impactos del Cambio Climático sobre los servicios de infraestructura en la planificación ministerial.

A.7.2 Eje Mitigación

En torno a la mitigación del Cambio Climático, el MOP presenta dos principales líneas de acción [45]:

- Mitigación de GEI en la construcción de infraestructura pública: a partir de la incorporación de Energías Renovables No Convencionales en el desarrollo de infraestructura, medición y gestión de la Huella de Carbono de los proyectos, entre otras medidas.
- Contabilidad de reducción de GEI: a través de la implementación de una plataforma que permita cuantificar la reducción de GEI desde el Ministerio.

A.7.3 Eje Gestión del Conocimiento

Frente a la gestión del conocimiento, se plantean tres principales líneas de acción:

- Coordinación Intra e Interministerial del Cambio Climático: a partir de la coordinación con el Plan Nacional de Adaptación, el Plan de Acción Nacional contra el Cambio Climático y los respectivos Planes Sectoriales de Adaptación.
- Gestión del Conocimiento en Cambio Climático: a través de la creación de la Unidad de Cambio Climático y el cambio en normas y estándares.
- Promoción de la innovación tecnológica para la adaptación al Cambio Climático: en las áreas de monitoreo de amenazas y vulnerabilidad de los servicios de infraestructura.

Anexo B. Directrices técnicas de la CMNUCC para el proceso del plan nacional de adaptación.

En el marco de la Convención, las Naciones Unidas generaron un documento con el objetivo de proporcionar a las Partes y las organizaciones colaboradoras las directrices técnicas para elaborar un Plan Nacional de Adaptación. De esta manera, se abordan las siguientes áreas:

- Establecimiento de un proceso nacional de coordinación y planificación de la adaptación para las distintas escalas relevantes, considerando una perspectiva a mediano y largo plazo.
- Identificación de las carencias en las capacidades, para poder crear la institucionalidad o capacidad necesaria para incluir la adaptación al Cambio Climático en los procesos nacionales de planificación de desarrollo.
- Preparación de los planes de adaptación, considerando actividades, políticas y programas de adaptación al Cambio Climático.
- Establecimiento de un sistema de monitoreo y evaluación de las necesidades y medidas de adaptación implementadas.
- Diseño de una estrategia de comunicación sobre Cambio Climático.
- Establecimiento de planes de colaboración entre sectores y unidades administrativas.

Por otro lado, la estrategia específica que no se trata de una metodología estricta, sino que se espera una flexibilidad por parte de los distintos países, considerando sus situaciones particulares. Además, se menciona que si bien se abordan diferentes estrategias, no hay una única que pueda aplicarse a las necesidades del país, como tampoco es necesario aplicar una sola estrategia. De esta forma, se recomienda utilizar métodos combinados, con el fin de complementar entre ellas, por ejemplo, el caso de aquellas estrategias que prioricen la ciencia con otras que prioricen las decisiones políticas.

Las directrices presentan pasos y preguntas claves para la elaboración del Plan Nacional de Adaptación. A continuación, se presentan los principales pasos, para luego detallarlos uno a uno:

5. Elemento A: establecimiento de las bases y determinación de las carencias.
6. Elemento B: elementos preparatorios.
7. Elemento C: estrategias de aplicación.
8. Elemento D: supervisión, evaluación y presentación de informes.

B.1 Elemento A. Establecimiento de las bases y determinación de las carencias

El objetivo de este elemento es crear una responsabilidad para el proceso del PNAD, estableciendo obligaciones para los ministerios y otros órganos gubernamentales y especificando las etapas y resultados esperados del proceso del Plan. De esta forma, como principal producto se puede obtener: una obligación nacional con un plan estratégico para la elaboración del PNAD; la designación de un organismo encargado de dirigir el proceso; resultados de análisis de carencias y necesidades; síntesis de los datos e información disponible; y un programa para informar y desarrollar la capacidad para la formulación e implementación del PNAD.

Para el cumplimiento del objetivo, se establecen los siguientes pasos:

- **Paso A.1. Iniciación y lanzamiento del proceso del plan nacional de adaptación (PNAD):** consiste, principalmente, en iniciar el proceso a partir de un mandato y la movilización del apoyo y los acuerdos institucionales relevantes.

- **Paso A.2. Identificar la información disponible sobre los efectos del Cambio Climático, su vulnerabilidad y adaptación y evaluar las carencias y necesidades del entorno:** establece la base del conocimiento para el desarrollo del PNAD. Se identifican las áreas que necesitan refuerzo, las posibles barreras al desarrollo y la adaptación, creando un plan para abordarlas.
- **Paso A.3. Abordar carencias y debilidades de la capacidad para llevar a cabo el proceso del PNAD:** a partir del diseño e implementación de proyectos, programas y otras acciones para abordar las dificultades identificadas en los pasos anteriores. El objetivo de este paso es proveer un entorno de información adecuado para las instituciones involucradas en la implementación del plan, de modo que puedan desarrollarse las capacidades necesarias.
- **Paso A.4. Evaluar las necesidades de desarrollo y vulnerabilidades climáticas:** buscando identificar objetivos, metas y normativas de desarrollo principales. Lo anterior permite también identificar las dificultades y oportunidades financieras en los objetivos de desarrollo.

B.2 Elemento B. Elementos Preparatorios

El objetivo de esta sección es evaluar exhaustivamente los impactos, vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático. Dicha evaluación debe contemplar la participación de todas las partes interesadas. De esta manera, como resultados esperados de este elemento se encuentran: análisis de riesgo climático; evaluación de vulnerabilidad y adaptación; planes sectoriales o a niveles subnacionales; y una valoración de las opciones de adaptación.

- **Paso B.1. Analizar los escenarios de clima actual y de cambio climático futuro:** buscando identificar los déficits de adaptación y orientar la selección de áreas de riesgo prioritario. De esta forma, entre las actividades recomendadas se encuentran las siguientes
 - Análisis del clima actual para identificar tendencias e índices que respalden la planificación y toma de decisiones.
 - Descripción de los riesgos climáticos y niveles de incertidumbre a través de análisis de escenarios, considerando escenarios climáticos y socioeconómicos. Se incluyen diferentes recomendaciones de métodos de creación de escenarios, incluyendo las ventajas y desventajas de cada uno.
 - Comunicar la información sobre previsiones de Cambio Climático al público y partes interesadas.
- **Paso B.2. Evaluar las vulnerabilidades climáticas e identificar opciones de adaptación:** este paso se centra en niveles de planificación más específicos, como es el caso del nivel sectorial. Se identifican las siguientes actividades recomendadas.
 - Evaluación de la vulnerabilidad frente al Cambio Climático al nivel que corresponda: se identifican diferentes estrategias de evaluación, señalándose que no se trata de métodos excluyentes y pueden ser utilizados de manera complementaria.
 - Calificar riesgos y vulnerabilidades del Cambio Climático: se recomienda que se realice un proceso consultivo para esta etapa, buscándose calificar bajo ciertos criterios establecidos los riesgos identificados (probabilidad, reversibilidad, urgencia, etc.), estableciendo así las prioridades para la acción futura.
 - Identificar y Categorizar las opciones de adaptación a múltiples escalas: con el fin de abordar las vulnerabilidades prioritarias.
- **Paso B.3. Revisar y valorar las opciones de adaptación: con el objetivo de seleccionar las opciones de adaptación prioritarias:** para lo que se sugieren las siguientes actividades.
 - Valorar las opciones de adaptación, incluyendo criterios económicos, sociales y de ecosistemas, como también las posibilidades de los efectos no intencionados de las medidas

propuestas. Se detallan los criterios sugeridos para utilizar a nivel nacional, incluyendo urgencia, beneficios, costes, eficacia, contribución a la reducción de la pobreza, entre otros. Por otro lado, en la Tabla 1.2 se establecen las metodologías recomendadas para la calificación y priorización.

- **Paso B.4. Recopilar y divulgar los planes nacionales de adaptación:** a partir de los resultados de la evaluación, se identifican las prioridades de adaptación, las actividades de aplicación y una estrategia de implementación de las medidas para un período determinado. El documento preliminar se somete a revisión y posteriormente se comunica y divulga el plan nacional.
- **Paso B.5. Integrar la adaptación al Cambio Climático en la planificación sectorial y de desarrollo:** para lo que se sugiere identificar oportunidades y limitaciones para el proceso de integración, además del desarrollo de la capacidad necesaria. En este punto se señalan las partes interesadas que se necesita considerar al momento de desarrollar el proceso de integración.

B.3 Elemento C. Estrategias de Aplicación

El elemento C se centra en el diseño de estrategias de aplicación de los Planes Nacionales de Adaptación. De esta forma, la labor se centra en determinar las prioridades de las acciones de adaptación y el desarrollo de la capacidad a largo plazo para la planificación e implementación del plan.

Los resultados esperados de esta sección son: una estrategia para la implementación de los Planes Nacionales de Adaptación; actividades concretas para la implementación de las prioridades identificadas; y planes para promover el trabajo conjunto con otros sectores y programas, tanto a nivel nacional como regional. Para lo anterior, se definen los siguientes pasos:

- Paso C.1. Priorizar la adaptación al cambio climático en la planificación nacional: para lo que se presentan preguntas claves, dirigidas a las partes interesadas y los encargados de formulación de políticas. De esta forma se busca identificar medidas de adaptación prioritarias y viables que complementarían aquellas ya existentes.
- Paso C.2. Desarrollar una estrategia de aplicación de la adaptación nacional: que incluya tanto una perspectiva general como los pasos secuenciales que permiten cumplir con los objetivos.
- Paso C.3. Mejorar la capacidad de planificación y aplicación de la adaptación: estableciendo preguntas claves que permiten dirigir los recursos financieros hacia las áreas prioritarias.
- Paso C.4. Promover la coordinación y sinergia con otros acuerdos ambientales: proponiendo preguntas claves para el diseño e implementación de programas de adaptación intersectorial y regional, considerando acuerdos ambientales multilaterales.

B.4 Elemento D. Supervisión, evaluación y presentación de informes.

Esta etapa busca recopilar toda la información referente al proceso de construcción del PNAD para evaluarlo a través de un sistema de SyE (seguimiento y evaluación). De esta forma, el principal resultado esperado es un plan para la supervisión y evaluación, que incluya un método de recopilación de datos y de información nueva sobre efectos y vulnerabilidades que se puedan utilizar en la actualización del PNAD.

Para el cumplimiento del objetivo, se recomiendan los siguientes pasos:

- **Paso D.1. Supervisar el proceso del PNAD:** donde se establece un marco de supervisión y evaluación, además de los criterios específicos que se utilizarán para recopilar datos (durante la implementación del PNAD) y posteriormente evaluar.
- **Paso D.2. Revisar el proceso del PNAD para valorar el progreso, su eficacia y las carencias:** plantea el método de seguimiento y evaluación para recopilar información sobre los impactos y vulnerabilidades del Cambio Climático, obteniendo lecciones a incorporar en la implementación o construcción del Plan.

- **Paso D.3. Actualizar de forma reiterada los Planes de Adaptación:** definiendo una frecuencia, marco y estrategia de actualización, repitiendo los pasos que sean necesarios.
- **Paso D.4. Divulgar el proceso del PNAD y elaborar informes sobre el progreso y su eficacia:** tanto a nivel nacional como internacional, por los canales pertinentes.

Anexo C. Métodos internacionales para la Adaptación al Cambio Climático

La Comisión Europea es un organismo creado para iniciar y poner en práctica políticas de la Unión Europea. En el año 2007, se implementó el *Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico* [148], que desarrolla, entre otros proyectos, MEDIATION (*Methodology for Effective Decision-making on Impacts and Adaptation*), con el fin de proveer herramientas para la toma de decisiones referentes a la adaptación al Cambio Climático.

Para el desarrollo de Planes de Adaptación, el proyecto contempla cinco etapas, sin embargo, las herramientas proporcionadas corresponden a una guía para la valoración de medidas de adaptación, una vez que ya fueron identificadas. Lo anterior se señala en la Figura C.1:

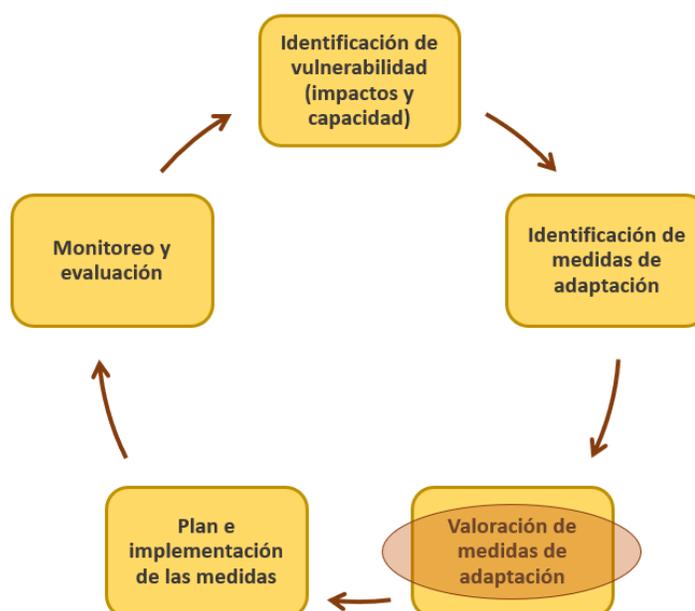


Figura C.1: Etapas de la adaptación y punto de entrada de las herramientas de toma de decisiones. Traducido a partir de [46].

A partir de lo anterior es que se proponen distintas herramientas que permiten, a partir de una lista específica de medidas propuestas, establecer aquellas que son más adecuadas o una mejor opción, considerando el objetivo de adaptación propuesto. De esta forma, se sugieren las siguientes herramientas:

C.1 Herramientas de soporte en la toma de decisiones

Se identifican principalmente tres herramientas, nombradas a continuación:

C.1.1 Análisis Costo-Beneficio (CBA)

Se trata de un método que valora monetariamente los costos y beneficios relevantes de un proyecto, para luego estimar un Valor Actual Neto (VAN) o una proporción costo:beneficio. En este sentido, CBA es una herramienta útil para evaluar proyectos y justificar la intervención o implementación de una medida, sin embargo, presenta la dificultad de que, dependiendo del caso, podría ser difícil asignar un valor numérico para un proyecto o política en particular, pues se centra particularmente en la economía del proyecto, pudiendo dejar fuera problemas complejos asociados a la adaptación. De esta forma, para abordar la dificultad mencionada, se recomienda combinar esta técnica de manera complementaria a las demás que se presentan.

C.1.2 Análisis Costo-Efectividad (CEA)

El Análisis Costo-Efectividad es una herramienta que permite comparar opciones que apuntan hacia un mismo objetivo. De esta forma, provee información comparativa entre medidas, a diferencia del CBA, que provee una medida particular para cada alternativa a evaluar.

Se trata de un método ampliamente utilizado en los análisis de políticas, ya que cuantifica los beneficios en términos físicos y no monetarios. De esta manera, la comparación de medidas se realiza a través del indicador costo por unidad de beneficios, permitiendo identificar aquella alternativa que es más rentable (brindan el mayor beneficio al menor costo). Un ejemplo de lo anterior puede ser establecer el costo por la disminución de una tonelada de CO₂ equivalente.

A partir del CEA, es posible establecer rutas óptimas para lograr políticas definidas, mediante el uso de curvas de abatimiento (MAC), que ordenan las medidas propuestas de acuerdo con su rentabilidad. Como ejemplo, en la Figura C.2 se presenta una curva de costo de abatimiento de GEI, donde M es un conjunto de “m” medidas no excluyentes, de costo anual igual a CA^m y con una reducción de emisiones igual a ΔEm^m.

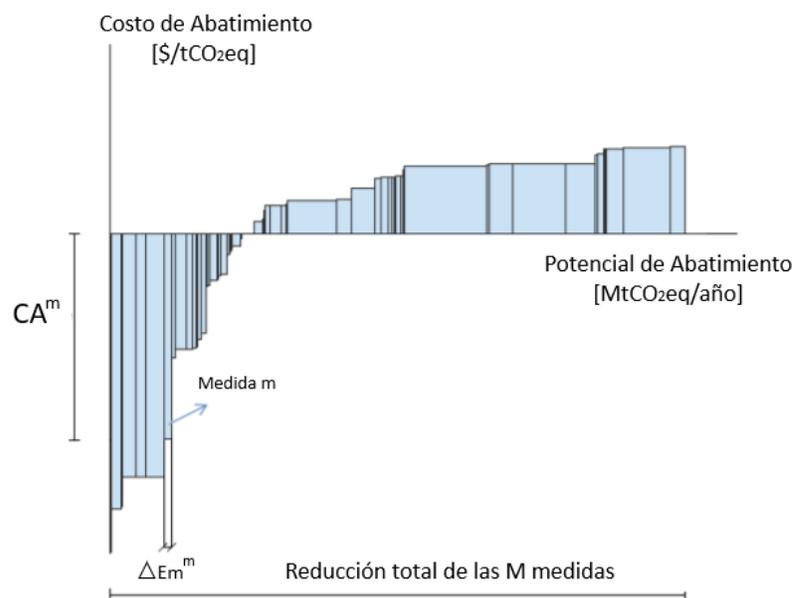


Figura C.2: Ejemplo de curva de abatimiento [149].

Se debe destacar que esta metodología resulta útil para evaluar las medidas de mitigación, sin embargo, en términos de adaptación existe la dificultad de identificar una métrica común para poder abordar un enfoque intersectorial. Lo anterior debido a que la adaptación responde a diferentes causas y en distintos niveles (locales, regionales o nacionales), en lugar de una sola carga global.

De esta forma, resulta una herramienta útil para evaluaciones dentro de un mismo sector, sin embargo, es un enfoque que no facilita el análisis bajo incertidumbre.

C.1.3 Análisis Multi-Criterio (MCA)

Este análisis permite considerar datos cuantitativos y cualitativos para establecer prioridades entre las diferentes opciones que se analicen. Se trata de un enfoque que provee un método sistemático para evaluar y priorizar las alternativas en torno a criterios de decisión definidos previamente, que pueden expresarse en unidades monetarias, físicas o cualitativas. Por otro lado, a los distintos criterios de decisión se les asigna un

peso que permite darle prioridad a uno por sobre otro, obteniéndose finalmente un ranking que considera la importancia relativa entre los criterios.

El análisis multi-criterio se ha utilizado ampliamente en materia ambiental, siendo un complemento al análisis de costo-beneficio debido a que permite agregar criterios difíciles de cuantificar, además de que se pueden incluir criterios que consideren incertidumbre u otros elementos complejos.

C.2 Herramientas de soporte en la toma de decisiones bajo incertidumbre

Las metodologías abordadas en la sección anterior presentan un bajo potencial de incluir la incertidumbre en el análisis. A continuación, se presentan breves descripciones de herramientas que permiten incluir este factor al momento de tomar decisiones.

C.2.1 Análisis de opciones reales (ROA)

El análisis de opciones reales es una herramienta de decisión económica que cuantifica el riesgo de inversión asociado a un futuro incierto. Se trata de una herramienta ampliamente usada al momento de evaluar opciones financieras y el riesgo de invertir en una u otra, aplicando los mismos principios de riesgo de invertir en activos físicos para la inversión en opciones de adaptación. De esta forma, es una herramienta que permite conocer la flexibilidad de ajustar la inversión de un proyecto a medida que transcurre el tiempo y se tiene información nueva, facilitando la evaluación al momento de decidir si invertir ahora, o en el futuro, cuando las opciones presenten mayor flexibilidad.

Los árboles de decisión son la aplicación más común del enfoque, donde se definen posibles resultados y se asigna una probabilidad a cada uno, para posteriormente, usando valores esperados, se pueden comparar alternativas. Al ser un método que requiere información probabilística, se considera una técnica compleja e intensiva en el uso de recursos, razón por la que se recomienda utilizar cuando los impactos previstos pueden ser irreversibles o cuando la inversión involucrada es de un valor muy alto.

C.2.2 Toma de decisiones robusta (RDM)

Se trata de una herramienta que se utiliza en situaciones de extrema incertidumbre, como la ausencia de información probabilística frente a escenarios futuros. El objetivo clave de la RDM es buscar estrategias que sean robustas sobre diferentes escenarios. Por otro lado, es una alternativa frente al análisis costo-beneficio convencional y la identificación de alternativas óptimas basadas en la eficiencia económica.

Las aplicaciones de esta herramienta se basan en el uso de modelos cuantitativos o generadores de escenarios para evaluar cómo funcionan distintas estrategias bajo una gran cantidad de escenarios futuros (usando de cientos a miles de millones de combinaciones de entradas distintas), apuntando a minimizar los impactos negativos de los posibles resultados futuros.

Se recomienda utilizar este método cuando el futuro de la incertidumbre no está caracterizado, o no hay información probabilística.

C.2.3 Análisis de Portafolio (PA)

El análisis de portafolio es una herramienta que permite desarrollar un conjunto de alternativas posibles, más que alternativas aisladas. En términos financieros, su objetivo es promover la diversificación, es decir, inversiones en una gama de tipos de activos, para distribuir los riesgos al mismo tiempo, reduciendo la dependencia de un solo activo.

El enfoque de esta herramienta es hacer un *trade-off* entre los beneficios y el riesgo de una inversión, midiendo el riesgo a través de la estimación de la varianza. Un escenario de alto riesgo tendrá una varianza relativamente alta. De esta forma, la información sobre los beneficios y riesgos se utiliza para identificar aquella cartera de proyectos que coincide mejor con las preferencias consideradas.

En el contexto de Cambio Climático, la compensación se mide entre la posibilidad de una efectividad alta en la reducción de riesgos climáticos y el riesgo de que dichas opciones no sean lo suficientemente efectivas. El análisis de portafolio permite seleccionar un conjunto de medidas que, en conjunto, son efectivas frente a un conjunto de proyecciones climáticas, a diferencia de una sola opción que es más eficiente frente a un solo escenario climático.

C.2.4 Manejo adaptativo (Administración iterativa de riesgo)

Es un enfoque que utiliza un seguimiento, investigación y evaluación del proceso de aprendizaje con el objetivo de mejorar la gestión de futuras estrategias. Se trata de una herramienta menos formalizada que las presentadas anteriormente, poniendo el foco específicamente en la gestión de la incertidumbre a través del trabajo dentro de un proceso de aprendizaje. De esta forma, la estrategia se basa en el análisis del proceso de construcción de medidas, evaluando el resultado y la metodología seguida, con el fin de mejorar los resultados en un futuro.

C.2.5 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

La herramienta AHP es una herramienta de análisis multi-criterio que realiza comparaciones entre pares de alternativas, utilizando juicios expertos para derivar escalas de prioridad. De esta forma, permite el análisis de alternativas bajo criterios cualitativos y cuantitativos.

La aplicación del método se basa en la realización de comparaciones utilizando una escala de juicios absolutos, que representa cuánto domina una alternativa por sobre otra, considerando un criterio dado. La prioridad derivada de las escalas se obtiene a partir de la obtención de puntajes ponderados, según la importancia relativa que se le haya otorgado a cada criterio utilizado para la comparación.

Permite la participación de expertos, pero también de otras partes interesadas. Además, no presenta un límite de criterios o subcriterios determinado, siendo un método flexible al momento de evaluar las medidas, cuyas restricciones se asocian al tiempo con el que se cuente para realizar la evaluación y priorización de medidas.

A partir de lo anterior, es posible concluir que es una herramienta que permite evaluar opciones en circunstancias complejas, considerando incertidumbre, horizontes de tiempo, múltiples variables, interdependencia y subjetividad. De esta forma, se considera una herramienta útil para aplicar en términos de adaptación y mitigación del cambio climático.

C.2.6 Análisis socio-institucional

El FP7 establece que la adaptación contempla el rol socio-institucional durante el proceso, estableciendo que las relaciones entre instituciones determinan cómo, y si efectivamente, se llevará a cabo el proceso de adaptación al cambio climático. Es por esta razón que se propone una herramienta que permita identificar el panorama socio-institucional, con el fin de determinar las capacidades que se tienen para desarrollar diferentes políticas.

Un enfoque para llevar a cabo lo anterior corresponde al Análisis de Redes Sociales (SNA), cuya metodología se basa en el análisis de redes sociales y de actores institucionales, enfocándose en las relaciones socio-institucionales, la identificación del contexto, la gobernanza que enmarca las decisiones que se toman en materia de Cambio Climático, leyes y regulación, principios y normas que guían la toma de decisiones.

Existen métodos cualitativos y cuantitativos para llevar a cabo el análisis. El enfoque cualitativo se basa en el análisis de las relaciones interinstitucionales utilizando la teoría de grafos, permitiendo visualizar redes que incluyen relaciones, actores y flujos de información. Por otro lado, el enfoque cuantitativo considera establecer las redes y realizar análisis estadísticos o el establecimiento de indicadores que describan los roles de los individuos en una red, etc.

En términos de adaptación, se recomienda el uso de esta herramienta, considerando el enfoque que recomiendan las Naciones Unidas para crear capacidad y fortalecer instituciones en materia de adaptación al cambio climático. De esta manera, el conocimiento organizacional permite evaluar las responsabilidades, las estrategias, las posibles barreras, etc. que existan en torno a esta materia.

Anexo D. Caracterización de Procesos Productivos: Metodología de Cálculo

D.1 Cultivo en el Campo

Una vez definida la agrupación de las distintas según las clases representativas, se calculan los indicadores asociados a las categorías de impacto para cada etapa del proceso.

D.1.1 Consumo Hídrico

D.1.1.1 *Demanda Hídrica Neta del Cultivo: Evapotranspiración.*

La evapotranspiración reúne los fenómenos de transpiración del cultivo y de evaporación de agua desde el suelo. Estos procesos suelen considerarse de forma conjunta debido a la dificultad que supone estimar los flujos de agua asociados de manera diferenciada. La evapotranspiración real del cultivo puede considerarse en condiciones estándar o no estándar, definiéndose en el primer caso como la evapotranspiración de un cultivo sano y que se desarrolla en condiciones óptimas (suelo, riego, etc.); y en el segundo caso, como la evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar, por ejemplo, en presencia de enfermedades, plagas, suelo degradado, etc., donde la evapotranspiración del cultivo se desvía y disminuye respecto a la evapotranspiración en condiciones estándar [90].

En este estudio se considerará la evapotranspiración de los cultivos en condiciones estándar debido a que, al tratarse de un estudio a nivel nacional, el tratamiento de datos más precisos como supone la evapotranspiración bajo condiciones no estándar requiere de un desglose no disponible asociado a las condiciones de cultivo de los distintos predios. Adicionalmente, asumir condiciones estándar permite estimar la máxima demanda hídrica posible, estableciendo el peor de los escenarios de consumo hídrico.

La evapotranspiración real de un cultivo bajo condiciones estándar se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (D.1)$$

Donde:

- ET_c Evapotranspiración real del cultivo en condiciones estándar [mm/día]
- ET_0 Evapotranspiración de referencia [mm/día]
- K_c Coeficiente de cultivo (adimensional)

La ET_0 corresponde al agua evaporada desde una superficie de cultivo referencial, definida como una cubierta vegetal de pasto. Este parámetro se determina considerando que el cultivo de referencia se encuentra bajo condiciones óptimas de manejo agronómico y por ende, de crecimiento [150]. De esta forma, la evapotranspiración de referencia depende únicamente de variables climáticas y puede calcularse a partir del *método FAO Penman-Monteith* (ver Ecuación (E.1) en el Anexo E, sección E.2.1.1). Las ET_0 de las diferentes regiones del país para distintas épocas del año se extraen de estudios de la Comisión Nacional de riego en el año 2015 (ver Anexo E, Tabla E.21). Si bien las condiciones climáticas han variado desde entonces, los datos provienen de la fuente más reciente encontrada y permiten una primera aproximación de la demanda hídrica, por lo que se utilizan de todas formas.

El coeficiente de cultivo K_c integra las diferencias entre las características del pasto considerado como cultivo de referencia y un cultivo de campo determinado. Se trata de un coeficiente que varía según la especie vegetal estudiada y según la etapa del desarrollo vegetativo en la que se encuentre el cultivo [90]. Particularmente, para las clases representativas del caso de estudio, se tienen los siguientes valores:

Tabla D.1: Coeficientes de cultivo Kc para clases representativas. Elaboración propia a partir de [150,151].

Clase	Coeficiente de cultivo Kc											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Manzano	1	1	0,95	0,7	0	0	0	0	0	0,4	0,6	0,85
Palto	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8
Mandarina ³⁷	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8
Vid de mesa	0,85	0,85	0,7	0,6	0,5	0	0	0	0	0,45	0,6	0,7
Vid vinífera	0,5	0,3	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vid pisquera	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9

D.1.1.2 Demanda Neta de Riego.

La necesidad hídrica del cultivo puede satisfacerse por la precipitación o el riego. La Demanda Neta de Riego corresponde a la fracción de la Demanda Hídrica Neta del cultivo que es aportada a través del riego.

$$DNR = DHNC - Pp_{ef} \quad (D.2)$$

Donde:

- **DNR:** Demanda Neta de Riego [mm/mes]
- **DHNC:** Demanda Hídrica Neta del Cultivo [mm/mes]
- **Pp_{ef}:** Precipitación efectiva [mm/mes]

La precipitación efectiva representa la fracción de lluvia que realmente es almacenada en el suelo y, en consecuencia, aprovechada por la planta, considerando las pérdidas por escorrentía y/o percolación profunda. Esta magnitud puede estimarse a partir de las ecuaciones (D.3) y (D.4), dependiendo de si la precipitación mensual bruta es mayor o menor a 75 mm, respectivamente [92]:

$$Pp_{ef} = (P - 25) \cdot 0,8 \quad (D.3)$$

$$Pp_{ef} = (P - 10) \cdot 0,6 \quad (D.4)$$

Donde:

- **Pp_{ef}:** Precipitación efectiva [mm/mes]
- **P:** Precipitación bruta [mm/mes]

D.1.1.3 Demanda Bruta de Riego del Cultivo.

La Demanda Bruta de Riego corresponde al agua que debe proporcionarse a través del riego del cultivo para satisfacer su demanda hídrica. Esta magnitud es siempre mayor o igual a la Demanda Neta de Riego y depende principalmente del método de riego, que suele determinar las pérdidas de humedad del suelo.

El cálculo de la Demanda Bruta de Riego está dado por la siguiente expresión:

$$DBR = \frac{DNR}{Ef_{mét.riego}} \quad (D.5)$$

³⁷ El coeficiente Kc de la clase representativa "mandarina" se asume como el coeficiente genérico de los cítricos, debido a que no se cuenta con información específica para la mandarina.

Donde:

- **DBR:** Demanda Bruta de Riego [mm/mes]
- **DNR:** Demanda Neta de Riego [mm/mes]
- **$E_{f_{m\acute{e}t.riego}}$:** Eficiencia del método de riego

Las eficiencias referenciales para los distintos métodos de riego expuestas por Comisión Nacional de Riego se presentan a continuación:

Tabla D.2: Eficiencia referencial de los distintos métodos de riego [152].

Método de riego	Eficiencia de aplicación	
	Normal	Conducción Californiana ³⁸
Tendido	30	35
Surcos	45	50
Surcos (en contorno)	50	60
Bordes (en contorno)	50	65
Bordes rectos	60	65
Pretilas	60	65
Tazas	65	70
Aspersión	75	N/A
Microjet	85	N/A
Microaspersión	85	N/A
Goteo	90	N/A

Se debe destacar que la eficiencia de riego presentada corresponde a valores referenciales que están sujetos no sólo a la implementación del método mismo, sino que también a otras variables como la mantención del equipo y la programación del riego. Pese a lo anterior y por falta de información desagregada, se trabaja con las eficiencias reportadas en la Tabla D.2.

D.1.1.4 Cálculo del Consumo Hídrico por concepto de riego a nivel nacional en el sector frutícola

A continuación se describe el procedimiento seguido para la cuantificación de los indicadores asociados a la categoría de impacto: uso de agua. En caso de requerir más detalles, se sugiere revisar el ejemplo de cálculo disponible en el Anexo E (ver sección E.2.1.3).

La fórmula básica que utilizada corresponde a la multiplicación de un factor de consumo hídrico y los datos de la actividad asociada correspondiente, en este caso, al flujo de referencia definido (masa de producto consumible, ver Tabla 3.2):

$$H_2O_{riego} = FC_{H_2O} \cdot DA_{H_2O} \quad (D.6)$$

Donde:

- **H_2O_{riego} :** Agua consumida anualmente por un cultivo por concepto de riego [volumen de agua/año]
- **FC_{H_2O} :** Factor de Consumo hídrico del cultivo [volumen de agua/kg fruta consumible]
- **DA_{H_2O} :** Datos de la actividad [kg fruta consumible]

³⁸ La conducción californiana es un método (asociado al riego gravitacional o no tecnificado) en el que la distribución del agua se hace mediante tuberías desde la fuente hídrica al terreno a regar, reemplazando las acequias o surcos de riego tradicional.

Para la estimación del consumo hídrico a nivel nacional se utilizan los resultados obtenidos en el Capítulo 2, correspondientes a las hectáreas sembradas y la masa producida anualmente para cada clase representativa. El cálculo del consumo hídrico a nivel nacional está dado por el consumo hídrico de las respectivas clases en las distintas macrozonas del país:

$$H_2O_{riego,nac} = \sum_z \sum_i FC_{H_2O,i}^z \cdot DA_i^z \quad (D.7)$$

Donde:

- $H_2O_{riego,nac}$: Agua consumida anualmente por concepto de riego a nivel nacional [volumen de agua/año]
- $FC_{H_2O,i}^z$: Factor de Consumo hídrico de la clase representativa "i" en la macrozona "z" [volumen de agua/kg fruta producida]
- DA_i^z : Datos de la actividad para la clase representativa "i" en la macrozona "z" [kg fruta producida]

Obtención de los factores de consumo hídrico en macrozonas

Para la obtención de los factores de consumo en las distintas macrozonas, se utiliza la siguiente expresión:

$$FC_{H_2O,i}^z = \sum_j FC_{H_2O,i}^j \cdot p_{i,j,z} \quad (D.8)$$

Donde:

- $FC_{H_2O,i}^z$: Factor de Consumo hídrico de la clase representativa "i" en la macrozona "z" [volumen de agua/kg fruta consumible]
- $FC_{H_2O,i}^j$: Factor de Consumo hídrico de la clase representativa "i" en la región "j" [volumen de agua/kg fruta consumible]
- $p_{i,j,z}$: Ponderador de la participación de la región "j" en la producción de la clase representativa "i" dentro de la macrozona "z" (adimensional)

El factor de consumo regional se calcula a partir de la ecuación:

$$FC_{H_2O,i}^j = \left(DHN_{i,j} \cdot \sum_k \frac{x_{i,j,k}}{Ef_k} \right) \cdot \frac{S_{i,j}}{P_{i,j}} \quad (D.9)$$

Donde:

- $FC_{H_2O,i}^j$: Factor de Consumo hídrico de la clase representativa "i" en la región "j" [volumen de agua/kg fruta consumible]
- $DHN_{i,j}$: Demanda Hídrica Neta anual de la clase representativa "i" en la región "j" [volumen de agua/ha año]
- $x_{i,j,k}$: Ponderador de la participación del método de riego "k" en la región "j" para la clase "i" (adimensional)
- Ef_k : Eficiencia referencial del método de riego "k" (adimensional)
- $S_{i,j}$: Superficie sembrada de la clase "i" en la región "j" [ha]
- $P_{i,j}$: Producción anual de la clase "i" en la región "j" [kg fruta producida año⁻¹]

Como complemento a la ecuación (D.9), el procedimiento paso a paso para obtener el factor $FC_{H_2O,t}^j$ se describe a continuación:

1. **Obtención de la Demanda Neta de Riego anual:** según la zona geográfica del cultivo, se calculó la Demanda Neta de Riego anual para cada clase a partir de las ecuaciones (D.2) a (D.4), establecidas para calcular la demanda neta mensual. Lo anterior contempla la obtención de datos asociados a la evapotranspiración de referencia (ET_0) y la precipitación bruta en las distintas regiones del país (ver sección E.2.1.1), además de los coeficientes de cultivo presentados en la Tabla D.1.

$$DHN_{i,j} = \sum_m (ET_{0,j,m} \cdot K_{c_{i,m}} - Pp_{ef_{j,m}}) \quad (D.10)$$

Donde los subíndices i,j y m corresponden a la clase representativa, la región geográfica y el mes del año estudiado.

2. **Obtención de la Demanda Bruta de Riego:** para cada método de riego y para cada región, se obtuvo la Demanda Bruta de Riego teórica asociada a las distintas clases representativas utilizando la ecuación (D.5).
3. **Construcción del ponderador de participación para los métodos de riego (x):** asociado a la distribución de los métodos para cada clase representativa en cada región geográfica.
Para una misma clase representativa, en las distintas regiones existen cultivos que se riegan con distintos métodos. En este paso se busca formalizar la distribución de los métodos de riego de acuerdo con las clases representativas y las regiones geográficas del país, utilizando información asociada al Catastro Frutícola reportado por CIREN (información disponible en la sección E.2.1.2).
4. **Ponderación de la Demanda Bruta de Riego según el ponderador obtenido en el paso anterior:** concluyendo así un factor de consumo hídrico regional anual, expresado en [volumen de agua/superficie sembrada]
5. **Transformación del Factor de Consumo hídrico por hectárea sembrada a Factor de Consumo hídrico asociado al flujo de referencia (kilogramo de fruta consumible):** utilizando la superficie sembrada (S) y la producción anual (P) de cada clase representativa en la región.

D.1.2 Emisiones: ecuaciones generales

Para el cálculo de emisiones a nivel nacional y su detalle dependiendo de las diferentes fuentes de emisión, se consideran ecuaciones que se repiten y adaptan a lo largo de la lectura. A continuación se presenta la estructura general de las ecuaciones que se utilizarán en las siguientes secciones.

La estructura base de las ecuaciones utilizadas se utiliza para diferentes categorías y fuentes de emisión. Las fuentes de emisión corresponden a materias primas involucradas en el proceso que, tras su utilización, generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Dicho de otra forma, cuando usted encuentre el término “fuente de emisión” en las ecuaciones, entienda que se hace referencia a una categoría, por ejemplo: fertilizantes, electricidad, combustibles, etc.

Para cada tipo de Gas de Efecto Invernadero, el cálculo de las emisiones asociadas a una fuente específica está dada por la siguiente ecuación general:

$$Emisiones_{fuente,g} = \sum_{fuente} C_{fuente} \cdot FE_{g,fuente} \quad (D.11)$$

Donde:

- $Emisiones_{fuente,g}$: Emisiones del GEI “g” asociada a una fuente de emisión particular [kg GEI]
- C_{fuente} : Consumo del insumo asociado a la fuente de emisión analizada, cuya unidad de medida dependerá de la fuente emisora³⁹.
- $FE_{g,fuente}$: Factor de emisión del GEI “g” asociado a una fuente específica de emisión [kg GEI/unidad asociada al consumo del insumo referido a la fuente emisora] (factores por defecto del IPCC)

Utilizando el potencial de calentamiento global de cada GEI es posible calcular las emisiones totales de GEI (en masa de CO₂eq):

$$Emisiones_{fuente} = \sum_g Emisiones_{fuente,g} \cdot PCG_g \quad (D.12)$$

Donde:

- $Emisiones_{fuente}$: Emisiones totales de GEI asociadas a una fuente de emisión específica [kg CO₂eq]
- $Emisiones_{fuente,g}$: Emisiones del GEI “g” asociada a una fuente de emisión particular [kg GEI]
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global del GEI “g” [kgCO₂eq/kg GEI]

Una vez comprendida la lógica de cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para una fuente en particular, es posible introducir la metodología de cálculo de emisiones del sector frutícola. Se utiliza como base de cálculo un kg de fruta consumible, para alinearse con los indicadores propuestos en la Tabla 3.2.

Las emisiones del sector se estiman a partir la estructura propuesta por las Directrices del IPCC para la elaboración de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero:

$$Emisiones_{fuente} = \sum_z \sum_i FE_{fuente,i}^z \cdot DA_i^z \quad (D.13)$$

Donde:

- $Emisiones_{fuente}$: Emisiones nacionales de GEI asociadas a cierta fuente de emisión [kg CO₂eq/año]
- $FE_{fuente,i}^z$: Factor de Emisión asociado a la fuente de emisión analizada para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- DA_i^z : Datos de la actividad para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg fruta consumible]

A su vez, el término $FE_{fuente,i}^z$ se estima de manera similar a la ecuación (D.12). El cálculo es prácticamente análogo, con la salvedad de que las emisiones se encuentran normalizadas para coincidir con la base de cálculo definida (kg de fruta consumible). A continuación se presenta una ecuación que permite, a partir de un factor de consumo asociado al insumo fuente de emisión (energía, fertilizantes, etc.), obtener las emisiones específicas de GEI⁴⁰:

³⁹ Ej: [masa de fertilizante], [energía consumida], [litros de combustible], etc.

⁴⁰ Las emisiones específicas corresponden a emisiones por unidad de masa.

$$FE_{fuente,i}^z = \sum_g \sum_k FC_{i,k}^z \cdot FE_{g,k} \cdot PCG_g \quad (D.14)$$

Donde:

- $FE_{fuente,i}^z$: Factor de Emisión asociado a la fuente de emisión analizada para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg CO₂eq/kg fruta producida]
- $FC_{g,k}^z$: Factor de Consumo del insumo asociado a la fuente de emisión “k” para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [masa de insumo que emite⁴¹/kg fruta producida]
- $FE_{g,k}$: Factor de emisión del GEI “g” asociado a la fuente de emisión “k” [kg GEI/masa de insumo que emite]
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global del GEI “g” [kg CO₂eq/kg GEI]

Por su parte, los factores de consumo de los insumos que generan emisiones en el proceso para las distintas macrozonas ($FC_{g,k}^z$), se construye a partir de factores de consumo a nivel regional según el aporte de cada región a la producción de la clase representativa en la macrozona respectiva:

$$FC_{i,k}^z = \sum_j FC_{i,k}^j \cdot p_{i,j,z} \quad (D.15)$$

Donde:

- $FC_{i,k}^z$: Factor de Consumo de la fuente de emisión “k” para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [masa del insumo que emite/kg fruta producida]
- $FC_{i,k}^j$: Factor de Consumo de la fuente de emisión “k” para la clase representativa “i” en la región “j” [masa de producto que emite/kg fruta producida]
- $p_{i,j,z}$: Ponderador de la participación de la región “j” en la producción de la clase representativa “i” dentro de la macrozona “z” (adimensional)

Los factores de emisión utilizados corresponden a los factores por defecto del IPCC. El Potencial de Calentamiento Global de cada GEI se utiliza a partir del Quinto Informe de Evaluación de Cambio Climático del IPCC. Los datos de actividad corresponden a la masa de fruta producida (consumible), estimación que se realizó en el Capítulo 2. De esta forma, el principal desafío está en la estimación de los factores de consumo a nivel regional para los diferentes insumos y clases representativas del sector.

D.1.3 Emisiones por uso de energía

Las emisiones asociadas al uso de energía en el campo se abordan desde dos alcances: emisiones directas, asociadas al uso de combustibles; e indirectas, asociadas al consumo eléctrico.

D.1.3.1 *Combustibles*

La maquinaria agrícola es la principal fuente de consumo de combustibles fósiles durante la producción en el campo. La maquinaria utilizada varía entre cada clase representativa, razón por la que se realiza un cálculo desagregado para cada clase representativa.

⁴¹ Note que la unidad referida al consumo de cada insumo puede variar. Por ejemplo, el consumo de combustibles puede expresarse en unidades energéticas o de volumen. Las unidades físicas, entonces, deben adaptarse en función de la información disponible.

La metodología de cálculo de las emisiones de GEI por el uso de combustibles fósiles obedece a las Directrices de 2006 del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero [153]. Se utiliza como base la ecuación (D.11), con la salvedad de que el Consumo del insumo que actúa como fuente de emisión y el Factor de Emisión (C_{fuente} y $FE_{i,fuente}$, respectivamente) se definen por unidad de energía [TJ]. En este sentido, la adaptación de la ecuación se muestra a continuación:

$$Emisiones_{combustibles,g} = \sum_j Combustible_j \cdot FE_{g,j} \quad (D.16)$$

Donde:

- **$Emisiones_i$:** Emisiones del GEI “g” asociada al consumo de combustibles [kg GEI]
- **$Combustible_j$:** Energía consumida a partir del combustible “j” [TJ]
- **$FE_{g,j}$** Factor de emisión del GEI “g” asociado al combustible “j” [kg GEI/TJ] (factores por defecto del IPCC)

Luego, adaptando las ecuaciones (D.13), (D.14) y (D.15) al consumo de combustibles, es posible calcular las emisiones del sector frutícola a nivel nacional asociadas a esta fuente de emisión.

Para obtener los factores de consumo a nivel regional se trabaja con el Estudio de fichas técnicas nacionales por zona homogénea agrícola de la Comisión Nacional de Riego, disponible en el sitio web de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) [154]. En dicho estudio se presentan datos asociados al cultivo de diferentes especies, desagregados según zonas homogéneas de las regiones del país. Así, los Factores de Emisión regionales se construyen a partir de los datos de las zonas homogéneas pertenecientes a cada región, con el objetivo de utilizar los datos disponibles y aportar precisión al estudio. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:

$$FC_{i,k}^j = \sum_h FC_{i,k}^h \cdot x_{i,h,j} \quad (D.17)$$

Donde:

- **$FC_{i,k}^j$:** Factor de Consumo del combustible “k” para la clase representativa “i” en la región “j” [L combustible/kg fruta consumible]
- **$FC_{i,k}^h$:** Factor de Consumo de combustible “k” para el cultivo de la clase representativa “i” en la zona homogénea “h” [L combustible/kg fruta consumible]
- **$x_{i,h,j}$** Ponderador de la participación de la zona homogénea “h” en la producción de la clase representativa “i” dentro de la región “j” (adimensional)

El uso del ponderador $x_{i,h,j}$ busca representar la región de acuerdo con la zona homogénea que más aporte a la producción de la región. A modo de ejemplo, si usted toma una manzana al azar perteneciente a la región de Coquimbo, lo más probable es que dicha manzana provenga de la zona homogénea que más produce dentro de la región. Dicho de otra forma, se busca representar el factor de consumo asociado a la producción de un kilogramo de fruta a nivel regional según aquellos campos más productivos dentro de la región. El detalle de la construcción de este ponderador se encuentra descrito en el Anexo E (ver sección E.2.2.2)

Respecto a la obtención de los Factores de Consumo de combustible para las diferentes zonas homogéneas en [L combustible/kg fruta consumible] se debe destacar que, al no contar con datos exactos del consumo de combustible, este fue estimado a partir del costo de arriendo de maquinaria por hectárea. Las fichas técnicas

utilizadas en la CNR presentan el desglose de costos asociados a la producción en el campo, lo que permite que, a partir de los costos que componen el costo de arriendo de maquinaria, concluir qué fracción de dichos costos se asocia específicamente a los combustibles. Como se puede ver en el Anexo E (ver sección E.2.2.1) y a partir de información respaldada por el INIA y la ODEPA, se concluyó que un 34% de los costos de la maquinaria agrícola corresponden al consumo de combustibles. Luego, con el precio del combustible en el año referente a los datos encontrados (en [CLP/L]), fue posible encontrar los litros consumidos por hectárea (ver Anexo E, sección E.2.2.2), lo que se transforma en un factor de consumo por kilogramo de fruta producida utilizando el rendimiento por hectárea de la respectiva zona homogénea.

Para la operación de tractores agrícolas y los equipos que se acoplan a estos se consideró como fuente de emisión el combustible Diésel, dado que corresponde al combustible genérico para los distintos equipos agrícolas [106]. Por otro lado, no fueron consideradas las emisiones asociadas al uso de lubricantes ni aceites, considerando que su consumo es menor al 10% del consumo de combustible utilizado por la maquinaria [155].

A modo de resumen, a continuación se muestra la secuencia de pasos para la obtención de las emisiones de esta categoría. Para mayor claridad, se recomienda consultar la memoria de cálculo presente en el Anexo E (ver sección E.2.2.2).

1. Obtención de un factor de consumo de combustibles por kilogramo de fruta producida para las diferentes zonas homogéneas de cada región.
2. Ponderar dicho factor de consumo según el aporte de la zona homogénea a la producción de la región a la que pertenece, con el objetivo de obtener un factor de consumo regional.
3. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona.
4. Con el factor de consumo de combustible a nivel de macrozona, utilizar la ecuación (D.14) para obtener el factor de emisión de GEI por kilogramo de fruta producida.
5. Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones a nivel nacional por concepto de uso de combustibles durante la etapa de cultivo en el campo.

D.1.3.2 Electricidad

Las emisiones por el uso de electricidad están ligadas específicamente a la configuración de la matriz energética y corresponde a una categoría de emisiones indirectas. Como se mencionó anteriormente, el presente estudio contempla el cálculo de emisiones asociadas principalmente al consumo eléctrico por concepto de riego asociado a métodos tecnificados.

La ecuación base que resume el cálculo de dichas emisiones a nivel nacional corresponde a la adaptación de la ecuación (D.13) a la fuente de emisión "consumo eléctrico". En este sentido, el factor de emisión utilizado está referido al consumo eléctrico en el campo por masa de fruta producida ([kWh/kg fruta producida]) y se asocia directamente a la matriz eléctrica del país.

El Factor de Emisión de la matriz eléctrica (FE_g) que se utiliza corresponde al factor promedio anual reportado por la Comisión Nacional de Energía para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en el año 2020 [95], cuyo valor es 0,3834 [kgCO₂eq/MWh].

Por otro lado, los Factores de Consumo eléctrico regionales de cada clase representativa se construyen considerando la porción de agua que es suministrada a los cultivos utilizando métodos de riego tecnificado. A partir de fichas técnico-económicas de la ODEPA se estimó un Factor de Consumo Eléctrico por litro de agua suministrado al cultivo en un régimen de riego por goteo, asumiendo que la energía necesaria para bombear

un litro de agua no depende del tipo de cultivo ni de la zona geográfica donde este se encuentre. De esta forma, y considerando que no se cuenta con información desagregada del consumo eléctrico por método de riego, para riegos tecnificados se asume un factor asociado al riego por goteo que depende únicamente del volumen de agua suministrado a los cultivos (lo que sí está sujeto al tipo de cultivo y la zona geográfica donde este se encuentre). El detalle de la obtención de este factor se encuentra disponible en los anexos del presente documento (ver Anexo E, sección E.2.3.1)

$$FC_{E_i}^j = DHB_{i,tecn}^j \cdot FC_{E,V_i}^j \cdot \frac{1}{R_{i,j}} \quad (D.18)$$

Donde:

- $FC_{E_i}^j$: Factor de Consumo eléctrico para la clase representativa “i” en la región “j” [kWh/kg fruta consumible]
- $DHB_{i,tecn}^j$: Demanda Hídrica Bruta para la clase representativa “i” en la región “j” asociada a métodos de riego tecnificado [L/ha]
- FC_{E,V_i}^j : Factor de Consumo eléctrico por unidad de volumen para la clase representativa “i” en la región “j” [kWh/L]
- $R_{i,j}$: Rendimiento del cultivo representativo “i” en la región j [kg fruta consumible/ha]

Para una mayor comprensión, en la sección E.2.3.2 encontrará disponible un ejemplo de cálculo asociado a las emisiones por concepto de uso de electricidad en el campo (ver Anexo E). A modo de resumen, a continuación se muestra la secuencia de pasos seguida:

1. Obtener un factor de consumo eléctrico regional para las distintas clases representativas.
2. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona, obteniendo así un factor de consumo eléctrico a nivel de macrozona.
3. Con el factor de consumo de combustible a nivel de macrozona, utilizar la ecuación (D.14) para obtener el factor de emisión de GEI por kilogramo de fruta producida.
4. Adaptar la ecuación (D.13) al consumo de energía eléctrica para obtener las emisiones a nivel nacional de dicha categoría durante la etapa de cultivo en el campo.

D.1.4 Emisiones por aplicación de fertilizantes

Las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el campo son, la mayoría de las veces, productos de procesos microbiológicos en el suelo, específicamente, los procesos de nitrificación y desnitrificación, que liberan N_2O a la atmósfera. La fertilización con cal ($CaCO_3$) y urea ($CO(NH_2)_2$) son casos particulares que además emiten CO_2 , debido a que en su elaboración se fija carbono de la atmósfera y al agregarse al suelo y degradarse en presencia de agua o por la acción de microorganismos, se descompone en iones amoníaco (NH_4^+), hidroxilo (OH^-) y bicarbonato (HCO_3^-), compuesto que finalmente se transforma en CO_2 y agua [156].

Las emisiones directas de la aplicación de fertilizantes derivan de la degradación del nitrógeno presente en el suelo una vez acabado un evento de fertilización. Las emisiones indirectas, por su parte, corresponden a aquellas que resultan de la volatilización y posterior deposición de nitrógeno en áreas diferentes a las fertilizadas y aquellas derivadas de la lixiviación de compuestos nitrogenados (NO_3^- principalmente) debido al escurrimiento de agua en el suelo. En ambos casos se puede terminar en un proceso de desnitrificación en otra zona geográfica, liberando finalmente N_2O [156].

A continuación se encuentra la metodología seguida para la estimación de las emisiones descritas. La lógica de cálculo obedece a las ecuaciones descritas en la sección 3.4, con la salvedad de que, para este caso, los factores de consumo y de emisión están referidos a la masa de nitrógeno agregada al suelo.

D.1.4.1 Emisiones directas

Como se mencionó anteriormente, la particularidad a la que debe prestarse atención para la estimación de las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizantes corresponde a los factores de emisión y de consumo, que están referidos a la masa de nitrógeno aplicada al suelo. En este sentido, no basta con conocer la masa de fertilizantes agregada, sino que además se debe conocer la composición de dichos fertilizantes para poder concluir las emisiones asociadas.

Los factores de consumo a nivel regional presentes en la ecuación (D.15) se elaboran, al igual que para el caso de los combustibles, a partir del Estudio de fichas técnicas nacionales por zona homogénea agrícola de la Comisión Nacional de Riego, disponible en el sitio web de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) [154]. Los Factores de Emisión regionales también se construyen a partir de los datos de las zonas homogéneas pertenecientes a cada región. Lo anterior se resume en la adaptación de la ecuación (D.17):

$$FC_{N,i}^j = \sum_h FC_{N,i}^h \cdot x_{i,h,j} \quad (D.19)$$

Donde:

- $FC_{N,i}^j$: Factor de Consumo específico de nitrógeno aplicado al suelo para la clase representativa "i" en la región "j" [kg N/kg fruta consumible]
- $FC_{N,i}^h$: Factor de Consumo específico de nitrógeno aplicado al suelo para la clase representativa "i" en la zona homogénea "h" [kg N/kg fruta consumible]
- $x_{i,h,j}$: Ponderador de la participación de la zona homogénea "h" en la producción de la clase representativa "i" dentro de la región "j" (adimensional)

De esta forma, a partir del análisis de las fichas técnicas y la composición de los diferentes fertilizantes utilizados (ver Anexo E, sección E.1.5), es posible obtener el factor de consumo específico de nitrógeno para cada zona homogénea:

$$FC_{N,i}^h = \sum_a \frac{FN_{a,i}^h \cdot M_{Na}}{R_{i,h}} \quad (D.20)$$

Donde:

- $FC_{N,i}^h$: Factor de Consumo específico de nitrógeno aplicado al suelo para la clase representativa "i" en la zona homogénea "h" [kg N/kg fruta consumible]
- $FN_{a,i}^h$: Consumo del Fertilizante Nitrogenado "a" en la zona homogénea "h" para una hectárea de cultivo de la clase "i" [kg fertilizante/ha]
- M_{Na} : Fracción másica de nitrógeno del fertilizante "a" [kg N/kg fertilizante]
- $R_{i,h}$: Rendimiento del cultivo representativo "i" en la zona homogénea "h" [kg fruta consumible/ha]

Una vez obtenido el factor de consumo específico de nitrógeno regional, puede generalizarse para cada macrozona a partir de la ecuación (D.15). Con los Factores de Emisión del IPCC y las ecuaciones (D.13) y (D.14)

se determinan, finalmente, las emisiones directas por el uso de fertilizantes a nivel nacional para cada clase representativa y para el sector frutícola.

Para las emisiones directas de CO₂ por aplicación de cal y urea al suelo el cálculo es análogo, a excepción de que para las emisiones de dióxido de carbono basta con conocer la masa de los insumos agregados y no el detalle de la composición de nitrógeno de los mismos, debido a que los factores de emisión de dióxido de carbono están reportados por masa de urea o cal agregada al suelo (ver ejemplo de cálculo en el Anexo E, sección E.2.4.1).

D.1.4.2 Emisiones indirectas

Para el cálculo de las emisiones indirectas ligadas al uso de fertilizantes nitrogenados el procedimiento es similar al caso de las emisiones directas, con la salvedad de que los factores de emisión no se expresan por unidad de nitrógeno aplicado al suelo, sino que por unidad de nitrógeno volatilizado o lixiviado según sea el caso (ver Anexo E, secciones E.1.2.2 y E.2.4.1). En este sentido, una vez que se conoce el nitrógeno necesario para una hectárea de cultivo, es preciso determinar cuánta masa de ese nitrógeno es volatilizado o lixiviado. Como estas emisiones se asocian a un proceso de desnitrificación, se contabilizarán únicamente las emisiones de óxido nitroso como gas de efecto invernadero.

El factor de emisión específico asociado a la volatilización de nitrógeno para una clase representativa en una macrozona específica, se obtiene de la siguiente manera:

$$FE_{vol,i}^z = FC_{N_i}^z \cdot FRAC_{GASF} \cdot FE_{vol} \cdot PCG_{N_2O} \quad (D.21)$$

Donde:

- $FE_{vol,i}^z$: Factor de Emisión específico de nitrógeno volatilizado para la clase representativa "i" en la macrozona "z" [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $FC_{N_i}^z$: Factor de Consumo específico de nitrógeno aplicado al suelo para la clase representativa "i" en la macrozona "z" [kg N/kg fruta consumible]
- $FRAC_{GASF}$: Fracción de nitrógeno de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH₃ y NO_x [kg N volatilizado/kg N aplicado]
- FE_{vol} : Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [kg N₂O/kg N volatilizado]
- PCG_{N_2O} : Potencial de Calentamiento Global del óxido nitroso [kg CO₂eq/kg N₂O]

El factor de consumo específico de nitrógeno para una macrozona $FC_{N_i}^z$ se calcula de manera análoga al caso de las emisiones directas (ver sección D.1.4.1), mientras que la fracción de nitrógeno que se volatiliza y el factor de emisión son obtenidos a partir de las Directrices del IPCC del año 2006 [157]. Para mayores detalles de la obtención y uso de estos términos, se recomienda revisar la memoria de cálculo presente en los anexos de este documento (ver Anexo E, sección E.2.4.1).

Para el caso de las emisiones indirectas por lixiviación el cálculo es análogo:

$$FE_{lix,i}^z = FC_{N_i}^z \cdot FRAC_{LIXIVIACION} \cdot FE_{lix} \cdot PCG_{N_2O} \quad (D.22)$$

Donde:

- $FE_{lix,i}^z$: Factor de Emisión específico para las emisiones indirectas por lixiviación de compuestos nitrogenados para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $FC_{N_i}^z$: Factor de Consumo específico de nitrógeno aplicado al suelo para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg N aplicado/kg fruta consumible]
- $FRAC_{LIXIVIACIÓN}$: Fracción de todo el N agregado/mineralizado en suelos en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento [kg N_{lixiviación/escorrimento}/kg N aplicado]
- FE_{lix} : Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la lixiviación de N en los suelos [kg N₂O/kg N_{lixiviación/escorrimento}]

La fracción de nitrógeno que lixivia sólo se aplica a regiones donde se exceda la capacidad de retención de agua del suelo debido a precipitaciones y/o a irrigación (excepto por goteo), ya que se considera que estos son los casos donde se observa el fenómeno de lixiviación. En los casos donde la capacidad de retención de agua del suelo no es excedida se utiliza una fracción igual a cero. Se asume que el fenómeno de lixiviación ocurre desde la región de Ñuble al sur, en línea con lo dispuesto en el Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, serie 1990-2018 y el Atlas Agroclimático de Chile, que expresan que en las regiones al norte de Ñuble las precipitaciones no permiten exceder la capacidad de retención del agua del suelo (es decir, las precipitaciones no superan la demanda hídrica neta de los cultivos) [158].

A modo de resumen del cálculo de emisiones por uso de fertilizantes en el campo, se presentan los pasos seguidos a nivel general:

1. Obtención de un factor de consumo de nitrógeno/urea/cal por kilogramo de fruta producida, según corresponda, para las diferentes zonas homogéneas de cada región, utilizando las fichas técnico-económicas y la composición de los distintos fertilizantes nitrogenados (ver Anexo E, sección E.1.5).
2. Ponderar dicho factor de consumo según el aporte de la zona homogénea a la producción de la región a la que pertenece, con el objetivo de obtener un factor de consumo regional, utilizando la ecuación (D.19).
3. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona, adaptando la ecuación (D.15) al uso de fertilizantes.
4. Con el factor de consumo de nitrógeno/urea/cal aplicada al suelo, para cada macrozona, calcular el factor de emisión asociado a emisiones directas por uso de fertilizantes utilizando la ecuación (D.14).
5. Con el factor de consumo de nitrógeno agregado al suelo, para cada macrozona, calcular el factor de emisión asociado a emisiones indirectas por uso de fertilizantes utilizando las ecuaciones (D.21) y (D.22).
6. Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones a nivel nacional por concepto de aplicación de fertilizantes durante la etapa de cultivo en el campo.

Para una mayor comprensión, se sugiere consultar la memoria de cálculo presente en el Anexo E, sección E.2.4.1.

D.1.5 Emisiones por disposición de residuos

Las emisiones asociadas a la disposición de residuos para el caso de estudio corresponden a residuos de poda y hojarasca, excluyendo de esta categoría los residuos relacionados con fruta descartada (ver sección 3.2.2.1.2 sobre alcances del estudio). Las emisiones dependen del destino que se le otorgue a los residuos. Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, los destinos posibles para los residuos frutícolas son los siguientes [156]:

1. Combustión en el campo
2. Uso como leña
3. Incorporación al suelo

Cada categoría difiere en el Factor de Emisión utilizado y, si bien el cálculo de las emisiones obedece a las ecuaciones generales descritas en la sección 3.4, en esta oportunidad es necesario entender el factor de consumo como un factor de generación de residuos, a modo de facilitar la comprensión y dar lógica a las ecuaciones descritas.

Según las directrices del IPCC, las emisiones de dióxido de carbono producidas tras la combustión o descomposición de residuos sobre el suelo no se consideran en las emisiones de GEI que contribuyen al Calentamiento Global, asumiendo que las absorciones anuales de CO₂ derivadas del crecimiento vegetativo están en equilibrio con las emisiones de carbono asociadas a la combustión o descomposición sobre el suelo de la estructura vegetal que fue extraída del cultivo [159]. Debido a esto, las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden únicamente a los gases CH₄ y N₂O.

A continuación se describen en detalle las ecuaciones asociadas al cálculo de las emisiones para las distintas categorías de disposición de los residuos.

D.1.5.1 Combustión en el campo

La combustión de residuos frutícolas en el campo es una opción ampliamente utilizada por el sector, considerando que se trata de una alternativa de bajo costo. Las emisiones asociadas a esta categoría se calculan según la siguiente ecuación [159]:

$$L_{fuego,g} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef,g} \cdot 10^{-3} \quad (D.23)$$

Donde:

- $L_{fuego,g}$: Emisiones del Gas de Efecto Invernadero “g” provocada por la combustión [t GEI]
- A : Área de combustión[ha]
- M_B : Masa de combustible disponible para la combustión [t/ha]
- C_f : Factor de combustión (adimensional)
- $G_{ef,g}$: Factor de emisión del GEI “g” [g GEI/kg materia seca combustionada]

Se debe destacar que, al estar trabajando con una base de cálculo de un kg de fruta consumible, la estimación el factor de emisión específico se obtiene adaptando la ecuación (D.23):

$$FE_{fuego,i,g} = \frac{M_{B,i} \cdot C_f \cdot G_{ef,g}}{R_i} \quad (D.24)$$

Donde:

- $FE_{fuego,i,g}$: Factor de emisión del Gas de Efecto Invernadero “g” provocada por la combustión de residuos de la clase representativa “i” [kg GEI/kg fruta consumible]
- R_i : Rendimiento de la clase representativa “i” [kg fruta consumible/ha]
- $M_{B,i}$: Masa de combustible disponible para la combustión en una hectárea de cultivo de la clase representativa “i” [kg/ha]
- C_f : Factor de combustión (adimensional)
- $G_{ef,g}$: Factor de emisión del GEI “g” [kg GEI/kg materia seca combustionada]

Luego, con esta lógica de construcción para el factor de emisión específico asociado a la combustión de residuos para cada clase es posible utilizar las ecuaciones (D.13), (D.14) y (D.15) para calcular las emisiones de esta categoría en el sector frutícola.

Se debe destacar que, debido a la falta de datos específicos asociados a la generación de residuos por tipo de cultivo, la masa de combustible disponible para la combustión fue obtenida a partir del juicio experto (ver Anexo E, sección E.2.5.2) y se asumió como una variable independiente de la ubicación geográfica, es decir que para este caso, no se realiza una desagregación por macrozonas o regiones, sino que la generación de residuos de poda se asume para todas por igual. Por otro lado, el factor de combustión utilizado corresponde al utilizado en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, cuyo valor es 0,9 [159].

D.1.5.2 Uso como leña

Las emisiones asociadas al uso de residuos agrícolas como biomasa para la combustión tienen una lógica de cálculo similar a la metodología para la combustión en el campo, siendo la única diferencia el valor del factor de emisión utilizado para los respectivos Gases de Efecto Invernadero. En este sentido, la construcción del factor de emisión se remite al uso de la ecuación (D.24), reemplazando el factor de emisión $G_{ef,g}$ para cada GEI por el valor reportado por el IPCC para el caso de uso de biomasa como combustible (ver Anexo E, sección E.1.2).

D.1.5.3 Incorporación al suelo

Al igual que en el caso de los fertilizantes, las emisiones asociadas a la incorporación de residuos frutícolas al suelo derivan principalmente de la descomposición de la materia orgánica a partir de los procesos de nitrificación y desnitrificación. En este sentido, el cálculo de estas emisiones se remite al uso de las ecuaciones (D.19) a (D.22) para la descripción de los factores de consumo y su posterior utilización en las ecuaciones generales (D.13) a (D.15).

Con respecto a estos cálculos, se deben tener ciertas condiciones metodológicas. En primer lugar, considerando la información disponible se trabajó únicamente con los residuos de poda y hojarasca para la contabilización de las emisiones del sector, dejando de lado aquellos residuos de cosecha u otro tipo de biomasa que podrían tener una disposición final como, por ejemplo, un relleno sanitario. En segundo lugar la fracción de nitrógeno utilizada (0,04%) para calcular el nitrógeno incorporado al suelo a través de residuos se estima partir de la composición de sarmientos de vides, considerando que se trata de un residuo representativo en la poda de frutales [160]. Adicionalmente, se debe destacar que para que la incorporación de residuos aporte los nutrientes necesarios al suelo, generalmente es necesario incorporar fertilizantes en conjunto con los restos de poda, lo que para efectos del caso base se considera en la categoría “fertilización” de las fichas técnico-económicas utilizadas.

Finalmente, es necesario tener en cuenta que para esta categoría solo se contabilizan las emisiones indirectas derivadas de la lixiviación de compuestos nitrogenados en el suelo, debido a que se asume que la volatilización de nitrógeno tras la adición de materia orgánica al suelo es nula [157].

A modo de resumen del cálculo de emisiones del cálculo de las emisiones derivadas de la disposición de residuos generados en el campo, se presentan a continuación los pasos seguidos:

1. Obtener de un factor de generación de residuos por unidad de superficie para cada región geográfica.

2. Identificar la distribución porcentual de la disposición de residuos según el tipo de cultivo (ver datos en Anexo E, sección E.2.5.1) y, en consecuencia, calcular la masa de residuos que se destina a combustión, uso como leña o incorporación al suelo.
3. Para las emisiones asociadas a la combustión en el predio o el uso como leña, determinar el coeficiente de combustión a utilizar y calcular la masa de materia seca disponible para este uso por kilogramo de fruta producida (ecuación (D.24)). En el caso de la incorporación al suelo, determinar la fracción de nitrógeno presente en los residuos agrícolas por kilogramo de fruta producida.
4. Para cada macrozona, calcular los factores asociados a la disponibilidad de residuos para la combustión, uso como leña o incorporación al suelo, por kilogramo de fruta consumible (ver ecuación (D.15)).
5. Utilizar la ecuación (D.15) para calcular el factor de emisión asociado a los distintos destinos otorgados a los residuos de poda y hojarasca en las distintas macrozonas del país.
6. Calcular las emisiones a nivel nacional asociadas a esta categoría, utilizando la ecuación (D.13).

Quien lea este trabajo debe recordar que, para efectos de los cálculos realizados, no existe una diferenciación por macrozonas debido a la estimación genérica de la generación de residuos a partir de juicio experto (ver sección D.1.5). En este sentido, la síntesis propuesta considera que se dispone de datos desagregados. Para una mayor comprensión, se sugiere consultar la memoria de cálculo presente en el Anexo E (ver sección E.2.5.3.).

D.2 Postcosecha

El consumo hídrico y las emisiones derivadas de la etapa de postcosecha contemplan procesos de distinta complejidad según el tipo de fruta tratada. La tabla a continuación presenta la clasificación de las líneas según su complejidad, además del detalle de las operaciones asociadas al envasado de las diferentes especies representativas estudiadas en este trabajo.

Tabla D.3: Complejidad y operaciones de las distintas líneas de envasado [72].

Complejidad de la línea	Operaciones unitarias consideradas	Clase representativa envasada
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción • Preselección • Lavado • Presecado • Encerado • Pulido • Secado • Clasificación • Calibrado • Envasado • Prefrío • Palletizado • Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Manzana • Mandarina
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción • Preselección • Calibrado • Envasado • Prefrío • Palletizado⁴² 	<ul style="list-style-type: none"> • Palta

⁴² El palletizado corresponde a la disposición de las frutas en contenedores aptos para su transporte en grúas horquilla, lo que permite su traslado desde el punto de envasado a las respectivas cámaras de frío.

	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento 	
Baja	<ul style="list-style-type: none"> Recepción Palletizado Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Uva de mesa

Es importante considerar que a partir de la etapa de postcosecha en adelante, se consideran únicamente las clases representativas “manzana”, “palta”, “mandarina” y “uva se mesa”, pues las uvas pisquera y vinífera continúan su ciclo productivo en la industria vitivinícola, lo que está fuera del alcance de este estudio.

D.2.1 Consumo Hídrico

El consumo hídrico durante la etapa de postcosecha está dado principalmente en las operaciones de lavado de fruta y equipos según corresponda. Para la cuantificación de dichos consumos se utiliza como referencia el consumo hídrico de una planta productora de jugos naturales embotellados compuestos en su 100% de manzana (Agrícola Forestal El Escudo). Este estudio se considera pertinente ya que contempla las operaciones que consumen agua en las etapas de *packaging* de frutas. Dicho de otra forma, el proceso de elaboración de jugos considera las etapas de lavado de fruta, limpieza de equipos, de pisos, etc. previo al prensado de las manzanas, por lo que los procesos asociados a la elaboración del jugo y al envasado de frutas se diferencian entre sí en la presencia de operaciones posteriores que no consumen agua. Por lo anterior, se considera que los consumos de agua asociados al lavado de fruta y de la planta en general podrían representar a grandes rasgos el consumo hídrico presente en una planta de procesamiento post-cosecha de fruta.

A continuación se presentan los consumos de agua del estudio citado, considerando las distintas operaciones unitarias del proceso:

Tabla D.4: Uso de agua en planta de producción de jugos de manzana sin aditivos (AFE). Extraído de [91].

Etapa	Consumo hídrico [m ³ /día]
Lavado de fruta, equipos, pisos y bins (sala de lavado de fruta)	23-25
Lavado de prensa y pisos (sala de prensado)	1,5-2
Ambientación de pasteurizados y lavado de pisos (sala de envasado)	7-10
Lavado de botellas	10-15
Enfriamiento	15-20
Caldera	1
Aseos	8

Considerando la producción de la planta estudiada es posible determinar el consumo específico de agua en [L/kg fruta procesada]. El estudio reporta la producción de 850 m³ de jugo anuales, lo que, sumado a la densidad del jugo y el % de agua presente en la fruta, permite derivar la masa de manzanas procesadas para obtener la cifra másica de producción (ver Anexo E, sección E.3.1.1). De esta forma, se cuantifica la masa de fruta lavada en la planta y el volumen de agua necesario para lavar un kilogramo de fruta. Con este factor, se determina un consumo hídrico específico referido a cada operación de lavado, que se utiliza a nivel nacional.

Este cálculo corresponde a una aproximación gruesa que supone proporcionalidad entre la escala de producción y el consumo hídrico. Además, asume que todas las plantas de envasado lavan la fruta con la misma tecnología de la planta referencial (ducha de agua mediante aspersores en cinta transportadora) y que operan con la misma eficiencia de lavado, lo que no necesariamente se condice con la realidad. De todas maneras, considerando la ausencia de información más precisa, se considera una primera estimación que puede dar nociones básicas sobre el consumo hídrico.

Una vez obtenido el consumo hídrico por masa de fruta procesada, se seleccionan las operaciones del proceso de producción de jugo que también existen en las diferentes líneas de envasado, excluyendo así las operaciones asociadas a la producción de jugo como tal. Para todas las líneas se asume el consumo hídrico en aseo, caldera y enfriamiento. El consumo hídrico asociado al lavado de fruta se contempla únicamente para la línea de envasado de alta complejidad, que es la que efectivamente realiza esta operación.

Tabla D.5: Consumo hídrico específico para el procesamiento de fruta. Elaboración propia a partir de [91].

Etapa	Consumo hídrico [m³/día]	Consumo hídrico específico [m³/t fruta procesada]	Línea de envasado en que se considera el consumo
Lavado de fruta, equipos, pisos y bins (sala de lavado de fruta)	23-25	8,68	Alta complejidad
Lavado de prensa y pisos (sala de prensado)	1,5-2	0,63	N/A
Ambientación de pasteurizados y lavado de pisos (sala de envasado)	7-10	3,08	N/A
Lavado de botellas	10-15	4,52	N/A
Enfriamiento	15-20	6,33	Baja, mediana y alta complejidad
Caldera	1	0,36	Baja, mediana y alta complejidad
Aseos	8	2,89	Baja, mediana y alta complejidad

La estimación del consumo hídrico específico para las distintas líneas de envasado se muestra a continuación:

Tabla D.6: Consumo hídrico específico para distintas líneas de envasado. Elaboración propia a partir de [91].

Clase representativa tratada	Complejidad de la línea	Consumo hídrico [L/kg fruta consumible]
Manzana	Alta	18,27
Mandarina		18,27
Palta	Media	9,59
Uva de mesa	Baja	9,59
Uva pisquera	N/A	N/A
Uva vinífera	N/A	N/A

Es importante destacar que para efectos del consumo hídrico en la etapa de postcosecha no se considera una desagregación a nivel regional del consumo hídrico. Lo anterior debido a la disponibilidad de información, que conlleva a la necesidad de asumir que las variables climáticas y geográficas no son estrictamente determinantes en el consumo hídrico de este proceso. No obstante, no se debe perder de vista que estos valores corresponden a una primera aproximación y no representan a cabalidad la realidad a nivel nacional, que sí puede presentar variaciones en el consumo hídrico dado el contexto en que se encuentre la planta, principalmente asociado a la disponibilidad hídrica y a la influencia de esta variable en la eficiencia de lavado.

Finalmente, una vez obtenido el factor de consumo hídrico específico durante la etapa de postcosecha, solo basta utilizar la ecuación (D.7) adaptada a esta etapa para obtener el consumo hídrico a nivel nacional:

$$H_{2O_{postcosecha,nac}} = \sum_z \sum_i FC_{H_2O,i}^z \cdot DA_i^z \quad (D.25)$$

Donde:

- $H_2O_{postcosecha,nac}$: Consumo hídrico a nivel nacional en la etapa de postcosecha [volumen de agua/año]
- $FC_{H_2O,i}^z$: Factor de Consumo hídrico de la clase representativa “i” en la macrozona “z” [volumen de agua/kg fruta consumible]
- DA_i^z : Datos de la actividad para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [kg fruta consumible]

Para una mayor comprensión, se sugiere revisar la memoria de cálculo presente en el Anexo E, (ver sección E.3.1.1).

D.2.2 Emisiones por uso de energía

Las emisiones asociadas al consumo energético en las plantas de postcosecha se calculan a partir de un modelo presente en el estudio enmarcado en el proyecto de cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania “NAMA: Energías Renovables para Autoconsumo en Chile”, implementado por el Ministerio de Energía, el Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables (CIFES) y *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ). Este modelo contempla los distintos consumos energéticos presentes en procesos típicos de *packaging*, considerando las líneas de distinta complejidad mencionadas anteriormente.

El estudio contempla tres fuentes de energía: electricidad, GLP y diésel. Las tablas expuestas a continuación muestran los distintos consumos específicos promedio y usos que se les da a estas fuentes, dependiendo de la complejidad de la línea analizada:

Tabla D.7: Consumo energético específico promedio según fuente de energía para las distintas complejidades de las líneas de procesamiento. Elaborado a partir de [72].

Fuente energética	Consumo energético específico [kWh/t fruta procesada]		
	Línea Básica	Línea Media	Línea Alta
GLP	2,5	5,0	14,0
Electricidad	97,2	110,2	106,9
Diesel	1,4	1,4	16,7

Tabla D.8: Desagregación del consumo energético específico promedio según fuente de energía y complejidad de la línea de postcosecha. Elaborado a partir de [72].

Fuente de energía	Operaciones de consumo	Detalle	Consumo energético específico [kWh/t fruta procesada]		
			Baja	Media	Alta
Electricidad	Consumos electromecánicos sin considerar el uso de frío	Máquinas, iluminación, oficinas, entre otros. No considera el uso de frío	13,60	26,60	23,30
	Enfriamiento y Climatización*		83,59	83,59	83,59
GLP	Calentamiento de agua y lavado	ACS de lavado para el personal	2,50	2,50	2,50
		Lavado de fruta	0,00	0,00	7,11

		Agua caliente para limpieza en general (limpieza de equipos)	0,00	2,50	2,50
		Aire caliente para secado	0,00	0,00	1,89
Diésel	Operaciones electromecánicas		1,40	1,40	16,70

*Calculado a partir de datos asociados a la región del Maule.

Se debe destacar que el estudio referencial no considera el consumo de GLP asociado a la operación de grúas horquilla, por lo que las cifras expuestas se encuentran subestimadas y, en consecuencia, las emisiones de GEI asociadas a dicha fuente energética también. Adicionalmente, la energía eléctrica consumida en las etapas de frío fue estimada a partir de un análisis de sensibilidad realizado en el mismo estudio para el modelo de refrigeración propuesto frente a variaciones en la masa de fruta procesada. Dicho análisis utiliza datos de un caso real ubicado en la región del Maule para la validación del modelo. El detalle de la obtención del consumo energético específico asociado a esta operación se encuentra disponible en el Anexo E (ver sección E.3.2.1).

El modelo estudiado también sensibiliza la energía destinada a la refrigeración en función de la localización de la planta a lo largo del territorio nacional. Con objetivo de considerar las variables geográficas y climáticas que pudiesen afectar el consumo energético de las operaciones asociadas a la refrigeración de los productos, se utiliza el análisis de sensibilidad para obtener la variación porcentual de la energía de refrigeración utilizada en las distintas regiones respecto al caso de referencia (correspondiente a la región del Maule). Con esto se obtiene la energía utilizada para la climatización en las diferentes líneas de producción y las distintas regiones, tomándose como principal supuesto que la única variación en la demanda energética regional está asociada al almacenamiento climatizado de las frutas. El detalle de este procedimiento se encuentra disponible en el Anexo E (ver sección E.3.2.2.)

El cálculo de las emisiones asociadas al consumo energético en la etapa de postcosecha obedece a la misma lógica de la etapa de producción en el campo (ver sección D.1.2). Una vez obtenidos los consumos específicos para las distintas fuentes energéticas, se utilizan los factores de emisión asociados a cada fuente y, posteriormente, se consideran como datos de la actividad la producción de cada clase representativa en el territorio analizado. Estos cálculos se realizan a nivel regional por dos principales razones: i) Para considerar el contexto territorial de los procesos, específicamente el efecto de las variables climáticas y tecnológicas sobre el consumo energético de cada región; ii) Se dispone de suficiente información para hacerlo, considerando lo expuesto en las tablas D.7 y D.8 y lo calculado en el Anexo E (ver sección E.3.2.).

Al contarse con los factores de consumo asociados a las distintas operaciones de los procesos de postcosecha, en primer lugar, se obtiene un factor de consumo específico regional asociado a cada fuente energética, para lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$FC_{i,k}^j = \sum_m FC_{i,k,m}^j \quad (D.26)$$

Donde:

- $FC_{i,k}^j$: Factor de Consumo Específico de la fuente energética "k" para la clase representativa "i" en la región "j" [energía/kg fruta consumible]
- $FC_{i,k,m}^j$: Factor de Consumo Específico de la operación unitaria "m", proveniente de la fuente energética "k" para la clase representativa "i" en la región "j" [energía/kg fruta consumible]

Una vez obtenidos los consumos específicos para cada región, estos se ponderan según el aporte regional a la producción de la macrozona respectiva. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:

$$FC_{i,k}^z = \sum_j FC_{i,k}^j \cdot p_{i,j,z} \quad (D.27)$$

Donde:

- $FC_{i,k}^z$: Factor de Consumo Específico de la fuente energética “k” para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [energía/kg fruta producida]
- $FC_{i,k}^j$: Factor de Consumo Específico de la fuente energética “k” para la clase representativa “i” en la región “j” [energía/kg fruta producida]
- $p_{i,j,z}$: Ponderador de la participación de la región “j” en la producción de la clase representativa “i” dentro de la macrozona “z” (adimensional)

El ponderador $p_{i,j,z}$ asociado a cada región y clase representativa se encuentra disponible en la sección E.1.6. Adicionalmente, es preciso notar que al seleccionar una clase representativa, implícitamente se está seleccionando la complejidad de la línea de envasado. Por ejemplo, si quien lee selecciona la clase representativa “manzana”, estará utilizando el consumo energético asociado a la línea de alta complejidad, puesto que es esta tecnología la que procesa las manzanas durante la etapa de postcosecha.

Con el factor de consumo específico para cada clase representativa y fuente de energía en las respectivas macrozonas, las emisiones de GEI son calculadas a partir de la siguiente ecuación:

$$FE_{postcosecha,i}^z = \sum_g \sum_k FC_{i,k}^z \cdot FE_{g,k} \cdot PCG_g \quad (D.28)$$

Donde:

- $FE_{postcosecha,i}^z$: Factor de Emisión derivado del consumo energético en la etapa de postcosecha para la clase representativa “i” [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $FC_{i,k}^z$: Factor de Consumo Específico de la fuente energética “k” para la clase representativa “i” en la macrozona “z” [energía/kg fruta consumible]
- $FE_{g,k}$: Factor de emisión del GEI “g” asociado a la fuente energética “k” [kg GEI/TJ] o [kg GEI/kWh] según corresponda (factores por defecto del IPCC o de la matriz eléctrica chilena dependiendo del caso)
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global asociado al GEI “g” [kg CO₂eq/kg GEI]

Finalmente, las emisiones totales asociadas al sector se obtienen utilizando la ecuación (D.13). A modo de resumen del cálculo, se presentan a continuación los pasos seguidos:

1. Obtener los factores de consumo energético específico asociados a las distintas operaciones de procesamiento para cada clase representativa en cada región, considerando la complejidad de la línea de envasado asociada a cada clase y los factores de consumo específico genéricos “tipo” para cada línea (ver tablas D.3 y D.8).
2. Clasificar los factores obtenidos en el paso 2. según la fuente energética de origen y utilizar la ecuación (D.26) para obtener un factor de consumo específico regional asociado a cada fuente.

3. Calcular un factor de consumo específico para las respectivas fuentes energéticas, en cada macrozona y para cada clase representativa (utilizando la ecuación (D.27))
4. Calcular el factor de emisión asociado al consumo energético de la etapa de postcosecha para cada clase representativa en cada macrozona, utilizando la ecuación (D.28).
5. Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones de GEI asociadas a la etapa de postcosecha.

Para una mayor comprensión, se sugiere consultar la memoria de cálculo presente en el Anexo E (ver sección E.3.2.3.).

D.3 Distribución

Las emisiones atribuidas a la etapa de distribución de la fruta están sujetas, principalmente, al consumo de combustibles de los medios de transporte. Al tratarse de productos que pueden requerir refrigeración según su destino, existen emisiones asociadas al uso de refrigerantes para mantener la cadena de frío, sin embargo, la cuantificación de dichas emisiones no está considerado en los alcances de este estudio (ver sección 3.2.2.1.2). Adicionalmente, debido a que la exportación de fruta se lleva a cabo en su mayoría por vía marítima, no se considera el transporte aéreo [96].

De igual forma que en la sección D.1.3.1, para estimar las emisiones de GEI asociadas a la distribución es necesario cuantificar el consumo energético asociado a los combustibles utilizados durante el transporte de la fruta. El desarrollo de esta sección presenta el panorama general de la distribución de la fruta, estableciendo las rutas y vehículos involucrados en el transporte para, posteriormente, estimar el consumo de combustibles y las emisiones asociadas.

D.3.1 Medios de transporte y rutas consideradas

El sector frutícola distribuye sus productos a lo largo del país principalmente por carretera al interior del país y vía marítima en el caso de exportaciones. Como se menciona en la sección 3.1.3, las rutas de transporte fueron divididas en los siguientes tramos [97]:

- Campo - Planta de procesamiento postcosecha
- Planta de procesamiento postcosecha - Consumo interno
- Planta de procesamiento postcosecha - Puerto nacional
- Puerto nacional - Puerto internacional

En el caso del transporte terrestre, dependiendo del destino de la fruta y de la masa transportada, existen distintos tipos de vehículos utilizados:

- Combinaciones tractor-semirremolque, clasificados según:
 - Semirremolque refrigerado
 - Semirremolque transportador de contenedores refrigerados
 - Semirremolque de plataforma plana (que transportan contenedores refrigerados)
- Combinaciones camión-remolque
- Camiones rígidos, de diferentes capacidades
- Camiones livianos, de diferentes capacidades
- Camionetas

Por otro lado, los medios de transporte según el destino de la fruta se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla D.9: Distribución de los vehículos utilizados en el transporte terrestre del sector frutícola, según el destino del producto. Elaboración a partir de [97].

Destino	Tractores con semirremolques o contenedores refrigerados	Camiones sin refrigeración
Exportación	100%	0%
Exportación, tramo predio-planta postcosecha	0%	100%
Distribución consumo interno	30%	70%
Distribución a agroindustria	0%	100%

Considerando que la mayoría del transporte asociado al consumo interno (ya sea destinado a la agroindustria o a centros de distribución) se da en vehículos sin refrigeración, se simplifica el análisis asumiendo que todo el consumo interno se ve abastecido por camiones sin refrigeración. A continuación se muestra la distribución porcentual de vehículos no-refrigerados utilizados en la cadena logística:

Tabla D.10: Distribución del transporte no refrigerado utilizado en la distribución de fruta. Elaboración a partir de [97].

Vehículo	%	Capacidad [t]	Rendimiento [km/L]
Combinaciones camión-remolque de 20 t de capacidad	15	20.000	2,4
Camiones rígidos de 15 t de capacidad	30	15.000	2,4
Camiones rígidos de 10 t de capacidad	20	10.000	3,5
Camiones livianos de 8 t de capacidad	15	8.000	4
Camiones livianos de 5 t de capacidad	10	5.000	5
Camiones livianos de 4 t de capacidad	8	4.000	6
Camionetas de 1 t de capacidad	2	1.000	8

Para el caso del transporte refrigerado, el análisis se remite al uso de semirremolques que llevan contenedores (semirremolques transportadores de contenedores o de plataforma plana), obviando la combinación tractor-semirremolque refrigerado. Lo anterior, debido al crecimiento y estandarización de envíos de productos frutícolas en contenedores refrigerados dentro de los últimos años, considerando que facilita la logística de embarque en los puertos [97]. La tabla expuesta muestra la distribución entre los dos tipos de vehículos transportadores de contenedores considerados:

Tabla D.11: Distribución porcentual y rendimiento de vehículos transportadores de contenedores utilizados en el sector frutícola. Elaborada a partir de [97].

	%	Rendimiento [km/L]
Semirremolque Portacontenedor	40	2,55
Semirremolque de Plataformas planas	60	2,50

Los contenedores transportados en los semirremolques son, en su mayoría, contenedores de 40', lo que equivale, aproximadamente, a una capacidad de 28 toneladas de fruta transportada [97]. Con el objetivo de considerar un transporte "tipo" que represente la realidad nacional de la manera más fidedigna posible, los rendimientos y capacidades de los vehículos utilizados se ponderan según la participación en la logística de transporte del sector (ver tablas D.10 y D.11).

Adicionalmente, es preciso mencionar que para el caso de la exportación de productos frutícolas, la logística establecida entre empresas exportadoras y servicios logísticos derivan en la existencia de dos trayectos considerados al momento de transportar la fruta desde la planta de procesamiento postcosecha hacia el puerto

de embarque. En primer lugar, el vehículo que lleva el contenedor refrigerado debe retirar este contenedor desde un depósito de contenedores, para posteriormente dirigirse hacia la planta de procesamiento de la fruta. Una vez en la planta, el contenedor es cargado y transportado hacia el puerto de embarque correspondiente⁴³. Quien lea debe tener esto en cuenta para comprender el posterior desarrollo y establecimiento de rutas para el cálculo de las emisiones de esta categoría. Todo lo expuesto se resume en la siguiente tabla (ver Tabla D.12), que muestra la caracterización de los diferentes vehículos considerados en este estudio según tramo recorrido, además de la figura a continuación (ver Figura D.1), que resume los tramos y vehículos involucrados en la distribución de productos frutícolas.

Tabla D.12: Caracterización de los vehículos considerados en la cadena de distribución del sector frutícola. Elaboración propia a partir de [97-105].

Destino	Tramo	Vehículo	Capacidad	Rendimiento [km/L]	Observaciones
Consumo interno	Campo – planta de procesamiento	Camión sin refrigeración	11.540 [kg]	3,52	Se considera un ponderado según la participación de los diferentes medios de transporte
	Planta de procesamiento – Consumo Interno				
Exportación	Campo – planta	Camión sin refrigeración	11.540 [kg]	3,52	Se considera un ponderado según la participación de los diferentes medios de transporte
	Depósito de Contenedores – Planta	Semirremolque con contenedor apto para refrigeración	28.000 [kg]	2,52	Se considera la capacidad de 1 [FEU]*
	Planta - Puerto				
	Puerto - Puerto	Buque transportador de contenedores	4.000 [FEU]*	0,015	Definición de capacidad y estimación del rendimiento de combustible en la sección E.4.1.

*1 [FEU] equivale a un contenedor de 40' [103].

⁴³ Esta información fue obtenida a través de la comunicación personal con la Gerencia de Operaciones de la empresa exportadora de frutas Frusan.

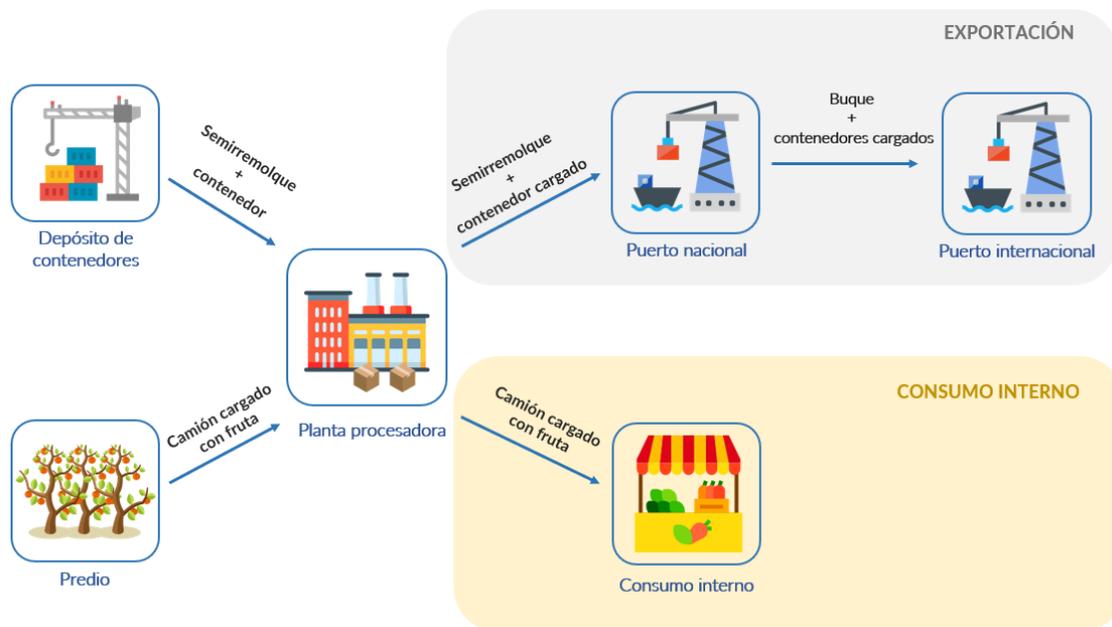


Figura D.1: Tramos y vehículos definidos para el estudio de la distribución de productos frutícolas. Elaboración propia.

Sumado a lo anterior, los contenedores refrigerados también representan un consumo de combustible asociado al funcionamiento de generadores que permiten mantener la cadena de frío. Este consumo se asocia al tiempo de operación, de forma que el rendimiento del contenedor se reporta en literatura como un volumen de combustible por unidad de tiempo, cifra que fue transformada a unidades de volumen de combustible por distancia recorrida en función del vehículo que transporta el contenedor (ver Anexo E, sección E.4.2). Lo anterior, para facilitar el cálculo de las emisiones según la metodología propuesta en la sección a continuación. La Tabla D.13 presenta los resultados de la estimación del rendimiento de combustible:

Tabla D.13: Rendimiento de combustible para un contenedor de 40' dependiendo del medio de transporte. Elaboración propia a partir de [99,100,104,105].

Vía de transporte	Vehículo	Velocidad promedio [km/h]	Rendimiento del contenedor [km/L]
Terrestre	Camión	90,00	32,35
Marítima	Buque de carga	41,67*	14,98

*Estimación en Anexo E, sección E.4.1

En las subsecciones siguientes se encuentran los criterios de selección y caracterización de las rutas consideradas.

D.3.1.1 Campo - Planta de procesamiento postcosecha

La distancia promedio entre el predio y su respectiva planta de procesamiento postcosecha se estima a partir de un estudio realizado para la Subsecretaría del Ministerio de Energía, donde se modela la configuración regional de predios y plantas de postcosecha para la estimación de la distancia existente entre dichos puntos. A continuación se presentan los datos extraídos de dicho informe:

Tabla D.14: Distancia entre predio y planta de procesamiento según región de establecimiento. Datos extraídos de [97].

Región	Distancia media entre predio y planta [km]
Arica y Parinacota	40
Tarapacá	75
Antofagasta	144
Atacama	100
Coquimbo	87
Valparaíso	58
Metropolitana	48
O'Higgins	46
Maule	63
Biobío	62
Ñuble	62
Araucanía	65
Los Ríos	48
Los Lagos	85
Aysén	147
Magallanes y Antártica	176

D.3.1.2 Planta de procesamiento postcosecha - Consumo interno

La distancia promedio asociada al transporte interregional considera como punto de origen y de destino el centro de cada región del territorio, según corresponda. La Tabla D.15 presenta la distancia promedio cuantificada entre el centro de la región de origen y el centro de la región de destino, cifras obtenidas a partir del servidor "Google Maps". Para dar cuenta de movimientos dentro de una misma región se considera la estimación de la distancia intrarregional recorrida suponiendo que la fruta se venda en la misma región donde se produzca, datos que fueron extraídos a partir de bibliografía [97]:

Tabla D.15: Distancias inter e intrarregionales consideradas para el estudio de la distribución al interior del país. Elaboración propia a partir de datos extraídos desde el servicio Google Maps y de [97].

Desde/a	Arica y Parinacota	Tarapacá (Iquique)	Antofagasta (Antofagasta)	Atacama (Copiapó)	Coquimbo (La Serena)	Valparaíso (Valparaíso)	Metropolitana (Santiago)	O' Higgins (Rancagua)	Maule (Talca)	Biobío (Concepción)	Ñuble (Chillán)	Araucanía (Temuco)	Los Ríos (Valdivia)	Los Lagos (Puerto Montt)	Aysén (Coyhaique)	Magallanes y Antártica (Punta Arenas)
Arica y Parinacota	136*	309	723	1.240	1.566	1.997	2.037	2.210	2.289	2.533	2.439	2.712	2.883	3.066	3.726	5.040
Tarapacá	309	136*	416	961	1.287	1.717	1.758	1.840	2.010	2.253	2.160	2.433	2.604	2.786	3.446	4.760
Antofagasta	723	416	136*	539	865	1.295	1.335	1.418	1.588	1.831	1.738	2.010	2.181	2.364	3.024	4.338
Atacama	1.240	961	539	136	337	767	807	890	1.059	1.303	1.210	1.482	1.653	1.836	2.496	3.810
Coquimbo	1.566	1.287	865	337	101	433	472	555	724	968	875	1.147	1.318	1.501	2.161	3.475
Valparaíso	1.997	1.717	1.295	767	433	152	115	192	361	605	512	784	955	1.138	1.798	3.112
Metropolitana	2.037	1.758	1.335	807	472	115	35	87	256	500	406	679	850	1.033	1.693	3.007
O'Higgins	2.210	1.840	1.418	890	555	192	87	40	172	416	323	595	766	949	1.609	2.923
Maule	2.289	2.010	1.588	1.059	724	361	256	172	51	246	153	426	597	779	1.439	2.754
Biobío	2.533	2.253	1.831	1.303	968	605	500	416	246	125	98	292	463	646	1.306	2.620
Ñuble	2.439	2.160	1.738	1.210	875	512	406	323	153	98	125*	277	448	631	1.291	2.605
Araucanía	2.712	2.433	2.010	1.482	1.147	784	679	595	426	292	277	125*	170	353	1.013	2.327
Los Ríos	2.883	2.604	2.181	1.653	1.318	955	850	766	597	463	448	170	125*	210	870	2.185
Los Lagos	3.066	2.786	2.364	1.836	1.501	1.138	1.033	949	779	646	631	353	210	125*	660	2.172
Aysén	3.726	3.446	3.024	2.496	2.161	1.798	1.693	1.609	1.439	1.306	1.291	1.013	870	660	125*	1.405
Magallanes y Antártica	5.040	4.760	4.338	3.810	3.475	3.112	3.007	2.923	2.754	2.620	2.605	2.327	2.185	2.172	1.405	125*

Aquellas celdas que contienen un asterisco (*) corresponden a distancias intrarregionales establecidas suponiendo semejanza entre la región más cercana de la que se disponga información. Por ejemplo, en el caso de Ñuble, dicha distancia fue estimada a partir de los datos de la región de Biobío, considerando el criterio mencionado anteriormente.

La estimación de la distancia promedio de un viaje “tipo” asociado al transporte interregional toma como principal supuesto que, independiente de la región de origen, todas las regiones restantes reciben un porcentaje de la fruta transportada. En este sentido, es necesario establecer qué fracción de la masa destinada al consumo interno es transportada a cada región, para lo que se trabaja con la hipótesis de que el consumo de fruta a nivel regional es proporcional a la población de dicho territorio. Con esto en mente, se puede establecer que el número de viajes a cada región también será proporcional a la población en dicho territorio pues, en línea con la hipótesis mencionada, mientras más población se tenga en una región, más fruta se consume y por ende, más viajes se realizan a dicho destino. De esta forma, la distancia promedio recorrida se construye a partir de la ponderación entre las distancias interregionales y la población de cada región (ver Tabla 2.1, estadísticas del INE):

Tabla D.16: Distancia promedio considerada para el recorrido asociado a la distribución de fruta para consumo interno. Elaboración propia

Región de origen	% de la población total del país	Distancia promedio de un viaje “tipo” asociada al consumo interno [km]
Arica y Parinacota	1,3%	2.118
Tarapacá	1,9%	1.841
Antofagasta	3,5%	1.447
Atacama	1,6%	987
Coquimbo	4,3%	709
Valparaíso	10,3%	452
Metropolitana	40,5%	383
O'Higgins	5,2%	394
Maule	5,9%	457
Biobío	8,9%	605
Ñuble	2,7%	532
Araucanía	5,4%	724
Los Ríos	2,2%	864
Los Lagos	4,7%	1.028
Aysén	0,6%	1.662
Magallanes y Antártica	0,9%	2.961

D.3.1.3 Planta de procesamiento postcosecha – Puerto nacional

Para el caso de la fruta de exportación, la estimación de las distancias entre las plantas de procesamiento postcosecha y el puerto de embarque se realiza utilizando el servidor “Google Maps”. Como puntos de origen se consideran dos opciones, asociadas a provincias con mayor superficie plantada de huertos frutales. El puerto de destino se define considerando la mayor cantidad de viajes realizados entre la región respectiva y los distintos puertos posibles [97]. Posteriormente, las distancias definidas entre los dos posibles puntos de origen y el puerto de destino se promedian para establecer una distancia representativa de la realidad nacional. Un mayor desarrollo asociado a la obtención de puntos de origen y destino para este trayecto se encuentra disponible en el Anexo E (ver sección E.4.2).

Tabla D.17: Distancia promedio establecida para trayectos entre planta postcosecha y puerto de embarque, asociados a la distribución de fruta de exportación. Elaboración propia a partir de datos extraídos de Google Maps y [97].

Región	Destino	Distancia promedio [km]
Arica y Parinacota	San Antonio	2.027,0
Tarapacá	San Antonio	1.810,0
Antofagasta	San Antonio	1.628,0
Atacama	San Antonio	827,0
Coquimbo	San Antonio	438,0
Valparaíso	Puerto Valparaíso	80,5
Metropolitana	Puerto Valparaíso	129,5
O'Higgins	Puerto San Antonio	157,0
Maule	Puerto San Antonio	215,0
Biobío	Puerto Valparaíso	629,0
Ñuble	Puerto Valparaíso	522,5
Araucanía	Puerto Coronel	257,5
Los Ríos	Puerto Valparaíso	1.009,0
Los Lagos	Puerto San Antonio	987,0
Aysén	Puerto San Antonio	1.790,0
Magallanes y Antártica	Puerto Valparaíso	3.113,0

Para el trayecto asociado al retiro del contenedor y su posterior transporte desde el depósito de contenedores se asume que el depósito de contenedores está ubicado en las cercanías al puerto de embarque. Lo anterior, considerando que son las navieras las que suelen prestar el servicio de transporte de contenedores y que estas se coordinan con los depósitos existentes para el retiro y posterior embarque. Esta información fue confirmada con la Gerencia de Operaciones de la empresa "Frusan", a fin de validar el supuesto tomado.

A partir de lo mencionado la cadena logística de exportación se simplifica asumiendo que inicia en el depósito de contenedores y que la distancia existente entre el depósito y el puerto es despreciable, por lo que en definitiva, el semirremolque recorre las distancias establecidas en la Tabla D.17 de ida hacia la planta y de vuelta hacia el puerto.

D.3.1.4 Puerto nacional - Puerto internacional

La estimación de las distancias entre puertos considera los tres principales puertos de destino de la fruta de exportación: i) Filadelfia (Estados Unidos); ii) Rotterdam (Unión Europea) y; iii) Shanghái (China) [86,87]. Las rutas marítimas establecidas entre los distintos puertos nacionales y los puertos de destino fueron estimadas a partir del servicio en línea "Marine Traffic", que permite visualizar las diferentes rutas y distancias entre puertos del mundo [161]:

Tabla D.18: Distancia entre puertos de embarque chilenos y puertos de destino. Elaboración propia a partir de [161].

Puerto de origen	Distancia a puerto [km]		
	Filadelfia	Rotterdam	Shanghái
Puerto Arica	7.285	12.557	18.542
Puerto Iquique	7.408	12.725	18.603
Puerto Antofagasta	7.662	12.934	18.691
Puerto Caldera	7.978	13.250	19.246
Puerto Coquimbo	8.240	13.512	19.511
Puerto Valparaíso	8.551	13.867	19.615
Puerto San Antonio	8.624	13.938	19.078
Puerto Lirquén	8.900	14.241	19.632
Puerto San Vicente	8.914	14.207	19.175
Puerto Montt	9.600	14.913	20.714
Puerto Chacabuco	15.645	16.358	23.705
Puerto Punta Arenas	11.185	13.836	18.159
Puerto Coronel	8.950	14.222	18.883

Una vez cuantificadas todas las distancias y rendimientos de los medios de transporte utilizados en la cadena de distribución de la fruta, es posible estimar el combustible utilizado en esta etapa y, posteriormente, estimar las emisiones de GEI asociadas. Dicho procedimiento se muestra a continuación.

D.3.2 Emisiones por uso de energía

El cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a la etapa de distribución consideradas contempla exclusivamente las emisiones asociadas al consumo de combustibles. De esta forma, la lógica de cálculo se remite principalmente al uso de la ecuación (D.13), donde la principal variable a determinar corresponde al factor de emisión asociado a la distribución de la clase representativa analizada. Este factor se compone a partir de la ponderación de factores de emisión específicos de exportación y de consumo interno, según la distribución porcentual del destino comercial de cada clase representativa (ver estimación en el Anexo E, secciones E.1.7 y E.4.6).

Los factores de emisión asociados al Consumo Interno y a la Exportación de fruta se obtienen determinando, para cada tramo de la cadena de distribución y para cada clase representativa de la actividad frutícola, un Factor de Emisión específico. La ecuación (D.29) presenta la lógica de construcción del Factor de Emisión asociado a la etapa de distribución:

$$FE_{distribución,c,i}^z = \sum_t FE_{distribución,t,i}^z \quad (D.29)$$

Donde:

- $FE_{distribución,c,i}^z$: Factor de Emisión de la clase representativa "i" en la macrozona "z" para la distribución según el destino comercial "c" (con "c" equivalente a Consumo Interno o Exportación, según corresponda) [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $FE_{distribución,t,i}^z$: Factor de Emisión de la clase representativa "i" en la macrozona "z" para el tramo "t" de la ruta de distribución (con "t" perteneciente a la ruta definida según el destino comercial "c") [kg CO₂eq/kg fruta consumible]

El factor de emisión asociado a cada clase representativa para los distintos tramos “t” se obtiene adaptando la ecuación (D.15):

$$FE_{distribución,t,i}^z = \sum_j FE_t^j \cdot p_{i,j,z} \quad (D.30)$$

Donde:

- $FE_{distribución,t,i}^z$: Factor de Emisión de la clase representativa “i” en la macrozona “z” para el tramo “t” de la ruta de distribución [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- FE_t^j : Factor de Emisión específico en la región “j” para el tramo “t” de la ruta de distribución [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $p_{i,j,z}$: Ponderador de la participación de la región “j” en la producción de la clase representativa “i” dentro de la macrozona “z” (adimensional)

Es preciso destacar que la ecuación (D.30) es válida para los tramos pertenecientes al territorio nacional. Específicamente, para el transporte marítimo definido entre el puerto de origen y de destino, se considera que el trayecto puerto-puerto más representativo para la respectiva macrozona depende, más que de la producción regional, del viaje promedio realizado en la macrozona estudiada, que se asocia al puerto de origen con mayor participación en la macrozona estudiada. Para este trayecto en particular se utiliza la ecuación:

$$FE_{distribución,P-P,pi}^z = \sum_j FE_t^j \cdot p_{po,z} \quad (D.31)$$

Donde:

- $FE_{distribución,P-P,pi}^z$: Factor de Emisión asociado a la macrozona “z” para el tramo Puerto-Puerto de la ruta de distribución hacia el puerto internacional “pi” [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- FE_t^j : Factor de Emisión específico en la región “j” para el tramo “t” de la ruta de distribución (definido por el puerto de destino “pi”) [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $p_{po,z}$: Ponderador de la participación del puerto de origen “po” respecto al total de puertos de origen en la macrozona “z” (ver estimación en Anexo E, sección E.4.6.)

El término FE_t^j presente en las ecuaciones (D.30) y (D.31) es un factor por determinar y su cálculo se remite a la multiplicación de la distancia recorrida en el tramo “t” por un factor de emisión específico asociado a cada vehículo utilizado, por kilómetro recorrido ([kg CO₂eq/(kg fruta producida km)]):

$$FE_t^j = FE_{v,t} \cdot D_t^j \quad (D.32)$$

Donde:

- FE_t^j : Factor de Emisión específico en la región “j” para el tramo “t” de la ruta de distribución [kg CO₂eq/kg fruta consumible]
- $FE_{v,t}$: Factor de Emisión Específico por kilómetro recorrido en el vehículo “v” definido para el tramo “t” [kg CO₂eq/(kg fruta consumible km)]
- D_t^j : Distancia del tramo “t” definido para la región “j” [km]

A su vez, el término $FE_{v,t}$ se determina considerando la lógica de las ecuaciones (D.11) y (D.12), que se adapta considerando el consumo de combustible del vehículo “v” utilizado en el tramo “t” y los respectivos Factores de Emisión asociados a los distintos Gases de Efecto Invernadero, que se transforman a la unidad de CO₂eq utilizando el Potencial de Calentamiento Global de cada GEI:

$$FE_{v,t} = \frac{\sum_g FE_{g,k} \cdot PCG_g}{R_{k,v} \cdot C_v} \quad (D.33)$$

Donde:

- $FE_{v,t}$: Factor de Emisión Específico por kilómetro recorrido en el vehículo “v” definido para el tramo “t” [kg CO₂eq/(kg fruta consumible km)]
- $FE_{g,k}$: Factor de Emisión del GEI “g” asociado al combustible “k” [kg GEI/TJ] (factor por defecto del IPCC)
- PCG_g : Potencial de Calentamiento Global del GEI “g” [kg CO₂eq/kg GEI]
- $R_{k,v}$: Rendimiento del combustible “k” en el vehículo “v” [km/TJ]
- C_v : Capacidad del vehículo “v” [kg fruta consumible]

A continuación se detallan algunas consideraciones metodológicas respecto al procedimiento seguido.

En primer lugar, las emisiones consideradas para un viaje en específico dependen exclusivamente del combustible utilizado, lo que se enlaza directamente con la distancia recorrida a través del rendimiento del vehículo, pero no necesariamente con la masa transportada. En este sentido ¿qué utilidad tiene definir y utilizar un factor como $FE_{v,t}$? ¿Cambian las emisiones del viaje si el vehículo completa su capacidad en relación a un viaje a media capacidad? Estas preguntas buscan orientar al lector en torno a la pertinencia y cuidado en el uso de este factor. En términos metodológicos, el uso de $FE_{v,t}$ permite aproximar las emisiones del sector en la medida que los viajes realizados consideren el transporte a máxima capacidad (pues es el factor másico que permite construir este término). Si los viajes no son realizados bajo estas condiciones, el cálculo de las emisiones específicas estará subestimado y será preciso reconstruir $FE_{v,t}$ para una mejor aproximación. Así, para efectos de este estudio, se asume que los viajes realizados durante la etapa de distribución se realizan a máxima capacidad.

En segundo lugar, para el análisis de emisiones de GEI se contempla la obtención de dos factores de emisión asociados a la distribución: uno asociado al consumo interno; y otro asociado a la exportación. Específicamente para el caso de la exportación, el factor de emisión genérico asociado se construye considerando los tres destinos presentados en la Tabla D.18, cuyos factores de emisión específicos se ponderan según la contribución porcentual de cada destino a las exportaciones del sector Silvoagropecuario (ver Anexo E, sección E.4.5).

Finalmente, es preciso destacar que el consumo de combustibles a lo largo de la cadena de distribución no se remite únicamente al consumo dado por los motores de los vehículos, sino que también por los generadores asociados a los contenedores refrigerados. El procedimiento de cálculo es análogo para los contenedores y estas emisiones se incluyen en los Factores de Emisión Específicos que consideran la existencia de la cadena de frío a lo largo de la distribución de los productos, vale decir, el factor de emisión específico de un semirremolque portacontenedor considera la suma de las emisiones del semirremolque y del contenedor, normalizada por la capacidad del contenedor.

A modo de resumen del cálculo de emisiones derivadas del consumo energético en la etapa de distribución, se presentan los pasos seguidos a nivel general:

1. Definir un Factor de Emisión Específico por kilómetro recorrido para cada vehículo involucrado en la ruta de distribución, basándose en el rendimiento y capacidad de cada uno ([kg GEI/kg fruta consumida km]).
2. Determinar un Factor de Emisión Específico a nivel regional para los respectivos tramos de la ruta según sea el destino de la fruta (Consumo Interno o Exportación). Para esto, utilizar la ecuación (D.32), las distancias recorridas y vehículos utilizados disponibles en la sección D.3.1., según corresponda.
3. Generalizar el Factor de Emisión Específico de cada tramo para cada macrozona y clase representativa, utilizando la ecuación (D.30).
4. Definir un Factor de Emisión Específico para cada macrozona según el destino de la fruta (Consumo Interno o Exportación) considerando todos los tramos de la ruta asociada (ver Ecuación (D.29)).
5. Para cada macrozona, ponderar los Factores de Emisión Específicos asociados al Consumo Interno y a la Exportación según el porcentaje de fruta que es destinada a estas categorías.
6. Calcular las emisiones a nivel nacional asociadas a esta categoría, utilizando la ecuación (D.13).

Anexo E. Datos para la caracterización de procesos productivos y Memorias de Cálculo

E.1 Datos transversales

E.1.1 Potencial de Calentamiento Global

Tabla E.1: Potencial de Calentamiento Global a 100 años. Extraído de [162].

Especie	Fórmula Química	PCG a 100-años	
		AR4	AR5
Dióxido de Carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	25	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	298	265

E.1.2 Factores de emisión

E.1.2.1 *Combustibles*

A continuación se presentan los factores de emisión utilizados en el presente estudio. Específicamente, aquellos asociados a la combustión móvil y estacionaria:

Tabla E.2: Factores de emisión por defecto para las fuentes y maquinaria móviles todo terreno (agricultura). Extraído de [98].

Factores de emisión por defecto para las fuentes y maquinaria móviles todo terreno [kg/TJ]			
Fuente todo terreno: Agricultura	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diésel	74.100	4,15	28,6
Motor de 4 tiempos a gasolina	69.300	80	2
Motor de 2 tiempos a gasolina	69.300	140	0,4

Tabla E.3: Factores de emisión por defecto para transporte marítimo. Extraído de [98].

Factores de emisión por defecto para transporte marítimo [kg/TJ]			
Tipo de combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina	69.300	0	0
Otro queroseno	71.900	0	0
Gas/Diésel	74.100	0	0
Fuelóleo residual	77.400	0	0
Gases licuados del petróleo	63.100	0	0
Gas de Refinería	57.600	0	0
Ceras de parafina	73.300	0	0
Espíritu blanco y SBP	73.300	0	0
Otros productos del petróleo	73.300	0	0
Gas natural	56.100	0	0
Transatlánticos		7	2

Tabla E.4: Factores de emisión por defecto para combustión estacionaria. Extraído de [98].

Factores de emisión por defecto para combustión estacionaria [kg/TJ]			
Tipo de combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas/Diésel	74.100,0	10,0	0,6
Gases Licuados de Petróleo (GLP)	63.100,0	5,0	0,1

E.1.2.2 Fertilizantes

Los factores de emisión asociados a la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo fueron obtenidos a partir de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Tabla E.5: Factores de emisión asociados a la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo. Elaborado a partir de [157].

Emisiones	Detalle	Factor de emisión	Unidad
Directas	Emisiones por aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo.	0,0100	[kg N ₂ O-N/kg N aplicado]
	Emisiones de CO ₂ por fertilización con Urea.	0,2000	[kg C-CO ₂ /kg Urea]
	Emisiones de CO ₂ por encalado con piedra caliza.	0,1200	[kg C-CO ₂ /kg piedra caliza]
	Emisiones de CO ₂ por encalado con dolomita.	0,1300	[kg C-CO ₂ /kg dolomita]
Indirectas	Volatilización y redeposición.	0,0100	[kg N ₂ O-N/kg N volatilizado]
	Lixiviación/escurrimiento.	0,0075	[kg N ₂ O-N/kg Lixiviación/escurrimiento.]

Para la conversión de las unidades de la Tabla E.5 a unidades de emisión de N₂O y CO₂ según sea el caso, se utiliza la relación entre pesos moleculares del nitrógeno molecular o carbono y el óxido nitroso o dióxido de carbono, según corresponda, dicho de otra forma, la conversión estará dada por las siguientes ecuaciones:

$$kg N_2O = kg N_2O - N \cdot \frac{44}{28} \quad (E.1)$$

$$kg CO_2 = kg C - CO_2 \cdot \frac{44}{12} \quad (E.2)$$

Utilizando estas conversiones, los factores de emisión utilizados en los cálculos de este documento se presentan a continuación:

Tabla E.6: Factores de emisión asociados a la fertilización en suelos agrícolas según tipo de GEI. Elaboración propia a partir de [157].

Emisiones	Detalle	Factor de emisión	Unidad
Directas	Emisiones por aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo.	0,016	[kg N ₂ O/kg N aplicado]
	Emisiones de CO ₂ por fertilización con Cal y Urea.	0,730	[kg CO ₂ /kg Urea]
Indirectas	Volatilización y redeposición.	0,016	[kg N ₂ O/kg N volatilizado]
	Lixiviación/escorrimento.	0,012	[kg N ₂ O/kg N lixiviación/escorrimento]

E.1.2.3 Residuos

Los factores de emisión asociados a las diferentes opciones de disposición de los residuos agrícolas se obtienen a partir de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Tabla E.7: Factores de emisión para distintos tipos de combustión. Debe utilizarse como $G_{ef,g}$ en las ecuaciones (D.23) y (D.24). Extraído de [159].

Categoría	[kg GEI/kg materia seca combustionada]				
	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
Sabana y pastizales	1,613	0,065	0,0023	0,00021	0,0039
Residuos agrícolas	1,515	0,0092	0,0027	0,00007	0,0025
Quemado de biocombustible	1,55	0,078	0,0061	0,00006	0,0011

E.1.3 Poder calorífico y densidades de combustibles

Tabla E.8: Poder calorífico inferior de combustibles analizados en este estudio. Extraído de [163].

Combustible	Valor Calórico Neto [TJ/Gg]
Diésel	41,4
Fuelóleo residual	39,8

* El Valor Calórico Neto corresponde a la nomenclatura utilizada por el IPCC para definir el Poder Calorífico Inferior

Tabla E.9: Densidad de combustibles analizados en este estudio. Extraído de [164]

Combustible	Densidad [t/m ³]	Densidad [g/L]
Diesel	8,4 E-01	840,00
Fuel Oil N°6	9,5 E-01	945,00
Gas Natural	6,5 E-04	0,65

E.1.4 Fraciones de volatilización y lixiviación de nitrógeno

El cálculo de emisiones indirectas contempla el uso de fracciones de nitrógeno volatilizado y/o lixiviado a partir de la aplicación de nitrógeno al suelo en forma de fertilizantes. Estos parámetros son obtenidos a partir de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y se muestran a continuación:

Tabla E.10: Fracciones de nitrógeno volatilizado y lixiviado tras la aplicación de nitrógeno al suelo. Elaborado a partir de [157].

Factor	Valor	Unidad
Fracción de nitrógeno de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH ₃ y NO _x	0,1	[kg N volatilizado/kg N aplicado]
Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (FON) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo que se volatiliza como NH ₃ y NO _x	0,2	[kg N volatilizado/kg N aplicado]
Fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento	0,3	[kg N _{lixiviación/escurrimiento} /kg N aplicado]

E.1.5 Composición de fertilizantes nitrogenados

La siguiente tabla presenta la fracción másica de nitrógeno presente en distintos tipos de fertilizantes aplicados a suelos agrícolas. Estos valores son utilizados para el cálculo de emisiones de N₂O derivadas de la fertilización de suelos.

Tabla E.11: Fracción de nitrógeno para diferentes fertilizantes nitrogenados. Elaboración propia a partir de las referencias especificadas.

Fertilizante nitrogenado	Fracción másica de nitrógeno	Referencia	Observación
Urea (solución, perlada, foliar)	0,460	[165]	
Nitrato de Potasio (Ultrasol K)	0,137	[166,167]	Si bien se reportan dos fichas con una diferencia de un 5%, se toma el valor de Ultrasol K al ser un fertilizante ampliamente utilizado según las fichas técnicas.
Nitrato de Calcio/Salitre potásico	0,155	[168,169]	

Nitrato de Amonio	0,345	[170][171]	
Nitrofoska	0,150	[172]	
Ultrasol Map	0,120	[173]	
Guano/Compost	0,026	[174]	Se tomó el valor promedio del aporte de N de los guanos reportados.
Novatec	0,120	[175]	

E.1.6 Producción de las clases representativas por región y por macrozona

Tabla E.12: Producción y superficie sembrada agrupada según clases representativas del subsector frutícola.

	Superficie sembrada de la clase [ha]	Producción anual de la clase [t]
Arica y Parinacota	966	10.519
Mandarina	263	3.886
Manzana	3	18
Palta	683	6.478
Uva de mesa	2	46
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	15	90
Tarapacá	245	5.269
Mandarina	241	5.243
Manzana	1	8
Palta	0	0
Uva de mesa	0	1
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	3	19
Antofagasta	45	629
Mandarina	0	0
Manzana	29	533
Palta	12	66
Uva de mesa	0	0
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	5	30
Atacama	9.826	210.424
Mandarina	142	3.071
Manzana	29	115
Palta	2.261	17.782
Uva de mesa	6.836	180.102
Uva pisquera	500	8.998
Uva vinífera	59	356
Coquimbo	38.494	757.503
Mandarina	6.418	231.767
Manzana	4.407	29.098
Palta	8.194	101.495
Uva de mesa	8.159	217.846

Uva pisquera	8.211	147.804
Uva vinífera	3.104	29.492
Valparaíso	59.438	991.983
Mandarina	5.269	191.101
Manzana	12.889	169.006
Palta	20.270	271.661
Uva de mesa	11.190	266.934
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	9.819	93.281
Metropolitana	64.724	868.438
Mandarina	6.440	155.486
Manzana	28.936	304.656
Palta	9.095	108.982
Uva de mesa	7.997	182.877
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	12.257	116.437
O'Higgins	130.930	2.641.294
Mandarina	6.997	415.453
Manzana	58.666	1.431.770
Palta	6.168	70.178
Uva de mesa	13.454	358.728
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	45.646	365.165
Maule	128.991	2.018.033
Mandarina	3.855	124.919
Manzana	55.897	1.375.265
Palta	5.155	51.759
Uva de mesa	11.466	45.153
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	52.617	420.937
Ñuble	14.185	308.223
Mandarina	329	18.732
Manzana	10.802	271.943
Palta	109	2.035
Uva de mesa	2.944	15.512
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	0	0
Biobío	18.121	184.132
Mandarina	49	2.113
Manzana	4.740	76.126
Palta	23	111
Uva de mesa	1.032	7.561
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	12.278	98.221
Araucanía	14.519	285.847

Mandarina	17	449
Manzana	7.379	238.814
Palta	10	13
Uva de mesa	7.034	45.942
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	79	628
Aysén	240	2.457
Mandarina	0	0
Manzana	240	2.457
Palta	0	0
Uva de mesa	0	0
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	0	0
Los Ríos	3.993	55.324
Mandarina	37	6.248
Manzana	2.689	44.316
Palta	0	0
Uva de mesa	1.267	4.761
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	0	0
Los Lagos	2.571	24.451
Mandarina	0	0
Manzana	1.681	21.299
Palta	0	0
Uva de mesa	890	3.151
Uva pisquera	0	0
Uva vinífera	0	0
Magallanes	0	0
Mandarina	0	0
Manzana	0	0
Palta	0	0
Uva de mesa	0	0
Uva vinífera	0	0
Total general	487.287	8.364.527

Tabla E.13: Contribución regional a la producción de las distintas clases representativas en las respectivas macrozonas.

Región	Macrozona	Manzano		Palto		Mandarino		Uva mesa		Uva vinífera		Uva pisquera	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Arica y Parinacota	Norte	18	0,01%	6.478	2%	3.886	1%	46	0%	90	0%	0	0,00%
Tarapacá	Norte	8	0,00%	0	0%	5.243	1%	1	0%	19	0%	0	0,00%
Antofagasta	Norte	533	0,27%	66	0%	0	0%	0	0%	30	0%	0	0,00%
Atacama	Norte	115	0,06%	17.782	4%	3.071	1%	180.102	27%	356	0%	8.998	5,74%
Coquimbo	Norte	29.098	14,64%	101.495	26%	231.767	53%	217.846	33%	29.492	24%	147.804	94,26%
Valparaíso	Norte	169.006	85,02%	271.661	68%	191.101	44%	266.934	40%	93.281	76%	0	0,00%

Total Norte		198.778	100%	397.482	100%	435.068	100%	664.928	100%	123.268	100%	156.802	100%
Metropolitana	Centro	304.656	9,00%	108.982	47%	155.486	22%	182.877	30%	116.437	13%	0	0,00%
O'Higgins	Centro	1.431.770	42,31%	70.178	30%	415.453	58%	358.728	60%	365.165	40%	0	0,00%
Maule	Centro	1.375.265	40,64%	51.759	22%	124.919	17%	45.153	7%	420.937	47%	0	0,00%
Ñuble	Centro	271.943	8,04%	2.035	1%	18.732	3%	15.512	3%	0	0%	0	0,00%
Total Centro		3.383.634	100%	232.954	100%	714.591	100%	602.270	100%	902.539	100%	0	0%
Biobío	Sur	76.126	19,88%	111	89%	2.113	24%	7.561	12%	98.221	99%	0	0,00%
Araucanía	Sur	238.814	62,35%	13	11%	449	5%	45.942	75%	628	1%	0	0,00%
Los Ríos	Sur	44.316	11,57%	0	0%	6.248	71%	4.761	8%	0	0%	0	0,00%
Los Lagos	Sur	21.299	5,56%	0	0%	0	0%	3.151	5%	0	0%	0	0,00%
Aysén	Sur	2.457	0,64%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,00%
Magallanes	Sur	0	0,00%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,00%
Total Sur		383.012	100%	124	100%	8.810	100%	61.415	100%	98.850	100%	0	0%
Total País		3.965.425		630.561		1.158.469		1.328.614		1.124.657		156.802	

A = Producción [t fruta/año]

B = Contribución porcentual de la región a la producción de la clase representativa en la macrozona

E.1.7 Estimación del porcentaje de exportación de fruta respecto a la producción nacional

El porcentaje de fruta que es exportada respecto a la producción nacional es utilizado en diferentes cálculos para la generalización de parámetros como Factores de Emisión, de Consumo, etc. asociados a productos frutícolas a nivel nacional. En la sección precedente se encuentra la estimación de la producción a nivel nacional de las diferentes frutas cultivadas en el territorio nacional, por lo que para obtener el porcentaje de fruta exportada, solo resta estimar qué fracción del total es exportada.

Para estimar el % de exportación para cada clase representativa se utilizaron las cifras oficiales de exportación reportadas por la Asociación de Exportadores de fruta de Chile (ASOEX) de la temporada 2018-2019, información que se muestra en la tabla a continuación:

Tabla E.14: Toneladas exportadas según especie frutal. Temporada 2018-2019. Extraído de [176].

Fruta	Toneladas Exportadas
Manzanas	707.382
Uva de Mesa	653.877
Cerezas	179.928
Kiwis	163.723
Paltas	159.475
Ciruelas	155.419
Peras	128.690
Mandarinas	114.260
Arándanos	111.058
Naranjas	99.566
Limones	94.891
Nectarines	66.889
Clementinas	50.477
Duraznos	29.418
Granadas	3.476
Otras	6.177

Debido a que en este estudio se trabaja con clases representativas y no especie a especie, la información presente en la Tabla E.15 se agrupa según la pertenencia de cada especie frutal a su respectiva categoría de clase representativa. Adicionalmente, considerando las cifras de producción anual a nivel nacional para cada clase, (disponible en la Tabla E.13) se procede a calcular la fracción másica de fruta exportada para cada representativa, resultando en lo siguiente:

Tabla E.15: Fracción másica de exportación de fruta por clase representativa. Elaboración propia.

Clase representativa	Masa exportada [t]	Producción Nacional [t]	Fracción exportación [t exportadas/t producidas]	% de exportación
Manzana	1.380.328	3.965.425	0,35	35%
Palta	164.495	630.561	0,26	26%
Mandarina	524.461	1.158.469	0,45	45%
Uva de Mesa	655.421	1.328.614	0,49	49%
Total	2.724.705	7.083.069	0,38	38%

Se debe destacar que, para efectos del cálculo del porcentaje de exportación asociado al total de fruta, se consideran únicamente aquellas clases representativas que se destinan a consumo interno inmediato o a exportación. En otras palabras, las clases representativas de *uva pisquera* y *uva vinífera*, no se incluyen en el cálculo, considerando que se trata de productos intermedios y no se destinan directamente al consumo interno o exportación hasta que el producto final se encuentra elaborado. Con lo anterior, el análisis de destino de cada fruta por macrozona se expone a continuación (Tabla E.16):

Tabla E.16: Distribución porcentual del consumo de fruta por macrozona. Se considera la fruta de consumo inmediato, obviando las clases representativas asociadas a las uvas vinífera y pisquera. Elaboración propia.

	Total producción [t]	Fruta destinada a Consumo interno/Exportación [t]	Fruta exportada	% exportación	% consumo Interno
Norte	1.976.327	1.696.257	694.513	41%	59%
Centro	5.835.988	4.933.449	1.861.518	38%	62%
Sur	552.212	453.362	168.145	37%	63%

E.1.8 Densidad de plantación y rendimiento promedio de clases representativas por región

Para cálculos posteriores es necesario considerar el rendimiento promedio por hectárea para los diferentes cultivos representativos. Si bien en el Capítulo 2 estos datos fueron obtenidos del catastro frutícola más actualizado a la fecha, dada la disponibilidad de información existen ciertos cálculos que requieren conocer la densidad de plantación (plantas por hectárea), dato que no se encontró en dicho catastro. Con el objetivo de presentar consistencia en los datos utilizados que requieran de este tipo de datos, se reportan a continuación los rendimientos marcos de plantación promedios reportados en las fichas técnico-económicas de la CNR, con la salvedad de que corresponden a datos del año 2012 y que podrían tener cierta variación respecto a la actualidad.

Tabla E.17: Densidad de plantación para cultivos representativos del estudio. Elaboración propia a partir de [154].

Región	Densidad de plantación [plantas/ha]					
	Manzano	Palto	Mandarino	Uva de mesa	Vid vinífera	Vid pisquera

Promedio	585	357	555	949	3.701	1.111
Arica	585	357	555	949	3.701	1.111
Tarapacá	585	357	555	949	3.701	1.111
Antofagasta	585	357	555	949	3.701	1.111
Atacama	585	357	555	1.111	3.701	1.111
Coquimbo	585	357	555	1.111	4.545	1.111
Valparaíso	585	357	555	949	3.701	1.111
Metropolitana	585	357	555	625	3.086	1.111
O'Higgins	794	357	555	949	2.990	1.111
Maule	476	357	555	949	4.182	1.111
Ñuble	476	357	555	949	3.701	1.111
Biobío	476	357	555	949	3.701	1.111
Araucanía	539	357	555	949	3.701	1.111
Los Ríos	666	357	555	949	3.701	1.111
Los Lagos	666	357	555	949	3.701	1.111
Aysén	585	357	555	949	3.701	1.111
Magallanes	585	357	555	949	3.701	1.111

Se debe destacar que aquellas celdas coloreadas corresponden a aproximaciones en torno a densidades promedio calculadas desde las fichas disponibles que presentan los datos específicos de densidad de plantación para los diferentes cultivos.

A continuación se presentan los rendimientos asociados a la densidad de plantación presentada en la Tabla E.17. Estos datos fueron utilizados en aquellos pasajes donde se utilizó información de las fichas técnico-económicas de la CNR y difieren a los utilizados en el Capítulo 2. En este sentido, para efectos de extrapolar las emisiones del sector a nivel nacional, se considera la producción y superficie plantada más actualizada (ver Anexo E, sección E.1.6), sin embargo, para efectos del cálculo de factores de consumo o de emisión por kilogramo de fruta donde se utiliza la información proveniente de la Comisión Nacional de Riego, se utilizan los rendimientos de dichas fichas a fin de conservar la consistencia de la información utilizada.

Tabla E.18: Rendimiento por hectárea para cultivos representativos del estudio. Año 2012. Elaboración propia a partir de [154].

Región	Rendimiento [kg/ha]					
	Manzano	Palto	Mandarino	Uva de mesa	Vid vinífera	Vid pisquera
Promedio	54.536	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Arica	54.536	13.636	20.000	21.500	5.000	24.000
Tarapacá	54.536	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Antofagasta	54.536	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Atacama	54.536	14.000	20.000	16.250	10.571	24.000
Coquimbo	54.536	14.429	20.000	20.250	12.000	24.000
Valparaíso	54.536	12.750	20.000	21.000	12.000	24.000
Metropolitana	54.536	15.000	20.000	22.000	10.000	24.000
O'higgins	65.000	12.000	20.000	28.000	12.333	24.000
Maule	53.750	13.636	20.000	21.500	12.167	24.000
Ñuble	55.000	13.636	20.000	21.500	10.500	24.000

Biobío	52.500	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Araucanía	47.500	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Los Ríos	54.000	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Los Lagos	54.000	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Aysén	54.536	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000
Magallanes	54.536	13.636	20.000	21.500	10.571	24.000

Al igual que en la Tabla E.17, los elementos destacados corresponden a aproximaciones según el rendimiento promedio de aquellas regiones con las que se cuenta con datos precisos.

E.2 Cultivo en el campo

E.2.1 Consumo Hídrico

E.2.1.1 Evapotranspiración de Referencia y Precipitaciones Reales

Precipitaciones brutas y efectivas por región

A partir de las bases de datos de precipitaciones del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia [177], se obtuvo la media mensual de las precipitaciones acumuladas para las distintas regiones de Chile. Para cada región se consideró la estación meteorológica ubicada en la provincia más cercana al centro de la región y que tuviera la mayor cantidad de datos disponibles. En caso de que la estación no contara con la totalidad de datos de la serie temporal, estos fueron completados a partir de datos de la estación más cercana. No obstante, corresponden a casos puntuales que pueden corroborarse directamente en la base de datos del CR2.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que, si bien la Dirección Meteorológica de Chile cuenta con información histórica de las precipitaciones mensuales, se considera que la última década representa mejor la tendencia del fenómeno, considerando el efecto del Cambio Climático sobre el nivel y la frecuencia de las lluvias en los diferentes territorios.

Tabla E.19: Media mensual de las precipitaciones acumuladas por región. Serie temporal 2010-2019. Elaborado a partir de [177]

Media Mensual de Precipitaciones acumuladas (2010-2019) [mm/mes]															
Región	Estación (Código)	Estación (Nombre)	Provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arica y Parinacota	180005	Chacalluta Arica Ap.	Arica	0,02	0,59	0,18	0,00	0,00	0,17	0,51	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00
Tarapacá	200006	Diego Aracena Iquique Ap.	Iquique	0,03	0,00	0,03	0,44	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00
Antofagasta	2110013	Calama	El Loa	0,03	1,05	1,58	0,04	0,79	0,38	0,68	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
Atacama	3450004	Copiapo		0,00	0,01	3,28	0,00	2,62	31,66	6,85	1,58	0,38	0,12	0,00	0,00
Coquimbo	4703002	Río Choapa En Cuncumen	Choapa	0,67	0,81	2,02	5,60	30,78	55,73	25,68	25,65	6,89	7,55	5,30	3,60
Valparaíso	5410008	San Felipe	San Felipe	0,36	0,00	1,45	7,26	25,91	36,66	19,27	21,03	9,13	13,69	4,69	6,38
Metropolitana	5711003	Pirque	Maipo	1,15	0,40	2,67	23,76	40,49	65,94	33,69	35,69	14,32	17,23	7,56	7,43
Ohiggins	6016004	San Fernando	Colchagua	1,57	1,06	4,64	30,79	72,51	106,73	77,88	66,08	29,80	30,58	8,16	7,31
Maule	7379002	Río Claro En Rauquen	Linares	2,06	3,17	5,03	22,50	81,98	111,49	92,87	70,17	34,42	30,71	6,96	8,51
Ñuble	360011	Bernardo O'Higgins Chillan Ad.	Ñuble	11,32	23,64	17,44	41,32	106,95	154,74	132,81	134,38	66,40	50,87	29,94	16,62
Biobío	8332002	Mulchen	Biobío	16,83	33,62	45,79	66,58	128,97	211,61	188,49	166,02	96,87	63,45	41,05	29,94
Araucanía	380013	Maquehue Temuco Ad.	Cautín	28,30	36,08	47,46	62,92	127,49	176,49	138,78	136,53	87,22	59,07	37,73	43,22
Los Ríos	10100005	Pirihueico En Pto. Fuy	Valdivia	145,10	141,01	185,36	281,43	420,13	601,87	481,09	542,67	323,74	247,75	182,92	180,37

Los Lagos	10340002	Rupanco	Osorno	59,14	67,82	92,50	129,05	196,26	222,34	198,79	227,09	114,97	97,52	77,24	86,90
Aysén	11533001	Estancia Valle Chacabuco	Coyhaique	13,53	12,26	14,17	43,97	48,24	67,47	34,78	50,50	21,54	16,16	43,79	32,99
Magallanes	12586004	Punta Arenas	Magallanes	31,24	29,42	49,21	55,92	54,22	57,68	47,20	46,54	33,82	28,69	28,95	39,79

Tomando en cuenta los valores de la precipitación bruta y las ecuaciones (D.3) y (D.4) presentadas en la sección D.1.1, se obtienen los siguientes valores para la precipitación efectiva en las diferentes regiones (Tabla E.20):

Tabla E.20: Media mensual de precipitación efectiva en regiones de Chile.

Media Mensual de Precipitación efectiva [mm/mes]													
Región	Provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arica y Parinacota	Arica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tarapacá	Iquique	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Antofagasta	El Loa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atacama		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coquimbo	Choapa	0,00	0,00	0,00	0,00	12,47	27,44	9,41	9,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Valparaíso	San Felipe	0,00	0,00	0,00	0,00	9,55	16,00	5,56	6,62	0,00	2,21	0,00	0,00
Metropolitana	Maipo	0,00	0,00	0,00	8,26	18,29	33,56	14,21	15,41	2,59	4,34	0,00	0,00
Ohiggins	Colchagua	0,00	0,00	0,00	12,47	37,50	65,38	42,30	33,65	11,88	12,35	0,00	0,00
Maule	Linares	0,00	0,00	0,00	7,50	45,58	69,19	54,30	36,10	14,65	12,43	0,00	0,00
Ñuble	Ñuble	0,79	8,18	4,46	18,79	65,56	103,79	86,25	87,50	33,84	24,52	11,96	3,97
Biobío	Biobío	4,10	14,17	21,47	33,95	83,18	149,29	130,79	112,82	57,50	32,07	18,63	11,96
Araucanía	Cautín	10,98	15,65	22,48	31,75	81,99	121,19	91,02	89,22	49,78	29,44	16,64	19,93
Los Ríos	Valdivia	96,08	92,81	128,29	205,14	316,10	461,50	364,87	414,14	238,99	178,20	126,34	124,30
Los Lagos	Osorno	29,48	34,69	54,00	83,24	137,01	157,87	139,03	161,67	71,98	58,02	41,79	49,52
Aysén	Coyhaique	2,12	1,36	2,50	20,38	22,94	34,48	14,87	24,30	6,92	3,70	20,27	13,79
Magallanes	Magallanes	12,74	11,65	23,53	27,55	26,53	28,61	22,32	21,92	14,29	11,21	11,37	17,87

Evapotranspiración de Referencia a nivel regional

Los datos de evapotranspiración de referencia fueron extraídos de estudios de la Universidad de Chile en conjunto con la Comisión Nacional de Riego y el Centro de Agricultura y Medioambiente [178]. Estos estudios utilizan el método de Penman-Monteith [90] para el cálculo de la ET_0 y como referencia se tomaron las comunas pertenecientes a las provincias consideradas para la obtención de datos de precipitaciones brutas expuestas anteriormente, buscando coherencia entre el origen de los datos.

La ecuación de Penman-Monteith se muestra a continuación:

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (E.1)$$

Donde:

- ET_0 : Evapotranspiración de referencia [mm/día]
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo [$MJ m^{-2} día^{-1}$]
- R_a : Radiación extraterrestre [$mm día^{-1}$]
- G : Flujo de calor de suelo [$MJ m^{-2} día^{-1}$]

- T : Temperatura media del aire a 2 metros de altura [°C]
- u_2 : Velocidad del viento a 2 metros de altura [$m s^{-1}$]
- e_s : Presión de vapor de saturación [kPa]
- e_a : Presión real de vapor [kPa]
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor [$kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$]
- γ : Constante psicrométrica [$kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$]

La Tabla E.21 muestra los valores de la evapotranspiración de referencia en las distintas regiones de Chile y épocas del año.

Tabla E.21: Evapotranspiración de referencia para distintas regiones de Chile a lo largo del año.

Región	Provincia	Comuna	ETO [mm/día]											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arica y Parinacota	Arica	Arica	155	131,6	124	99	80,6	69	68,2	77,5	93	117,8	135	151,9
Tarapacá	Iquique	Iquique	155	128,8	124	99	83,7	72	74,4	80,6	96	120,9	135	151,9
Antofagasta	El Loa	Calama	201,5	173,6	176,7	156	139,5	123	142,6	139,5	150	170,5	183	198,4
Atacama	Copiapó		179,8	142,8	127,1	102	89,9	87	89,9	102,3	120	151,9	171	192,2
Coquimbo	Choapa	Salamanca	192,2	159,6	145,7	111	83,7	72	68,2	80,6	102	139,5	165	189,1
Valparaíso	San Felipe	San Felipe	189,1	154	136,4	99	71,3	54	52,7	65,1	90	127,1	156	182,9
Metropolitana	Maipo		179,8	148,4	130,2	90	65,1	48	46,5	58,9	84	117,8	150	176,7
Ohiggins	Colchagua	San Fernando	189,1	154	136,4	93	65,1	48	46,5	58,9	81	120,9	153	182,9
Maule	Linares	San Javier	195,3	156,8	136,4	93	65,1	48	46,5	58,9	81	120,9	153	186
Ñuble	Ñuble	Chillán	186	151,2	130,2	87	58,9	42	43,4	52,7	78	114,7	150	179,8
Biobío	Biobío	Mulchén	161,2	128,8	108,5	72	46,5	33	34,1	43,4	63	96,1	126	155
Araucanía	Cautín	Temuco	145,7	117,6	102,3	66	43,4	30	31	40,3	60	89,9	117	142,6
Los Ríos	Valdivia	Paillaco	127,1	103,6	89,9	63	40,3	30	31	37,2	54	80,6	102	124
Los Lagos	Osorno	Osorno	124	100,8	86,8	57	37,2	27	27,9	37,2	51	80,6	102	120,9
Aysén	Coyhaique	Coyhaique	136,4	112	99,2	69	49,6	36	34,1	43,4	63	89,9	114	133,3
Magallanes	Magallanes	Punta Arenas	111,6	89,6	80,6	54	37,2	27	24,8	34,1	48	71,3	90	108,5

E.2.1.2 Consumo Hídrico: Distribución de los métodos de riego en el territorio nacional

La distribución de los métodos de riego a nivel nacional fue obtenida a partir del catastro frutícola realizado por CIREN, tomándose los datos más actualizados para cada región [179]. El catastro reporta las hectáreas regadas bajo los distintos métodos de riego para cada especie frutal, lo que permitió construir la distribución porcentual de los diferentes métodos en la región para las distintas clases representativas.

Se debe destacar que el tratamiento de los datos se realizó considerando la agrupación de especies en las distintas clases representativas señaladas en la sección

Tabla E.22: Distribución porcentual de los métodos de riego según fruta y región. Elaborado a partir de [179].

Superficie regada [ha]	Distribución porcentual por clase representativa y por región				
	Mandarina	Manzana	Palta	Uva de mesa	Total general
Arica y Parinacota	1,0%	0,0%	1,3%	0,0%	0,3%
Surco	0,9%	0,0%	3,6%	0,0%	2,8%
Tendido	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Microaspersión	3,6%	0,0%	0,9%	0,0%	1,7%
Goteo	80,2%	66,6%	46,5%	100,0%	56,0%
Otros*	15,2%	33,4%	49,0%	0,0%	39,5%
Tarapacá	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
Surco	8,5%	0,0%		0,0%	8,5%
Tendido	11,9%	0,0%		0,0%	11,8%
Microaspersión	13,7%	0,0%		82,4%	13,7%
Goteo	39,0%	31,0%		17,6%	38,9%
Otros*	26,9%	69,0%		0,0%	27,0%
Antofagasta	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Surco					
Tendido					
Microaspersión					
Goteo					
Otros*					
Atacama	0,5%	0,0%	4,4%	10,1%	2,8%
Surco	1,2%	56,2%	3,5%	0,3%	1,2%
Tendido	0,0%	5,5%	23,5%	0,0%	5,8%
Microaspersión	1,0%	0,0%	1,3%	0,0%	0,4%
Goteo	97,8%	38,4%	71,4%	99,5%	92,5%
Otros*	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%
Coquimbo	23,9%	2,4%	15,8%	12,0%	8,2%
Surco	0,3%	12,2%	0,8%	0,4%	2,4%
Tendido	0,0%	0,6%	0,5%	0,0%	0,3%
Microaspersión	0,4%	0,8%	11,8%	0,0%	3,8%
Goteo	98,7%	86,4%	86,7%	99,6%	93,4%
Otros*	0,6%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%
Valparaíso	11,4%	6,7%	38,9%	16,5%	14,1%
Surco	1,4%	25,9%	1,9%	16,1%	11,7%
Tendido	0,5%	0,7%	2,0%	0,1%	1,1%
Microaspersión	12,3%	11,9%	58,4%	0,3%	29,1%
Goteo	85,2%	60,9%	32,5%	83,2%	55,6%
Otros*	0,1%	0,0%	0,6%	0,1%	0,3%
Aspersión	0,5%	0,5%	4,5%	0,2%	2,2%
Metropolitana	20,4%	15,1%	17,5%	11,8%	15,2%
Surco	7,2%	27,3%	3,4%	8,6%	17,9%
Tendido	2,5%	2,1%	2,6%	0,2%	1,9%
Microaspersión	3,3%	10,0%	16,6%	0,1%	8,9%
Goteo	87,0%	60,1%	77,1%	91,1%	71,0%
Otros*	0,0%	0,2%	0,3%	0,0%	0,2%
Aspersión	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
O'Higgins	26,0%	31,5%	11,9%	19,8%	25,6%
Surco	13,5%	26,0%	3,6%	10,0%	20,8%
Tendido	3,3%	5,9%	1,6%	3,8%	5,0%
Microaspersión	23,3%	7,2%	11,5%	0,4%	7,8%
Goteo	59,5%	60,8%	83,3%	85,4%	66,2%

Otros*	0,4%	0,1%	0,0%	0,5%	0,1%
Maule	14,3%	30,0%	9,9%	16,9%	22,9%
Surco	22,0%	18,1%	0,2%	3,7%	14,9%
Tendido	4,8%	3,2%	0,3%	1,0%	2,7%
Microaspersión	62,5%	28,3%	0,2%	6,4%	24,9%
Goteo	10,3%	50,3%	99,3%	88,9%	57,4%
Otros*	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
Ñuble	1,2%	5,6%	0,2%	4,3%	4,1%
Surco	32,4%	14,5%	7,3%	3,3%	12,5%
Tendido	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
Microaspersión	47,3%	12,0%	0,0%	3,0%	10,9%
Goteo	20,2%	71,9%	87,8%	93,6%	75,4%
Otros*	0,2%	1,5%	5,0%	0,1%	1,2%
Biobío	0,2%	2,5%	0,0%	1,5%	1,7%
Surco	45,1%	2,8%	0,0%	1,0%	2,8%
Tendido	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
Microaspersión	47,7%	19,1%	0,0%	6,4%	17,0%
Goteo	7,2%	78,1%	100,0%	92,5%	80,1%
Otros*	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Araucanía	0,1%	3,9%	0,0%	5,3%	3,3%
Surco	26,2%	3,8%	0,0%	2,8%	3,5%
Tendido	26,2%	0,2%	0,0%	1,5%	0,6%
Microaspersión	47,7%	10,9%	0,0%	1,3%	7,7%
Goteo	0,0%	85,2%	100,0%	94,2%	88,1%
Otros*	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Los Ríos	0,1%	1,4%	0,0%	0,8%	1,0%
Surco	0,0%	0,0%		7,1%	1,2%
Tendido	0,0%	0,0%		0,0%	0,0%
Microaspersión	97,8%	21,4%		0,0%	18,6%
Goteo	2,2%	76,5%		92,9%	78,5%
Otros*	0,0%	2,1%		0,0%	1,7%
Los Lagos	0,0%	0,9%	0,0%	0,9%	0,7%
Surco		0,0%		0,0%	0,0%
Tendido		0,0%		0,0%	0,0%
Microaspersión		6,5%		0,0%	4,7%
Goteo		93,5%		100,0%	95,3%
Otros*		0,0%		0,0%	0,0%
Aysén	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
Surco		20,9%			20,9%
Tendido		1,0%			1,0%
Microaspersión		78,1%			78,1%
Goteo		0,0%			0,0%
Otros*		0,0%			0,0%
Magallanes	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Surco					
Tendido					

Microaspersión					
Goteo					
Otros*					
Total general	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

E.2.1.3 Memoria de cálculo: Obtención de factor de consumo hídrico regional y por macrozona

A continuación, el lector o lectora encontrará un ejemplo de cálculo del factor de consumo regional y su posterior uso para el cálculo del factor de consumo de una macrozona. Lo anterior, con el objetivo de facilitar la comprensión de lo descrito en la sección D.1.1.

En este ejemplo, se considerará la clase representativa “manzana”, es decir, se utilizarán los datos asociados a la manzana para representar aquellas frutas que fueron agrupadas en esta misma clase. En primer lugar, se calculará el factor de consumo regional, considerando como ejemplo la región de Arica y Parinacota. Posteriormente, se obtendrá el factor de consumo asociado a la respectiva macrozona (en este caso, macrozona norte).

Para el cálculo del factor de consumo regional se seguirá la lista de pasos expuesta en la sección mencionada anteriormente:

1. Obtención de la Demanda Neta de Riego anual

Siguiendo la ecuación (D.10) y utilizando los datos de las tablas E.20 y E.21, se tiene:

Tabla E.23: Evapotranspiración de Referencia y Media mensual de precipitación efectiva en la región de Arica y Parinacota. Extraído de las tablas E.20 y E.21.

		Media Mensual de Precipitación efectiva [mm/mes]											
Región	Provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arica y Parinacota	Arica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		ETO [mm/mes]											
		155	131,6	124	99	80,6	69	68,2	77,5	93	117,8	135	151,9

Por otro lado, el coeficiente de cultivo de la manzana se encuentra en la Tabla D.1:

Tabla E.24: Coeficiente de cultivo Kc para el manzano. Extraído de la Tabla D.1.

Coeficiente de cultivo Kc													
Especie	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Referencia
Manzano	1	1	0,95	0,7	0	0	0	0	0	0,4	0,6	0,85	[150]

Para un mes en particular, por ejemplo, enero, la demanda hídrica neta de riego será:

$$DHN = 155 \left[\frac{mm}{mes} \right] \cdot 1 - 0 \left[\frac{mm}{mes} \right] = 155 \left[\frac{mm}{mes} \right] \quad (E.3)$$

Procediendo análogamente para el resto de los meses y regiones, y considerando que 1 [mm] de precipitación corresponde a 1 [L/m²] (equivalente a 10.000 [L/ha]) se tienen los siguientes resultados:

Demanda neta anual [L/ha año]	
Región	Manzana

Arica y Parinacota	7.309.350
Tarapacá	7.293.750
Antofagasta	9.988.050
Atacama	8.414.750
Coquimbo	8.834.500
Valparaíso	8.396.710
Metropolitana	7.896.110
Ohiggins	8.085.830
Maule	8.251.170
Ñuble	7.378.100
Biobío	5.529.090
Araucanía	4.871.870
Los Ríos	418.120
Los Lagos	2.617.410
Aysén	5.444.830
Magallanes	3.743.830

2. Obtención de la Demanda Bruta de Riego:

Una vez obtenida la Demanda Neta de riego para la manzana, se procede a calcular la Demanda Bruta o real de Riego. Lo anterior, utilizando la ecuación (D.5) y las eficiencias referenciales presentadas en la Tabla D.2. Por ejemplo, asumiendo un régimen de conducción tradicional, para el caso del riego por surco se tiene una eficiencia referencial del 45%, considerando nuevamente la locación de Arica y Parinacota, lo anterior se traduce en:

$$DHB = \frac{7.309.350 \left[\frac{L}{ha \cdot año} \right]}{0,45} = 16.243.000 \left[\frac{L}{ha \cdot año} \right] \quad (E.4)$$

Procediendo análogamente tanto para los métodos de riego como para las regiones del país, la Demanda Hídrica Bruta anual de la manzana está dada por:

Tabla E.25: Demanda bruta anual para el manzano en distintas regiones de Chile, según método de riego. Elaboración propia.

Región	Demanda bruta anual [L/ha año] según método de riego (manzana)					
	Surco	Tendido	Microaspersión	Aspersión	Goteo	Otros*
Arica y Parinacota	16.243.000	24.364.500	8.599.235	9.745.800	8.121.500	12.182.250
Tarapacá	16.208.333	24.312.500	8.580.882	9.725.000	8.104.167	12.156.250
Antofagasta	22.195.667	33.293.500	11.750.647	13.317.400	11.097.833	16.646.750
Atacama	18.699.444	28.049.167	9.899.706	11.219.667	9.349.722	14.024.583
Coquimbo	19.632.222	29.448.333	10.393.529	11.779.333	9.816.111	14.724.167
Valparaíso	18.659.356	27.989.033	9.878.482	11.195.613	9.329.678	13.994.517
Metropolitana	17.546.911	26.320.367	9.289.541	10.528.147	8.773.456	13.160.183
O'higgins	17.968.511	26.952.767	9.512.741	10.781.107	8.984.256	13.476.383
Maule	18.335.933	27.503.900	9.707.259	11.001.560	9.167.967	13.751.950
Ñuble	16.395.778	24.593.667	8.680.118	9.837.467	8.197.889	12.296.833
Biobío	12.286.867	18.430.300	6.504.812	7.372.120	6.143.433	9.215.150
Araucanía	10.826.378	16.239.567	5.731.612	6.495.827	5.413.189	8.119.783

Los Ríos	929.156	1.393.733	491.906	557.493	464.578	696.867
Los Lagos	5.816.467	8.724.700	3.079.306	3.489.880	2.908.233	4.362.350
Aysén	12.099.622	18.149.433	6.405.682	7.259.773	6.049.811	9.074.717
Magallanes	8.319.622	12.479.433	4.404.506	4.991.773	4.159.811	6.239.717

* Tazas, bordes, platabandas, curvas de nivel, cintas.

Se debe destacar que, al no contar con información desagregada de la distribución de los métodos pertenecientes a la categoría “otros”, la eficiencia de dicha categoría fue considerada como el promedio de los métodos que la conforman, obteniéndose una eficiencia referencial del 60%. Este resultado deriva de que el riego por platabandas, curvas de nivel y cintas presentan eficiencias similares al riego por bordes, surco y goteo, respectivamente [150,180,181].

3. Construcción del ponderador de participación para los métodos de riego (x):

Este ponderador se encuentra disponible en la Tabla E.22. En particular, para la región de Arica y Parinacota, se tiene que un 66,6% del riego de las hectáreas de manzanos es a través del método de riego por goteo, mientras que el 33,4% restante corresponde a otros métodos de riego (por tazas, bordes, platabandas, curvas de nivel, etc.).

4. Ponderación de la Demanda Bruta de Riego según el ponderador obtenido en el paso anterior:

Considerando la distribución porcentual de los métodos de riego del manzano en la región de Arica y Parinacota, se obtiene una Demanda Bruta de Riego promedio a nivel regional, que corresponde a un factor de consumo hídrico por hectárea en cada región.

$$\begin{aligned}
 DHB_{promedio} &= 16.243.000 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0,009 + 24.364.500 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0 + \dots \\
 &\quad 8.599.235 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0 + 9.745.800 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0 + 8.121.500 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0,666 \\
 &\quad + 12.182.250 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot 0,334 \tag{E.5} \\
 &= 9.623.977 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right]
 \end{aligned}$$

El procedimiento es análogo para el resto de las regiones y de las frutas.

5. Transformación del Factor de Consumo hídrico por hectárea sembrada a Factor de Consumo hídrico asociado a la unidad funcional (kilogramo de fruta producida):

Considerando la superficie regada y la producción de las frutas pertenecientes a la clase representativa “manzana”, disponible en la Tabla E.12, es posible cambiar las unidades del factor de consumo:

$$FC_{H_2O,manzana}^{Arica} = 9.623.977 \left[\frac{L}{ha \text{ año}} \right] \cdot \frac{3 [ha]}{18.000 [kg]} = 1.604 \left[\frac{L}{kg} \right] \tag{E.6}$$

De esta manera, el resto de los factores de consumo regionales para las distintas clases y regiones se calcula de manera análoga. Finalmente, para calcular el factor de consumo a nivel de macrozona, es necesario utilizar la ecuación (D.8), para esto, se debe contar con los factores de consumo para cada región perteneciente a

cada macrozona. En el ejemplo, los factores de consumo derivados para la clase representativa “manzana” en las diferentes regiones de la macrozona norte son:

	Factor de consumo de agua de riego [L/kg fruta consumible]
Arica y Parinacota	1.577
Tarapacá	840
Antofagasta	797
Atacama	3.939
Coquimbo	1.686
Valparaíso	911
Metropolitana	1.103
O'Higgins	509
Maule	470
Ñuble	378
Biobío	398
Araucanía	175
Los Ríos	29
Los Lagos	230
Aysén	755

Y a partir de la Tabla E.13 es posible desprender los ponderadores $p_{i,j,z}$ necesarios para utilizar la ecuación (D.8):

$$\begin{aligned}
 FC_{H_2O,manzana}^{Norte} = & 1.577 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0,0001 + 840 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0 + 797 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0,0027 + 3.939 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0 \\
 & + 1.686 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0,1446 + 911 \left[\frac{L}{kg} \right] \cdot 0,8502 = 1.020,64 \left[\frac{L}{kg} \right]
 \end{aligned} \tag{E.7}$$

E.2.2 Emissiones por uso de combustibles

E.2.2.1 *Obtención de fracción de costos asociado al consumo de combustibles*

Como se menciona en la sección D.1.3.1, la estimación del consumo de combustible se basa en diferentes fichas técnicas reportadas por la CNR, que presentan los costos de arriendo de maquinaria mas no el desglose de costos asociado a las diferentes actividades incluidas en dicha categoría (maquinaria, combustible, mano de obra, entre otros gastos determinados por las empresas de servicios [182]). En esta sección se presenta el procedimiento realizado para concluir la fracción de los costos de maquinaria que corresponden al uso de combustible.

En primer lugar, se tiene que el consumo de combustible para un tractor corresponde a 0,16 [L/h HP] [106]. Considerando que entre los años 1997 y 2007 el uso de tractores con una potencia igual o mayor a 90 HP aumentó en un 61% se asume que, en la actualidad, la mayoría de estos equipos son de este tipo, razón por la que para efectos de cálculos se asume un tractor referencial de 90 [HP]. Lo anterior conlleva a que el consumo de combustible a considerar está dado por

$$0,16 \left[\frac{L}{h \cdot HP} \right] \cdot 90 [HP] = 14,4 \left[\frac{L}{h} \right] \quad (E.8)$$

Luego, para estimar el consumo de combustible dependiendo de la operación en el campo, es necesario estimar las horas de trabajo para cada operación. Lo anterior se realiza a partir de la base de precios de maquinaria del sistema de información de costos (estudio contratado por ODEPA) [183], que muestra la eficiencia de operación para cada labor en jornada máquina [JM] (equivalente a 8h) por hectárea:

Tabla E.26: Eficiencia de operación para diferentes labores en el campo (tractor e implemento). Extraído de [183].

Labor	Eficiencia [JM/ha]
Acequiadura	0,16
Aplic. Herbicidas	0,31
Arado de 4 discos de 26"	0,31
Arado de vertederas, 3 rejas	0,31
Arado cincel	0,13
Carro Arrastre (Insumos y otros)	0,10
Carro arrastre 4 toneladas	0,13
Construcción camellones	1,00
Cosechadora papas	1,00
Cultivadora	0,13
Melgadura	0,13
Pala Niveladora	0,44
Pulverizadora 600 L	0,31
Nebulizadora 2.000 L	0,31
Rana	0,13
Rastra Off-Set de 20 discos de 22"	0,16
Rastra tándem de 28 discos de 18"	0,16
Retroexcavadora	1,00
Rotovator	0,13
Sembradora neumática de precisión	1,00

Subsolador	0,50
Surcadura	0,16
Sembradora cerealera	1,00
Zancuda	1,00

A partir de fichas de costo de ODEPA se calcula la fracción de costos de las labores agrícolas asociada al combustible. Por ejemplo, considerando los costos asociados a la maquinaria provenientes de la ficha técnico-económica del manzano en la región del Maule [184]:

Tabla E.27: Costos de la categoría "maquinaria" del cultivo de manzano en la región del Maule. Extracto de [184].

Maquinaria (b)	Época					Valor [\$]
	Época	Cantidad	Unidad	Precio [\$/ha]		
Aplicación fitosanitarios	Anual	8,0	ha	25.000	200.000	
Rastraje	Mayo-octubre	2,0	ha	30.000	60.000	
Melgadura	Mayo-octubre	2,0	ha	25.000	50.000	
Triturar los restos de la poda	Junio-agosto	2,0	ha	40.000	80.000	
Acarreo de insumos e implementos	Anual	1,0	ha	80.000	80.000	
Cosecha: Traslado y carga	Febrero	55.000	kg	5	275.000	
Flete	Febrero	55.000	kg	6	330.000	
Total maquinaria					1.075.000	

Luego, considerando las tablas y es posible concluir las JM necesarias y, dado que una Jornada Máquina corresponde a 8h, es posible extraer las horas de operación asociadas a cada labor, y utilizando el rendimiento de 14,4 [L/h] obtenido en la ecuación (E.8) se obtiene el combustible consumido, lo que se muestra a continuación:

Maquinaria (b)	Época					Valor [\$]	JM necesarias	[h] necesarias	Combustibles [l]
	Época	Cantidad	Unidad	Precio [\$/ha]					
Aplicación fitosanitarios	Anual	8,0	ha	25.000	200.000	2,48	19,84	285,696	
Rastraje	Mayo-octubre	2,0	ha	30.000	60.000	0,32	2,56	36,864	
Melgadura	Mayo-octubre	2,0	ha	25.000	50.000	0,26	2,08	29,952	
Triturar los restos de la poda	Junio-agosto	2,0	ha	40.000	80.000	0,4	3,2	46,08	
Acarreo de insumos e implementos	Anual	1,0	ha	80.000	80.000	0,2	1,6	23,04	
Cosecha: Traslado y carga	Febrero	55.000	kg	5	275.000	0,13	1,04	14,976	
Flete	Febrero	55.000	kg	6	330.000	N/A			
Total maquinaria					1.075.000			436,608	

Posterior a obtener los litros consumidos, se considera el precio del combustible para la región y el año de la ficha técnico-económica para la estimación del costo asociado al consumo de combustible. Para esto se obtuvo

el promedio anual del precio observado para el combustible diésel, a partir de datos de la Comisión Nacional de Energía [185].

Tabla E.28: Promedio anual del precio observado a público del combustible diésel. Elaborado a partir de [185].

	PROMEDIO ANUAL PRECIO OBSERVADO A PÚBLICO (PETRÓLEO DIESEL) [\$/L]															
	RM	XV	I	II	III	IV	V	VI	VII	XVI *	VIII	IX	XIV	X	XI	XII
2012	606,7	619,7	629,5	635,7	633,1	632,3	615,7	638,3	629,4	642,0	642,0	645,8	654,0	643,3	650,3	635,5
2013	614,2	622,8	627,5	634,9	631,7	630,3	614,5	639,5	630,2	638,8	638,8	643,6	652,4	641,9	657,0	635,2
2014	667,8	674,5	681,5	686,3	682,8	681,9	663,7	690,9	681,2	688,3	688,3	694,7	705,7	695,8	709,4	680,2
2015	511,1	517,0	526,4	529,1	526,2	526,2	510,5	537,8	516,4	536,6	536,6	537,6	547,2	536,0	550,1	524,0
2016	432,4	439,0	442,9	447,2	448,8	445,5	434,6	456,5	417,4	449,1	449,1	458,3	472,5	458,4	473,8	452,4
2017	486,0	497,6	501,6	505,4	504,5	500,2	489,0	514,3	471,9	493,4	503,9	513,5	531,0	519,4	531,4	513,7
2018	580,8	595,5	596,9	603,2	604,1	594,9	572,20	612,2	570,7	572,675	599,5	616,3	625,7	612,3	629,3	614,1

* Entre años 2012 y 2016 se iguala a precio en región de Biobío.

Con lo anterior, es posible estimar el costo total del combustible utilizado en las operaciones presentes de la ficha. Considerando que se trata de una ficha de la región del Maule para la temporada 2015-1016:

$$Costo_{combustibles} = 516,4 \left[\frac{\$}{L} \right] \cdot 436,6 [L] = 225.460 [\$] \quad (E.9)$$

Se debe destacar que se utilizó el precio correspondiente al año 2015 dado que se trata del año donde se desarrolla principalmente el cultivo (solo la cosecha se realiza en el año posterior). Finalmente, con el costo asociado a los combustibles se calcula la fracción del total de costos asociados a la maquinaria:

$$Fracción_{combustibles} = \frac{225.460}{1.075.000 - 330.000} = 0,30 \quad (E.10)$$

El precio de maquinaria no considera el flete, pues no corresponde a una obra en la que se utilice maquinaria agrícola como tal y dichas emisiones se consideran en la categoría “transporte”.

Se siguió un procedimiento análogo para tres fichas de costo adicionales provenientes de la ODEPA y del INIA, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla E.29: Resultados obtenidos tras la estimación de la fracción de costos de maquinaria asociada al uso de combustible. Elaborado a partir de [155,186,187].

Bibliografía utilizada	Fracción del combustible respecto al costo total de maquinaria	Referencia
Ficha técnico-económica Manzana, Biobío (2012-2013), ODEPA	0,51	[187]
Ficha técnico-económica Manzana, O'Higgins (2017-2018), ODEPA	0,34	[186]

Metodología de cálculo de costos de uso de maquinaria agrícola para el cultivo de Maíz (2018)	0,34	[155]
---	------	-------

Para definir la fracción a utilizar, se consideraron los datos más actualizados, correspondientes a la ficha técnico-económica de la manzana en la región de O'Higgins y la metodología de cálculo de costos de uso de maquinaria para el cultivo de maíz. Con esto, la fracción definida para el resto del estudio corresponde a 0,34.

E.2.2.2 Memoria de cálculo: emisiones de GEI por concepto de uso de combustibles.

Para la obtención de las emisiones por uso de combustibles en el campo se seguirán los pasos propuestos en la sección D.1.3.1. Como ejemplo se tomará el cálculo de emisiones por concepto de uso de combustibles en la macrozona norte para la clase representativa "palta". Esto quiere decir que se utilizarán los datos del cultivo de palta para la estimación de factores de emisión, sin embargo, los datos de actividad utilizados corresponderán a la palta pero también a aquellos frutales contenidos en esta categoría (consultar la sección 3.3 para más detalle).

La principal fuente de información para este cálculo se encuentra disponible en el Estudio de fichas técnicas nacionales por zona homogénea agrícola de la Comisión Nacional de Riego, disponible en el sitio web de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) [154].

1. Obtención de un factor de consumo de combustibles por kilogramo de fruta producida para las diferentes zonas homogéneas de cada región.

Para este paso en particular, se utilizará como ejemplo la zona homogénea "Elqui", perteneciente a la región de Coquimbo. El cálculo para el resto de las zonas homogéneas es análogo.

Para el cultivo de paltos en Elqui, se tiene que el costo anual de maquinaria sin considerar el flete es de 147.000 [CLP/ha] y un rendimiento del cultivo de 12.000 [kg/ha]. De acuerdo con lo expuesto en la sección anterior, la fracción de costos que corresponde al uso de combustibles corresponde a 0,34, luego el costo por consumo de combustibles por hectárea está dado por:

$$C_{combustibles} \left[\frac{CLP}{ha} \right] = 147.000 \left[\frac{CLP}{ha} \right] \cdot 0,34 = 49.980 \left[\frac{CLP}{ha} \right] \quad (E.11)$$

Por otro lado, la información corresponde al año 2012, donde el precio del combustible en la región de Coquimbo fue de 632,3 [CLP/l] (ver Tabla E.28). De esta forma, los litros anuales de combustible consumidos por hectárea corresponden a:

$$FC_{palta,diésel}^{Elqui} \left[\frac{l}{ha} \right] = 49.980 \left[\frac{CLP}{ha} \right] \cdot \frac{1}{632,3} \left[\frac{l}{CLP} \right] = 79,04 \left[\frac{l}{ha} \right] \quad (E.12)$$

Y el consumo por kilogramo de fruta producida es:

$$FC_{palta,diésel}^{Elqui} \left[\frac{l}{ha} \right] = 79,04 \left[\frac{l}{ha} \right] \cdot \frac{1}{12.000} \left[\frac{ha}{kg} \right] = 0,007 \left[\frac{l}{kg} \right] \quad (E.13)$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las zonas homogéneas estudiadas en la región de Coquimbo, se tienen los siguientes factores de consumo:

Tabla E.30: Factores de consumo específico para las diferentes zonas homogéneas de la región de Coquimbo. Elaborado a partir de estudio CNR presente en [154].

Zona Homogénea	Rendimiento [kg/ha]	Costo Maquinaria* [\$/ha]	Año información	Precio Combustible [\$/L]**	Consumo combustible [L/ha]	Consumo combustible [L/kg]
Andacollo	12.000	155.000	2012	632,3	83,34	0,007
Choapa	16.000	208.000	2012	632,3	111,84	0,007
Hurtado	15.000	186.000	2012	632,3	100,01	0,007
Limarí	14.000	168.000	2012	632,3	90,33	0,006
Quilimari	16.000	208.000	2012	632,3	111,84	0,007
Secano	16.000	208.000	2012	632,3	111,84	0,007
Elqui	12.000	147.000	2012	632,3	79,04	0,007

* No considera Flete.

**Precio de Mercado.

2. Ponderar dicho factor de consumo según el aporte de la zona homogénea a la producción de la región a la que pertenece, con el objetivo de obtener un factor de consumo regional.

Para esto, se utilizará la ecuación (D.17) y, en primer lugar, es necesario construir el ponderador $x_{i,h,j}$. Como se mencionó anteriormente, este ponderador busca que el factor regional sea lo más representativo de un campo "tipo" del territorio. Dicho de otra forma, si quien lee escoge una palta proveniente de la región de Coquimbo al azar, lo más probable es que dicha palta provenga de aquella zona homogénea que produzca la mayor cantidad de paltas. En este sentido, un factor de consumo definido por kilogramo de fruta será más representativo en la medida que obedezca en mayor grado a aquellos campos que produzcan más fruta.

La ecuación de construcción del ponderador, entonces, queda expresada de la siguiente manera:

$$x_{i,h,j} = \frac{\text{producción}_{i,h}}{\sum_h \text{producción}_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S_{i,h}}{\sum_h R_{i,h} \cdot S_{i,h}} \quad (\text{E.14})$$

Donde:

- $x_{i,h,j}$: Ponderador de la participación de la zona homogénea "h" en la producción de la clase representativa "i" dentro de la región "j" (adimensional)
- $\text{producción}_{i,h}$: Producción de la clase representativa "i" en la zona homogénea h [kg fruta consumible]
- $R_{i,h}$: Rendimiento del cultivo de la clase representativa "i" en la zona homogénea "h" [kg fruta/ha]
- $S_{i,h}$: Superficie cultivada de la clase representativa "i" en la zona homogénea "h" [ha]

Como no se cuenta con el desglose de la superficie de cultivo regional según las diferentes zonas homogéneas, para efectos del cálculo se asumirá que las superficies cultivadas corresponden a una superficie tipo "S" equivalente para las diferentes zonas. De esta forma, desarrollando la ecuación (E.14):

$$x_{i,h,j} = \frac{\text{producción}_{i,h}}{\sum_h \text{producción}_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S_{i,h}}{\sum_h R_{i,h} \cdot S_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S}{S \cdot \sum_h R_{i,h}} = \frac{R_{i,h}}{\sum_h R_{i,h}} \quad (\text{E.15})$$

Una vez construido el ponderador, solo resta utilizar la ecuación (D.17) y los datos de la Tabla E.30:

$$F_{\text{palta,diesel}}^{\text{Coquimbo}} = \frac{12.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 16.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 15.000 \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 14.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,006 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 16.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 16.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right] + 12.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \cdot 0,007 \left[\frac{\text{l}}{\text{kg}} \right]}{12.000 + 16.000 + 15.000 + 14.000 + 16.000 + 16.000 + 12.000} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right] \quad (\text{E.16})$$

$$FC_{\text{palta,diésel}}^{\text{Coquimbo}} = 0,007 \left[\frac{l}{ha} \right]$$

Procediendo análogamente para las diferentes zonas homogéneas y regiones de Chile, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla E.31: Factores de consumo específicos para las diferentes regiones de Chile. Elaboración propia a partir de [154]. Las celdas destacadas corresponden a aproximaciones realizadas respecto a las regiones más cercanas.

Región	[L combustible/kg fruta consumible]					
	Manzano	Palto	Mandarino	Uva de mesa	Vid vinífera	Vid pisquera
Arica	0,002	0,006	0,004	0,009	0,012	0,003
Tarapacá	0,002	0,006	0,004	0,009	0,012	0,003
Antofagasta	0,002	0,006	0,004	0,009	0,012	0,003
Atacama	0,002	0,006	0,004	0,009	0,013	0,003
Coquimbo	0,002	0,007	0,004	0,009	0,013	0,003
Valparaíso	0,002	0,010	0,004	0,008	0,011	0,003
Metropolitana	0,002	0,007	0,004	0,007	0,008	0,003
O'Higgins	0,002	0,006	0,004	0,005	0,006	0,003
Maule	0,002	0,006	0,004	0,005	0,007	0,003
Ñuble	0,003	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Biobío	0,002	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Araucanía	0,003	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Los Ríos	0,002	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Los Lagos	0,002	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Aysén	0,002	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003
Magallanes	0,002	0,006	0,004	0,005	0,008	0,003

Se debe destacar que para las regiones con las que no se contaba con suficientes datos, se tomó la decisión de aproximar los factores de consumo a aquellos factores de las regiones que sí disponían de la información necesaria.

3. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona.

De acuerdo con los datos disponibles en las tablas E.13 y E.31, se procede a utilizar la ecuación (D.15). Para el caso particular de la palta en la macrozona norte, se tiene:

$$FC_{\text{palta,diésel}}^{\text{norte}} = 0,006 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,02 + 0,006 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,006 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,006 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,04 + 0,007 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,26 + 0,010 \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot 0,68 = 0,09 \left[\frac{l}{kg} \right] \quad (\text{E.17})$$

4. Con el factor de consumo de combustible a nivel de macrozona, utilizar la ecuación (D.14) para obtener el factor de emisión de GEI por kilogramo de fruta producida.

Para esto, la ecuación (D.14) se desarrollará por partes. En primer lugar, se desarrollarán los términos asociados a las emisiones de cada GEI asociadas a la combustión de diésel, adaptando la ecuación (D.16):

$$Emisiones_g = FC_{palta,diesel}^{norte} \left[\frac{l}{kg} \right] \cdot PCI_{diésel} \left[\frac{TJ}{l} \right] \cdot FE_{g,palta} \left[\frac{kg\ GEI}{TJ} \right] \quad (E.18)$$

Utilizando los datos de las tablas E.2 y E.8, se obtienen los siguientes resultados para la palta en la macrozona norte:

Macrozona	GEI	[kg GEI/kg fruta consumible]
Norte	CO ₂	2,3 E-02
	CH ₄	5,4 E-07
	N ₂ O	4,6 E-06

Luego, reemplazando estos datos y utilizando el potencial de calentamiento global de los respectivos Gases de Efecto Invernadero (ver Tabla E.1) en la ecuación (E.18), se obtienen las emisiones en CO₂eq por kilogramo de palta producida en la macrozona norte:

$$FE_{combustibles,palta}^{norte} = 2,3 \cdot 10^{-2} [kg\ CO_2] \cdot 1 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ CO_2} \right] + 5,4 \cdot 10^{-7} [kg\ CH_4] \cdot 28 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ CH_4} \right] + 4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 265 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ N_2O} \right] = 0,025 [kg\ CO_2eq] \quad (E.19)$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las macrozonas, se tienen los siguientes factores de emisión específicos para la clase representativa “palta”:

Tabla E.32: Factores de emisión específicos para la palta en las diferentes macrozonas de Chile. Elaboración propia.

	[kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]
Norte	0,025
Centro	0,017
Sur	0,017

- Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones de la clase representativa a nivel nacional por concepto de uso de combustibles durante la etapa de cultivo en el campo.

Reemplazando los factores de emisión obtenidos en el punto anterior y los datos de la actividad para la macrozona norte (ver tablas E.32 y E.13):

$$\begin{aligned} Emisiones_{campo,combustibles,palta} &= 0,025 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ fruta} \right] \cdot 397.482.091 [kg\ fruta] + \dots \\ & 0,017 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ fruta} \right] \cdot 232.954.341 [kg\ fruta] + \dots \\ & 0,017 \left[\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ fruta} \right] \cdot 124.196 [kg\ fruta] \\ & = 13.899.387 [kg\ CO_2eq] \end{aligned} \quad (E.20)$$

E.2.3 Emisiones por uso de electricidad

E.2.3.1 *Memoria de cálculo: Obtención de consumo eléctrico por litro de agua consumida en riego*

La energía eléctrica consumida para el bombeo de agua de riego dependerá no solo del método de riego, sino que también de los equipos utilizados en su implementación. Debido que este estudio contempla estimaciones que buscan generalizarse a nivel nacional, se estimará un factor de consumo “tipo” para el riego tecnificado. Para esto se utilizarán las fichas técnico-económicas de la ODEPA, debido a que, si bien el Estudio de la Comisión Nacional de Riego tiene una mayor cantidad de fichas, estas no reportan es desglose de los costos asociados al riego.

Particularmente, las fichas técnico-económicas del palto presentan un desglose suficiente para tener una primera estimación del consumo eléctrico por concepto de riego. Por lo anterior y a falta de más información, se utilizarán estos datos para la construcción del factor, asumiendo que se trata de un caso representativo que considera un equipamiento “tipo” para regar los cultivos.

La lógica de construcción del factor de consumo por unidad de volumen se resume en la estimación de kWh consumidos en una hectárea promedio de paltos y su relación con el consumo hídrico de la misma superficie. De esta forma, a partir del costo anual asociado al consumo eléctrico (reportado por hectárea de cultivo) y el precio promedio anual de la energía reportado por la CNE, se obtiene un consumo eléctrico por hectárea, que posteriormente puede dividirse de acuerdo con la cantidad de frutales plantados en esta superficie. Finalmente, con el consumo hídrico de un árbol al año y el marco de plantación, se obtiene el consumo eléctrico necesario para abastecer de un litro de agua a un cultivo.

Para ejemplificar el cálculo, se utilizará la ficha técnico-económica del cultivo de palto en plano en la región de O’higgins para el año 2017, cuyo método de riego corresponde al riego por goteo y tiene una densidad de plantación de 400 plantas por hectárea.

Tabla E.33: Ficha técnico-económica del cultivo de palto en plano. Región de O’higgins, 2017. Extracto de [188].

Insumos (c)	Época	Cantidad	Unidad	Precio(\$/Un)	Valor (\$)
Fertilizantes:					
Mezcla frutera (NPK)	Julio-octubre	300,0	Kg	310	93.000
Urea	Septiembre-abril	150,0	Kg	249	37.350
Sulfato de zinc	Junio-enero	100,0	Kg	481	48.100
Nitrato calcio	Agosto-octubre	100,0	Kg	420	42.000
Nitrato potasio	Agosto-noviembre	150,0	Kg	630	94.500
Acido fosfórico	Anual	50,0	Kg	697	34.850
Fungicidas:					
Aliette	Agosto-octubre	3,0	Kg	41.350	124.050
Ridomil Gold 480 SL	Septiembre-marzo	2,0	Kg	25.500	51.000
Podexal	Junio-julio	5,0	L	4.500	22.500
Insecticidas:					

Aceite Citroliv Miscible	Enero-abril	20,0	L	835	16.700
Lorsban 4E	Octubre	2,0	L	7.320	14.640
Karate con tecnología Zeon	Septiembre-marzo	1,0	L	31.700	31.700
Actara 25 WG	Septiembre-marzo	1,5	Kg	190.000	285.000
Herbicidas:					
Roundup Full	Mayo-febrero	7,0	L	3.850	26.950
Farmon	Mayo-diciembre	3,0	L	15.400	46.200
Acaricidas:					
Abamite Me	Agosto-septiembre	1,0	L	9.500	9.500
Vertimec 018 EC	Agosto-diciembre	3,0	L	20.500	61.500
Fertilizantes foliares:					
Solubor	Septiembre-noviembre	4,0	Kg	4.300	17.200
Frutaliv	Septiembre-febrero	4,0	L	9.850	39.400
Fosfimax 40 20	Septiembre-febrero	3,0	L	8.500	25.500
Basfoliar Zn	Septiembre- abril	3,0	Kg	4.500	13.500
Nitrofoska	Octubre-enero	4,0	L	1.950	7.800
Otros:					
Certificación	Anual	4,0	ha	21.000	84.000
Baños químicos (arriendo)	Mayo-diciembre	6,0	Unidad	80.000	480.000
Electricidad	Septiembre-mayo	1,0	ha	180.000	180.000
Colmenas	Octubre-noviembre	8,0	ha	8.000	64.000
Break	Anual	5,0	L	17.000	85.000
Análisis foliar ⁽³⁾	Marzo-abril	1,0	Análisis	31.000	31.000
Total insumos				2.066.940	

Como puede notarse en la Tabla E.33, el costo anual de electricidad corresponde a 180.000 [CLP/ha]. Se puede notar, además, que este costo se incurre en la temporada de riego de este cultivo, razón por la que se asumirá que la cifra reportada aborda principalmente el consumo energético asociado al riego. De esta manera, considerando el precio de la electricidad en el año 2017, es posible aproximar cuánta energía eléctrica se necesita para una hectárea de cultivo.

La fijación del precio de la electricidad depende del tipo de cliente (regulado o no) como también de los costos de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. De esta forma, el precio que se puede cobrar a los clientes está dado por:

$$P_{usuario,final} = P_{Nudo} + VA_{distribución} + C_{Sist.Troncal} \quad (E.21)$$

Donde:

- $P_{\text{usuario,final}}$: Precio a usuario final [CLP]
- P_{Nudo} : Precio de Nudo [CLP]
- $VA_{\text{distribución}}$: Valor Agregado de Distribución [CLP]
- $C_{\text{Sist.Troncal}}$: Cargo Único por uso de Sistema Troncal [CLP]

El precio de nudo corresponde al precio a nivel de generación y transporte de la energía y se compone del precio de la energía y del precio de la potencia de punta. Se trata de un precio definido para las diferentes subestaciones de generación y transporte que efectúen el suministro. Dicho de otra forma, el precio de la electricidad varía respecto a la ubicación geográfica de la subestación. Los términos restantes de la ecuación hacen referencia al cobro por distribución de la electricidad.

La CNE publica anualmente en su anuario estadístico el Precio Promedio de Mercado y el Precio de Nudo de Corto plazo. El precio Promedio de Mercado corresponde a un promedio anual del precio fijado a partir de contratos con las distintas empresas generadoras, mientras que el Precio de Nudo se utiliza para la fijación de precios a clientes regulados [189,190]. Según la ASOEX, la mayoría del sector frutícola corresponde a clientes regulados bajo la tarifa AT4.3 [191]. Considerando lo anterior y sumado a la complejidad que supone estimar un precio al usuario final promedio para un sector industrial en general, para efectos del cálculo se utilizará el Precio de Nudo de Energía Promedio. Si bien corresponde a un precio subestimado, se trata de una primera aproximación que representa la mayor fracción del precio asociado a la energía.

El anuario estadístico de la CNE reporta un precio de Nudo promedio de 66,5 [USD/MWh] al año 2017 [192]. Considerando que el precio promedio del dólar para dicho año corresponde a 649 [CLP], el precio de Nudo promedio mencionado anteriormente se traduce en 43,16 [CLP/kWh]. Con este valor es posible aproximar la energía anual necesaria para el bombeo de agua en una hectárea de cultivo:

$$180.000 \left[\frac{\text{CLP}}{\text{ha}} \right] \cdot \frac{1}{43,16} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{CLP}} \right] = 4.170,5 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{ha}} \right] \quad (\text{E.22})$$

Luego solo resta conocer la demanda hídrica bruta del cultivo para poder determinar la energía necesaria por unidad de volumen. Para esto, se procede de manera análoga a la memoria de cálculo expuesta en la sección E.2.1.3 y se determina un consumo hídrico de 9.727.500 [L/ha] para la región de O'Higgins bajo un método de riego por goteo. Con esto se obtiene:

$$4.170,5 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{ha}} \right] \cdot \frac{1}{9.727.500} \left[\frac{\text{ha}}{\text{l}} \right] = 4,3 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{l}} \right] \quad (\text{E.23})$$

Para la conclusión de un factor de consumo específico por unidad de volumen se tomaron los datos de las fichas técnico-económicas que reportaron valores numéricos asociados a los costos por electricidad, que corresponden al cultivo de paltos en O'Higgins (2017) y Valparaíso (2016). Procediendo de manera análoga a lo expresado anteriormente se obtienen los siguientes resultados:

Tabla E.34: Factor de Consumo Específico de Energía Eléctrica para el cultivo de palto. Elaboración propia.

Cultivo	Región	Factor de consumo específico de energía [kWh/L]
Palto	O'Higgins	4,3 E-4
	Valparaíso	4,9 E-4
	Promedio	4,6 E-4

Con lo que se concluye un factor de consumo de 4,6 E-4 [kWh/l]. Como se mencionó anteriormente, se debe destacar que, si bien no se cuenta con datos referentes a otros cultivos, dada la disponibilidad de información se trabajará con este factor asumiendo que el consumo energético por unidad de volumen no depende del tipo de cultivo y que los efectos sobre el consumo energético por tipo de cultivo se verán reflejados al considerar la demanda hídrica de los respectivos cultivos. Adicionalmente se debe considerar que el precio considerado para la energía eléctrica corresponde a una primera aproximación que no considera todos los costos asociados al abastecimiento de energía ni su variación respecto a la ubicación de las subestaciones de generación, razón por la que el factor está sujeto a variaciones que no se consideran en el presente estudio.

E.2.3.2 Memoria de cálculo: emisiones de GEI por concepto de consumo eléctrico.

Como se mencionó en secciones anteriores, las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica son calculadas específicamente para el uso de esta en el bombeo de agua para métodos de riego tecnificado. Lo anterior se realiza utilizando el factor de consumo específico en [kWh/l], calculado en la sección anterior, y la demanda hídrica bruta de los cultivos.

A modo de ejemplo se calcularán las emisiones para la clase representativa “manzana” en la macrozona norte y posteriormente se generalizará a nivel nacional. La lógica del cálculo seguirá los pasos mostrados en la sección D.1.3.2.

1. Obtener un factor de consumo eléctrico regional para las distintas clases representativas.

Para ejemplificar este cálculo se tomará la región de Arica y Parinacota. De la sección E.2.1.3 es posible obtener el factor de consumo hídrico promedio a nivel regional, que corresponde a 9.623.977 [L/ha año], sin embargo, este factor contempla contribuciones asociadas a métodos de riego tecnificados y no tecnificados. Por lo anterior, se ponderará este factor de acuerdo con la superficie tecnificada de la región. Utilizando la Tabla E.22 es posible extraer que el 66,6% de la superficie cultivada con manzanos se riega con riego tecnificado (goteo). Si bien la categoría “otros” contempla algunos métodos tecnificados, la mayoría corresponden a métodos gravitacionales, razón por la que no se considerará como una categoría de riego tecnificado. Con lo anterior se tiene:

$$9.623.977 \left[\frac{l}{ha \cdot año} \right] \cdot 0,666 = 6.409.569 \left[\frac{l}{ha \cdot año} \right] \quad (E.24)$$

Considerando el factor de consumo específico de energía eléctrica obtenido de la sección anterior, el consumo eléctrico está dado por:

$$6.409.569 \left[\frac{l}{ha \cdot año} \right] \cdot 4,6 \cdot 10^{-4} \left[\frac{kWh}{l} \right] = 2.948 \left[\frac{kWh}{ha \cdot año} \right] \quad (E.25)$$

Finalmente, y utilizando la ecuación (D.18), si Arica y Parinacota presenta un rendimiento de 6.013 [kg/ha], el factor de consumo anual de energía eléctrica para la región será:

$$FC_{Emanzana}^{Arica y Parinacota} = 2.948 \left[\frac{kWh}{ha \cdot año} \right] \cdot \frac{1}{6.013} \left[\frac{ha}{kg} \right] = 0,49 \left[\frac{kWh}{kg \cdot año} \right] \quad (E.26)$$

Procediendo análogamente con el resto de las regiones de la macrozona norte, se obtienen los siguientes factores de consumo eléctrico anuales para la etapa de producción en el campo:

Tabla E.35: Factor de consumo eléctrico anual específico por región. Elaboración propia.

Región	Factor de consumo eléctrico anual [kWh/kg fruta consumible]
Arica y Parinacota	0,49
Tarapacá	0,12
Antofagasta	0,11
Atacama	0,69
Coquimbo	0,68
Valparaíso	0,31

2. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona, obteniendo así un factor de consumo eléctrico a nivel de macrozona.

Utilizando la ecuación (D.15) y los datos de la Tabla E.13, se tiene:

$$FC_{manzana,electricidad}^{Norte} = 0,49 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0,0001 + 0,12 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0 + 0,11 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0,0027 + 0,69 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0,0006 + 0,68 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0,1464 + 0,31 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \cdot 0,8502 = 0,364 \left[\frac{kWh}{kg} \right] \quad (E.27)$$

Análogamente para el resto de las macrozonas se tiene:

Tabla E.36: Consumo eléctrico específico por concepto de riego en distintas macrozonas de Chile para la clase "manzana". Elaboración propia.

	[kWh/kg fruta consumible]		
	Norte	Centro	Sur
Manzana	0,361	0,180	0,093

Donde se debe destacar que, al no producirse frutales de la clase representativa "Uva pisquera" en las macrozonas Centro y Sur, no se presenta un factor de consumo asociado.

3. Con el factor de consumo de combustible a nivel de macrozona, utilizar la ecuación (D.14) para obtener el factor de emisión de GEI por kilogramo de fruta producida.

Debido a que el Factor de Emisión de la matriz solo contempla las emisiones de dióxido de carbono, al reemplazar en la ecuación mencionada se tiene:

$$FE_{electricidad,manzana}^{Norte} = 0,361 \left[\frac{kWh}{kg fruta} \right] \cdot 0,3834 \left[\frac{kg CO_2}{kWh} \right] \cdot 0,138 \left[\frac{kg CO_2}{kg fruta} \right] \quad (E.28)$$

Procediendo de la misma forma para el cultivo de la manzana en resto de las macrozonas:

Tabla E.37: Emisiones de dióxido de carbono por concepto de consumo eléctrico en el campo para la clase representativa "manzana". Elaboración propia.

	[kg CO ₂ /kg fruta consumible]		
	Norte	Centro	Sur
Manzana	0,138	0,069	0,036

- Adaptar la ecuación (D.13) al consumo de energía eléctrica para obtener las emisiones a nivel nacional de dicha categoría durante la etapa de cultivo en el campo.

Considerando los factores de emisión determinados en el punto anterior y los datos de la actividad presentes en la tabla

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones}_{\text{electricidad,campo}} &= 0,138 \left[\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 198.778 \left[\frac{\text{t fruta}}{\text{año}} \right] \cdot 1.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right] + 0,069 \cdot 3.383.634 \left[\frac{\text{t fruta}}{\text{año}} \right] \cdot 1.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right] \\
 &+ 0,036 \cdot 383.012 \left[\frac{\text{t fruta}}{\text{año}} \right] \cdot 1.000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right] = 274.690.542 \left[\frac{\text{kg CO}_2}{\text{año}} \right]
 \end{aligned} \quad (\text{E.29})$$

Correspondientes a las emisiones de la clase representativa "manzana" a nivel nacional por concepto de uso de energía eléctrica para el riego en el campo.

E.2.4 Emisiones por aplicación de fertilizantes

E.2.4.1 Memoria de cálculo: emisiones de GEI por aplicación de fertilizantes al suelo

Para la obtención de las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizantes en el campo se seguirán los pasos propuestos en la sección D.1.4. Como ejemplo se tomará el cálculo en la macrozona norte para la clase representativa "palta". Esto quiere decir que se utilizarán los datos del cultivo de palta para la estimación de factores de emisión, sin embargo, los datos de actividad utilizados corresponderán a la palta pero también a aquellos frutales contenidos en esta categoría (consultar la sección 3.3 para más detalle).

La principal fuente de información para este cálculo se encuentra disponible en el Estudio de fichas técnicas nacionales por zona homogénea agrícola de la Comisión Nacional de Riego, disponible en el sitio web de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) [154].

- Obtención de un factor de consumo de nitrógeno/urea/cal por kilogramo de fruta producida, según corresponda, para las diferentes zonas homogéneas de cada región, utilizando las fichas técnico-económicas y la composición de los distintos fertilizantes nitrogenados.

Para este paso en particular, se utilizará como ejemplo la zona homogénea "Elqui", perteneciente a la región de Coquimbo. El cálculo para el resto de las zonas homogéneas es análogo. La ficha técnico-económica de este cultivo se presenta a continuación:

Tabla E.38: Ficha técnico-económica de palto en Z-H "Elqui". Extraído de estudio CNR disponible en [154].

Palto – Plena producción. Zona Homogénea Agropecuaria Elqui IV Región. Rendimiento: 12 [t/ha]							
Item	Unidades	Mes	Cantidad/ha	Precio	Costo Total	Factor	Costo Total
				Unitario	P. Mercado	Social	P. Social
MANO DE OBRA:							
Poda y raleo	JH	Jun	9,0	10.000	90.000	0,620	55.800
Rastraje	JH	Jul	0,4	10.000	4.000	0,620	2.480
Aplicación Pesticida	JH	Oct-Abr	6,0	10.000	60.000	0,620	37.200
Aplicación Herbicidas	JH	Oct-Dic	2,0	10.000	20.000	0,620	12.400

Cosecha y selección	JH	May-Ago	45,0	12.000	540.000	0,620	334.800
Acarreo cosecha	JH	May-Ago	8,0	10.000	80.000	0,620	49.600
Riego	JH	Abr-Mar	9,6	10.000	96.000	0,620	59.520
MAQUINARIA:							
Rastraje	ha		1,0	25.000	25.000	1,007	25.175
Fertilización	ha		1,0	10.000	10.000	1,007	10.070
Desinfección	ha		4,0	18.000	72.000	1,007	72.504
Acarreo de cosecha	ha		4,0	10.000	40.000	1,007	40.280
INSUMOS FISICOS:							
SFT	kg		90,0	362	32.580	1,010	32.906
Urea	kg		300,0	329	98.700	1,010	99.687
Perfekthion	L		2,5	25.248	63.120	1,010	63.751
Acaricid/Omite 30 WS	kg		1,5	6.150	9.225	1,010	9.317
Citroliv	L		12,0	902	10.824	1,010	10.932
Bayletón	kg		4,0	25.040	100.160	1,010	101.162
Roundup	L		4,0	4.188	16.752	1,010	16.920
Fletes	t		12,0	3.500	42.000	1,007	42.294
IMPREVISTOS (5%)					70.518		53.840
TOTAL COSTOS					1.480.879		1.130.637
INGRESOS: Exportación	kg	50%	6.000,0	461	2.765.239	1,010	2.792.891
Mercado Interno	kg	50%	6.000,0	438	2.625.933	1,000	2.625.933
TOTAL INGRESOS			12.000,0		5.391.172		5.418.824
MARGEN BRUTO					3.910.293		4.288.187

A partir de la Tabla E.38 es posible notar que los insumos físicos utilizados corresponden a fertilizantes (SFT, urea) y pesticidas (perfekthion, acaricid/omite 30WS, citroliv, bayletón y roundup). Por otro lado, el fertilizante SFT corresponde a Superfosfato Triple, un fertilizante fosfórico que no contiene nitrógeno en su composición. En este sentido, las emisiones a calcular se remiten a las emisiones por aplicación de urea.

La aplicación de urea para este cultivo es de 300 [kg/ha]. Adicionalmente y según la Tabla E.11, la composición en p/p de nitrógeno para este fertilizante es de 0,46. Utilizando la ecuación (D.20):

$$FC_{N,palta}^{Elqui} = \frac{FN_{urea,palta}^{Elqui} \cdot M_{N_{urea}}}{R_{palta,Elqui}} = \frac{300 \left[\frac{kg \text{ urea}}{ha} \right] \cdot 0,46 \left[\frac{kg N}{kg \text{ urea}} \right]}{12.000 \left[\frac{kg \text{ fruta}}{ha} \right]} = 1,15 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg \text{ fruta}} \right] \quad (E.30)$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las zonas homogéneas estudiadas en la región de Coquimbo, se tienen los siguientes factores de consumo:

Tabla E.39: Consumo de urea y de nitrógeno total agregado al suelo. Elaboración propia.

Zona Homogénea	Rendimiento [kg/ha]	Consumo urea [kg/ha]	Consumo N* [kg N/kg fruta consumible]
Andacollo	12.000	350	1,34 E-02
Choapa	16.000	0	2,33 E-02
Hurtado	15.000	250	1,04 E-02
Limarí	14.000	350	1,15 E-02

Quilimari	16.000	0	2,33 E-02
Secano	16.000	0	2,33 E-02
Elqui	12.000	300	1,15 E-02

*Contempla el uso de todos los fertilizantes nitrogenados en la superficie analizada

2. Ponderar dicho factor de consumo según el aporte de la zona homogénea a la producción de la región a la que pertenece, con el objetivo de obtener un factor de consumo regional, utilizando la ecuación (D.19).

Este cálculo se hace de manera análoga al caso del consumo de combustibles. Como se ve en dicha sección, el ponderador busca que el factor regional sea lo más representativo de un campo “tipo” del territorio. Dicho de otra forma, si quien lee escoge una palta proveniente de la región de Coquimbo al azar, lo más probable es que dicha palta provenga de aquella zona homogénea que produzca la mayor cantidad de paltas. En este sentido, un factor de consumo definido por kilogramo de fruta será más representativo en la medida que obedezca en mayor grado a aquellos campos que produzcan más fruta.

La ecuación de construcción del ponderador, entonces, queda expresada de la siguiente manera:

$$x_{i,h,j} = \frac{\text{producción}_{i,h}}{\sum_h \text{producción}_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S_{i,h}}{\sum_h R_{i,h} \cdot S_{i,h}} \quad (\text{E.31})$$

Donde:

- $x_{i,h,j}$: Ponderador de la participación de la zona homogénea “h” en la producción de la clase representativa “i” dentro de la región “j” (adimensional)
- $\text{producción}_{i,h}$: Producción de la clase representativa “i” en la zona homogénea h [kg fruta consumible]
- $R_{i,h}$: Rendimiento del cultivo de la clase representativa “i” en la zona homogénea “h” [kg fruta consumible/ha]
- $S_{i,h}$: Superficie cultivada de la clase representativa “i” en la zona homogénea “h” [ha]

Como no se cuenta con el desglose de la superficie de cultivo regional según las diferentes zonas homogéneas, para efectos del cálculo se asumirá que las superficies cultivadas corresponden a una superficie “S” equivalente para las diferentes zonas. De esta forma, desarrollando la ecuación (E.31):

$$x_{i,h,j} = \frac{\text{producción}_{i,h}}{\sum_h \text{producción}_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S_{i,h}}{\sum_h R_{i,h} \cdot S_{i,h}} = \frac{R_{i,h} \cdot S}{S \cdot \sum_h R_{i,h}} = \frac{R_{i,h}}{\sum_h R_{i,h}} \quad (\text{E.32})$$

Una vez construido el ponderador, solo resta utilizar la ecuación (D.19) y los datos de la Tabla E.39:

$$FC_{N,palta}^{Coquimbo} = \frac{12.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 1,34 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 16.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 2,33 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 15.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 1,04 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 14.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 1,15 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 16.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 2,33 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 16.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 2,33 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right] + 12.000 \left[\frac{kg}{ha} \right] \cdot 2,33 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg} \right]}{12.000 + 16.000 + 15.000 + 14.000 + 16.000 + 16.000 + 12.000 \left[\frac{kg}{ha} \right]} \quad (\text{E.33})$$

$$FC_{N,palta}^{Coquimbo} = 1,7 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg N}{kg \text{ fruta}} \right]$$

Procediendo análogamente para las diferentes zonas homogéneas y regiones de Chile, tanto para los kg de N aplicado al suelo como para los kg de urea (pues posteriormente se utilizarán para calcular las emisiones de dióxido de carbono asociadas específicamente al uso de este fertilizante), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla E.40: Consumo específico de nitrógeno y de urea para regiones de Chile.

Región	[kg N/kg fruta consumible]	[kg urea/kg fruta consumible]
Arica	0,012	0,025
Tarapacá	0,012	0,025
Antofagasta	0,012	0,025
Atacama	0,012	0,025
Coquimbo	0,017	0,012
Valparaíso	0,022	0,040
Metropolitana	0,021	0,040
O'Higgins	0,010	0,021
Maule	0,010	0,021
Ñuble	0,010	0,021
Biobío	0,010	0,021
Araucanía	0,010	0,021
Los Ríos	0,010	0,021
Los Lagos	0,010	0,021
Aysén	0,010	0,021
Magallanes	0,010	0,021

Se debe destacar que para las regiones con las que no se contaba con suficientes datos, se decidió aproximar los factores de consumo a aquellos factores de las regiones que sí disponían de la información necesaria. Se debe tener en cuenta que esto afecta los resultados obtenidos y su comparación con la realidad, considerando que cada región cuenta con su respectivo tipo de suelo y por ende, podría tener requerimientos diferentes.

3. Ponderar el factor de consumo regional según el aporte regional a la producción de la respectiva clase representativa en la macrozona, adaptando la ecuación (D.15) al uso de fertilizantes.

De acuerdo con los datos disponibles en las tablas E.13 y E.40, se procede a utilizar la ecuación mencionada. Para el caso particular de la palta en la macrozona norte, se tiene en primer lugar el factor de consumo de nitrógeno aplicado al suelo:

$$FC_{palta,N}^{norte} = 0,012 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,02 + 0,012 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,012 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,012 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,04 + 0,017 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,26 + 0,022 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \cdot 0,68 = 0,021 \left[\frac{kg N}{kg} \right] \quad (E.34)$$

Y para el factor de consumo asociado a la urea:

$$FC_{palta,urea}^{norte} = 0,025 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,02 + 0,025 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,025 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,00 + 0,025 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,04 + 0,012 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,26 + 0,040 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \cdot 0,68 = 0,032 \left[\frac{kg urea}{kg} \right] \quad (E.35)$$

4. Con el factor de consumo de nitrógeno/urea/cal aplicada al suelo, para cada macrozona, calcular el factor de emisión asociado a emisiones directas por uso de fertilizantes utilizando la ecuación (D.14).

En este caso se calcula un factor de emisión asociado al óxido nitroso liberado por la aplicación de nitrógeno al suelo, como también un factor de emisión de dióxido de carbono asociado a la aplicación de urea. De esta forma, adaptando la ecuación (D.14) para la macrozona norte, se tiene:

$$FE_{D_{fertilizantes,palta}}^{norte} = FC_{palta,N}^{norte} \cdot FE_{N_2O,N} \cdot PCG_{N_2O} + FC_{palta,urea}^{norte} \cdot FE_{CO_2,urea} \cdot PCG_{CO_2} \quad (E.36)$$

Con $FE_{D_{fertilizantes,palta}}^{norte}$ un factor de emisiones directas para la clase representativa “palta” en la macrozona norte.

Reemplazando los datos de las tablas E.1, E.5 y E.40:

$$\begin{aligned} FE_{D_{fertilizantes,palta}}^{norte} &= 0,021 \left[\frac{kg N}{kg fruta} \right] \cdot 0,016 \left[\frac{kg N_2O}{kg N} \right] \cdot 265 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg N_2O} \right] \dots \\ &\quad + 0,032 \left[\frac{kg urea}{kg fruta} \right] \cdot 0,073 \left[\frac{kg CO_2}{kg urea} \right] \cdot 1 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg CO_2} \right] \\ &= 0,090 [kg CO_2eq] + 0,002 [kg CO_2eq] \\ &= 0,092 [kg CO_2eq] \end{aligned} \quad (E.37)$$

5. Con el factor de consumo de nitrógeno agregado al suelo, para cada macrozona, calcular el factor de emisión asociado a emisiones indirectas por uso de fertilizantes utilizando las ecuaciones (D.21) y (D.22).

Como ya se cuenta con el factor de consumo de nitrógeno, para calcular las emisiones indirectas asociadas a la volatilización y redeposición de nitrógeno basta con reemplazar los datos en la ecuación (D.21):

$$\begin{aligned} FE_{vol,palta}^{norte} &= FC_{N_{palta}}^{norte} \cdot FRAC_{GASF} \cdot FE_{vol} \cdot PCG_{N_2O} \\ &= 0,021 \left[\frac{kg N}{kg fruta} \right] \cdot 0,1 \left[\frac{kg N_{volatilizado}}{kg N} \right] \cdot 0,016 \left[\frac{kg N_2O}{kg N_{volatilizado}} \right] \cdot 265 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg N_2O} \right] \\ FE_{vol,palta}^{norte} &= 0,009 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \end{aligned} \quad (E.38)$$

Para el caso de las emisiones por lixiviación, se asume que $FRAC_{LIXIVIACIÓN}$ es igual a cero, dado que las regiones consideradas dentro de esta macrozona están al norte de la región del Biobío. En este sentido, al reemplazar en la ecuación (D.22):

$$\begin{aligned} FE_{lix,palta}^{norte} &= FC_{N_{palta}}^{norte} \cdot FRAC_{LIXIVIACIÓN} \cdot FE_{lix} \cdot PCG_{N_2O} \\ &= 0,021 \left[\frac{kg N}{kg fruta} \right] \cdot 0 \left[\frac{kg N_{lixiviación}}{kg N} \right] \cdot 0,012 \left[\frac{kg N_2O}{kg N_{lixiviación}} \right] \cdot 265 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg N_2O} \right] \\ &= 0 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \end{aligned} \quad (E.39)$$

Finalmente, el factor de emisión asociado a emisiones indirectas por la aplicación de fertilizantes en la macrozona norte para la clase representativa “palta” corresponde a:

$$FE_{I_{fertilizantes,palta}}^{norte} = 0,009 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] + 0 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] = 0,009 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \quad (E.40)$$

6. Construir un factor de emisión para las emisiones totales derivadas de la aplicación de fertilizantes en los suelos.

Esto se realiza sumando los factores de emisión obtenidos para las emisiones directas e indirectas, con lo que se tiene:

$$\begin{aligned}
 FE_{fertilizantes,palta}^{norte} &= FE_{Dfertilizantes,palta}^{norte} + FE_{Ifertilizantes,palta}^{norte} \\
 &= 0,092 [kg CO_2eq] + 0,009 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] = 0,101 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right]
 \end{aligned}
 \tag{E.41}$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las macrozonas, se tienen los siguientes factores de emisión:

Tabla E.41: Factores de emisión derivados de la aplicación de fertilizantes para la clase representativa "palta" en distintas macrozonas de Chile. Elaboración propia.

[kg CO ₂ eq/kg palta consumible]	
Norte	0,115
Centro	0,099
Sur	0,068

7. Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones de la clase representativa a nivel nacional por concepto de aplicación de fertilizantes nitrogenados durante la etapa de cultivo en el campo.

Adaptando la ecuación (D.13) al uso de fertilizantes, se tiene:

$$\begin{aligned}
 Emisiones_{campo,fertilizantes,palta} &= 0,015 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 397.482.091 [kg fruta] \dots \\
 &+ 0,099 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 232.954.341 [kg fruta] \dots \\
 &+ 0,068 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 124.196 [kg fruta] \\
 &= 29.033.157 [kg CO_2eq]
 \end{aligned}
 \tag{E.42}$$

E.2.5 Emisiones por la disposición de residuos

E.2.5.1 Asignación de los destinos finales de los residuos vegetales

El cálculo de emisiones asociadas a la disposición de residuos del sector frutícola se asocia al destino final que se les otorgue. A continuación se muestra la disposición final de los residuos de poda de los cultivos representativos del sector frutícola. Se debe destacar que, debido a la disponibilidad de información, para el presente estudio se consideran únicamente los residuos de poda y no los de cosecha.

Tabla E.42: Destinos finales de residuos de poda para las clases representativas del sector frutícola. Elaboración propia a partir de [156].

Cultivo	Leña	Combustión en el Campo	Incorporación al suelo
Manzano rojo	40%	10%	50%
Manzano verde	50%	10%	40%
Limonero	10%	10%	80%
Naranja	10%	10%	80%
Palto	10%	10%	80%
Vid de mesa	0%	10%	90%
Vid pisquera	20%	20%	60%
Vid vinífera	20%	10%	70%

Un punto importante a considerar corresponde a la ausencia de datos para el mandarino. Considerando que se trata de un cítrico, se tomará como aproximación de su disposición los porcentajes asociados al naranjo y limonero, que en este caso son idénticos.

E.2.5.2 Generación de residuos por hectárea de cultivo para las distintas clases representativas

La generación de residuos para las distintas clases representativas fue obtenida a partir de juicio experto. Los datos reportados corresponden a residuos de poda y hojarasca asociados a una planta de los diferentes cultivos, por lo que, considerando la densidad de plantación y el rendimiento de una hectárea tipo fue posible calcular la masa de residuos por kilogramo de fruta producida.

Tabla E.43: Generación de residuos por planta para diferentes especies frutales [193].

Cultivo	Masa de residuos anual [kg residuo/planta]
Nogal	6 a 7
Vid de mesa	4 a 5
Vid vinífera	1,3 a 1,7
Vid pisquera	
Otros frutales	2

Se debe destacar que tras la comunicación personal con el INIA se establece que cítricos, paltos, manzanos, etc. tienen podas anuales similares, generando aproximadamente la misma cantidad de residuos anuales. Los casos particulares mencionados se remiten a la vid, en sus respectivas variedades, y al nogal, que no corresponde a un sujeto de estudio en este trabajo.

Para la obtención de residuos por hectárea de cultivo se utiliza la densidad de plantación en la respectiva zona geográfica. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:

$$M_R = M_{R,P} \cdot \rho_{plantación} \quad (E.43)$$

Donde:

- M_R : Masa anual de residuos de poda por hectárea [kg residuo/kg fruta consumible]
- $M_{R,P}$: Masa anual de residuos de poda por planta [kg residuo/planta]
- $\rho_{plantación}$: Densidad de plantación [plantas/ha]

Utilizando esta ecuación para las diferentes regiones y clases representativas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla E.44: Generación de residuos por hectáreas a nivel regional para las diferentes clases representativas analizadas en el estudio. Obtenido a partir de juicio experto y estudio CNR disponible en [154].

Región	Generación de residuos [kg residuo/ha]					
	Palto	Manzano	Mandarino	Vid de mesa	Vid vinífera	Vid pisquera
Arica y Parinacota	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667
Tarapacá	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667
Antofagasta	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667
Atacama	714	1.169	1.110	5.000	5.551	1.667
Coquimbo	714	1.169	1.110	5.000	6.818	1.667
Valparaíso	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667
Metropolitana	714	1.169	1.110	2.813	4.629	1.667

O'higgins	714	1.587	1.110	4.271	4.485	1.667
Maule	714	952	1.110	4.271	6.273	1.667
Ñuble	714	952	1.110	4.271	5.551	1.667
Biobío	714	952	1.110	4.271	5.551	1.667
Araucanía	714	1.079	1.110	4.271	5.551	1.667
Los Ríos	714	1.332	1.110	4.271	5.551	1.667
Los Lagos	714	1.332	1.110	4.271	5.551	1.667
Aysén	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667
Magallanes	714	1.169	1.110	4.271	5.551	1.667

Es importante notar que la generación de residuos por hectárea a nivel regional corresponde a una aproximación basada en los datos disponibles en lo que a densidades de plantación respecta. Adicionalmente, se debe comentar que la generación de residuos está sujeta a la superficie sembrada de cada clase representativa, lo que es considerado en las ecuaciones (D.13) y (D.15) al momento de calcular las emisiones asociadas a esta categoría, considerando un ponderador asociado al nivel de producción de los respectivos cultivos analizados.

E.2.5.3 Memoria de cálculo: emisiones de GEI por disposición de residuos agrícolas

Para la obtención de las emisiones derivadas de la disposición de residuos de poda y hojarasca se seguirán los pasos propuestos en la sección D.1.5. Como ejemplo se tomará el cálculo en la macrozona norte para la clase representativa "palta". Esto quiere decir que se utilizarán los datos del cultivo de palta para la estimación de factores de emisión, sin embargo, los datos de actividad utilizados corresponderán a los de la palta, pero también a aquellos frutales contenidos en esta categoría (consultar la sección 3.3 para más detalle).

1. Obtener de un factor de generación de residuos por unidad de superficie por región geográfica.

Este paso se encuentra calculado en la sección E.2.5.2 y los datos a utilizar se encuentran en la Tabla E.44.

2. Identificar de la distribución porcentual de la disposición de residuos según el tipo de cultivo y, en consecuencia, calcular la masa de residuos que se destina a combustión, uso como leña o incorporación al suelo.

A partir de la información disponible en la sección E.2.5.1 (ver Tabla E.42) y la generación de residuos por hectárea calculada anteriormente, es posible obtener la masa de residuos que se destinan a la combustión, uso como leña e incorporación al suelo. En particular, para el caso de la palta en la macrozona norte, se muestra un ejemplo para la región de Arica y Parinacota.

Para el caso específico de los residuos generados por el cultivo de paltos, un 10% es destinado a la combustión en el campo. Si en Arica y Parinacota se asume una generación de 714 kilogramos de residuos por hectárea, la porción destinada a la combustión en el campo estará dada por:

$$M_{R,quemada} = 714 \left[\frac{kg \text{ residuo}}{ha} \right] \cdot 0,1 = 71,4 \left[\frac{kg \text{ residuo}}{ha} \right] \quad (E.44)$$

Y considerando el rendimiento del cultivo de palto en Arica y Parinacota (correspondiente a un rendimiento promedio de las regiones de las que se tienen datos, ver sección 0 para más detalle), se tiene un factor de generación de residuos por masa de fruta producida:

$$M_{R,quema} = \frac{71,4 \left[\frac{kg \text{ residuo}}{ha} \right]}{13.636 \left[\frac{kg \text{ fruta}}{ha} \right]} = 5,2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg \text{ residuo}}{kg \text{ fruta}} \right] \quad (E.45)$$

Procediendo de manera análoga para el caso del uso como leña y de la incorporación al suelo, si tiene:

Tabla E.45: Disposición de residuos por hectárea y por kilogramo de fruta producida para la clase representativa "palta".

	[kg residuo/ha]	[kg residuo/kg fruta consumible]
Generación de residuos	714	-
Residuos destinados a la combustión en el campo	71,4	5,2 E-3
Residuos destinados al uso como leña	71,4	5,2 E-3
Residuos destinados a la incorporación al suelo	571,2	4,2 E-2

- Para las emisiones asociadas a la combustión en el predio o el uso como leña, determinar el coeficiente de combustión a utilizar y calcular la masa de materia seca disponible para este uso por kilogramo de fruta producida (ecuación (D.24)). En el caso de la incorporación al suelo, determinar la fracción de nitrógeno presente en los residuos agrícolas por kilogramo de fruta producida.

Como se menciona en la sección D.1.5, el factor de combustión a utilizar corresponde a un 90% de la masa de residuos. En este sentido la materia seca disponible para la combustión ya sea en el campo o como leña, estará dada por:

$$M_{B,palta} = 5,2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg \text{ residuo}}{kg \text{ fruta}} \right] \cdot 0,9 = 4,7 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg \text{ residuo}}{kg \text{ fruta}} \right] \quad (E.46)$$

Y para el caso de la incorporación al suelo, la masa de nitrógeno agregada al suelo por esta práctica, tras la producción de un kilogramo de fruta será:

$$M_{N,residuos} = 571,2 \left[\frac{kg \text{ residuo}}{kg \text{ fruta}} \right] \cdot \frac{0,4}{100} \left[\frac{kg \text{ N}}{kg \text{ residuo}} \right] = \left[\frac{kg \text{ N}}{kg \text{ fruta}} \right] \quad (E.47)$$

A continuación se presentan los resultados que se obtienen tras proceder de manera análoga para el resto de las regiones de Chile:

Tabla E.46: Materia seca y masa de nitrógeno derivada de la generación de residuos, según su disposición, para distintas regiones de Chile. Clase representativa "palta".

Región	Combustión en el campo		Uso como leña		Incorporación al suelo	
	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg materia seca/kg fruta consumible]	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg materia seca/kg fruta consumible]	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg N/kg fruta consumible]
Arica y Parinacota	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Tarapacá	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Antofagasta	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Atacama	5,1 E-03	4,6 E-03	5,1 E-03	4,6 E-03	4,1 E-02	1,63 E-04
Coquimbo	4,9 E-03	4,5 E-03	4,9 E-03	4,5 E-03	4,0 E-02	1,58 E-04

Valparaíso	5,6 E-03	5,0 E-03	5,6 E-03	5,0 E-03	4,5 E-02	1,79 E-04
Metropolitana	4,8 E-03	4,3 E-03	4,8 E-03	4,3 E-03	3,8 E-02	1,52 E-04
O'higgins	6,0 E-03	5,4 E-03	6,0 E-03	5,4 E-03	4,8 E-02	1,90 E-04
Maule	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Ñuble	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Biobío	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Araucanía	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Los Ríos	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Los Lagos	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Aysén	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04
Magallanes	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,68 E-04

4. Para cada macrozona, calcular los factores asociados a la disponibilidad de residuos para la combustión, uso como leña o incorporación al suelo, por kilogramo de fruta producido (ver ecuación (D.15)).

Utilizando los datos presentes en la sección E.1.6 se calculan los factores asociados a la disponibilidad de materia seca y de nitrógeno, por kilogramo de fruta, para las diferentes macrozonas. Específicamente, para el caso de la combustión en el campo para el cultivo de palta en la macrozona norte, se tiene:

$$\begin{aligned}
 F_{C_{\text{palta,quema}}}^{\text{norte}} &= 5,2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,02 + 5,2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,00 + 5,2 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,00 \\
 &+ 5,1 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,04 + 4,9 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,26 + 5,6 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 0,6 \\
 &= 5,4 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg residuo}}{\text{kg fruta}} \right]
 \end{aligned} \quad (\text{E.48})$$

Y procediendo de manera análoga para el resto de los destinos de los residuos del sector en las respectivas macrozonas, se tiene:

Tabla E.47: Materia seca y masa de nitrógeno derivada de la generación de residuos, según su disposición, para distintas macrozonas de Chile. Clase representativa "palta".

Macrozona	Combustión en el campo		Uso como leña		Incorporación al suelo	
	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg materia seca/kg fruta consumible]	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg materia seca/kg fruta consumible]	[kg residuo/kg fruta consumible]	[kg N/kg fruta consumible]
Norte	5,4 E-03	4,9 E-03	5,4 E-03	4,9 E-03	4,3 E-02	1,7 E-04
Centro	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,7 E-04
Sur	5,2 E-03	4,7 E-03	5,2 E-03	4,7 E-03	4,2 E-02	1,7 E-04

5. Utilizar la ecuación (D.14) para calcular el factor de emisión asociado a los distintos destinos otorgados a los residuos de poda y hojarasca en las distintas macrozonas del país.

Para este paso se ejemplificarán los cálculos asociados a la combustión en el campo, puesto que el caso de la disposición de residuos a uso como leña se calcula de manera análoga a la combustión en el campo, con la variación del factor de emisión respectiva. El cálculo de las emisiones asociadas a la incorporación al suelo se

hace de la misma manera que el cálculo de emisiones por fertilización nitrogenada de cultivos. En este sentido, una vez obtenida la masa de nitrógeno añadida al suelo a través de los residuos orgánicos, se procede de manera análoga a la sección D.1.4 (ver memoria de cálculo asociada en la sección E.2.4.1), con la salvedad de que para las emisiones indirectas no se considera la volatilización de nitrógeno tras su aplicación [157].

En el caso de la macrozona norte, el factor de emisión por kilogramo de fruta producida asociado a la combustión de residuos se obtiene utilizando los datos disponibles en la Tabla E.7, específicamente el factor asociado a la combustión de residuos agrícolas. Se debe destacar que, según las directrices del IPCC, las emisiones de dióxido de carbono producidas tras la combustión o descomposición de residuos sobre el suelo no se consideran en las emisiones de GEI que contribuyen al Calentamiento Global, asumiendo que las absorciones anuales de CO₂ derivadas del crecimiento vegetativo están en equilibrio con las emisiones de carbono asociadas a la combustión o descomposición sobre el suelo [159].

Con lo anterior, el factor de emisión correspondiente a la combustión de residuos de poda y hojarasca tras la producción de un kilogramo de palta en la macrozona norte está dado por:

$$\begin{aligned}
 FE_{\text{quemado de residuos, palta}}^{\text{norte}} &= 4,9 \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kg materia seca}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot \left(0,0027 \left[\frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg materia seca}} \right] \cdot 28 \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg CH}_4} \right] + \dots \right) \\
 &= 4,07 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg fruta}} \right]
 \end{aligned} \quad (E.49)$$

Y considerando los cálculos pertinentes mencionados anteriormente, para el resto de las categorías el factor de emisión resulta:

Tabla E.48: Factores de emisión por kilogramo de fruta producida derivados de la disposición de residuos de poda y hojarasca en distintas macrozonas de Chile. Clase representativa "palta".

Macrozona	[kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]		
	Combustión en el campo	Uso como leña	Incorporación al suelo
Norte	4,07 E-04	8,1 E-04	7,2 E-04
Centro	3,94 E-04	7,8 E-04	7,0 E-04
Sur	3,94 E-04	7,8 E-04	8,5 E-04

6. Calcular las emisiones a nivel nacional asociadas a esta categoría, utilizando la ecuación (D.13).

El caso específico para la combustión de residuos se ejemplifica a continuación, donde se utilizan los datos de las tablas E.13 y E.48:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones}_{\text{campo, quemado de residuos, palta}} &= 4,07 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 397.482.091 [\text{kg fruta}] \dots \\
 &+ 3,94 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 232.954.341 [\text{kg fruta}] \dots \\
 &+ 3,94 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg fruta}} \right] \cdot 124.196 [\text{kg fruta}] \\
 &= 253.608 [\text{kg CO}_2\text{eq}]
 \end{aligned} \quad (E.50)$$

Para el resto de las categorías asociadas a la disposición de residuos, el cálculo es análogo.

E.3 Postcosecha

E.3.1 Consumo Hídrico

E.3.1.1 *Memoria de cálculo: Consumo hídrico de la etapa postcosecha a nivel nacional*

El procedimiento seguido para la obtención del consumo hídrico del sector frutícola a nivel nacional por concepto del procesamiento postcosecha de la fruta consta de dos pasos principales, los que se describen a continuación:

1. Obtención de un factor de consumo hídrico específico según la complejidad de la línea de postcosecha.

Tal como se menciona en la sección D.2.1, las líneas de envasado o procesamiento postcosecha varían según la complejidad necesaria para tratar las diferentes frutas. Una línea más compleja tiene más operaciones y, específicamente, las líneas de alta complejidad son aquellas que contemplan el lavado de fruta (ver Tabla D.3) y que, en consecuencia, más agua consumen con respecto al resto de las líneas.

Adicionalmente, quien lea este anexo debe tener en cuenta que el cálculo de este factor corresponde a una estimación gruesa, basada en el consumo hídrico reportado por una planta de producción de jugos elaborados con un 100% de fruta. Para la obtención del factor se consideraron las operaciones que este proceso tiene en común con el proceso de postcosecha de la fruta, obviando aquellas etapas destinadas estrictamente a la preparación del jugo. Dicho esto, y considerando los datos descritos en la Tabla D.5, se tienen los siguientes consumos, reportados por la empresa de referencia, para las operaciones asociadas al procesamiento postcosecha:

Complejidad de la línea	Operaciones consideradas	Consumo hídrico promedio [m ³ /día]
Alta	Lavado de fruta, equipos, pisos y bins (sala de lavado de fruta)	24
	Enfriamiento	17,5
	Caldera	1
	Aseos	8
Media y Baja	Enfriamiento	17,5
	Caldera	1
	Aseos	8

Adicionalmente, la empresa AFE reporta una producción anual de 850 m³ de jugo 100% de manzana. Para obtener el flujo másico de la producción, se consideran datos como el % de agua presente en la fruta, además de la densidad del jugo (ver Tabla E.49):

Tabla E.49: Composición de la manzana y densidad del jugo de manzana utilizadas en los cálculos.

Parámetro	Valor	Observación	Referencia
Fracción másica de agua presente en una manzana	0,84		[194]
Densidad del jugo de manzana	997 [kg/m ³]	Considerando la fracción de agua presente en la fruta, se asume la densidad del jugo igual a la del agua.	[195]

Con lo ya expuesto, es posible obtener la masa de manzanas tratadas anualmente según la ecuación (E.51):

$$F_{Manzanas} \left[\frac{t}{año} \right] = \frac{Fv_{manzanas} \left[\frac{m^3}{año} \right] \cdot \rho_{jugo} \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{x_{agua,manzana} \cdot 1000 \left[\frac{kg}{t} \right]} \quad (E.51)$$

Con lo que se tiene, para las distintas operaciones (Tabla E.50):

Tabla E.50: Consumo hídrico específico promedio para las distintas complejidades de las líneas de envasado. Elaboración propia.

Complejidad de la línea	Operaciones consideradas	Consumo hídrico promedio [m ³ /día]	Consumo hídrico específico promedio [m ³ /t fruta]	Consumo hídrico específico promedio total [m ³ /t fruta]
Alta	Lavado de fruta, equipos, pisos y bins (sala de lavado de fruta)	24	8,68	18,26
	Enfriamiento	17,5	6,33	
	Caldera	1	0,36	
	Aseos	8	2,89	
Media y Baja	Enfriamiento	17,5	6,33	9,59
	Caldera	1	0,36	
	Aseos	8	2,89	

2. Cálculo del consumo hídrico a nivel nacional por concepto de procesamiento postcosecha.

Para la obtención del consumo de agua asociado a la etapa de procesamiento postcosecha de la fruta, basta con utilizar la ecuación (D.25) presente en la sección D.2. Se debe destacar que para este caso se cuenta con un factor de consumo específico promedio que no contempla diferencias climáticas ni geográficas, sino que se clasifica únicamente según la complejidad de la línea de procesamiento, lo que conlleva a que las distintas clases representativas del sector se asocien a distintos factores de consumo. Por ejemplo, para el caso de la manzana (procesada en líneas de alta complejidad), el cálculo del consumo hídrico estará dado por la suma de los consumos en las distintas macrozonas del país, por lo que se mostrará, en primer lugar, el cálculo del consumo en la macrozona norte y, posteriormente, el consumo total a nivel nacional:

$$H_2O_{manzana,postcosecha,norte} \left[\frac{m^3}{año} \right] = 18,26 \left[\frac{m^3}{t} \right] \cdot 198.778 \left[\frac{t}{año} \right] = 3.629.686 \left[\frac{m^3}{año} \right] \quad (E.52)$$

De manera análoga y considerando lo expuesto en la Tabla D.3, referido a la clasificación de las clases representativas según la complejidad de la línea en que son procesadas durante la etapa postcosecha, se tiene:

Tabla E.51: Consumo hídrico por concepto de tratamiento postcosecha de la clase representativa "manzana" en las distintas macrozonas de Chile.

Macrozona	Consumo hídrico de la etapa postcosecha (manzana) [m ³ /año]
Norte	3.629.686
Centro	61.785.157
Sur	6.993.799

Con lo anterior y reemplazando en la ecuación (D.25):

$$H_2O_{\text{manzana,postcosecha}} = 3.629.686 + 61.785.157 + 6.993.799 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] = 72.408.642 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] \quad (\text{E.53})$$

Para el resto de las clases representativas, el cálculo es análogo.

E.3.2 Emissiones por uso de energía en el procesamiento postcosecha

E.3.2.1 *Obtención del consumo energético específico de electricidad en las operaciones de climatización a nivel regional.*

Como se menciona en la sección D.2.2, la energía eléctrica consumida en las etapas de frío fue aproximada a partir de un análisis de sensibilidad realizado en el estudio utilizado como referencia. Dicho estudio utilizó el modelo elaborado para proyectar la energía utilizada en las etapas de refrigeración y la distribución de las pérdidas energéticas generadas por diversas causas dentro de la operación de la planta. A continuación se muestra el gráfico reportado en el estudio que permitió derivar el factor de consumo energético específico asociado a la refrigeración de la fruta, operación que se abastece energéticamente de electricidad, según el mismo estudio.

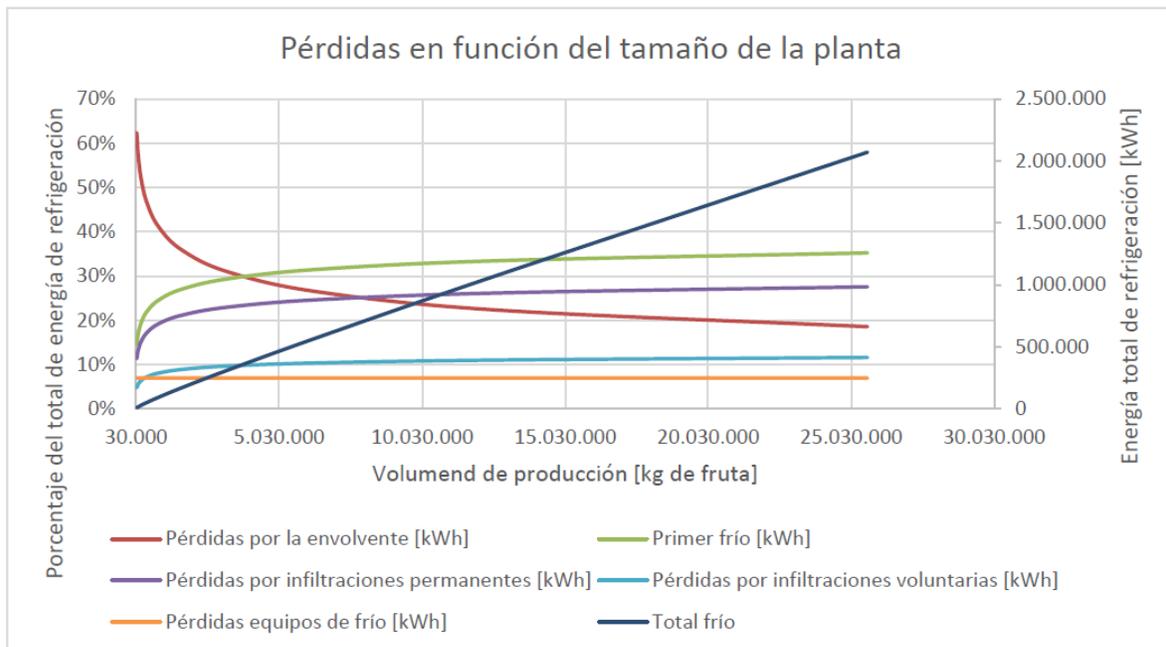


Figura E.1: Sensibilidad de la demanda de frío frente al volumen de almacenamiento. Extraída de [72].

A partir de la figura expuesta se obtuvieron los puntos asociados a la curva de la demanda total de frío en función de la masa producida por la planta. Para una mayor precisión, se utilizó el software Engauge Digitizer ® y posteriormente se obtuvo la línea de tendencia asociada a dichos puntos, que se adjunta a continuación:

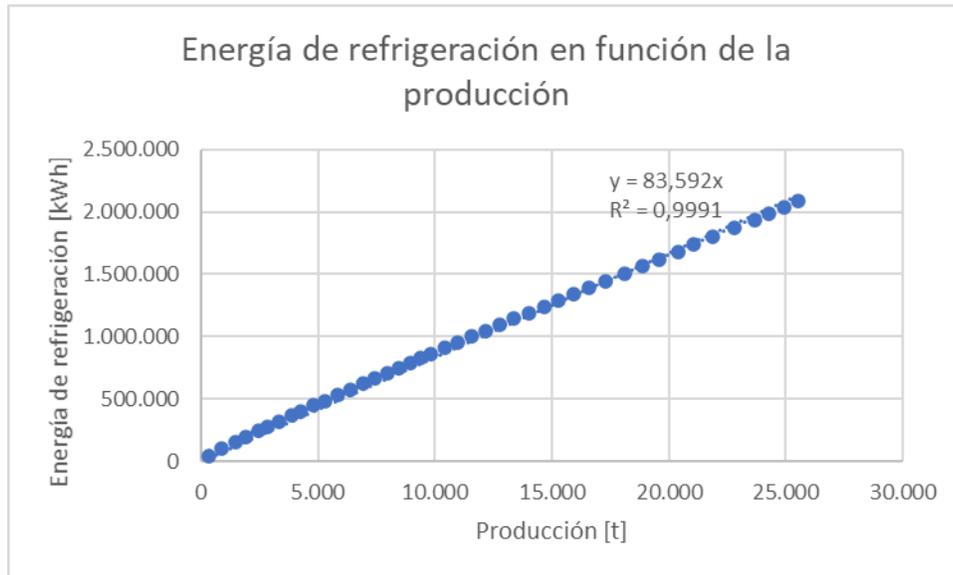


Figura E.2: Energía de refrigeración en función de la escala de producción de una planta de procesamiento postcosecha. Elaboración propia a partir de [72].

A partir de la Figura E.2 es posible notar que la pendiente de la recta trazada corresponde al consumo energético específico asociado a la refrigeración de la fruta, correspondiente a 83,592 [kWh/t].

Se debe destacar que este consumo está referido a datos obtenidos a partir de un caso real ubicado en la región del Maule (Sociedad Agrícola Puente Negro). Para incluir la variable asociada al clima de las distintas regiones del país en el consumo energético asociado a la refrigeración de la fruta, se trabaja con el mismo estudio, que analizó las variaciones en la demanda de frío respecto a la ubicación de una planta de postcosecha ubicada en los valles de distintas regiones del país (ver Figura E.3)

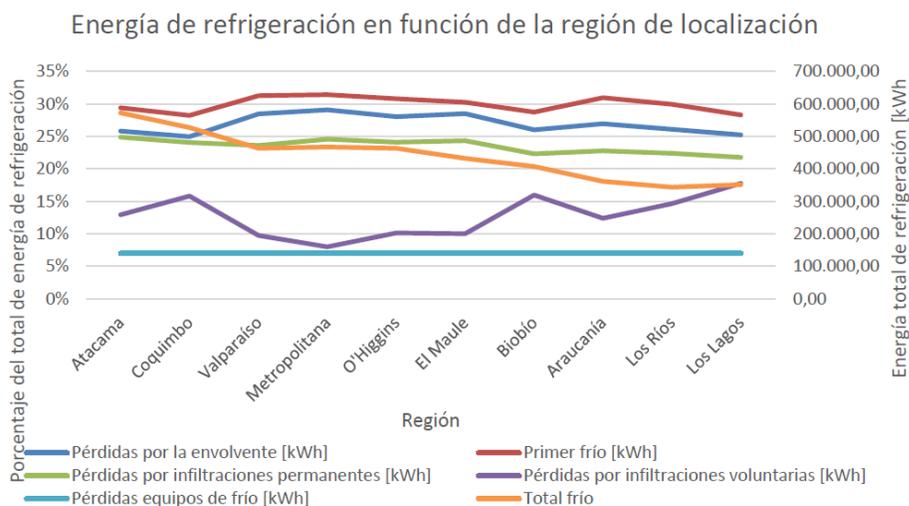


Figura E.3: Sensibilidad de la demanda de frío frente a la localización de la cámara (Valles de cada región). Extraída de [72].

Utilizando el software Engauge Digitizer ® se extrajeron los puntos asociados a la energía total de refrigeración en función de la localización de la planta y posteriormente se elaboró un factor de ajuste asociado a la variación del consumo energético de las distintas regiones respecto a la región de El Maule, que corresponde al caso promedio utilizado para obtener el factor de consumo energético por unidad de masa. Con lo anterior, se obtuvieron los siguientes factores:

Tabla E.52: Factor de corrección de la demanda de frío según la localización de la planta de procesamiento postcosecha. Elaboración propia a partir de [72].

Región	Factor de ajuste
Atacama	1,33
Coquimbo	1,23
Valparaíso	1,08
Metropolitana	1,08
O'Higgins	1,07
El Maule	1,00
Biobío	0,94
Araucanía	0,83
Los Ríos	0,79
Los Lagos	0,81

El consumo específico de energía por concepto de refrigeración de la fruta a nivel regional obtenido tras la aplicación del factor de ajuste se muestra a continuación:

Tabla E.53: Consumo energético específico para las operaciones de refrigeración de fruta a nivel regional.

Región	Consumo Específico en Refrigeración* [kWh/t]
Atacama	111,34
Coquimbo	102,48
Valparaíso	90,46
Metropolitana	90,64
O'Higgins	89,51
Maule	83,59
Biobío	78,76
Araucanía	69,57
Los Ríos	66,27
Los Lagos	67,54

*Incluye pre-refrigeración

E.3.2.2 Factores de consumo energético específico a nivel regional en función de la complejidad de la línea de procesamiento postcosecha.

En esta sección, quien lea podrá encontrar el procedimiento seguido para la obtención de los factores de consumo asociados al uso de energía en las operaciones postcosecha, clasificados según las operaciones en que se utilizan y según la fuente energética utilizada. La información reportada está basada en el estudio de referencia utilizado, correspondiente al informe final del proyecto "NAMA: Energías Renovables para

Autoconsumo en Chile”, que establece consumos promedio asociados a distintas operaciones presentes en los procesos de postcosecha.

Los factores de consumo desglosados según la fuente de origen y la complejidad de la línea son reunidos en las tablas a continuación, que se construyen reuniendo los datos de las tablas D.3, D.7 y D.8. A continuación se encuentran los factores desglosados a nivel regional según las distintas complejidades de las líneas de procesamiento:

Tabla E.54: Factores de consumo energético específicos regionales según fuente y operación. Línea de Alta complejidad.

Región	GLP [kWh/t]				Diesel [kWh/t]	Electricidad [kWh/t]	
	Secado	Lavado	Limpieza general	Total		Refrigeración (+Pre-refrigeración)	Otros procesos
Atacama	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	111,34	23,30
Coquimbo	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	102,48	23,30
Valparaíso	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	90,46	23,30
Metropolitana	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	90,64	23,30
O'Higgins	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	89,51	23,30
Maule	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	83,59	23,30
Biobío	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	78,76	23,30
Araucanía	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	69,57	23,30
Los Ríos	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	66,27	23,30
Los Lagos	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	67,54	23,30

Para el caso de las líneas de complejidad media, se eliminan los consumos asociados al lavado y secado de fruta, que no son contemplados en estos procesos.

Tabla E.55: Factores de consumo energético específicos regionales según fuente y operación. Línea de complejidad Media.

Región	GLP [kWh/t]				Diesel [kWh/t]	Electricidad [kWh/t]	
	Secado	Lavado	Limpieza general	Total		Refrigeración (+Pre-refrigeración)	Otros procesos
Atacama	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	111,34	26,60
Coquimbo	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	102,48	26,60
Valparaíso	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	90,46	26,60
Metropolitana	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	90,64	26,60
O'Higgins	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	89,51	26,60
Maule	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	83,59	26,60
Biobío	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	78,76	26,60
Araucanía	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	69,57	26,60
Los Ríos	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	66,27	26,60
Los Lagos	0,00	2,50	2,50	5,00	1,40	67,54	26,60

Finalmente, para las líneas de baja complejidad, se eliminan tanto el lavado como el secado de fruta, además de la energía utilizada en la limpieza de equipos.

Tabla E.56: Factores de consumo energético específicos regionales según fuente y operación. Línea de Baja complejidad.

Región	GLP [kWh/t]				Diesel [kWh/t]	Electricidad [kWh/t]	
	Secado	Lavado	Limpieza general	Total		Refrigeración (+Pre-refrigeración)	Otros procesos
Atacama	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	111,34	13,60
Coquimbo	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	102,48	13,60
Valparaíso	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	90,46	13,60
Metropolitana	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	90,64	13,60
O'Higgins	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	89,51	13,60
Maule	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	83,59	13,60
Biobío	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	78,76	13,60
Araucanía	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	69,57	13,60
Los Ríos	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	66,27	13,60
Los Lagos	0,00	2,50	0,00	2,50	1,40	67,54	13,60

E.3.2.3 Memoria de cálculo: Emisiones de GEI por uso de energía en el procesamiento postcosecha.

Para la obtención de las emisiones derivadas del uso de energía en los procesos de postcosecha, se seguirán los pasos propuestos en la sección D.2.2. Como ejemplo se tomará el cálculo en la macrozona norte para la clase representativa “manzana”. Esto quiere decir que se utilizarán los datos asociados a la manzana para la estimación de factores de emisión, sin embargo, los datos de actividad utilizados corresponderán a los de la manzana, pero también a aquellos frutales contenidos en esta categoría (consultar la sección 3.3 para más detalle).

1. Obtener los factores de consumo energético específico asociados a las distintas operaciones de procesamiento para cada clase representativa en cada región, considerando la complejidad de la línea de envasado asociada a cada clase y los factores de consumo específico genéricos “tipo” para cada línea (ver tablas D.3 y D.8).
 2. Clasificar los factores obtenidos en el paso 2. según la fuente energética de origen y utilizar la ecuación (D.26) para obtener un factor de consumo específico regional asociado a cada fuente.
 3. Calcular un factor de consumo específico para las respectivas fuentes energéticas, en cada macrozona y para cada clase representativa (utilizando la ecuación (D.27)).
1. Obtener los factores de consumo energético específico asociados a las distintas operaciones de procesamiento para cada clase representativa en cada región, considerando la complejidad de la línea de envasado asociada a cada clase y los factores de consumo específico genéricos “tipo” para cada línea (ver tablas 3.7 y 3.11).

Este paso fue desarrollado anteriormente (ver sección E.3.2.2), por lo que en esta memoria de cálculo se utilizarán directamente los valores de la Tabla E.54, considerando que la manzana es procesada bajo la línea de alta complejidad.

2. Clasificar los factores obtenidos en el paso 2. según la fuente energética de origen y utilizar la ecuación (D.26) para obtener un factor de consumo específico regional asociado a cada fuente.

Como la manzana es procesada bajo la línea de alta complejidad, se deben ponderar los consumos específicos asociados a este tipo de línea. Como primer ejemplo se calculará el factor de consumo específico asociado al uso de GLP en los procesos de refrigeración en la región de Atacama. El cálculo para el resto de las operaciones y regiones es análogo.

Considerando los datos expuestos en la Tabla E.54, para el caso del consumo de GLP en la región de Atacama se tendrá el siguiente factor de consumo específico:

$$FC_{manzana, GLP}^{Atacama} = 1,89 \left[\frac{kWh}{t} \right] + 9,61 \left[\frac{kWh}{t} \right] + 2,50 \left[\frac{kWh}{t} \right] = 14,00 \left[\frac{kWh}{t} \right] \quad (E.54)$$

Si bien este resultado está reportado en la Tabla D.7, puede variar según sea el caso de estudio, por lo que se ejemplifica el cálculo de todas formas. El cálculo para el resto de las fuentes y regiones es análogo y los resultados se adjuntan a continuación:

Tabla E.57: Factor de consumo específico regional por tipo de fuente energética. Línea de Alta complejidad.

Región	GLP [kWh/t]	Diesel [kWh/t]	Electricidad [kWh/t]
Atacama	14,00	16,70	134,64
Coquimbo	14,00	16,70	125,78
Valparaíso	14,00	16,70	113,76
Metropolitana	14,00	16,70	113,94
O'Higgins	14,00	16,70	112,81
Maule	14,00	16,70	106,89
Biobío	14,00	16,70	102,06
Araucanía	14,00	16,70	92,87
Los Ríos	14,00	16,70	89,57
Los Lagos	14,00	16,70	90,84

3. Calcular un factor de consumo específico para las respectivas fuentes energéticas, en cada macrozona y para cada clase representativa (utilizando la ecuación (D.27))

Para calcular el factor de consumo específico de GLP en la macrozona norte, es preciso contar con los factores de consumo asociados a cada región. Quien lea podrá notar que los datos existentes están para el territorio comprendido entre las regiones de Atacama a Los Lagos (sin incluir la región de Ñuble). Para lidiar con la ausencia de esta información, se toman los siguientes supuestos:

- Las regiones de la macrozona norte que no cuentan con información serán aproximadas según la región más cercana con información disponible. En este caso, la región de Atacama.
- Las regiones de la macrozona sur que no cuentan con información serán aproximadas según la región más cercana con información disponible. En este caso, la región de Los Lagos.
- Para la región de Ñuble se asumirá semejanza con la región de Biobío, considerando que a la fecha del estudio ambas regiones correspondían a una sola.

Dicho lo anterior, para obtener el factor de consumo asociado a la macrozona norte se utiliza la ecuación (D.27) y los datos presentes en las tablas E.13 y E.57. Si bien el cálculo puede resultar directo en este caso particular (debido a que se tiene un mismo factor para todas las regiones), se deja el desarrollo para ejemplificar:

$$\begin{aligned}
FC_{manzana, GLP}^{Norte} &= 14,00 \cdot 0,0001 + 14,00 \cdot 0 + 14,00 \cdot 0,0027 \dots \\
&+ 14,00 \cdot 0,0006 + 14,00 \cdot 0,1464 + 14,00 \cdot 0,8502 \\
&= 14,00 \left[\frac{kWh}{t} \right]
\end{aligned} \tag{E.55}$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las macrozonas y fuentes energéticas, se tiene:

Tabla E.58: Factores de consumo específico por tipo de combustible. Línea de alta complejidad.

Macrozona	GLP [kWh/t]			Diesel [kWh/t]	Electricidad [kWh/t]			
	Secado	Lavado	Limpieza general	Total	Total (Operaciones electromecánicas)	Refrigeración (+Pre-refrigeración)	Otros procesos	Total
Norte	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	92,29	23,30	115,59
Centro	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	86,34	23,30	109,64
Sur	1,89	9,61	2,50	14,00	16,70	70,89	23,30	94,19

4. Calcular el factor de emisión asociado al consumo energético de la etapa de postcosecha para cada clase representativa en cada macrozona, utilizando la ecuación (D.28).

Continuando con el ejemplo de la clase representativa “manzana” en la macrozona Norte, los factores de emisión asociados a los distintos GEI para el GLP se encuentran disponibles en la Tabla E.4 (combustión estacionaria). Con esto se tiene:

$$\begin{aligned}
FE_{postcosecha, manzana, GLP}^{Norte} &= 14,000 \left[\frac{kWh}{t} \right] \cdot \frac{1}{277.777,778} \left[\frac{TJ}{kWh} \right] \cdot 63.100 \left[\frac{kg CO_2}{TJ} \right] \cdot 1 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg CO_2} \right] \dots \\
&+ 14,000 \left[\frac{kWh}{t} \right] \cdot \frac{1}{277.777,778} \left[\frac{TJ}{kWh} \right] \cdot 5 \left[\frac{kg CH_4}{TJ} \right] \cdot 28 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg CH_4} \right] \dots \\
&+ 14,000 \left[\frac{kWh}{t} \right] \cdot \frac{1}{277.777,778} \left[\frac{TJ}{kWh} \right] \cdot 0,1 \left[\frac{kg N_2O}{TJ} \right] \cdot 265 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg N_2O} \right] \\
&= 3,189 \left[\frac{kg CO_2eq}{t fruta} \right]
\end{aligned} \tag{E.56}$$

Desarrollando el cálculo para el resto de las fuentes energéticas, y considerando el factor de emisión de la matriz eléctrica como el factor promedio anual reportado por la Comisión Nacional de Energía para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en el año 2020 [95], cuyo valor es de 0,3834 [kgCO₂eq/MWh], se obtiene:

Macrozona	Emisiones específicas de GEI [kgCO ₂ eq/t fruta consumible]		
	GLP	Diésel	Electricidad
Norte	3,189	4,481	44,318
Centro	3,189	4,481	42,037
Sur	3,189	4,481	36,113

De modo que el factor de consumo específico por concepto de uso de energía en el procesamiento postcosecha para la clase representativa “manzana” está dado por:

$$\begin{aligned}
FC_{postcosecha, manzana}^{Norte} &= 3,189 \left[\frac{kg CO_2eq}{t fruta} \right] + 4,481 \left[\frac{kg CO_2eq}{t fruta} \right] + 44,318 \left[\frac{kg CO_2eq}{t fruta} \right] \\
&= 51,988 \left[\frac{kg CO_2eq}{t fruta} \right]
\end{aligned} \tag{E.57}$$

$$= 0,052 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right]$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las macrozonas, se tiene:

Tabla E.59: Emisiones de GEI específicas por uso de energía en procesamiento postcosecha. Clase representativa "manzana".

[kg CO ₂ eq/kg manzana]	
Norte	0,052
Centro	0,050
Sur	0,044

5. Utilizar la ecuación (D.13) para obtener las emisiones de GEI asociadas a la etapa de postcosecha.

Considerando la ecuación mencionada y los datos de actividad presentes en la Tabla E.13:

$$\begin{aligned}
 Emisiones_{postcosecha,manzana} &= 0,052 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 198.778.000 [kg fruta] \dots \\
 &+ 0,050 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 3.383.634.000 [kg fruta] \dots \\
 &+ 0,044 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 383.012.000 [kg fruta] \\
 &= 195.293.802 [kg CO_2eq]
 \end{aligned}
 \tag{E.58}$$

E.4 Distribución

E.4.1 Caracterización del transporte marítimo refrigerado

Para la estimación del rendimiento del combustible de un buque de carga se utilizó como referencia el factor de consumo reportado por el IPCC para barcos de tipo “portacontenedores”, equivalente a 65,9 [t/día] [98]. Para estimar el rendimiento de combustible por kilómetro recorrido, es preciso identificar la distancia promedio recorrida por un barco en un día, lo que se realiza considerando una velocidad promedio de 22,5 nudos, correspondiente a la media del intervalo reconocido como la velocidad normal de buques portacontenedores (entre 20 y 25 nudos [99,100]) y que dista en un 2% de la velocidad óptima de viaje considerando el caso real de uno de los buques portacontenedores de mayor capacidad del mundo [101].

Adicionalmente, se considera como principal combustible utilizado en los buques el fuelóleo residual, cuya densidad de 0,991 [kg/L] es aproximada a partir del combustible IFO-380 (*intermediate fuel oil 380*), reportado como el petróleo de uso marino por ENAP [196]. Todos los datos anteriormente expuestos se resumen en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Factor de Consumo de combustible	65,900	[t/día]
Velocidad promedio del buque	22,500	[kn]
Densidad combustible	0,991	[kg/L]

El rendimiento en km/L, entonces, se obtiene según la ecuación:

$$v_{buque} = 22,5 [kn] \cdot 1,852 \left[\frac{km}{h} \right] \cdot 24 \left[\frac{h}{día} \right] = 1.000,08 \left[\frac{km}{día} \right] \quad (E.59)$$

$$Rendimiento_{buque} = 1.000,08 \left[\frac{km}{día} \right] \cdot \frac{1}{65,9} \left[\frac{día}{t} \right] \cdot \frac{1}{1.000} \left[\frac{t}{kg} \right] \cdot 0,991 \left[\frac{kg}{L} \right] = 0,015 \left[\frac{km}{L} \right] \quad (E.60)$$

La capacidad del buque de carga se establece en 8.000 [TEU], valor que se escoge considerando el tamaño promedio de buques de carga que recorren rutas desde América Latina a Asia hacia el 2016, y que se valida considerando que solo un bajo porcentaje de los buques que realizan escalas en el puerto de San Antonio son de una capacidad igual o mayor a 10.000 [TEU] [102]. Considerando que 1 [TEU] equivale al transporte de un contenedor de 20 pies y que 2 [TEU] equivalen a 1 [FEU] (un contenedor de 40 pies), para efectos de expresar la capacidad en función de los contenedores utilizados en el sector frutícola se realiza esta conversión de unidades [103].

E.4.2 Estimación del rendimiento de combustible de un contenedor refrigerado de 40'

El consumo de combustible asociado a la operación de un contenedor refrigerado de 40 pies se ha reportado en 0,735 galones de diésel por hora [104]. Con el fin de facilitar los cálculos asociados a las emisiones de GEI por concepto de operación de los contenedores de refrigeración, se determina el rendimiento de combustible en unidades de litros de combustible por distancia recorrida. Esto dependerá del vehículo que transporte el contenedor analizado, específicamente, de su velocidad.

A continuación se presentan las velocidades promedio consideradas para las vías de transporte terrestre y marítima:

Tabla E.60: Velocidad promedio de vehículos transportadores de contenedores refrigerados durante la etapa de distribución de fruta. Elaboración propia.

Vía de transporte	Vehículo	Velocidad promedio [km/h]	Referencia
Terrestre	Camión transportador de contenedores	90,00	[105]
Marítima	Buque de carga	41,67	Ver sección E.4.1

Considerando el cambio de unidades y los datos de la Tabla E.61, los rendimientos se calculan según las ecuaciones:

$$Rendimiento_{c_{camión}} = \frac{90 \left[\frac{km}{h} \right]}{0,735 \left[\frac{gal}{h} \right] \cdot 3,785 \left[\frac{L}{gal} \right]} = 32,35 \left[\frac{km}{L} \right] \quad (E.61)$$

$$Rendimiento_{c_{buque}} = \frac{41,67 \left[\frac{km}{h} \right]}{0,735 \left[\frac{gal}{h} \right] \cdot 3,785 \left[\frac{L}{gal} \right]} = 14,97 \left[\frac{km}{L} \right] \quad (E.62)$$

E.4.3 Estimación de distancias promedio entre planta de procesamiento postcosecha y puertos de embarque

Como se mencionó en la sección D.3.1.3, la estimación de las distancias promedio se realiza utilizando el servicio “Google Maps”. La definición de los puntos de origen se basa en el supuesto de que las plantas de procesamiento postcosecha se encuentran ubicadas en las cercanías de los predios agrícolas (ver Tabla D.14) y, para considerar puntos de origen que se aproximen a la ubicación de los predios, para cada región se seleccionan aquellas dos provincias que presenten la mayor superficie plantada de frutales en plena producción y se promedia la distancia existente entre el centro de dichas provincias y el puerto de destino. El puerto de destino se define considerando la cantidad de viajes (enmarcados en la exportación de fruta) desde las regiones a los diferentes puertos nacionales. Todos estos datos se presentan a continuación:

Tabla E.61: Superficie plantada (frutales en plena producción) por provincia y región. Elaboración propia a partir de [197]

Región	Provincia	Superficie plantada [ha]
Arica y Parinacota	Arica	3.540
	Camarones	87
	Parinacota	15
	Putre	15
Tarapacá	Iquique	29
	Alto Hospicio	14
	Tamarugal	372
	Pozo Almonte	14
	Camiña	3
	Colchane	1
	Huara	27
	Pica	327
Antofagasta	Antofagasta	16

	Mejillones	0
	Sierra Gorda	0
	Taltal	9
	El Loa	140
	Calama	4
	San Pedro de Atacama	135
Atacama	Copiapó	12.291
	Caldera	398
	Tierra Amarilla	6.646
	Chañaral	4
	Diego de Almagro	4
	Huasco	4.917
	Vallenar	893
	Alto del Carmen	1.462
	Freirina	584
Coquimbo	Elqui	8.042
	La Serena	1.241
	Coquimbo	1.616
	Andacollo	45
	La Higuera	227
	Paiguano	911
	Vicuña	4.001
	Choapa	3.547
	Illapel	1.366
	Canela	294
	Los Vilos	460
	Salamanca	1.428
	Limarí	20.151
	Ovalle	9.399
	Combarbalá	1.849
	Monte Patria	7.387
	Punitaqui	1.055
	Río Hurtado	461
Valparaíso	Valparaíso	1.035
	Casablanca	450
	Concón	21
	Puchuncaví	188
	Quilpué	205
	Quintero	68
	Villa Alemana	48
	Viña del Mar	0
	Los Andes	10.228
	Calle Larga	2.553
	Rinconada	1.836
	San Esteban	3.543

	Petorca	14.740
	La Ligua	3.010
	Cabildo	5.104
	Papudo	23
	Zapallar	157
	Quillota	16.505
	Calera	504
	Hijuelas	2.460
	La Cruz	2.437
	Limache	1.049
	Nogales	2.179
	Olmué	743
	San Antonio	1.928
	Algarrobo	75
	Cartagena	265
	El Quisco	5
	El Tabo	4
	Santo Domingo	554
	San Felipe de Aconcagua	16.886
	San Felipe	4.442
	Catemu	1.481
	Llaillay	2.200
	Panquehue	2.680
	Putendo	2.291
	Santa María	3.791
Metropolitana	Santiago	1.166
	Cerro Navia	51
	Huechuraba	14
	La Florida	13
	La Pintana	44
	Las Condes	8
	Lo Barnechea	7
	Maipú	338
	Peñalolén	20
	Pudahuel	555
	Quilicura	8
	Renca	109
	Cordillera	2.540
	Puente Alto	55
	Pirque	1.828
	San José de Maipo	657
	Chacabuco	6.217
	Colina	2.721
	Lampa	1.412

	Tiltil	2.085
	Maipo	18.220
	San Bernardo	2.634
	Buin	6.259
	Calera de Tango	2.288
	Paine	7.039
	Melipilla	28.000
	Alhué	957
	Curacaví	1.736
	María Pinto	2.453
	San Pedro	2.696
	Talagante	9.263
	El Monte	1.012
	Isla de Maipo	2.571
	Padre Hurtado	541
	Peñaflor	530
O'Higgins	Cachapoal	55.293
	Rancagua	3.896
	Codegua	4.679
	Coinco	613
	Coltauco	3.241
	Doñihue	518
	Graneros	3.143
	Las Cabras	4.600
	Machalí	1.055
	Malloa	1.454
	Mostazal	2.340
	Olivar	2.138
	Peumo	3.692
	Pichidegua	2.557
	Quinta de Tilcoco	859
	Rengo	7.539
	Requínoa	6.949
	San Vicente	6.021
	Cardenal Caro	2.273
	Pichilemu	131
	La Estrella	784
	Litueche	156
	Marchihue	826
	Navidad	323
	Paredones	53
	Colchagua	20.402
San Fernando	4.175	
Chépica	1.321	
Chimbarongo	4.598	

	Lolol	1.816
	Nancagua	2.177
	Palmilla	1.318
	Peralillo	919
	Placilla	2.224
	Pumanque	353
	Santa Cruz	1.499
Maule	Talca	15.332
	Constitución	30
	Curepto	367
	Empedrado	5
	Maule	539
	Pelarco	688
	Pencahue	2.248
	Río Claro	4.607
	San Clemente	2.991
	San Rafael	2.492
	Cauquenes	1.120
	Chanco	234
	Pelluhue	32
	Curicó	33.551
	Hualañé	41
	Licantén	60
	Molina	4.598
	Rauco	920
	Romeral	5.146
	Sagrada Familia	2.618
	Teno	4.409
	Vichuquén	58
	Linares	15.492
	Colbún	2.479
	Longaví	3.011
	Parral	893
Retiro	1.824	
San Javier	735	
Villa Alegre	544	
Yerbas Buenas	2.434	
Biobío	Concepción	497
	Coronel	12
	Chiguayante	3
	Florida	136
	Hualqui	132
	Penco	2
	San Pedro de la Paz	1
	Santa Juana	92

	Talcahuano	0
	Tomé	65
	Hualpén	1
	Arauco	427
	Lebu	14
	Arauco	427
	Cañete	91
	Contulmo	93
	Curanilahue	77
	Los Alamos	53
	Tirúa	97
	Bío-Bío	4.061
	Los Angeles	1.815
	Antuco	30
	Cabrero	223
	Laja	177
	Mulchén	449
	Nacimiento	197
	Negrete	324
	Quilaco	63
	Quilleco	108
	San Rosendo	37
	Santa Bárbara	230
	Tucapel	106
	Yumbel	292
	Alto Bío-Bío	11
Ñuble	Ñuble	7.813
	Chillán	794
	Bulnes	370
	Cobquecura	34
	Coelemu	61
	Coihueco	1.541
	Chillán Viejo	198
	El Carmen	280
	Ninhue	26
	Ñiquén	364
	Pemuco	38
	Pinto	222
	Portezuelo	175
	Quillón	670
	Quirihue	24
	Ránquil	105
	San Carlos	2.088
	San Fabián	51
San Ignacio	345	

	San Nicolás	299
	Treguaco	35
	Yungay	96
Araucanía	Cautín	8.237
	Temuco	270
	Carahue	392
	Cunco	578
	Curarrehue	194
	Freire	976
	Galvarino	60
	Gorbea	784
	Lautaro	327
	Loncoche	603
	Melipeuco	111
	Nueva Imperial	414
	Padre las Casas	722
	Perquenco	224
	Pitrufquén	320
	Pucón	242
	Saavedra	190
	Teodoro Schmidt	214
	Toltén	71
	Vilcún	549
	Villarrica	838
	Cholchol	158
	Malleco	4.137
	Angol	1.251
	Collipulli	693
	Curacautín	52
	Ercilla	260
	Lonquimay	17
	Los Sauces	213
	Lumaco	145
	Purén	80
	Renaico	922
Traiguén	243	
Victoria	263	
Los Ríos	Valdivia	3.565
	Corral	45
	Lanco	600
	Los Lagos	224
	Máfil	217
	Mariquina	820
	Paillaco	275
Panguipulli	722	

	Ranco	1.800
	La Unión	654
	Futrono	168
	Lago Ranco	314
	Río Bueno	664
Los Lagos	Llanquihue	2.565
	Puerto Montt	408
	Calbuco	633
	Cochamó	135
	Fresia	284
	Frutillar	211
	Los Muermos	273
	Llanquihue	2.565
	Mauilín	334
	Puerto Varas	200
	Chiloé	1.589
	Castro	127
	Ancud	357
	Chonchi	175
	Curaco de Vélez	27
	Dalcahue	150
	Puqueldón	126
	Queilén	71
	Quellón	213
	Quemchi	204
	Quinchao	141
	Osorno	3.901
	Puerto Octay	238
	Purranque	538
	Puyehue	226
	Río Negro	765
	San Juan de La Costa	274
	San Pablo	509
	Palena	95
	Chaitén	9
	Futaleufú	56
Hualaihué	31	
Aysén	Coihaique	118
	Lago Verde	6
	Aysén	101
	Cisnes	9
	Capitán Prat	9
	Cochrane	9
	General Carrera	154
	Chile Chico	129

	Río Ibáñez	25
Magallanes y Antártica	Magallanes	3
	Punta Arenas	2
	Laguna Blanca	1
	Última Esperanza	6
	Natales	6

Tabla E.62: Viajes de exportación de otras especies, por región de origen y puerto de exportación. Elaborado a partir de [97]. La numeración de las regiones corresponde al año 2013.

Número	Región de origen	Puerto de exportación	Viajes/año
I	Tarapacá	A. Merino Benítez	0
I		San Antonio	2
I		Valparaíso	1
III	Atacama	A. Merino Benítez	0
III		Caldera	0
III		Los Andes	0
III		San Antonio	105
III		Valparaíso	37
IV	Coquimbo	A. Merino Benítez	26
IV		Coquimbo	28
IV		Lirquén	2
IV		Los Andes	65
IV		San Antonio	1.352
IV		Valparaíso	1.108
V	Valparaíso	A. Merino Benítez	50
V		Arica	8
V		Caldera	6
V		Coquimbo	23
V		Coronel	1
V		Lirquén	8
V		Los Andes	394
V		San Antonio	3.142
V		Valparaíso	4.469
RM	Metropolitana	A. Merino Benítez	113
RM		Arica	12
RM		Caldera	4
RM		Coquimbo	48
RM		Coronel	0
RM		Lirquén	5
RM		Los Andes	619
RM		San Antonio	2.659
RM		San Vicente	15
RM		Valparaíso	4.936
VI	O'Higgins	A. Merino Benítez	175
VI		Arica	1.652

VI		Caldera	25
VI		Coquimbo	61
VI		Coronel	5
VI		Lirquén	20
VI		Los Andes	1.215
VI		San Antonio	11.431
VI		San Vicente	103
VI		Valparaíso	9.458
VII	Maule	A. Merino Benítez	459
VII		Arica	417
VII		Caldera	3
VII		Coquimbo	6
VII		Coronel	107
VII		Lirquén	261
VII		Los Andes	1.121
VII		San Antonio	11.432
VII		San Vicente	235
VII		Valparaíso	9.999
VIII	Biobío	A. Merino Benítez	20
VIII		Arica	3
VIII		Caldera	1
VIII		Coquimbo	1
VIII		Coronel	199
VIII		Lirquén	152
VIII		Los Andes	26
VIII		San Antonio	342
VIII		San Vicente	441
VIII		Valparaíso	502
IX	La Araucanía	A. Merino Benítez	19
IX		Arica	7
IX		Caldera	1
IX		Coronel	817
IX		Lirquén	415
IX		Los Andes	4
IX		San Antonio	288
IX		San Vicente	676
IX		Valparaíso	288
X	Los Lagos	A. Merino Benítez	17
X		Coronel	7
X		Los Andes	0
X		San Antonio	45
X		San Vicente	1
X		Valparaíso	25
XI	Aysén	A. Merino Benítez	0
XI		Los Andes	0

XI		San Antonio	1
XI		San Vicente	0
XI		Valparaíso	0
XII	Magallanes	Coronel	0
XII		San Antonio	0
XII		Valparaíso	1
XIV	Los Ríos	A. Merino Benítez	0
XIV		Coronel	1
XIV		Lirquén	2
XIV		San Antonio	33
XIV		San Vicente	7
XIV		Valparaíso	45
Total			71.810

Al tomar como referencia para cada región aquellas dos provincias con la mayor superficie plantada de frutales y como punto de destino aquel puerto con la mayor cantidad de viajes provenientes desde la respectiva región, se obtienen las siguientes distancias:

Tabla E.63: Distancias entre puntos de origen y destino definidos para cada región. Elaboración propia con datos extraídos desde Google Maps.

Región	Provincias con mayor superficie plantada	Puerto de Destino	Distancia provincia-puerto [km]	Observación
Arica y Parinacota	Arica	San Antonio	2.057	A falta de datos, se asume la misma ruta que la región de Tarapacá
	Camarones	San Antonio	1.997	A falta de datos, se asume la misma ruta que la región de Tarapacá
Tarapacá	Tamarugal	San Antonio	1.840	
	Pica	San Antonio	1.780	
Antofagasta	El Loa	San Antonio	1.606	
	San Pedro de Atacama	San Antonio	1.650	
Atacama	Copiapó	San Antonio	827	
	Tierra Amarilla	San Antonio	827	
Coquimbo	Limarí	San Antonio	442	
	Ovalle	San Antonio	434	
Valparaíso	San Felipe de Aconcagua	Puerto Valparaíso	111	
	Quillota	Puerto Valparaíso	50	
Metropolitana	Melipilla	Puerto Valparaíso	103	
	Maipo	Puerto Valparaíso	156	
O'Higgins	Cachapoal	Puerto San Antonio	148	Se considera distancia desde Machalí, ya que no se encuentra una ruta desde Cachapoal

	Colchagua	Puerto San Antonio	166	
Maule	Curicó	Puerto San Antonio	215	La segunda provincia con más superficie (Linares) tiene como punto de destino el paso Pehuenche, correspondiente a una ruta de exportación que no se considera al no ser una exportación vía marítima
Biobío	Bío-Bío	Puerto Valparaíso	635	
	Los Ángeles	Puerto Valparaíso	623	
Ñuble	Ñuble	Puerto Valparaíso	555	A falta de datos, se asume el mismo destino que tiene la región del Biobío
	San Carlos	Puerto Valparaíso	490	A falta de datos, se asume el mismo destino que tiene la región del Biobío
Araucanía	Cautín	Puerto Coronel	301	
	Malleco	Puerto Coronel	214	
Los Ríos	Valdivia	Puerto Valparaíso	958	
	Ranco	Puerto Valparaíso	1.060	
Los Lagos	Osorno	Puerto San Antonio	948	
	Llanquihue	Puerto San Antonio	1.026	
Aysén		Puerto San Antonio	1.790	Si bien se establece la distancia interregional, no se encontraron rutas terrestres que conecten los puntos en Google Maps
Magallanes y Antártica		Puerto Valparaíso	3.113	Si bien se establece la distancia interregional, no se encontraron rutas terrestres que conecten los puntos en Google Maps

Con lo anteriormente expuesto, a continuación se presentan los puntos de destino definidos para cada región y las distancias recorridas entre la respectiva región y el puerto de embarque:

Tabla E.64: Distancia promedio para cada región y su respectivo puerto de destino. Elaboración propia.

Región	Destino	Distancia promedio [km]
Arica y Parinacota	San Antonio	2.027
Tarapacá	San Antonio	1.810
Antofagasta	San Antonio	1.628
Atacama	San Antonio	827
Coquimbo	San Antonio	438
Valparaíso	Puerto Valparaíso	81
Metropolitana	Puerto Valparaíso	130
O'Higgins	Puerto San Antonio	157
Maule	Puerto San Antonio	215
Biobío	Puerto Valparaíso	629

Ñuble	Puerto Valparaíso	523
Araucanía	Puerto Coronel	258
Los Ríos	Puerto Valparaíso	1.009
Los Lagos	Puerto San Antonio	987
Aysén	Puerto San Antonio	1.790
Magallanes y Antártica	Puerto Valparaíso	3.113

E.4.4 Estimación de los Factores de Emisión específicos por kilómetro recorrido para vehículos involucrados en la distribución de productos frutícolas

A continuación se presenta la estimación de los distintos Factores de Emisión asociados a los diferentes vehículos utilizados en la distribución de productos frutícolas. Para esto, se utilizará como base la ecuación (D.33) y los datos presentes en las tablas D.12, E.1, E.2, E.3, E.4., E.8 y E.9.

Como ejemplo de cálculo, se estimará el Factor de Emisión específico por kilómetro recorrido para el camión sin refrigeración “tipo” definido para este estudio. En este sentido, se tiene un rendimiento de combustible de 3,52 [km/L] y una capacidad de 11.540 [kg]. Considerando el uso de diésel como combustible y sus características fisicoquímicas disponibles en las tablas E.8 y E.9., para un tramo terrestre “t”, se tiene:

$$Rendimiento_{camión SR,t} \left[\frac{TJ}{km} \right] = \frac{41,4 \left[\frac{TJ}{Gg} \right] \cdot 10^{-9} \left[\frac{Gg}{g} \right] \cdot 840 \left[\frac{g}{L} \right]}{3,52 \left[\frac{km}{L} \right]} = 9,88 \cdot 10^{-6} \left[\frac{TJ}{km} \right] \quad (E.63)$$

Considerando los Factores de Emisión definidos por defecto para combustión móvil según el IPCC (disponibles en la Tabla E.2) y el Potencial de Calentamiento Global de cada GEI (ver Tabla E.1), se tiene:

$$FE_{CO_2, camión SR,t} \left[\frac{kg GEI}{km} \right] = 9,88 \cdot 10^{-6} \left[\frac{TJ}{km} \right] \cdot 74.100 \left[\frac{kg CO_2}{TJ} \right] \cdot 1 \left[\frac{kg CO_2 eq}{kg CO_2} \right] = 0,732 \quad (E.64)$$

$$FE_{CH_4, camión SR,t} \left[\frac{kg GEI}{km} \right] = 9,88 \cdot 10^{-6} \left[\frac{TJ}{km} \right] \cdot 4,15 \left[\frac{kg CO_2}{TJ} \right] \cdot 28 \left[\frac{kg CO_2 eq}{kg CH_4} \right] = 1,148 \cdot 10^{-3} \quad (E.65)$$

$$FE_{N_2O, camión SR,t} \left[\frac{kg GEI}{km} \right] = 9,88 \cdot 10^{-6} \left[\frac{TJ}{km} \right] \cdot 28,60 \left[\frac{kg CO_2}{TJ} \right] \cdot 265 \left[\frac{kg CO_2 eq}{kg N_2O} \right] = 0,075 \quad (E.66)$$

Luego, utilizando la ecuación (D.33):

$$FE_{camión SR,t} = \frac{0,732 \left[\frac{kg CO_2 eq}{km} \right] + 1,148 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg CO_2 eq}{km} \right] + 0,075 \left[\frac{kg CO_2 eq}{km} \right]}{11.540 [kg fruta]} \quad (E.67)$$

$$FE_{camión,t} = 7,00 \cdot 10^{-5} \left[\frac{kg CO_2 eq}{kg fruta \cdot km} \right]$$

Procediendo de manera análoga para el resto de los vehículos y contenedores según los distintos tramos se tiene:

Tabla E.65: Factores de Emisión específicos por km recorrido para los distintos vehículos utilizados en la distribución de fruta. Elaboración propia.

Vía de transporte	Tramo de la ruta de distribución	Vehículo	Combustible utilizado	Factor de Emisión [kg CO ₂ eq/(kg fruta km)]
Terrestre	Campo-Planta procesamiento	Camión	Diésel	6,44E-05
	Planta procesamiento-Consumo Interno	Camión	Diésel	6,44E-05
	Planta procesamiento-Puerto	Camión transportador de contenedores	Diésel	3,71E-05
		Contenedor Refrigerado 40' transportado por camión	Diésel	2,89E-06
		Camión con Contenedor refrigerado operativo (total)	Diésel	4,00E-05
Marítimo	Puerto-Puerto	Buque de carga	Fuelóleo Residual	1,83E-06
		Contenedor Refrigerado 40' transportado por buque	Diésel	6,24E-06
		Buque con Contenedores operativos (total)	Fuelóleo y Diésel	8,07E-06

Es preciso notar que, para el cálculo asociado a los tramos que transportan contenedores refrigerados, se tienen dos componentes que contribuyen al Factor de Emisión calculado: las emisiones asociadas al combustible utilizado por el vehículo como tal y; las emisiones asociadas al combustible consumido por el generador del contenedor refrigerado. De esta forma, es posible notar que, en el caso del buque, al normalizar las emisiones por km recorrido según la capacidad total del buque (4.000 contenedores de 40', equivalente a 112.000 toneladas de fruta, según la Tabla D.12), se observa una contribución menor al Factor de Emisión Específico por parte de las emisiones del buque en comparación con las emisiones asociadas al consumo energético del contenedor. Así, para utilizar estos factores y estimar las emisiones de un viaje marítimo, es necesario convertir la capacidad de un buque (expresada generalmente en número de contenedores) a masa de fruta transportada.

E.4.5 Participación de mercados internacionales en la exportación de fruta

La participación de los distintos mercados internacionales en la exportación de fruta chilena es relevante al momento de plantear un Factor de Emisión Específico genérico para la fruta exportada. En esta sección, quien lea encontrará cómo se estima el ponderador que permite generalizar dicho factor a partir de los Factores de Emisión Específicos según el puerto de destino, donde se consideraron los puertos de Filadelfia (EE.UU), Rotterdam (UE) y Shanghái (China) (ver sección E.4.6).

El panorama general de las exportaciones del sector silvoagropecuario se muestra en la siguiente figura, donde puede apreciarse que los principales mercados corresponden a China y Estados Unidos:

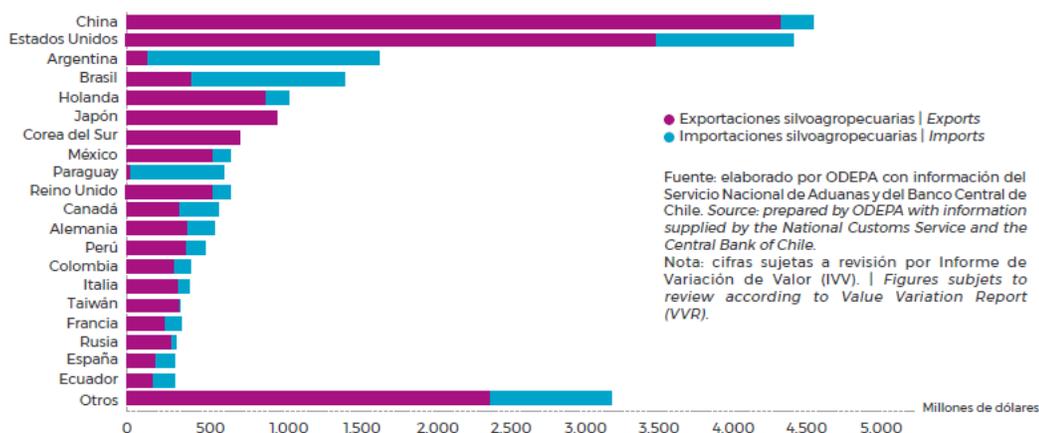


Figura E.4: Principales mercados relacionados con el comercio exterior silvoagropecuario. Año 2018. Extraído de [52].

Si bien la Figura E.4 muestra el comercio exterior del sector silvoagropecuario en su totalidad, es preciso destacar que al mismo año, las exportaciones primarias e industriales del subsector agrícola corresponden al 92% y 35% del total de las exportaciones del sector [52]. Adicionalmente, la fruta corresponde a uno de los principales productos exportados del subsector agrícola, lo que sumado a lo ya mencionado da pie a considerar que los datos expuestos representan una primera aproximación de la situación comercial del sector frutícola.

Dicho esto, y para mayor precisión en el tratamiento de datos, se utiliza el software Engauge Digitizer® para extraer los puntos de la Figura E.4 y concluir la participación porcentual de los principales mercados en las exportaciones del sector, clasificadas por continente:

Tabla E.66: Participación porcentual de mercados internacionales en exportaciones del sector silvoagropecuario. Elaboración propia a partir de [52].

Mercado	Países participantes	MMUSD exportados	% del total
América del Norte	Estados Unidos	3.849	22
	Canadá		
Latinoamérica	Ecuador	2.011	11
	Colombia		
	Perú		
	Paraguay		
	México		
	Brasil		
	Argentina		
Asia	Taiwán	6.696	38
	Corea del Sur		
	Japón		
	China		
Europa	España	2.649	15
	Francia		
	Italia		
	Alemania		
	Reino Unido		
	Holanda		
Otros	No especificado	2.402	14
Total		17.607	100

E.4.6 Memoria de cálculo: Emisiones de GEI por distribución

El cálculo de emisiones de GEI asociadas a la etapa de distribución de la fruta está referido a la sección D.3.2. Como ejemplo se tomará el cálculo asociado a la clase representativa “manzana”. Esto quiere decir que se utilizarán los datos asociados a la manzana para la estimación de factores de emisión, sin embargo, los datos de actividad utilizados corresponderán a la producción anual de manzana y de aquellos frutales contenidos en esta categoría (consultar la sección 3.3 para más detalle).

El ejemplo de cálculo se desarrollará siguiendo la secuencia de pasos propuestos en la sección D.3.2.

1. Definir un Factor de Emisión Específico por kilómetro recorrido para cada vehículo involucrado en la ruta de distribución, basándose en el rendimiento y capacidad de cada uno.

Este procedimiento es realizado en la sección E.4.4 (ver Tabla E.65) y se utilizarán todos los Factores para determinar tanto las emisiones asociadas al consumo Interno como a la exportación de la fruta.

2. Determinar un Factor de Emisión Específico a nivel regional para los respectivos tramos de la ruta según sea el destino de la fruta (Consumo Interno o Exportación) utilizando la ecuación (D.32), además de las distancias recorridas y vehículos utilizados disponibles en la sección D.3.1., según corresponda.

En este paso, se tienen como ejemplos de cálculo dos tramos asociados a la ruta de exportación: aquel definido entre la planta de procesamiento postcosecha y el puerto de embarque, además del tramo definido entre los puertos nacional e internacional. Lo anterior debido a que corresponden a ejemplos complejos de calcular y que serán utilizados en los pasos posteriores de esta memoria de cálculo.

En primer lugar, es preciso recordar que el tramo definido entre la planta de procesamiento postcosecha y el puerto de embarque involucra dos etapas: i) el transporte desde el depósito de contenedores (asumido en el mismo puerto de embarque) hacia la planta de postcosecha y; ii) el transporte desde la planta de postcosecha y el puerto de embarque. En segundo lugar, se debe tener en cuenta que, para la etapa i) se asume que el camión transportador de contenedores lleva el contenedor vacío y sin el sistema de refrigeración funcionando.

Como primera aproximación, se calculará el Factor de Emisión Específico para la región Metropolitana, cuyo puerto de destino corresponde al Puerto Valparaíso. Considerando las distancias dispuestas en la Tabla D.17 y los Factores de Emisión Específicos definidos en la Tabla E.65, para la etapa i) se tiene:

$$FE_{postcosecha-puerto}^{Metropolitana (i)} = 3,71 \cdot 10^{-5} \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta \cdot km} \right] \cdot 129,5 [km] = 4,80 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \quad (E.68)$$

Mientras que para la etapa ii), al tener el contenedor funcionando, se tiene:

$$FE_{postcosecha-puerto}^{Metropolitana (ii)} = 4,00 \cdot 10^{-5} \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta \cdot km} \right] \cdot 129,5 [km] = 5,18 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \quad (E.69)$$

Luego, para el tramo considerado como “procesamiento postcosecha-puerto” se tiene la suma de ambos factores:

$$FE_{postcosecha-puerto}^{Metropolitana (ii)} = 4,80 \cdot 10^{-3} + 5,18 \cdot 10^{-3} = 9,98 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \quad (E.70)$$

Procediendo de manera análoga para las regiones pertenecientes a la macrozona Centro, se tienen los siguientes resultados:

Tabla E.67: Factores de Emisión Específicos para el tramo postcosecha-puerto en regiones de la macrozona central de Chile. Clase representativa "manzana". Elaboración propia.

Región	Puerto de destino	Factor de Emisión Específico [kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]
Metropolitana	Puerto Valparaíso	9,98,E-03
O'Higgins	Puerto San Antonio	1,21,E-02
Maule	Puerto San Antonio	1,66,E-02
Ñuble	Puerto Valparaíso	4,03,E-02

Para el caso del tramo puerto-puerto, quien lea podrá notar que el Factor de Emisión Específico asociado a cada región depende, específicamente, del puerto nacional al que se envíe la fruta desde la planta de procesamiento de cada región para la futura exportación (punto de origen del tramo puerto-puerto). Con esto, y tras proceder de la manera descrita en las ecuaciones precedentes, los Factores de Emisión Específicos para el tramo marítimo, según el puerto de origen y destino, son:

Tabla E.68: Factores de Emisión Específicos para el tramo puerto-puerto según puerto de origen y destino. Válido para cualquier clase representativa. Elaboración propia.

Puerto de origen	Factor de Emisión Específico según puerto internacional de destino [kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]		
	Filadelfia	Rotterdam	Shanghái
Puerto San Antonio	0,070	0,112	0,154
Puerto Valparaíso	0,069	0,112	0,158
Puerto Coronel	0,072	0,115	0,152

Particularmente, aplicando la metodología descrita en el paso 2. para el tramo puerto-puerto, se tienen los siguientes resultados para las regiones de la macrozona central:

Tabla E.69: Factor de Emisión Específico para el tramo puerto-puerto de las regiones pertenecientes a la macrozona Centro. Elaboración propia.

Región de origen	Puerto de origen	Puerto de destino	Factor de Emisión Específico [kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]
Metropolitana	Puerto Valparaíso	Filadelfia	0,069
		Rotterdam	0,112
		Shanghái	0,158
O'Higgins	Puerto San Antonio	Filadelfia	0,070
		Rotterdam	0,112
		Shanghái	0,154
Maule	Puerto San Antonio	Filadelfia	0,070
		Rotterdam	0,112
		Shanghái	0,154
Ñuble	Puerto Valparaíso	Filadelfia	0,069
		Rotterdam	0,112
		Shanghái	0,158

Estos resultados se presentan para facilitar la explicación del paso descrito a continuación.

3. Generalizar el Factor de Emisión Específico de cada tramo para cada macrozona y clase representativa, utilizando la ecuación (D.30).

Para el caso de la clase “manzana” en la macrozona Centro, al reemplazar los términos respectivos en la ecuación mencionada se tiene:

$$\begin{aligned}
 FE_{distribución,postcosecha-puerto,manzana}^{Centro} &= 9,980 \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,090 \\
 &+ 1,210 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,423 \\
 &+ 1,660 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,406 \\
 &+ 4,030 \cdot 10^{-2} \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,080 \\
 &= 0,016 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right]
 \end{aligned} \tag{E.71}$$

Procediendo de manera análoga para el resto de los tramos en las respectivas macrozonas, se tiene:

Tabla E.70: Factores de Emisión Específicos para la clase representativa "manzana" en las distintas macrozonas de Chile.

		Factor de Emisión Específico por Macrozona [kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]		
Destino fruta	Tramo	Norte	Centro	Sur
Consumo Interno	Campo-postcosecha	0,004	0,004	0,004
	Postcosecha-Consumo Interno	0,032	0,028	0,048
Exportación	Campo-postcosecha	0,004	0,004	0,004
	Postcosecha-Puerto	0,011	0,016	0,036
	Puerto-Puerto (Filadelfia)	0,301	0,139	0,162
	Puerto-Puerto (Rotterdam)	0,487	0,224	0,262
	Puerto-Puerto (Shanghái)	0,668	0,312	0,365

Para los casos asociados al tramo Puerto-Puerto, los factores obtenidos derivan del uso de la ecuación (D.31). El ponderador $p_{po,z}$ se construye utilizando los datos expuestos en la Tabla E.64, de donde se deduce:

Tabla E.71: Distribución de los puertos de origen del tramo puerto-puerto para cada macrozona. Elaboración propia.

Puerto	Regiones por macrozona que inician las exportaciones en cada puerto		
	Norte	Centro	Sur
San Antonio	5	2	2
Valparaíso	1	2	3
Coronel	0	0	1
Total	6	4	6

Con lo recién expuesto, es posible obtener los ponderadores, según puerto de origen, asociados a la macrozona centro, donde se tiene que un 50% de las regiones pertenecientes a esta macrozona inician el recorrido puerto-

puerto desde el Puerto San Antonio ($p_{San Antonio, Centro} = 0,5$), mientras que el 50% restante inicia el recorrido desde el Puerto Valparaíso ($p_{Valparaíso, Centro} = 0,5$). Procediendo de manera análoga se tiene:

Tabla E.72: Porcentaje de participación de puertos de origen del tramo puerto-puerto por macrozona. Elaboración propia.

Puerto	% participación de puertos de origen por macrozona		
	Norte	Centro	Sur
San Antonio	83%	50%	33%
Valparaíso	17%	50%	50%
Coronel	0%	0%	17%

Así, calculando como ejemplo el Factores de Emisión para una fruta genérica en la macrozona central, con destino a EE.UU (Filadelfia) al reemplazar los datos de las tablas E.69 y E.72 en la ecuación (D.31), se tiene:

$$\begin{aligned}
 FE_{distribución, P-P, Filadelfia}^{Centro} &= \left(0,069 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] + 0,069 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \right) \cdot 0,5 \dots \\
 &+ \left(0,070 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] + 0,070 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \right) \cdot 0,5 \quad (E.72) \\
 &= 0,139 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right]
 \end{aligned}$$

Lo que se condice con lo expresado en la Tabla E.70.

4. Definir un Factor de Emisión Específico para cada macrozona según el destino de la fruta (Consumo Interno o Exportación) considerando todos los tramos de la ruta asociada (ver Ecuación (D.29)).

Utilizando los datos expuestos en la Tabla E.70 y la ecuación (D.29), para el caso de la ruta asociada al Consumo Interno (CI) en la macrozona Centro, se tiene:

$$\begin{aligned}
 FE_{distribución, CI, manzana}^{Centro} &= 0,004 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] + 0,028 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \\
 &= 0,032 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \quad (E.73)
 \end{aligned}$$

Para generalizar el Factor de Emisión Específico de la Exportación, se trabajará con los Factores definidos en la Tabla E.70. y la ecuación (D.29) de manera independiente para cada país de destino, obteniéndose:

Tabla E.73: Factor de Emisión Específico para exportación según macrozona de origen y país de destino. Clase representativa "manzana". Elaboración propia.

	[kg CO ₂ eq/kg fruta consumible]		
	EE. UU. (Filadelfia)	UE (Rotterdam)	China (Shanghái)
Norte	0,316	0,502	0,682
Centro	0,158	0,244	0,332
Sur	0,202	0,302	0,406

Para obtener un Factor de Emisión Específico genérico, los factores presentes en la Tabla E.73 son ponderados según la participación de cada país de destino en las exportaciones del sector Silvoagropecuario (ver sección E.4.5). Cabe destacar que los mercados de exportación presentados en la Tabla E.66 fueron agrupados según

la cercanía a los puertos de destino considerados en este estudio, a excepción de la categoría “Otros” que, debido a la ausencia de información, fue asignada de manera equitativa a cada puerto a fin de mantener la proporción definida por los datos existentes.

Tabla E.74: Participación de cada puerto en el total de exportaciones del sector silvoagropecuario. Ponderador a utilizar para generalizar el Factor de Emisión Específico para exportación (ver ecuación (E.74)).

Puerto definido	Mercados asociados	% del total
Filadelfia (EE. UU)	América del Norte	38
	Latinoamérica	
	1/3 de la categoría “Otros”	
Shanghái (China)	Asia	43
	1/3 de la categoría “Otros”	
Rotterdam (UE)	Europa	20
	1/3 de la categoría “Otros”	
	Total	100

Particularmente, utilizando esta distribución para la clase representativa “manzana” en la macrozona central de Chile, se tiene:

$$\begin{aligned}
 FE_{distribución,EX,manzana}^{Centro} &= 0,158 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,38 + 0,244 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,20 \dots \\
 &+ 0,332 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,43 \\
 &= 0,252 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right]
 \end{aligned} \tag{E.74}$$

Procediendo de manera análoga para el resto de las macrozonas, se tiene:

Tabla E.75: Factores de Emisión Específicos de la etapa de distribución para la clase representativa “manzana”, según destino de la producción y macrozona de origen.

Macrozona	FE _{Distribución,Consumo Interno, Manzana} [kgCO ₂ eq/kg fruta consumible]	FE _{Distribución,Exportación,Manzana} [kgCO ₂ eq/kg fruta consumible]
Norte	0,036	0,508
Centro	0,032	0,252
Sur	0,052	0,308

5. Para cada macrozona, ponderar los Factores de Emisión Específicos asociados al Consumo Interno y a la Exportación según el porcentaje de fruta que es destinada a estas categorías.

Utilizando los datos expuestos en la Tabla E.75, el Factor de Emisión Específico asociado a la etapa de distribución desde la macrozona central, para la clase representativa “manzana” se calcula como:

$$\begin{aligned}
 FE_{distribución,manzana}^{Centro} &= 0,032 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \cdot 0,65 + 0,252 \cdot 0,35 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right] \\
 &= 0,109 \left[\frac{kg \ CO_2eq}{kg \ fruta} \right]
 \end{aligned} \tag{E.75}$$

Y desarrollando para el resto de las macrozonas, se tiene:

Tabla E.76: Factores de Emisión Específicos de la etapa de distribución para la clase representativa "manzana" por macrozona de origen.

Macrozona	FE _{Distribución,Manzana} [kgCO ₂ eq/kg fruta consumible]
Norte	0,200
Centro	0,109
Sur	0,141

6. Calcular las emisiones a nivel nacional asociadas a esta categoría, utilizando la ecuación (D.13).

Reemplazando los datos presentes en las tablas E.13 y E.76 en la ecuación mencionada, se tiene:

$$\begin{aligned}
 Emisiones_{distribución,manzana} &= 0,200 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 198.778.000[kg fruta] \dots \\
 &+ 0,109 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 3.383.634.000[kg fruta] \dots \\
 &+ 0,242 \left[\frac{kg CO_2eq}{kg fruta} \right] \cdot 383.012.000[kg fruta] \\
 &= 501.260.610[kg CO_2eq]
 \end{aligned}
 \tag{E.76}$$

E.5 Detalle de emisiones de GEI por etapa productiva

Las siguientes figuras se muestran como complemento a los resultados expuestos en la sección 3.5.2, desglosando las emisiones calculadas para cada etapa del proceso productivo del sector frutícola y su posterior distribución.

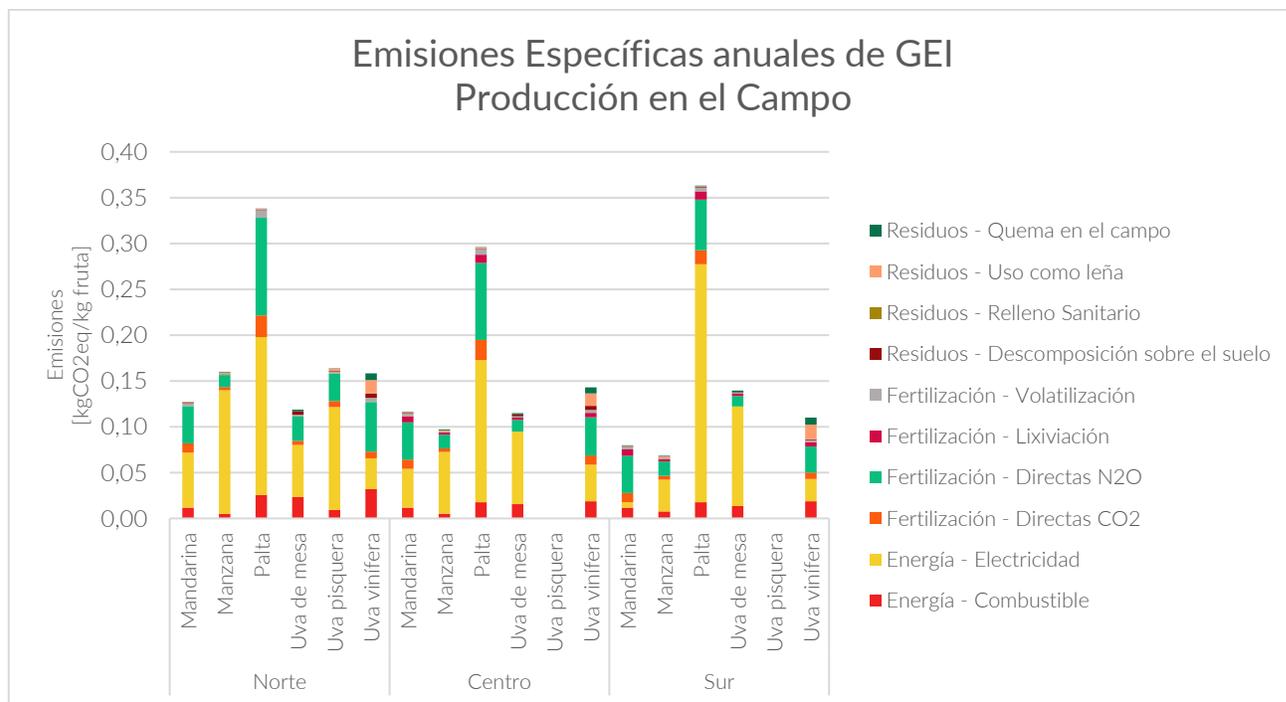


Figura E.5: Emisiones Específicas de GEI durante la producción en el campo, por clase representativa y macrozona. Elaboración propia.

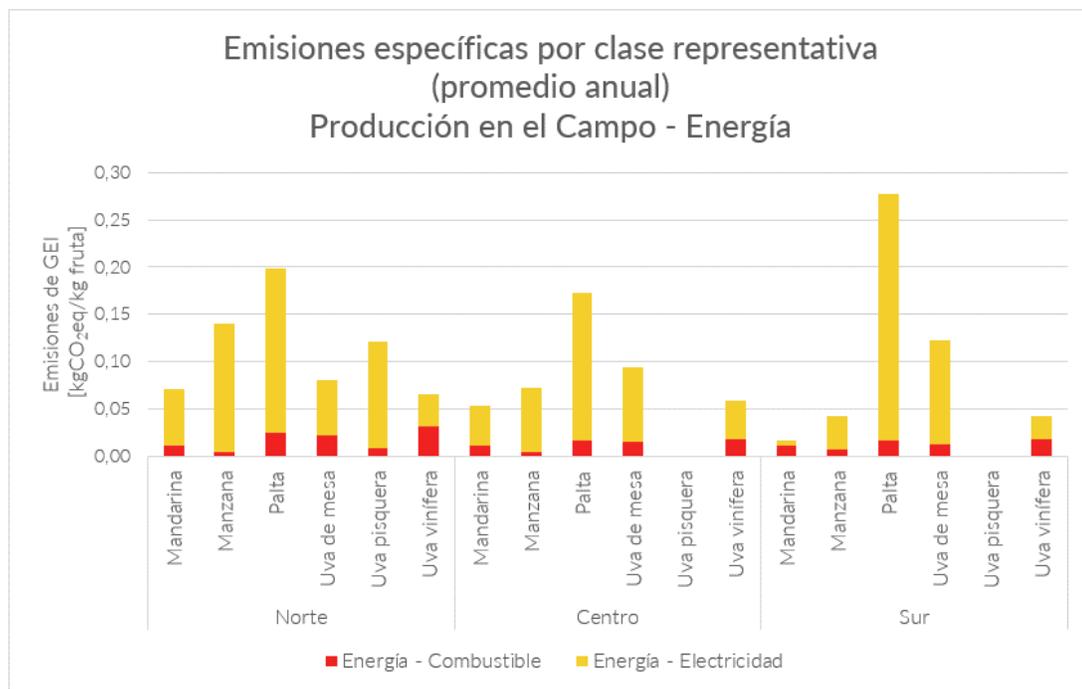


Figura E.6: Emisiones específicas adjudicadas al consumo de energía en el campo, por clase representativa y macrozona

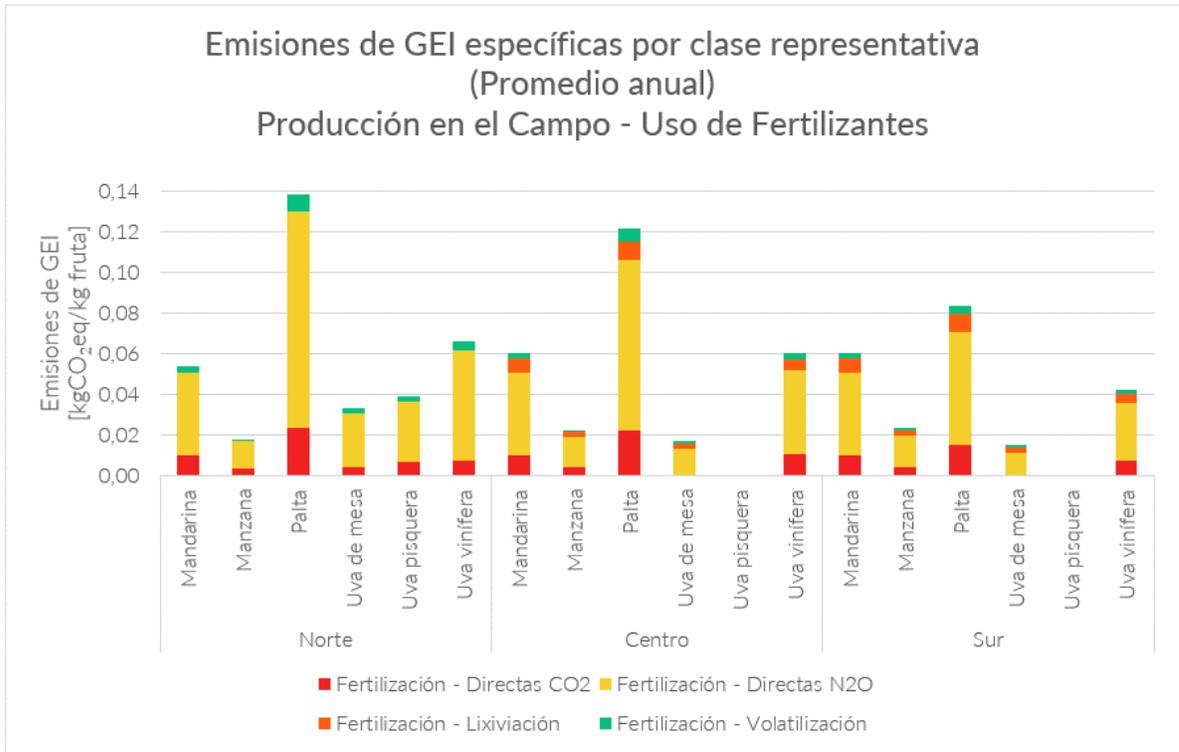


Figura E.7: Emisiones específicas adjudicadas a la aplicación de fertilizantes en el campo, por clase representativa y macrozona. Elaboración propia.

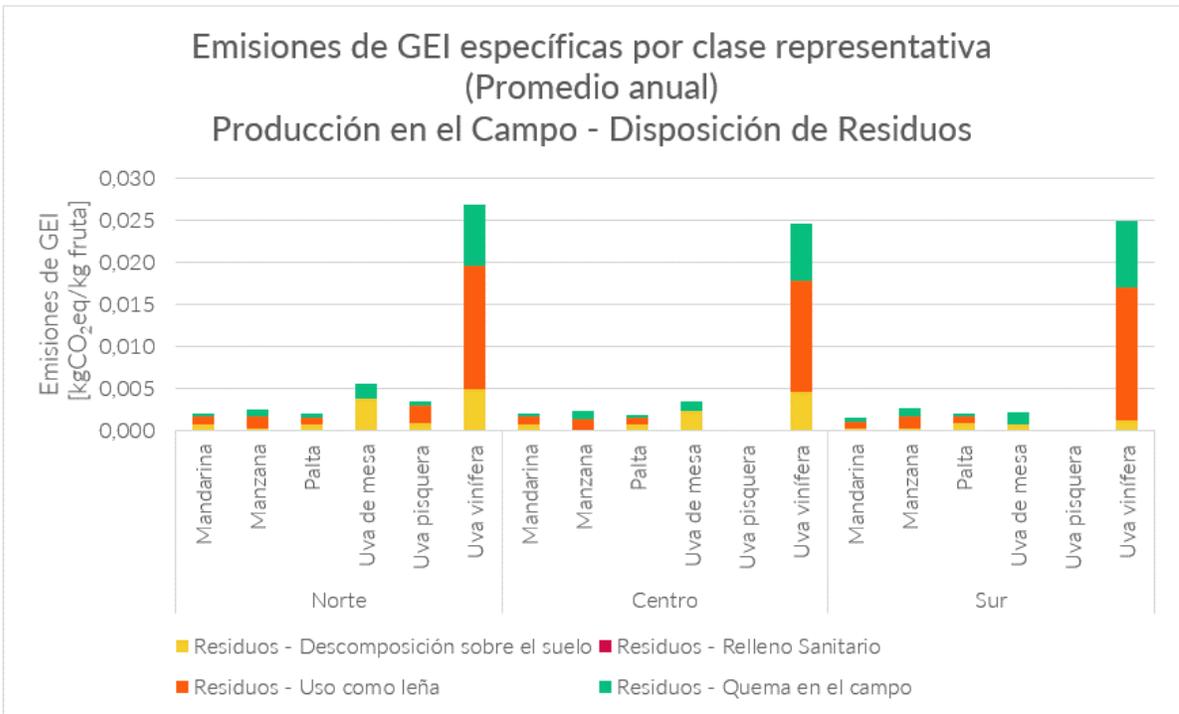


Figura E.8: Emisiones específicas adjudicadas a la disposición de residuos de poda en el campo, por clase representativa y macrozona. Elaboración propia.

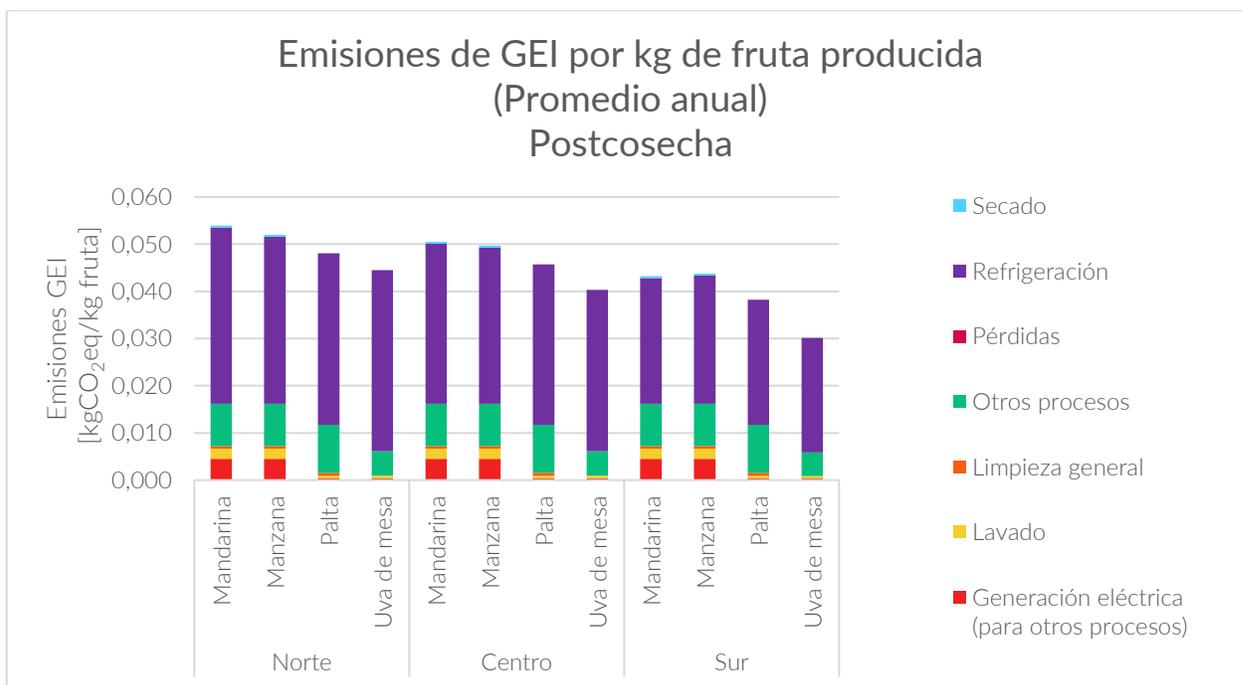


Figura E.9: Emisiones específicas de GEI derivadas del procesamiento postcosecha, por macrozonas y clase representativa. Elaboración propia.

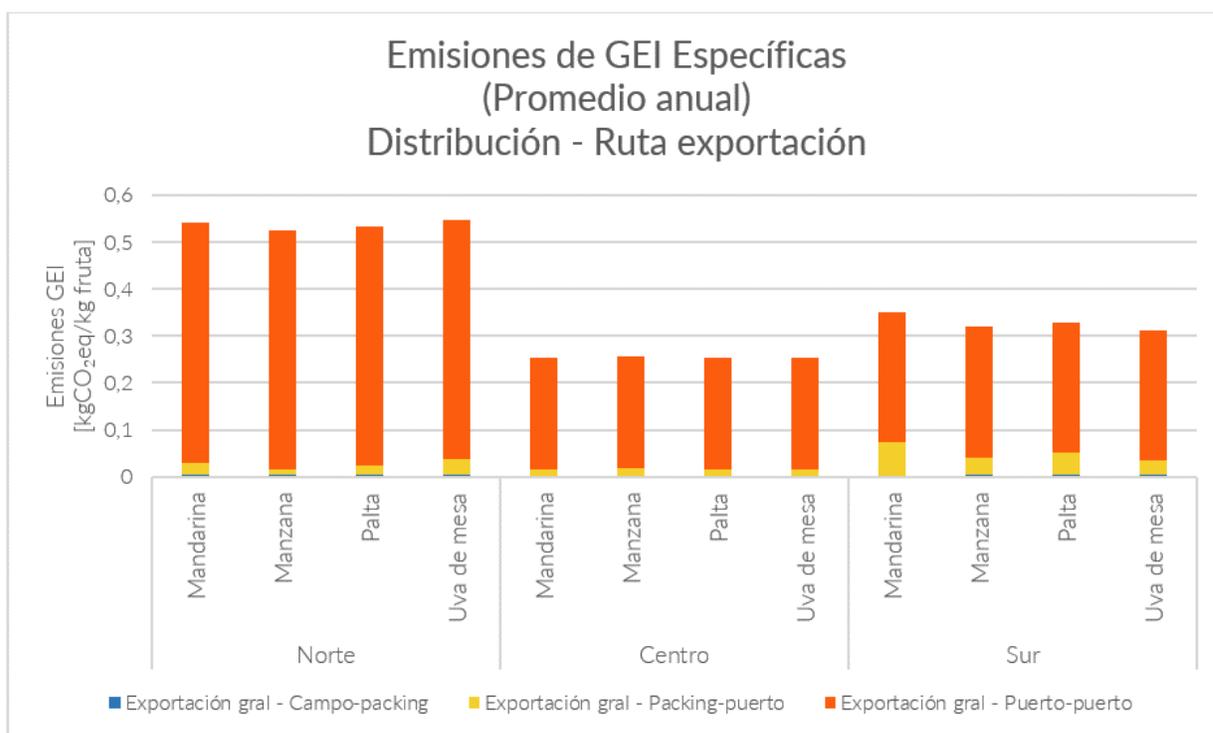


Figura E.10: Emisiones específicas por concepto de distribución de fruta destinada a la exportación. Elaboración propia.

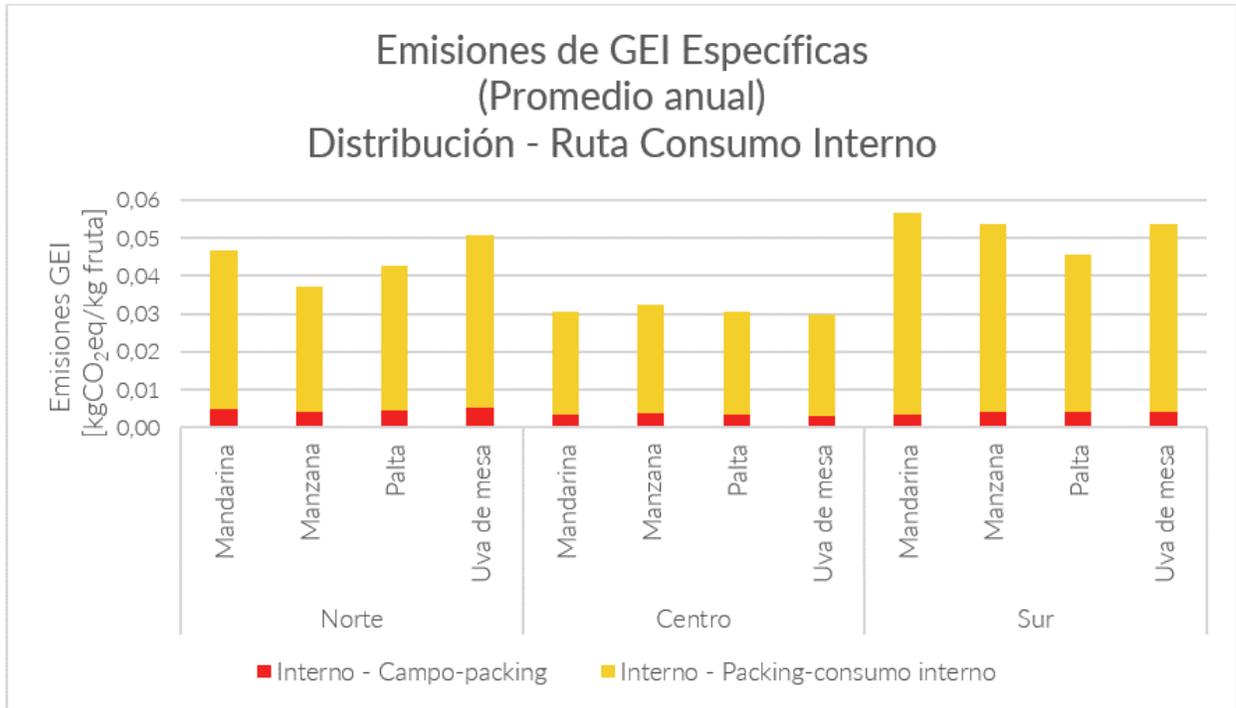


Figura E.11: Emisiones específicas por concepto de distribución de fruta destinada al consumo interno. Elaboración propia.

Se debe destacar que las Figuras E.10 y E.11 corresponden a un análisis de distribución independiente para cada etapa, es decir, no consideran la ponderación entre la fruta que se consume al interior del país y la que es exportada. Dicho de otro modo, corresponde a un análisis que considera las emisiones de una fruta promedio que siga la ruta de exportación (variando según la macrozona de origen) o la de consumo interno, que es el que posteriormente se pondera según la participación de cada destino en el mercado de cada clase representativa.

Anexo F. Jerarquización con herramienta AHP

F.1 Metodología y Fundamento Matemático

En esta sección se abordará, de manera general, el fundamento matemático que sustenta la herramienta del Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés⁴⁴).

La herramienta AHP tiene como principal motivación lo siguiente: se tienen “m” alternativas que pretenden evaluarse bajo “n” criterios. Se busca conocer cuál de las “m” alternativas es preferible por sobre las demás. La metodología AHP permite, además, establecer la jerarquía entre todas las opciones a evaluar, ordenándolas de la más preferible a la menos preferible.

Las etapas a seguir para resolver el problema propuesto son tres: i) Modelar el problema mediante la creación de una estructura jerárquica; ii) Valorización de los niveles jerárquicos y; iii) Priorización y síntesis de los resultados. A continuación se revisará cada una junto con su fundamento matemático.

F.1.1 Modelo del problema: estructura jerárquica

La estructura jerárquica corresponde a una representación del problema a resolver que busca incorporar los elementos más relevantes para la búsqueda de la solución. Esta estructura se modela mediante la definición de tantos niveles jerárquicos como se requiera, siendo el primer nivel jerárquico (nivel 0), el objetivo o meta propuesta; y el último nivel jerárquico (nivel “z”), las alternativas a evaluar. Entre estos niveles, pueden encontrarse los elementos relevantes a considerar en la evaluación (criterios, subcriterios, escenarios, etc.). El caso más simplificado corresponde a aquel con tres niveles jerárquicos: el objetivo, los criterios de evaluación y las alternativas a considerar. A continuación se presenta un ejemplo con cuatro alternativas y tres criterios de evaluación (ver Figura F.1):



Figura F.1: Estructura jerárquica para un problema con cuatro alternativas y tres criterios de evaluación. Elaboración propia

Se debe destacar que la figura presentada corresponde a un ejemplo ilustrativo y que es posible complejizar el problema incorporando tantos niveles jerárquicos como se desee, además de incluir cuantos nodos (elementos pertenecientes a un mismo nivel jerárquico) sean necesarios.

F.1.2 Valoración

La etapa de valoración busca establecer la jerarquía o importancia relativa entre los distintos nodos de un mismo nivel jerárquico. En el caso del ejemplo anterior, se buscará establecer la importancia relativa entre los

⁴⁴ AHP: Analytic Hierarchy Process

criterios y, posteriormente, el dominio de una alternativa por sobre otra, según cada criterio de comparación. Esta importancia estará representada, para cada nivel jerárquico, por un vector con la misma cantidad de componentes que de nodos pertenecientes a un nivel jerárquico. En el ejemplo planteado, para los criterios se contará con un vector de tres componentes, mientras que para el nivel de las alternativas se tendrá un vector de cuatro componentes. A estos vectores, se les llamará “vectores de prioridad local”, correspondientes a las prioridades entre elementos que pertenecen a un mismo nivel jerárquico o, en otras palabras, cuelgan de un mismo nodo.

Para la priorización de criterios o alternativas, los autores proponen una estrategia de comparación por pares, basándose en argumentos psicológicos que proponen que, frente a un problema de jerarquización de múltiples opciones, es más fácil para las personas comparar entre pocos elementos, siendo el límite mínimo de comparación, los pares [198]. Así, el método AHP propone descomponer el problema de jerarquización de múltiples elementos, en varios subproblemas que se remiten a comparar pares de elementos. A partir de estas comparaciones, se busca construir una matriz de comparaciones, que será la base del problema matemático a resolver. A continuación, se mostrará la construcción de la matriz de comparaciones para el caso de los criterios.

La matriz “A” de comparación de criterios, se construye siguiendo las siguientes proposiciones:

- Sea a_{ij} el valor de comparación entre el criterio i -ésimo y j -ésimo ($i, j \in N$), con prioridades w_i y w_j , respectivamente:

$$a_{ii} = \frac{w_i}{w_i} = 1 \quad (F.1)$$

- Si el criterio “ i ” es “ k ” veces más preferible que el criterio “ j ”:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} = k \quad (F.2)$$

- Por transitividad,

$$a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{k} \quad (F.3)$$

- Se dirá que la matriz “A” es “consistente”, si cumple con la condición:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}, \forall (i, j, k) \quad (F.4)$$

Con lo anterior, la matriz “A” de comparaciones se obtiene a partir de la comparación por pares entre criterios. Al tratarse de una comparación de elementos intangibles, Saaty, el autor de esta metodología, propone la siguiente escala de valoraciones:

Tabla F.1: Escala de valoración sugerida por Saaty. Traducida desde [139].

Intensidad del juicio	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen de igual forma a la propiedad o criterio
3	Importancia débil de un elemento sobre otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Importancia fuerte	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Importancia mucho más fuerte, demostrada	Un elemento domina fuertemente y su dominio está probado en la práctica.
9	Importancia absoluta	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

2,4,6,8	Valores intermedios de los juicios anteriores	Se utilizan cuando es necesario y la escala de números impares no permite discernir claramente la importancia de un elemento por sobre otro.
---------	---	--

Con lo anterior, es posible construir la matriz “A” de comparaciones entre pares. Para el ejemplo propuesto anteriormente, con tres criterios la matriz “A” quedaría como:

$$A [3 \times 3] = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & 1 & a_{2,3} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & a_{1,3} \\ 1/a_{1,2} & 1 & a_{2,3} \\ 1/a_{1,3} & 1/a_{2,3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 \end{bmatrix} \quad (F.5)$$

Para un caso de “n” criterios, la matriz quedaría de la siguiente forma:

$$A [n \times n] = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & 1 & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ 1/a_{1,2} & 1 & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1,n} & 1/a_{2,n} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (F.6)$$

Quien lea podrá notar que la matriz “A” corresponde a una matriz cuadrada, recíproca y positiva. Adicionalmente, se puede observar que, si bien no se conocen las prioridades w_i de los criterios, la evaluación bajo la escala propuesta en la Tabla F.1 sí permite conocer la relación entre dos criterios distintos, facilitando la definición de todos los coeficientes a_{ij} de la matriz “A”.

Por otro lado, si se multiplica la matriz “A”, por el vector “w”, correspondiente al vector de prioridades referidas a cada criterio, se tiene:

$$A \cdot w = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \cdot w \quad (F.7)$$

Lo que corresponde a una condición que cumple un vector propio [199]. En este sentido, para encontrar el vector w , basta con resolver el sistema:

$$(A - n \cdot I) \cdot w = 0 \quad (F.8)$$

Cuando se tiene una matriz consistente, es posible demostrar que la ecuación (F.8) tiene una única solución distinta de cero. Lo anterior, considerando que la matriz “A” es de rango igual a 1, lo que implica que existe un único valor propio distinto de cero (denominado λ_{max}) y, con ello, un único vector propio distinto de cero. La solución de este sistema corresponde a cualquier columna de la matriz “A”. Quien lea notará que estas columnas son linealmente dependientes, razón por la que, si bien toman valores distintos, se diferencian únicamente por una constante que las multiplica. De esta manera, y con el objetivo de encontrar la solución única del sistema propuesto, se normalizan las columnas de modo que la suma de sus componentes sea igual a 1.

Considerando que las personas suelen no ser del todo consistentes, el problema $A \cdot w = n \cdot w$ se transforma en un problema $A' \cdot w' = \lambda_{max} \cdot w'$, donde A' corresponde a la matriz de comparaciones, esta vez sin cumplir la condición de consistencia (ver ecuación (F.4)). El teorema de Perron-Frobenius permite demostrar que existe un λ_{max} positivo y mayor a todos los otros valores propios existentes [139]. Este valor permite obtener un vector propio de entradas positivas y reales, otorgándole sentido físico a la respuesta obtenida. En este sentido, el problema se reduce, independiente del caso, a encontrar el valor de λ_{max} .

Existen diferentes formas de resolver este problema. Saaty, propone el método del vector propio por la derecha, sin embargo, existe un método ampliamente utilizado que permite obtener una solución aproximada, el que consiste en: i) normalizar cada columna según la suma de sus respectivas componentes y; ii) promediar las filas de la matriz normalizada.

F.1.2.1 Evaluación de la Consistencia

Se ha demostrado que, mientras más elementos estén involucrados en el problema de valorización, mayor es la inconsistencia de la matriz de comparaciones elaborada. El método AHP permite evaluar la consistencia de los juicios de un decisor estableciendo una “razón de consistencia”. Esta razón compara el índice de consistencia de la matriz de comparaciones “perturbada” (es decir, desviada de aquella matriz que sería consistente) y el índice de consistencia aleatorio, que corresponde al promedio de índices de consistencia para matrices de comparación con valores aleatorios. Este valor varía según las dimensiones de la matriz que se esté estudiando.

$$RC = \frac{IC}{ICA(n)} \quad (F.9)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (F.10)$$

Donde:

- **RC:** Razón de Consistencia
- **IC:** Índice de Consistencia de la matriz de comparaciones
- **ICA(n):** Índice de Consistencia Aleatorio
- **λ_{max} :** Valor propio asociado al vector de prioridades
- **n:** Número de filas o columnas de la matriz de comparaciones⁴⁵

Saaty establece una razón de consistencia (RC) aceptable aquella que sea menor a un 10%, sin embargo, distintos autores han establecido que, a mayor número de elementos involucrados en el problema de priorización, menos probable es alcanzar dicho valor, por lo que suele aceptarse una razón menor o igual a un 20% [140].

F.1.3 Priorización y síntesis

El proceso de priorización y síntesis consiste en la obtención de la jerarquía global del problema a partir de las prioridades locales. Durante la etapa de valorización, cada nivel jerárquico contará con su propio problema de comparaciones y priorizaciones, que tendrán como solución un vector w_i . Se entenderá como “vector de prioridad local” aquel que representa la jerarquía obtenida para un nivel jerárquico particular. La “prioridad global”, entonces, corresponde a una ponderación entre nodos conectados por un camino hacia el objetivo principal, siendo una ponderación de prioridades locales pertenecientes a distintos niveles jerárquicos.

⁴⁵ Recuerde que la matriz de comparaciones es una matriz cuadrada.

F.2 Encuesta de valoración de criterios y subcriterios

A continuación se presentan las preguntas abordadas en el formulario de valoración de criterios y subcriterios, además de la adaptación de la escala de Saaty para efectos de la encuesta. El formulario completo, con las instrucciones para responder y otras indicaciones, se encuentra adjunto a este trabajo en el archivo "Instrucciones_Jerarquización de Criterios.pdf", presente en la carpeta "Formularios AHP".

Tabla F.2: Escala de valoración utilizada en las encuestas de valoración de criterios. Elaboración propia.

Juicio sobre la importancia	Valor numérico
Igual importancia	1
Ligeramente más importante	3
Considerablemente más importante	5
Mucho más importante	7
Absolutamente más importante	9

Tabla F.3: Encuesta de valoración de criterios.

Entre los criterios...	¿Cuál considera usted más importante?	¿En qué grado considera usted que es más importante?
A. Técnico B. Económico		
A. Técnico C. Ambiental		
B. Económico C. Ambiental		

Tabla F.4: Valoración de subcriterios técnicos.

Entre los subcriterios...	¿Cuál considera usted más importante?	¿En qué grado considera usted que es más importante?
A.1 Tiempo de implementación A.2 Aceptación sectorial		
A.1 Tiempo de implementación A.3 Recambio tecnológico		
A.2 Aceptación sectorial A.3 Recambio tecnológico		

Tabla F.5: Valoración de subcriterios económicos.

Entre los subcriterios...	¿Cuál considera usted más importante?	¿En qué grado considera usted que es más importante?
B.1 Costo de inversión (CAPEX) B.2 Costos operacionales (OPEX)		

Tabla F.6: Valoración de subcriterios ambientales.

Entre los subcriterios...		¿Cuál considera usted más importante?	¿En qué grado considera usted que es más importante?
C.1	Mitigación del Cambio Climático		
C.2	Resiliencia frente al Cambio Climático		
C.1	Mitigación del Cambio Climático		
C.3	Conservación del recurso hídrico		
C.2	Resiliencia frente al Cambio Climático		
C.3	Conservación del recurso hídrico		

F.3 Valoración de medidas bajo criterios cuantitativos

A continuación se muestran las consideraciones metodológicas para la valoración de medidas bajo criterios cuantitativos. Para el caso de las Categorías de Impacto de Intensidad de Emisiones de GEI y el Uso de Agua, el procedimiento de cuantificación es análogo al seguido en los Anexos D y E, por lo que solo se entregan los supuestos más relevantes tomados para los cálculos.

F.3.1 Tecnificación del riego a nivel nacional

F.3.1.1 *Emisiones de GEI*

El cambio en las emisiones de GEI asociado a la tecnificación del riego está dado, principalmente, por el consumo energético asociado al riego por goteo. Así, la cuantificación de esta categoría se realiza de manera análoga a lo desarrollado en la sección E.2.3, con la salvedad de que, en este caso, se asume que el 100% de las hectáreas sembradas del sector frutícola se riegan mediante métodos tecnificados, tomando como supuesto que los métodos de riego asociados a aquellas hectáreas no tecnificadas en el escenario base, se reemplazan por el método de riego por goteo.

F.3.1.2 *Consumo Hídrico*

La modificación a realizar corresponde al % de participación de los métodos de riego a nivel regional, asumiendo que los métodos de riego asociados a aquellas hectáreas no tecnificadas actualmente, se reemplazan por el método de riego por goteo. Este cambio se realiza para las categorías de riego por surco, tendido y otros, presentes en la Tabla E.22. Así, se asume que aquellos % asociados a métodos tecnificados como microaspersión o aspersión se mantienen como tal y no son incorporados en la tecnificación hacia riego por goteo, considerando que se trata de métodos tecnificados de similar eficiencia.

F.3.1.3 *Costos operacionales e inversión*

Para los costos operacionales se toman tres principales supuestos: i) que existe disponibilidad de agua para satisfacer la demanda de los cultivos; ii) que quien riega posee derechos de agua y; iii) que el costo del agua está asociado a costos generales del predio, por lo que no corresponden a gastos operacionales como tal. De esta forma, los costos de operación considerados están referidos a la energía consumida y a la mantención de los sistemas de riego.

A partir de un sistema de información de costos a nivel predial desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile para la ODEPA, se tiene un costo anual aproximado de 120.000 [CLP/ha] [183]. Considerando que se trata de un estudio del 2010, se realiza una conversión monetaria de modo de traer dicho costo al presente y en dólares, obteniéndose un costo anual de 206 [USD/ha]. Este valor es multiplicado

por las hectáreas que se tecnificarían bajo la implementación de esta medida, con el fin de establecer los costos de operación adicionales a los ya existentes.

$$206 \left[\frac{USD}{ha \cdot año} \right] \cdot 69.277[ha] = 14.272.185 \left[\frac{USD}{año} \right] \quad (F.11)$$

Se debe destacar que estos cálculos asumen un costo general, incurrido por el sector frutícola, para la tecnificación a nivel nacional. En este sentido, se consideran los gastos del sector en general, sin discriminar si los fondos provienen de fuentes estatales o privadas.

En el caso del costo de inversión asociado a la tecnificación del riego, se considera una cotización realizada con la empresa SPLRiego, que informa un costo de instalación de 2.500 [USD/ha] para el método por goteo [200]. El orden de magnitud de este valor se confirma con bibliografía del INIA, que al año 2000 reportó un costo de 4.000 [USD/ha] [201]. Se opta por la primera opción, considerando que se trata de información más actualizada. Con lo anterior, el costo total de inversión asociado a la medida se obtiene multiplicando las hectáreas a tecnificar (ver tablas E.12 y E.22) por el presupuesto entregado por SPLRiego.

$$4.000 \left[\frac{USD}{ha} \right] \cdot 69.277[ha] = 1.758.125 [USD] \quad (F.12)$$

F.3.1.4 Tiempo de implementación

Para estimar el tiempo de implementación de la tecnificación del riego a nivel nacional, se toman como referencia las metas propuestas en el Plan de Adaptación al Cambio Climático en el sector silvoagropecuario, el que establece una tasa de tecnificación de 14.000 [ha/año] [41]. Considerando esta tasa y las hectáreas no tecnificadas presentes en el sector frutícola (aproximadamente 70.000 [ha], ver Anexo E, secciones E.1.6 y E.2.1.2), se tiene un tiempo de implementación de 5 años. A este período, se le asignan dos años de holgura, considerando posibles contingencias.

F.3.2 Reincorporación de residuos al suelo

Como se menciona en la sección 4.3 (ver Tabla 4.2), la incorporación de residuos de poda al suelo consiste en la trituración de los mismos y su posterior deposición en el suelo mediante rastraje. A continuación se especifican los aspectos considerados para valorizar esta medida según los criterios cuantitativos seleccionados para este estudio, dispuestos en la sección 5.1.2.

F.3.2.1 Emisiones de GEI

Para cuantificar la variación en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero tras la implementación de esta medida, se consideran los siguientes aspectos:

1. Debido a que los residuos de poda y hojarasca presentan una alta proporción de carbono:nitrógeno, es posible que al incorporarlos al suelo se desate un fenómeno denominado "hambre de nitrógeno", el que consiste en una ausencia de nitrógeno orgánico disponible para las plantas, por efecto de la competencia por este elemento con los microorganismos que están descomponiendo materia orgánica. Para evitar esto, se recomienda mantener una proporción C:N equivalente a 30:1, razón por la que, junto con los rastrojos, se suele añadir nitrógeno en forma de urea [202]. En este sentido, si bien se tiene una disminución de los gases de efecto invernadero liberados por efecto de la combustión de rastrojos, existe un aumento en las emisiones de óxido nitroso derivado de la aplicación de fertilizantes.

Para abordar lo anterior, el cálculo de las emisiones se realiza de manera análoga a la descrita en el Capítulo 3 (ver secciones D.1.4 y D.1.5), con la salvedad de que: i) se asume que el 100% de los residuos se incorpora al suelo y; ii) se consideran las emisiones adicionales derivadas de la adición de urea en conjunto con los residuos. Esto se realiza calculando la proporción C:N existente en los residuos de poda (asumiendo una composición similar a la de los sarmientos de vides, como se menciona en la sección D.1.5.3) y se determinando la masa de urea necesaria de agregar para alcanzar una proporción 30:1.

2. No se consideran emisiones derivadas del CO₂ secuestrado en el suelo tras el proceso de rastraje, pues se asume una incorporación bajo técnicas de cero labranza.
3. Se considera que, para la reincorporación de residuos al suelo, existe un aumento en el uso de maquinaria agrícola, debido a la necesidad de uso de una trituradora y de una incorporadora de rastros. Lo anterior produce un aumento en las emisiones asociadas a la combustión de combustibles fósiles, lo que se calcula de manera análoga a lo descrito en la sección E.2.2.

F.3.2.2 Consumo Hídrico

Relación entre el consumo hídrico y la reincorporación de residuos al suelo

La bibliografía respalda que la reincorporación de residuos al suelo aumenta la retención de agua del suelo, específicamente, a través de la disminución de las pérdidas por infiltración [141]. A continuación, se demostrará que esta relación puede verse reflejada en un cambio en la eficiencia del método de riego.

Para este análisis, se realizará una analogía entre un evento de riego y un proceso *batch*, para lo que se considerará como volumen de control una porción de suelo que contiene raíces del cultivo. Así, se realiza un balance de masa de agua para este volumen de control durante dos períodos distintos: i) aquel que corresponde al evento de riego, donde se deposita el agua en el suelo y; ii) aquel que considera el tiempo existente entre dos eventos de riego.

Como supuesto se obviarán las entradas de agua al volumen de control por efecto de la ascensión capilar desde aguas subterráneas, y se asumirá un evento de riego durante un día con precipitación nula. Adicionalmente, se despreciarán las salidas de agua por efecto de la evaporación, considerando que este fenómeno se da, mayoritariamente, a nivel superficial y no en la profundidad del suelo. De esta forma, para el caso i), donde se tiene un evento de riego, en estado transiente, se tiene:

$$\frac{d(\rho \cdot V_{ZR})}{dt} = \rho \cdot (F_{in,R} - F_{out,E} - F_{out,I} - r_p \cdot V_p) \quad (F.13)$$

Donde:

- $\frac{dV_{ZR}}{dt}$: Variación del volumen de agua contenido en el volumen de control (zona radicular) [volumen/tiempo]
- ρ : Densidad del agua [masa/volumen]
- $F_{in,R}$: Flujo de entrada de agua por concepto de riego [volumen/tiempo]
- $F_{out,E}$: Flujo de salida asociado a pérdidas por escorrentía [volumen/tiempo]
- $F_{out,I}$: Flujo de salida asociado a pérdidas por infiltración [volumen/tiempo]
- r_p : Tasa de consumo hídrico por parte de las raíces del cultivo [volumen agua/volumen de raíces · tiempo]
- V_p : Volumen efectivo del cultivo [volumen de raíces]

Durante el evento de riego mismo, es posible considerar que el consumo hídrico por parte del cultivo es marginal frente a las salidas por infiltración o escorrentía, por lo que, para este período de tiempo particular, es posible afirmar que

$$\frac{d(\rho \cdot V_{ZR})}{dt} = \rho \cdot (F_{in,R} - F_{out,E} - F_{out,I} - r_P \cdot V_P) \quad (F.14)$$

Mientras que, para el caso ii), en un estado posterior al evento de riego, pero antes del siguiente evento de riego, no es posible obviar el consumo hídrico del cultivo, pues corresponde prácticamente a la única salida posible, considerando que la infiltración y escorrentía disminuyen considerablemente conforme avanza el tiempo tras el evento de riego. Dicho esto, para este segundo período de tiempo, se tiene:

$$\frac{d(\rho \cdot V_{ZR})}{dt} = \rho \cdot (-r_P \cdot V_P) \quad (F.15)$$

Lo que representa que, durante este período, la variación de agua presente en el volumen de control se atribuye al consumo hídrico del cultivo y a la evaporación desde el suelo.

A su vez, la eficiencia de aplicación del riego puede entenderse como la relación entre el volumen de agua consumido por el cultivo y el volumen de agua alimentado en un evento de riego:

$$Ef = \frac{V_{ZR}}{V_A} \quad (F.16)$$

Donde:

- **Eff**: Eficiencia de aplicación de riego
- **V_{ZR}**: Volumen de agua almacenado en la zona radicular del cultivo, tras un evento de riego [volumen].
- **V_A**: Volumen de agua alimentado en un evento de riego [volumen].

Considerando el análisis anterior, es posible establecer que el volumen de agua almacenado en la zona radicular del cultivo, corresponde al volumen remanente tras un evento de riego, que corresponde al agua que finalmente puede consumir el cultivo, es decir, **V_{ZR}** puede obtenerse tras resolver las ecuaciones (F.13) o (F.15). Con esto, si se considera que la incorporación de residuos disminuye las salidas por infiltración y/o escorrentía, es posible afirmar que, para un mismo volumen de agua alimentado en el evento de riego, el volumen de agua disponible en la zona radicular (**V_{ZR}**) aumentará al comparar ambos casos. Todo esto considerando que **V_{ZR}** es menor o igual a la capacidad de campo del suelo y mayor al punto permanente de marchitez⁴⁶.

Con lo anterior, se definen dos casos: 1) aquel donde no se incorporan residuos al suelo y; 2) aquel donde sí se incorporan, disminuyendo la escorrentía e infiltración y, en consecuencia, aumentando el volumen almacenado en la zona radicular en una fracción α . Considerando una misma alimentación de agua en el evento de riego, para ambos casos, se tendrá que la relación entre ambas eficiencias estará dada por:

$$\frac{Ef_1}{Ef_2} = \frac{V_{ZR,1}}{V_A} \cdot \frac{V_A}{V_{ZR,2}} \quad (F.17)$$

⁴⁶ La capacidad de campo corresponde al contenido de agua que es capaz de retener el suelo luego de su saturación o de haber sido mojado abundantemente, para posteriormente dejarse drenar libremente hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice. El punto permanente de marchitez corresponde al contenido de agua de un suelo que no está disponible para el cultivo, siendo el agua remanente en el suelo tras el consumo hídrico de un cultivo [141].

Y si se considera que $V_{ZR,2} = (1 + \alpha) \cdot V_{ZR,1}$:

$$\frac{Ef_1}{Ef_2} = \frac{V_{ZR,1}}{V_{ZR,1} \cdot (1 + \alpha)} \rightarrow Ef_2 = (1 + \alpha) \cdot Ef_1 \quad (F.18)$$

Con lo que se concluye que, de conocer el aumento porcentual en la retención de agua por parte del suelo, es posible conocer la nueva eficiencia de riego.

Cambio en el consumo hídrico por reincorporación de residuos al suelo

Para el cálculo del consumo hídrico considerando el efecto de la incorporación de residuos al suelo se modifica la eficiencia de aplicación de los diferentes métodos de riego. El porcentaje de aumento en la eficiencia de los métodos de riego se establece a partir de investigación bibliográfica, específicamente, de un estudio que evalúa la variación en la retención de agua tras la incorporación de residuos orgánicos al suelo para distintos tipos de suelo. El valor promedio de aumento en la retención de agua es cercano al 10%, por lo que se implementa este porcentaje para modificar la eficiencia de cada método de riego.

Se debe destacar que este cálculo se realiza para un campo promedio que considera una fracción de residuos incorporados al suelo en el escenario basal (ver Tabla Anexo E.45). Así, se toma como supuesto que, independiente de que actualmente se tenga una buena eficiencia por efecto de incorporar residuos al suelo, esta puede aumentar aún más por efecto de agregar más residuos al suelo. En otras palabras, se asume que el campo en que se añadan más residuos tendrá una mayor eficiencia en comparación con el escenario inicial. Adicionalmente, se asume un aumento % de la eficiencia de riego genérica para todos los campos, estableciendo una cota máxima de eficiencia en un 90% de manera conservadora, considerando que eficiencias mayores son más difíciles de alcanzar.

Finalmente, este aumento de eficiencia se implementa para aquellos métodos de riego no tecnificado, considerando que las eficiencias de los métodos tecnificados se encuentran en el máximo de los rangos reportados por bibliografía.

Con lo anterior, las eficiencias de riego a implementar tras la incorporación de residuos al suelo, para cada método de riego, se muestra a continuación:

Tabla F.7: Eficiencias de aplicación para métodos de riego tras el reemplazo de la combustión de residuos por su incorporación al suelo. Elaboración propia a partir de [93,141].

Método de Riego	Eficiencia modificada	Aumento en eficiencia	Eficiencia original
Tendido	0,40	0,1	0,30
Surco	0,55	0,1	0,45
Surcos (en contorno)	0,60	0,1	0,50
Bordes (en contorno)	0,60	0,1	0,50
Bordes rectos	0,70	0,1	0,60
Pretilles	0,70	0,1	0,60
Tazas	0,75	0,1	0,65
Aspersión	0,75	0	0,75
Microjet	0,85	0	0,85

Microaspersión	0,85	0	0,85
Goteo	0,90	0	0,90
Otros*	0,70	0,1	0,60

*Otros: curvas de nivel, platabandas y cintas

A partir de esta modificación, los cálculos para estimar el consumo hídrico son análogos a los presentados en la sección E.2.1.3.

F.3.2.3 Costos operacionales e inversión

Considerando la consulta a expertos, para efectos de los costos asociados a esta medida se asume que no hay inversión, dado que la implementación de esta medida requiere la operación de maquinaria, que regularmente se arrienda. Así, los costos operacionales se centran en:

1. Costo de Urea adicional. Para mantener la proporción C:N (30:1) y evitar el fenómeno de “hambre de nitrógeno”
2. Costo por maquinaria adicional (trituradora e incorporadora de rastrojos). Estos costos consideran el trabajo del operador, el costo de combustible, de la máquina, entre otros.

Costo por urea adicional

Para calcular el costo adicional por añadir urea en conjunto con los residuos al suelo, en primer lugar se estima la masa de urea a agregar por kilogramo de residuo de poda, para lo que se utiliza la ecuación:

$$M_{urea} = \left(\frac{C_{residuos}}{P_{C:N}} - N_{residuos} \right) \cdot \frac{1}{x_{N,urea}} \quad (F.19)$$

Donde:

- M_{urea} : Masa de urea adicional a agregar en conjunto con los residuos [kg Urea/ha]
- $P_{C:N}$: Proporción másica de Carbono:Nitrógeno necesaria [30 kg C/1 kg N]
- $C_{residuos}$: Masa de Carbono contenida en los residuos [kg C/kg residuo]
- $N_{residuos}$: Masa de Nitrógeno contenida en los residuos [kg N/kg residuo]
- $x_{N,urea}$: Fracción de Nitrógeno presente en la Urea [kg N/kg Urea]

La masa de carbono y nitrógeno contenida en los residuos de poda se calcula asumiendo una composición similar a la de residuos de sarmiento de vides, considerando que se trata de un residuo representativo en la poda de frutales. La composición másica de carbono en este tipo de residuos es de un 45%, mientras que la de nitrógeno, un 0,4% [160]. Por otro lado, la fracción másica de nitrógeno contenida en la urea es de un 46% (ver Tabla E.11).

Una vez calculada la masa de urea necesaria, utiliza el precio de 329 [CLP/kg urea], obtenido a partir de las fichas de costo de insumos reportadas por la CNR el año 2012. Así, transformando el precio a USD y considerando la variación del precio del dólar en el tiempo, al evaluar el costo de la Urea hacia el año 2020, se obtiene un valor de 0,77 [USD/kg Urea].

Con lo anterior, el costo por concepto de adición de urea se calcula según la expresión:

$$C_{urea} \left[\frac{USD}{año} \right] = M_{urea,nac} \left[\frac{kg \ urea}{año} \right] \cdot 0,77 \left[\frac{USD}{kg \ urea} \right] \quad (F.20)$$

Con $M_{urea,nac}$ la masa de urea adicional a agregar al suelo a nivel nacional, calculada según la ecuación (F.20) aplicada a cada clase representativa en cada macrozona.

Costo por maquinaria adicional

Para el costo adicional por el uso de maquinaria para la incorporación de rastrojos se utilizan los costos asociados a la operación de una picadora-trituradora de sarmientos y de una incorporadora de rastrojos, cuyos precios corresponden a 50.000[CLP/ha año] al 2014 [203], lo que al año 2020 equivale a 193 [USD/ha año]. Con esto y la superficie sembrada, se obtienen los costos anuales por concepto de implementar esta medida.

Cabe destacar que estos costos se encuentran sobreestimados, considerando que se toma como supuesto que la operación de esta maquinaria no se encuentra implementada antes de que se incorpore esta medida al sector. Así, de contarse con este servicio previamente, el costo en los predios se vería disminuido.

F.3.2.4 Tiempo de implementación

Como primera aproximación, se utiliza el programa de gestión de residuos de Colbún, programa que logró tratar 52 hectáreas en 6 meses. Considerando que este tiempo está referido a hectáreas tratadas, se estima el tiempo necesario para tratar la totalidad de las hectáreas del sector frutícola utilizando como supuesto que esto se hace a un ritmo similar que el de la referencia utilizada. Con lo anterior, se calcula la necesidad de más de 1.000 años para lograr la meta propuesta, por lo que esta aproximación es descartada.

A partir de lo anterior y considerando la información parcial existente, se utiliza como referencia el Programa de Recuperación de Suelos Degradados de la ODEPA, que contempla entre sus acciones la bonificación a iniciativas que incorporen residuos al suelo. Así, se establece como plazo máximo la duración del programa como referencia para la implementación de medidas relacionadas con la recuperación de suelos, equivalente a 12 años [204].

F.3.3 Energía Solar para riego en el campo

F.3.3.1 Emisiones de GEI

Para las emisiones de GEI en el escenario de implementación de la medida de Riego Solar, se considera un abastecimiento energético para riego a partir de paneles solares. En este sentido, se asume una independencia de la matriz energética nacional, por lo que el cambio a implementar en los cálculos desarrollados en las secciones D.1.3.2 y E.2.3 corresponde a considerar nulo el Factor de Emisión asociado a la matriz eléctrica del país.

F.3.3.2 Costos operacionales e inversión

Costos operacionales

La variación en los costos operacionales tras la implementación de un sistema de abastecimiento energético a partir de energía solar fotovoltaica contempla los costos de mantenimiento de los sistemas y el ahorro asociado a no pagar el consumo eléctrico abastecido por la matriz eléctrica nacional.

Para la estimación de los costos de mantenimiento, se utiliza como referencia un estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de una planta fotovoltaica en la industria química, que establece las siguientes características y costos asociados al proyecto:

Tabla F.8: Costos asociados a una planta solar fotovoltaica de referencia. Elaboración propia a partir de [205]. Para la conversión a CLP y USD se utiliza el valor promedio de la UF al año 2020.

Costos operacionales de Sistema Solar Fotovoltaico 280kWp	
Producción anual del sistema [kWh/año]	456.793
Módulos FV [cantidad]	1.144
Inversores [cantidad]	11
Costo unitario mantención preventiva de Módulos FV [UF/módulo]	0,07
Costo unitario mantención preventiva de Inversor [UF/inversor]	1,6
Costo total mantención [UF/año]	97,68
Costo mantención [UF/kW año]	1,87
Costo total mantención [CLP/año]	\$2.801.265
Costo mantención [CLP/kW año]	\$53.720
Costo total mantención [USD/año]	\$3.536
Costo mantención [USD/kW año]	\$68

Por otro lado, se estima la potencia consumida por el sector frutícola en [kWh/año]. Lo anterior se realiza a partir del cálculo del Factor de Consumo Eléctrico Específico para cada clase representativa a nivel regional (ver ejemplo de cálculo realizado en la sección E.2.3) y los datos de producción anual de cada clase representativa (ver sección E.1.6), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla F.9: Consumo eléctrico anual del sector frutícola. Elaboración propia.

Macrozona		kWh/año consumidos por clase						TOTAL [kWh/año]	TOTAL [kW]
		Manzana	Palta	Mandarina	Uva de mesa	Uva vinífera	Uva pisquera		
Norte	Arica y Parinacota	5.761	1.031.188	1.055.585	5.864	10.629	0	2.109.028	240.757
	Tarapacá	274	0	521.376	598	2.289	0	524.538	59.879
	Antofagasta	18.428	73.810	0	0	4.901	0	97.138	11.089
	Atacama	29.987	11.215.153	868.982	26.329.426	46.601	2.601.018	41.091.168	4.690.773
	Coquimbo	16.770.914	47.042.849	36.564.553	32.135.776	2.675.634	43.330.015	178.519.741	20.378.966
	Valparaíso	37.319.809	108.614.643	27.812.794	34.177.548	6.725.732	0	214.650.525	24.503.485
Centro	Metropolitana	74.750.404	41.194.040	27.738.241	25.102.888	8.915.076	0	177.700.649	20.285.462
	O'Higgins	151.771.701	26.061.723	25.553.467	40.311.448	33.194.314	0	276.892.654	31.608.750
	Maule	179.799.959	22.523.174	12.136.222	39.035.651	43.567.689	0	297.062.695	33.911.267
	Ñuble	32.589.009	344.996	758.108	8.881.666	0	0	42.573.778	4.860.020
Sur	Biobío	12.863.192	61.079	57.617	2.338.985	6.167.740	0	21.488.612	2.453.038
	Araucanía	17.364.768	23.331	16.659	13.558.494	30.956	0	30.994.207	3.538.152
	Los Ríos	550.932	0	0	70.002	0	0	620.934	70.883
	Los Lagos	2.206.920	0	0	837.473	0	0	3.044.393	347.533
	Aysén	508.897	0	0	0	0	0	508.897	58.093
	Magallanes	0	0	0	0	0	0	0	0

Para el cálculo del ahorro por desconexión de la matriz eléctrica se busca estimar *cuánto dinero se deja de pagar* por contar con autoabastecimiento a partir del sistema solar fotovoltaico. Para estimar el costo de la electricidad se considera el Precio Nudo Promedio de Energía, considerando que no se tiene un predio “tipo” para calcular una tarifa que permita integrar la existencia de clientes regulados y no regulados. En este sentido, se está despreciando el ahorro asociado a la distribución de la energía y del cargo único por uso del sistema troncal. La estimación de este costo promedio se hace por macrozonas, considerando los precios impuestos por distintas empresas distribuidoras de energía y su ubicación según el sistema de subtransmisión al que están asociadas. Dicha información se encuentra disponible en las tablas F.10 y F.11.

Tabla F.10: Distribución de Sistemas de Subtransmisión a lo largo de Chile. Elaboración propia a partir de [206].

Sistema de Subtransmisión	Descripción
STX - A	Abarca la Región de Arica y Parinacota, Región de Tarapacá y la parte norte de la Región de Antofagasta.
STX - B	Abarca la parte sur de la Región de Antofagasta, Región de Atacama, Región de Coquimbo y la parte norte de la Región de Valparaíso.
STX - C	Abarca gran parte de la Región de Valparaíso y con algunas instalaciones colabora en la alimentación de localidades de la Región Metropolitana.
STX - D	Abarca gran parte la Región Metropolitana.
STX - E	Abarca la parte sur de la Región Metropolitana, la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Región del Maule, Región del Biobío y gran parte de la Región de la Araucanía.
STX - F	Abarca la parte sur de la Región de la Araucanía, la Región de los Ríos y la Región de los Lagos.

Tabla F.11: Precio Nudo de Energía Promedio para Empresas Distribuidoras⁴⁷. Extraída de [207] y complementada a partir de [206] y [208].

Empresa Distribuidora	PNEP [US\$/MWh] [207]	Sistema de Distribución [208]	Macrozona [206]
Emelari	76,993	STX A	Norte
Eliqsa	76,607	STX A	Norte
COOPERSOL	54,299	STX A	Norte
Elecda	75,954	STX A/B	Norte
Emelat	95,25	STX B	Norte
Chilquinta	94,659	STX C	Norte
Conafe	100,471	STX B/C	Norte
EMELCA	107,571	STX C	Norte
Litoral	95,367	STX C	Norte
Enel Distribución	76,165	STX D/C	Centro
Colina	76,222	STX D	Centro
TIL TIL	75,577	STX C/D	Centro
EEPA	65,304	STX D	Centro

⁴⁷ Para la determinación del Precio Nudo Promedio, se utiliza como punto de referencia Polpaico 220 kV [207].

LUZANDES	76,265	STX D	Centro
CGE Distribución	105,606	STX E	Centro-Sur
Coopelan	100,955	STX E	Centro-Sur
Frontel	100,678	STX E	Centro-Sur
Saesa	100,678	STX F	Sur
Codiner	100,76	STX E	Centro-Sur
EDECSA	97,553	STX C	Norte
CEC	103,53	STX E	Centro-Sur
LuzLinares	95,896	STX E	Centro-Sur
LuzParral	101,331	STX E	Centro-Sur
Copelec	100,211	STX E	Centro-Sur
Coelcha	103,746	STX E	Centro-Sur
Socoepa	103,429	STX F	Sur
Cooprel	103,579	STX F	Sur
Luz Osorno	100,752	STX F	Sur
Crell	103,644	STX F	Sur

A partir del promedio de los Precios Nudo Promedio de Energía para las distintas localidades de las macrozonas de Chile, se obtiene un precio estimado para cada territorio (ver Tabla F.12):

Tabla F.12: Precio Nudo de Energía Promedio en macrozonas de Chile. Estimación en dólares al año 2020. Elaboración propia a partir de [207,208].

	PNEP [US\$/MWh]	PNEP [USD/kWh]
Norte	87,472	0,087
Centro	73,907	0,074
Sur	102,416	0,102

A partir de este precio y el consumo eléctrico asociado al riego, se obtiene el costo de operación asociado que dejaría de ser pagado tras la implementación de esta medida.

Costo de inversión

Para el costo de inversión, se utilizan como referencia Proyectos de Instalaciones Fotovoltaicas ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y otros proyectos de Riego Solar como tal, obtenidos del Catálogo de Proveedores de Sistemas Fotovoltaicos aplicados al sector agrícola [209]. Estos proyectos reportan la inversión asociada y la potencia instalada del proyecto.

Tabla F.13: Costos de Inversión para distintos proyectos de sistemas solares fotovoltaicos. Elaboración propia.

Proveedor/Proyecto y Referencia utilizada	Región	Año declaración de inversión	Potencia instalada [kWp]	Potencia nominal [kWn]	Costo Estimado [USD/kW]	Inversión [USD]
AMC energía [209]	Coquimbo	2017	29,90	26,41	1.900	56.810
Tritec-Intervento [209]	Atacama	2013	13,80	12,19	2.100	28.980
Greenertec [209]	Metropolitana	2017	13,00	11,48	1.700	22.100
Elemental Energy [209]	O'Higgins	2017	45,36	40,07	2.000	90.720
Venergía [209]	Valparaíso	2018	29,50	26,06	1.480	43.660
Prodener [209]	Maule	2015	23,66	20,90	2.152	50.916

Proyectos hidráulicos ltda [209]	Maule	2017	9,00	7,95	1.866	16.794
Ingeniería y Proyectos de Energías Renovables Ltda. [209]	Tarapacá	2017	2,00	1,77	650	1.300
Vida Energía SpA [209]	O'Higgins	2018	1,32	1,17	4.000	5.280
Mirosolar [209]	Ñuble	2016	18,72	16,54	1.500	28.080
Solcor Chile SpA [209]	O'Higgins	2018	130,00	114,84	1.235	160.550
Proyecto Fotovoltaico Covadonga [210]	Atacama	2018	10.920,00	9.000,00	-	12.000.000
Parque Solar Fotovoltaico Don Arturo [211]	Arica y Parinacota	2020	12.500,00	9.000,00	-	9.500.000
Proyecto Solar Fotovoltaico Solferino [212]	Tarapacá	2020	13.500,00	9.000,00	-	12.000.000
Parque Solar Fotovoltaico Pedro de Valdivia [213]	Antofagasta	2020	140.049,00	130.200,00	-	60.000.000
Parque Fotovoltaico Momano [214]	Coquimbo	2020	7.530,00	7.500,00	-	8.600.000
Parque Fotovoltaico Leyda [215]	Valparaíso	2020	96.000,00	96.000,00	-	96.000.000
Parque Solar Ovejera [216]	Metropolitana	2016	8.800,00	8.800,00	-	12.000.000
Planta Fotovoltaica Quinta [217]	O'Higgins	2018	9.474,30	8.000,00	-	7.800.000
Parque Solar Villa Alegre [218]	Maule	2018	10.656,00	9.900,00	-	8.410.000
Parque fotovoltaico Imperial Solar [219]	Araucanía	2019	9.744,00	9.000,00	-	9.000.000

Con respecto a la Tabla F.13, es preciso mencionar que las instalaciones descritas en el Catálogo de Proveedores de Sistemas Fotovoltaicos aplicados al sector agrícola presentan únicamente la potencia instalada asociada al proyecto. Así, la estimación de la potencia nominal se realiza a partir de la construcción de un factor de ajuste, obtenido a partir del promedio entre la relación de la potencia nominal e instalada en los proyectos solares ingresados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que disponen de ambos datos. Así, se obtiene un factor de ajuste de un 88% para obtener la potencia nominal a partir de la potencia instalada.

A partir de los datos presentados en la Tabla F.13, se obtiene una inversión promedio para cada región, en [USD/kWn]. Para el caso de las regiones en que no se contara con datos específicos, se asumió una inversión asociada al promedio nacional (ver Tabla F.14):

Tabla F.14: Costo de inversión normalizado por la potencia nominal de un sistema fotovoltaico. Elaboración propia a partir de la Tabla F.13.

Región	Inversión Promedio [USD/kWn] (2020)
Arica y Parinacota	1.056
Tarapacá	1.057
Atacama	2.025
Antofagasta	461
Coquimbo	1.713
Valparaíso	1.371
Metropolitana	1.763
O'Higgins	2.394
Maule	1.926
Ñuble	1.851
Biobío	1.562

Araucanía	1.020
Los Ríos*	1.562
Los Lagos*	1.562
Aysén*	1.562
Magallanes*	1.562

*Se utiliza promedio nacional con los datos existentes

A partir de los valores de la Tabla F.14 y la potencia regional necesaria para abastecer el riego tecnificado, se obtiene el costo de inversión para cada región, lo que posteriormente permite estimar la inversión a nivel nacional.

F.3.3.3 Tiempo de implementación

Para estimar el tiempo de implementación de la medida de Riego Solar, se consideran los proyectos solares fotovoltaicos que ingresaron al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y que reportan el tiempo de implementación:

Tabla F.15: Tiempos de implementación para distintos proyectos solares.
Elaboración propia a partir de [210,213,216-219]

Proyecto	Región	Tiempo de implementación [años]	Potencia nominal [kWn]
Proyecto Fotovoltaico Covadonga	Atacama	6	9.000
Parque Solar Fotovoltaico Pedro de Valdivia	Antofagasta	14	130.200
Parque Solar Ovejería	Metropolitana	4	8.800
Planta Fotovoltaica Quinta	O'Higgins	6	8.000
Parque Solar Villa Alegre	Maule	6	9.900
Parque fotovoltaico Imperial Solar	Araucanía	6	9.000

A partir de los datos de la Tabla F.15 se obtiene un factor promedio en [años/kWn] y, posteriormente, los años necesarios para abastecer la potencia nominal necesaria en el sector frutícola, que se obtiene a partir del cálculo del Factor de Consumo Eléctrico Específico para cada clase representativa a nivel regional (ver ejemplo de cálculo realizado en la sección E.2.3) y los datos de producción anual de cada clase representativa (ver sección E.1.6). Con esto, se obtiene un tiempo de 80 años, sin embargo, la obtención del factor promedio de tiempo por kWn no considera la posibilidad de paralelizar la implementación de medidas a distintas concesionarias. Por esta razón, se considera el tiempo necesario que requerirían distintas empresas para poder abastecer la potencia total necesaria para el sector frutícola (equivalente a 147.018 [kW]). Esta potencia puede ser cubierta por proyectos similares al Parque Fotovoltaico Pedro de Valdivia y dos o tres más proyectos descritos en la Tabla F.15, según se escoja.

Así, se establecen 14 años como un tiempo de implementación, considerando la posibilidad de paralelizar los proyectos. Con el objetivo de añadir cierta holgura asociada a que la medida puede contemplar varios proyectos de menor escala, en lugar de una Planta Solar, se añade un 25% adicional al tiempo estimado, obteniéndose 18 años como plazo.

F.3.4 Recambio en el transporte interregional

F.3.4.1 *Emisiones de GEI*

Para el cálculo de las emisiones de GEI tras la implementación de la medida de recambio en el transporte interregional, se siguen las mismas directrices expuestas en las secciones D.3 y E.4. La salvedad corresponde a que el Factor de Emisión Específico se construye a partir de la ponderación de un Factor de Emisión Específico calculado para el transporte en camión y otro Factor de Emisión Específico calculado para el transporte en ferrocarril de carga (en una proporción de 50% para cada tipo de transporte).

Para el transporte en tren, las rutas terrestres se describen en la figura a continuación:

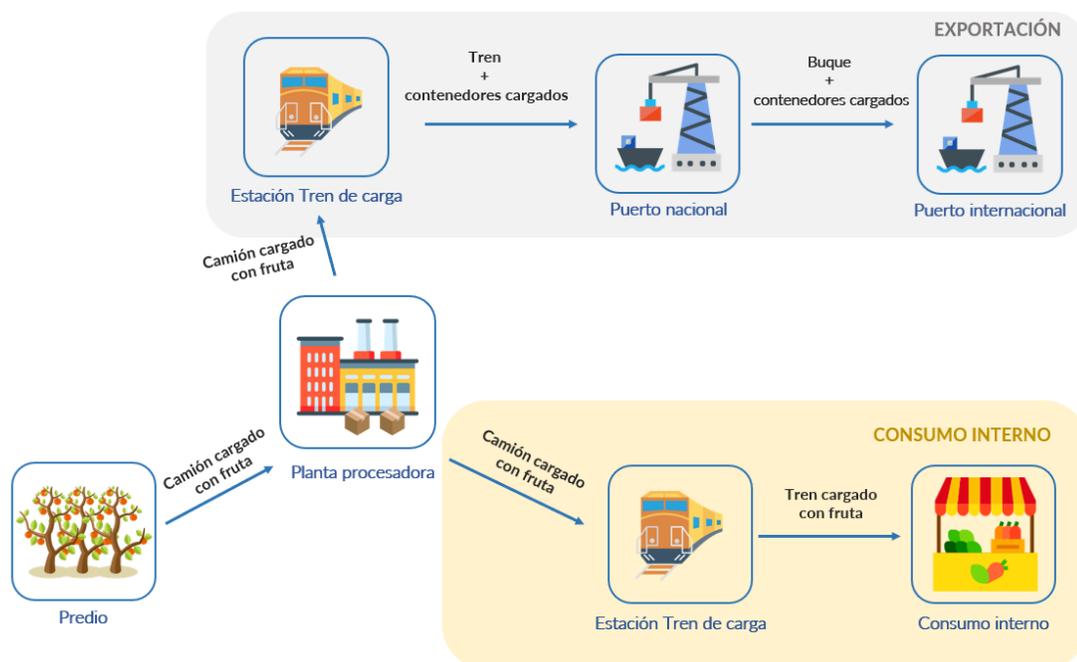


Figura F.2: Rutas de Consumo Interno y Exportación para el caso de transporte terrestre en tren.

Las rutas fueron establecidas a partir de la comunicación personal con el Gerente de Operaciones de una planta exportadora de frutas que se encontraba en un proceso de pilotaje de transporte de carga vía ferroviaria. La ruta contempla la presencia de un depósito de contenedores en la misma estación de tren de carga, por lo que la carga de la fruta en los contenedores refrigerados se realiza en la misma estación. Adicionalmente, la distancia entre las plantas procesadoras y la estación de ferrocarril se estima a partir del supuesto de que cada región cuenta con una estación de carga, por lo que se utilizan las distancias intrarregionales disponibles en la Tabla D.15.

La caracterización del vehículo utilizado para las estimaciones se presenta en la tabla a continuación:

Tabla F.16: Caracterización del transporte ferroviario de carga en Chile. Elaboración propia a partir de [124].

Territorio	Tren tipo	Carro	Rendimiento [km/L]	Capacidad [kg]	Capacidad [contenedores 40']
Transporte terrestre no refrigerado					
Arica a Coquimbo	Locomotora 1400 HP	Carro plano	0,20	420.000	15

Valparaíso a Magallanes	Locomotora 2300 HP	Carro plano	0,14	840.000	30
Transporte terrestre refrigerado					
Arica a Coquimbo	Locomotora 1400 HP	Carro plano	0,20	390.000	14
Valparaíso a Magallanes	Locomotora 2300 HP	Carro plano	0,14	780.000	28

Con los datos expuestos y considerando combustible diésel para las locomotoras, las emisiones se estiman de manera análoga a lo descrito en las secciones D.3 y E.4.

F.3.4.2 Costos operacionales e inversión

Considerando que el cambio de servicio para el transporte de carga interregional no requiere de una inversión por parte del sector frutícola, no se considera el monto asociado a este gasto y se calculan únicamente los costos operacionales, considerando un escenario inicial donde se utiliza la infraestructura ferroviaria existente y, posteriormente, un escenario en que el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones ha implementado mejoras y ampliaciones en la infraestructura.

Los costos operacionales se calculan a partir de una cotización realizada a partir de la empresa logística MAERSK hacia una exportadora de frutas desde San Fernando hacia el puerto de San Antonio. Los datos de la cotización se muestran a continuación (ver Tabla F.17):

Tabla F.17: Cotización transporte ferroviario MAERSK-Empresa exportadora de frutas. Extraído de [220].

Puerto de destino	Origen	Tipo Contenedor	Servicio	Tarifa US\$ + IVA
San Antonio	San Fernando	Reefer 40' HC	Solución completa con 1ra milla: - Retiro de ctd. vacío en Quinta - Primera milla a Planta cliente - Almacenaje en Quinta hasta siguiente trenada con abastecimiento de electricidad - Transporte tren Quinta - SAI - Descarga en San Antonio y entrega a stacking	US\$761,00 por Contenedor
	Depósito en Quinta		Solución sin 1ra milla: - Almacenaje en Quinta con abastecimiento de electricidad hasta siguiente trenada - Transporte tren Quinta - SAI - Descarga en San Antonio y entrega a stacking	US\$565,00 por Contenedor

Debido a que la valoración contempla el criterio de *Variación en los costos operacionales*, se requiere estimar también los costos incurridos por el viaje en camión, con el fin de calcular la diferencia entre ambos escenarios. Para esto, se utiliza la información proveniente del Gerente de Operaciones de una exportadora de frutas chilena, asociada a los costos de transporte. Al respecto, se tiene que, para el transporte de 20 toneladas de fruta en una ruta de 380 km:

Tabla F.18: Costos de transporte terrestre en camión con contenedor refrigerado y no refrigerado. Elaboración propia a partir de comunicación personal con Gerencia de Operaciones de la Empresa Frusan.

Tipo transporte	Categoría	Precio [CLP/contenedor]	Costo normalizado [CLP/TK]	Costo normalizado [USD TK]
Refrigerado	Flete	260.000	44	0,061
	Generador contenedor	75.000		
No Refrigerado	Flete	260.000	34	0,048

Para calcular el costo anual en cada caso, se consideran los costos normalizados para el transporte ferroviario y camionero, la distancia promedio de un viaje y la capacidad transportada en un viaje. Con dichos datos se obtiene el costo por viaje. Para calcular el número de viajes anuales realizados, primeramente, se calcula la masa de fruta que es transportada para el consumo interno o para exportación (ver tablas E.12, E.15 y Tabla E.16). Dicha capacidad es normalizada por la masa transportada en un viaje.

Al contar con el número de viajes promedio realizados al año, es posible estimar el costo anual para cada tramo, lo que permite evaluar la variación de dichos costos entre el escenario donde solo se utilizan camiones para el transporte terrestre y el escenario donde se utiliza 50% camión y 50% tren.

Tabla F.19: Estimación de costos operacionales por tramo de transporte terrestre. Elaboración propia.

Macrozona	Vehículo	Costo directo [USD/tk]	Tramo	Distancia promedio recorrida por viaje [km]	Capacidad transportada en un viaje [t]	Costo por viaje [Miles de USD/viaje]	Toneladas de fruta transportadas en la ruta	Número de viajes anuales [viajes/año]	Costo anual [Millones de USD/año]
Norte	Camión	0,048	P-CI	620,57	11,54	343.970	948.637	82.204	28.276
Norte	Camión	0,062	P-P	312,47	11,54	223.156	751.004	65.078	14.523
Centro	Camión	0,048	P-CI	421,53	11,54	233.645	2.801.274	242.745	56.716
Centro	Camión	0,062	P-P	192,27	11,54	137.311	2.217.675	192.173	26.387
Sur	Camión	0,048	P-CI	716,19	11,54	396.966	265.062	22.969	9.118
Sur	Camión	0,062	P-P	495,78	11,54	354.072	209.840	18.184	6.438
Norte	Tren	0,140	P-CI	620,57	588,76	51.301.040	948.637	1.611	82.659
Norte	Tren	0,140	P-P	312,47	588,76	25.831.090	751.004	1.276	32.949
Centro	Tren	0,140	P-CI	421,53	784,00	46.402.491	2.801.274	3.573	165.799
Centro	Tren	0,140	P-P	192,27	784,00	21.164.987	2.217.675	2.829	59.869
Sur	Tren	0,140	P-CI	716,19	784,00	78.838.700	265.062	338	26.654
Sur	Tren	0,140	P-P	495,78	784,00	54.576.514	209.840	268	14.608

*P-CI: Tramo packing – Consumo Interno; P-P: tramo packing-Puerto

F.3.4.3 Tiempo de implementación

Para la estimación del tiempo de implementación de esta medida, se considera en primera instancia el Plan de Impulso a la Carga Ferroviaria del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Debido a que con la estimación realizada a partir de esta fuente se tiene un tiempo de implementación fuera del horizonte temporal,

se decide descartar esta alternativa y basarse en los tiempos determinados por experiencias internacionales. El procedimiento seguido se muestra a continuación:

El Plan de Impulso a la Carga Ferroviaria (PICAF) propone duplicar la masa transportada entre 2013 y 2020 [221]. Así, el primer cálculo a realizar busca establecer la tasa de crecimiento en el transporte frutícola ferroviario, para posteriormente calcular en cuántos años se puede transportar la mitad de la producción anual vía ferrocarril⁴⁸.

El PICAF establece que, al año 2013, el transporte de carga ferroviario movilizaba 11 millones de toneladas anuales. Por otro lado, se tiene que el 2% de la carga ferroviaria corresponde a productos agrícolas [222]. Para calcular qué porcentaje de la carga agrícola corresponde a productos frutícolas, se toma como supuesto i) que la distribución de dicha carga es proporcional a la producción del sector y; ii) Que el 2% de la carga ferroviaria correspondiente a productos agrícolas se ha mantenido en el tiempo, es decir, que el crecimiento de la carga ferroviaria a nivel nacional, conserva su distribución sectorial. En este sentido, considerando que se tiene la siguiente distribución para la producción en el sector agrícola:

Tabla F.20: Distribución porcentual de la producción agrícola por tipo de producto. Elaboración propia con información de la planilla "BD_producción_superficie_agricola.xlsx"

Categoría	% de Producción total anual [t]
Cereales	13%
Forrajeras	29%
Frutas	33%
Hortalizas	10%
Industriales	11%
Leguminosas y tuberculos	5%
Total general	100%

El porcentaje de la carga ferroviaria que corresponde a productos del sector frutícola es un 0,66%. Esto equivale a 72.423 [t/año]. Considerando el supuesto asociado a que la carga ferroviaria aumentará al doble entre el 2013 y 2020, y que dicho aumento conservará la distribución sectorial de los productos que transporta, se puede asumir que, tras siete años de implementación del plan, la masa de fruta transportada anualmente corresponde a 144.846 [t/año]. Esto, a su vez, implica una tasa de aumento en el transporte de carga de 20.692 [t/año]. Considerando lo dispuesto en la Tabla E.12, la producción anual de fruta, actualmente, ronda los 8 millones de toneladas, lo que permite deducir que, al ritmo calculado, se requerirían más de 300 años para cumplir con la meta de transportar el 50% de la carga frutícola en ferrocarril. Esto, además, supone que el sector frutícola mantenga su producción anual.

Considerando, entonces, la necesidad de una nueva estimación que involucre mayor ambición, pero también factibilidad técnica, se revisan los compromisos de Hoja de Ruta de Transporte de la Unión Europea (2011), que propone que al 2030, el 30% del transporte carretero de carga sea reemplazado por transporte ferroviario o marítimo, y que al 2050 la cifra sea mayor al 50% [223]. En este sentido, se considera que existe factibilidad técnica de lograr el reemplazo del 50% de la carga del sector frutícola, por lo que se toma la misma cota para

⁴⁸ Recuerde que la medida de recambio en el transporte interregional contempla el 50% del transporte en ferrocarril y el 50% restante en camiones.

el caso chileno. Es preciso destacar que la situación del transporte ferroviario en Chile difiere del contexto europeo y que el recambio de transporte de carga es una medida que puede afectar a más de un sector industrial. Todo lo anterior indica que la cota establecida requeriría de esfuerzos importantes a nivel nacional para cumplir con los plazos, sin embargo, al tratarse de una primera aproximación y al ser el plazo máximo definido como horizonte temporal para la Hoja de Ruta, se considera pertinente trabajar con esta cifra para sintonizar con los objetivos propuestos y aumentar la ambición del plan sectorial.

F.3.5 Resultados de la cuantificación para cada serie de AHP

Serie 1: Contempla la comparación con el escenario base (sin ninguna medida implementada)

Tabla F.21: Cuantificación de criterios de jerarquización para primera serie AHP. Elaboración propia.

Medida	Subcriterios de Evaluación				
	Tiempo de implementación [Años]	CAPEX [USD]	Variación en el OPEX [USD/año]	Aporte a la mitigación del Cambio Climático (reducción porcentual)	Aporte a la conservación de agua (reducción porcentual)
Tecnificación del Riego	7,0	\$173.191.442	\$14.272.185	0,52%	-14,82%
Incorporación de Residuos al Suelo	12	\$0	\$102.638.191	0,95%	-5,45%
Riego Solar	18	\$272.273.629	-\$100.869.445	-23,47%	0,0%
Recambio en transporte interregional	28	\$0	\$131.606.819.135	-4,75%	0,0%

Serie 2: Contempla como escenario base aquel en que se implementa la medida de Tecnificación del Riego.

Tabla F.22: Cuantificación de criterios de jerarquización para segunda serie AHP. Elaboración propia.

Medida	Subcriterios de Evaluación				
	Tiempo de implementación [Años]	CAPEX [USD]	Variación en el OPEX [USD/año]	Aporte a la mitigación del Cambio Climático (reducción porcentual)	Aporte a la conservación de agua (reducción porcentual)
Tecnificación del Riego	0	\$0	\$0	0,00%	0,00%
Incorporación de Residuos al Suelo	12	\$0	\$102.638.191	2,13%	0,00%
Riego Solar	18	\$333.271.105	-\$120.920.248	-23,86%	0,00%
Recambio en transporte interregional	28	\$0	\$131.606.819.135	-4,72%	0,00%

Serie 3: Contempla como escenario base aquel en que se implementa la medida de Tecnificación del Riego y la de Riego Solar.

Tabla F.23: Cuantificación de criterios de jerarquización para tercera serie AHP. Elaboración propia.

Medida	Subcriterios de Evaluación				
	Tiempo de implementación [Años]	CAPEX [USD]	Variación en el OPEX [USD/año]	Aporte a la mitigación del Cambio Climático (reducción porcentual)	Aporte a la conservación de agua (reducción porcentual)
Tecnificación del Riego	0	0	0	0,00%	0,00%
Incorporación de Residuos al Suelo	12	0	\$102.638.191	2,79%	0,00%
Riego Solar	0	0	0	0,00%	0,00%
Recambio en transporte interregional	28	0	\$131.606.819.135	-6,20%	0,00%

F.4 Valoración de medidas bajo criterios cualitativos

A continuación se presentan las encuestas aplicadas para la valoración de medidas. El detalle de los formularios utilizados, instrucciones entregadas, etc. se encuentra disponible en los archivos adjuntos a este documento (ver archivos “Instrucciones_Jerarquización_Criterios.pdf” e “Instrucciones_Jerarquización_Medidas.pdf”)

F.4.1 Encuesta de valorización de medidas

La escala utilizada para la valoración de medidas se muestra en la Tabla F.24. Las tablas F.25 a F.28 muestran las preguntas aplicadas a los distintos participantes.

Tabla F.24: Escala de valoración utilizada para la valoración de medidas.

Evaluación	Valor numérico
No hay diferencia	1
Ligeramente mayor	2
Considerablemente mayor	3
Mucho mayor	4
Absolutamente mayor	5

Tabla F.25: Evaluación de medidas bajo el subcriterio de Aceptación sectorial.

Entre las medidas...	¿Cuál considera que tendría mayor aceptación sectorial?	¿Cuánto mayor sería la aceptación sectorial?
A. Tecnificación del riego a nivel nacional B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo		→
C. Uso de ERNC en el campo (riego) D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→

Tabla F.26: Evaluación de medidas bajo el subcriterio de Recambio tecnológico.

Entre las medidas...	¿Cuál considera que requiere un mayor recambio tecnológico?	¿Cuánto mayor sería el recambio necesario?
A. Tecnificación del riego a nivel nacional B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo		→
C. Uso de ERNC en el campo (riego) D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→

Tabla F.27: Evaluación de medidas bajo el subcriterio de Resiliencia frente al Cambio Climático (CC).

Entre las medidas...	¿Cuál considera que aumentaría más la Resiliencia del sector frente al CC?	¿Cuánto mayor sería dicho aumento?
A. Tecnificación del riego a nivel nacional B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo		→
C. Uso de ERNC en el campo (riego) D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
A. Tecnificación del riego a nivel nacional D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo C. Uso de ERNC en el campo (riego)		→
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo		→

D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)		
--	--	--

Tabla F.28: Evaluación de medidas bajo el subcriterio de Conservación del recurso hídrico.

Entre las medidas...	¿Cuál considera que conserva en mayor medida el recurso hídrico?	¿Cuánto mayor es la conservación del recurso hídrico?
A. Tecnificación del riego a nivel nacional B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo	→	
C. Uso de ERNC en el campo (riego) D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)	→	
A. Tecnificación del riego a nivel nacional C. Uso de ERNC en el campo (riego)	→	
A. Tecnificación del riego a nivel nacional D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)	→	
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo C. Uso de ERNC en el campo (riego)	→	
B. Reemplazo de la quema de residuos por su reincorporación al suelo D. Recambio en el transporte de carga interregional (uso de ferrocarril)	→	

F.5 Priorización y síntesis por series de AHP

Como complemento a los resultados expuestos en la sección 6.2.4, a continuación se muestra el detalle de las puntuaciones obtenidas para cada serie de jerarquización con AHP.

- Serie 1: Contempla la comparación con el escenario base (sin ninguna medida implementada)

Tabla F.29: Resultados de la Jerarquización con AHP: Serie 1.

RESULTADOS DE LA JERARQUIZACIÓN CON AHP: SERIE 1									
	Criterios								Puntuación final
	A - Técnico			B - Económico		C - Ambiental			
	Subcriterio								
	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	C.1	C.2	C.3	
Tecnificación del Riego	0,365	0,559	0,274	0,171	0,321	0,083	0,608	0,602	44,1%
Residuos al suelo	0,323	0,105	0,401	0,393	0,321	0,073	0,041	0,264	21,3%
Riego Solar	0,271	0,244	0,134	0,044	0,322	0,657	0,211	0,067	21,5%
Recambio en Transporte	0,041	0,092	0,191	0,393	0,036	0,188	0,139	0,067	13,0%
Prioridad subcriterios	0,05	0,17	0,07	0,10	0,12	0,08	0,18	0,22	

- Serie 2: Contempla como escenario base aquel en que se implementa la medida de Tecnificación del Riego.

Tabla F.30: Resultados de la Jerarquización con AHP: Serie 2.

RESULTADOS DE LA JERARQUIZACIÓN CON AHP: SERIE 2									
	Criterios								Puntuación final
	A - Técnico			B - Económico		C - Ambiental			
	Subcriterio								
	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	C.1	C.2	C.3	
Residuos al suelo	0,513	0,226	0,656	0,474	0,473	0,078	0,353	0,333	36,1%
Riego Solar	0,430	0,556	0,166	0,053	0,474	0,703	0,345	0,333	38,6%
Recambio en Transporte	0,057	0,218	0,179	0,474	0,053	0,219	0,302	0,333	25,3%
Prioridad subcriterios	0,05	0,17	0,07	0,10	0,12	0,08	0,18	0,22	

- Serie 3: Contempla como escenario base aquel en que se implementa la medida de Tecnificación del Riego y la de Riego Solar.

Tabla F.31: Resultados de la Jerarquización con AHP: Serie 3.

RESULTADOS DE LA JERARQUIZACIÓN CON AHP: SERIE 3									
	Criterios								Puntuación final
	A - Técnico			B - Económico		C - Ambiental			
	Subcriterio								
	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	C.1	C.2	C.3	
Residuos al suelo	0,900	0,673	0,503	0,500	0,900	0,100	0,625	0,500	58,8%
Recambio en Transporte	0,100	0,327	0,497	0,500	0,100	0,900	0,375	0,500	41,2%

Prioridad subcriterios	0,05	0,17	0,07	0,10	0,12	0,08	0,18	0,22
------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Anexo G. Composición de la Hoja de Ruta

G.1 Definición de iniciativas por medida

En los siguientes apartados es posible encontrar el análisis realizado para la definición de acciones a desarrollar para cumplir con los objetivos propuestos para cada medida de mitigación o adaptación al Cambio Climático seleccionada en el caso de estudio. Para esto, en primer lugar, se desarrolla un análisis FODA y, posteriormente, la construcción de una Matriz Analítica de Formación de Estrategias (matriz MAFE). Con todo lo anterior se definen iniciativas generales para desarrollar las estrategias propuestas, las que se acotan aún más mediante la propuesta de acciones más concretas, con la respectiva definición de responsables y actores involucrados.

G.1.1 Tecnificación del riego a nivel nacional

G.1.1.1 *Análisis FODA*

La tabla presente a continuación desarrolla la Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el ámbito interno y externo a la organización a cargo de la implementación de esta medida. El Comité Coordinador en este caso, corresponde al Ministerio de Agricultura, de Medio Ambiente, de Obras Públicas, de Ciencia y Tecnología, de Energía y de Economía.

Tabla G.1: Análisis FODA para la implementación de la medida de tecnificación del riego a nivel nacional. Elaboración propia.

MEDIDA: TECNIFICACIÓN DEL RIEGO A NIVEL NACIONAL (MINAGRI, MMA, MOP, Ciencias, Energía, Economía)	
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe un marco legal dedicado al riego (ley 18.450 de Fomento al Riego) 2. Organismos públicos tienen conocimiento del marco legal 3. Experiencias previas de tecnificación a nivel nacional 4. Alianzas existentes con otras organizaciones (ej: CORFO) 5. Existencia de capacidades para la ejecución y difusión (personal interdisciplinario, plataformas, etc.) 6. Existencia de presupuesto base 7. Relevancia otorgada al fenómeno del cambio climático a nivel del gobierno (existencia de planes nacionales de adaptación, estrategia climática de largo plazo, NDCs, etc.) 8. Potencial de investigación 9. Relevancia del subsector en la economía del sector agrícola 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabajo conjunto con GORES, organizaciones y asociaciones de agricultores. 2. Conocimiento de la realidad territorial por parte de los GORES y agricultores. 3. Desarrollo de una Nueva Constitución 4. El sector frutícola requiere del agua para producir, lo que es un incentivo para cuidarla 5. Variables climáticas y geográficas diversas a lo largo del territorio nacional 6. Descentralización de la producción 7. Integración de la sustentabilidad como ideología transversal en los métodos de producción 8. Disponibilidad, existencia y creciente desarrollo de tecnología para la implementación de la medida 9. Existen iniciativas y organizaciones a nivel internacional que promueven la conservación del agua 10. La medida permite ahorrar agua a los productores frutícolas 11. La ciudadanía demuestra mayor interés en productos elaborados bajo técnicas sostenibles y armónicas con el medio ambiente. 12. Posibilidad de potenciar la imagen “verde” de los productores 13. Posibilidad de acople con tecnologías energéticas basadas en ERNC

	14. La tecnificación del riego puede contribuir a la disminución de la contaminación de cuerpos de agua
Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificultad en la coordinación de organismos a cargo de las acciones 2. Instituciones del gobierno suelen trabajar de manera desarticulada, sin mostrar una única línea política frente al fenómeno de cambio climático. 3. Fondos limitados que deben distribuirse en diferentes actividades 4. Las organizaciones a cargo tienen variadas atribuciones y responsabilidades, por lo que el foco no está únicamente en la implementación de la Hoja de Ruta 5. Existe baja planificación en materia de cambio climático en el sector frutícola 6. Visión extractivista de algunos sectores del gobierno 7. Deficiencias en las políticas de gestión de aguas 8. Existe bajo conocimiento en torno a Cambio Climático y gestión de recursos hídricos dentro del comité de coordinación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios en las condiciones climáticas (ej: patrón de precipitaciones) 2. Resistencia por parte del sector frutícola a adoptar la medida, debido al costo energético que supone o a la visión conservadora y tradicionalista del sector. 3. Poca recepción de la ciudadanía frente a iniciativas del gobierno. 4. Dificultades en el acceso y comprensión de la información por parte del sector rural y empresarial. 5. Existe desigualdad en la escala de producción y los ingresos de los agricultores. 6. Posibilidad de que el ahorro de agua promueva la expansión del sector, provocando que el ahorro neto sea nulo y perpetuando la insuficiencia del bien hídrico. 7. Uso ineficiente del agua, debido a la incorrecta planificación del riego 8. Pérdida de conocimientos tradicionales 9. Burocracia asociada al acceso de fondos y/o ayudas estatales o privadas. 10. Bajo conocimiento en torno a los requerimientos hídricos de los predios, por falta de análisis de suelos.

G.1.1.2 Matriz Analítica de Formación de Estrategias

A partir del análisis desarrollado en la sección precedente, se establecen las siguientes estrategias:

Tabla G.2: Matriz MAFE para la Tecnificación del Riego a nivel Nacional. Elaboración propia.

MEDIDA: TECNIFICACIÓN DEL RIEGO A NIVEL NACIONAL (MINAGRI, MMA, MOP, Ciencias, Energía, Economía)	
Estrategias FO	Estrategias DO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Programas de mejoramiento del riego a nivel regional (F3,F4,O1,O2,O6,O8) 2. Promoción de actividad agrícola sustentable (F3,F7,F9,O1,O2,O4, O10, O11,O12) 3. Modificaciones del marco legal existente (F1,F2,O2,O4,O6,O7,O9) 4. Generación de canales de encuentro y participación de productores y ciudadanía (F5,O1,O2) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de alianzas estratégicas de cooperación (D1,D2,D3,D5,D6,D8, O9,O12) 2. Modificaciones en la gestión y regulación de aguas (D6,D7,O3,O11,O14)
Estrategias FA	Estrategias DA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Programas de estudio de suelos y planificación del riego (F8,A7,A10) 2. Programas de capacitación a agricultores (F5,F6,F8,A2,A3,A4,A6,A7,A9,A10) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fomento a la cooperación interministerial (D1,D2,D4,A3) 2. Determinación de un comité ejecutivo a cargo de la implementación de la medida (D1,D2,D4,A3)

3. Programas de generación, gestión y transparencia de información (F5,F8,A3, A4,A8) 4. Programas de participación ciudadana (F2,F5,A3,A8) 5. Aumento de fondos para el fomento del riego (F1,F2,F4,A2,A5) 6. Alianzas con proyectos de riego solar (F1,F3, F5,A2)	3. Definición de políticas internas claras para la cooperación entre instituciones (D1,D2,D4,A3) 4. Alianzas estratégicas con organismos internacionales (D2,D3,D5,A3,A5,A6)
---	---

G.1.1.3 Iniciativas, acciones y plazos

Para esta medida, la duración de la implementación se estima en 7 años. En este sentido, el corto plazo se considera 2 años (CP); mediano plazo, 4 años (MP); y largo plazo, 7 años como máximo (LP). Adicionalmente, se debe destacar que la definición de responsables y actores clave corresponden solo a un ejemplo de aplicación, pudiendo redefinirse según sea el caso y el comité ejecutivo de cada medida.

Las iniciativas propuestas se clasifican según diferentes ejes de acción, los que se describen a continuación:

Tabla G.3: Ejes de acción para la Tecnificación del Riego a nivel Nacional. Elaboración propia.

Eje	Símbolo
Implementación sectorial	
Investigación y generación de contenido	
Normativo – Político	
Coordinación Interna	
Cultural	

INICIATIVA 1	CP			MP	LP	Responsables	Eje de acción
	Promoción de métodos de riego tecnificado. Promover la adopción de métodos de riego tecnificado por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la preservación del recurso, capacitaciones, entre otros.						MINAGRI (ODEPA, FUCOA, CNR), MMA
ACCIONES		CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave	
a. Implementar un sistema de acreditación de productores responsables con el uso de agua, que visibilice los compromisos y avances en materia de la preservación del recurso, por ejemplo, a través de la medición de la huella hídrica, de un índice de afectación de la disponibilidad hídrica por cuenca, etc.					SMA, ODEPA, CNR	Huella Chile, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.	
b. Elaborar y divulgar material de difusión orientado a destacar el rol del sector en la crisis climática a nivel mundial, los casos de éxito de proyectos de					ODEPA, FUCOA, SMA	Academia, Sociedad Civil, Sociedad	

tecnificación del riego, sus oportunidades y beneficios, la necesidad de comprometerse al resguardo del recurso hídrico, etc.					Nacional de Agricultura, etc.
c. Desarrollar indicadores de impacto ambiental asociados a la seguridad hídrica de la producción agrícola que permitan visibilizar los avances del sector en materia ambiental (huella hídrica, asignación de agua por cuenca hidrográfica, etc.).				SMA, CIREN	Huella Chile, Fundación Chile, ODEPA, etc.

INICIATIVA 2				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Caracterización de contextos frutícolas locales. Fomentar el desarrollo de líneas de investigación y desarrollo con potencial de facilitar el correcto dimensionamiento de sistemas de riego, permitiendo acelerar la transición al riego tecnificado en el país.							SMA, MINAGRI (CNR, CIREN, INIA)	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Establecer alianzas estratégicas entre regiones y Universidades, centros de I+D+i, etc.							GORES, SMA, MINAGRI,	Fundación Chile (EH2030), Academia, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, etc.
b. Crear bases de datos regionales que reúnan la información necesaria para el dimensionamiento de sistemas de riego y de abastecimiento energético, incorporando datos sobre características edafológicas, climáticas, hídricas, etc. para las distintas zonas homogéneas y cuencas hidrográficas (según corresponda) a lo largo del país.							CNR, CIREN, INIA	Fundación Chile (EH2030), Academia, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
c. Promover la inversión estatal y privada en I+D asociada a la conservación del agua en el sector frutícola a nivel país ⁴⁹ .							Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Ministerio de Economía	Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, Organizaciones Campesinas, etc.

INICIATIVA 3				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Implementación de sistemas de riego tecnificado a nivel regional. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de sistemas de riego tecnificado a lo largo del país.							CNR	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Identificar y enfrentar las brechas para la transición desde los sistemas de riego tradicional a uno tecnificado.							FIA, INIA, CNR	SMA, Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, Organizaciones Campesinas, etc.
b. Creación e implementación de programas regionales para la tecnificación del riego.							ODEPA, CNR	Gobiernos Regionales, Municipios, Sociedad Nacional de

⁴⁹ La inversión en I+D en el país es una de las más baja de la OCDE, un 0,38% del PIB. Frente a este escenario, la inversión en investigación en recursos hídricos es de un 0,002% del PIB [235].

					Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
c. Implementar programas de capacitación de buenas prácticas agrícolas enfocadas en el cuidado del agua (ej. programación del riego, cuidado del suelo, mantención de sistemas de riego, etc.), dirigidos a distintos mandos organizacionales del sector frutícola, involucrando la participación de profesionales en agricultura regenerativa en talleres prácticos, visitas a terreno, elaboración de material de estudio, certificaciones, etc.				ODEPA, INDAP, CNR, FUCOA	Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, etc.
d. Fortalecer los gobiernos regionales para la implementación de los programas mencionados anteriormente.				ODEPA, CNR	Gobiernos Regionales
e. Aumentar el presupuesto y la asignación de fondos para concursos de pre-inversión (estudio de suelos, factibilidad técnica, etc.), ejecución y operación de proyectos de riego.				Ministerio de Economía, Hacienda, SMA, CNR	Gobiernos Regionales
f. Promover la inversión privada en proyectos de riego tecnificado.				FIA, ODEPA	Sociedad Nacional de Agricultores, ASOEX, CORFO, etc.

INICIATIVA 4				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Regulación y Control del agua. Mejorar los sistemas actuales de gestión del agua y aumentar la regulación en su uso.							SMA, MOP	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Apoyar la modificación del marco de gestión del agua, de modo de aumentar la regulación y control del recurso hídrico, a través de la asignación de derechos de agua, la definición de nuevas unidades territoriales para la gestión (ej. cuencas), y el monitoreo y supervisión del uso de este bien.							DGA, SMA	MOP, Sociedad Civil, Sociedad Nacional de Agricultores, Organización de Usuarios del Agua, etc.
b. Replantear los Sistemas de Incentivo a la tecnificación del riego existentes (como la Ley de Fomento al Riego y Drenaje) y promover nuevos sistemas que prioricen la preservación del recurso hídrico para la mantención de ecosistemas por sobre el aumento de la producción.							CNR, ODEPA, INIA, DGA	Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, etc.
c. Apoyar la Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos agrícolas por parte del SEA.							SMA, SEA	

INICIATIVA 5				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Colaboración en el diseño y ejecución de planes. Promover la acción conjunta y articulada de organismos públicos para cumplir con los objetivos y metas planteadas en los plazos definidos.							MINAGRI, MMA, Min. Hacienda, Min. Economía	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores clave
a. Fomentar la cooperación y el trabajo colaborativo entre ministerios.							SMA, MINAGRI	

b. Generar Sistemas de Incentivo a la cooperación, entre ministerios y otros organismos públicos, que mejoren la calidad laboral de los empleados.				SMA, MINAGRI	
c. Establecer alianzas estratégicas, con organismos nacionales e internacionales, para la creación de capacidades, el diseño, ejecución y monitoreo de los planes y proyectos que buscan cumplir con los objetivos propuestos en la Hoja de Ruta.				SMA, MINAGRI	Fundación Chile, FAO, ONU, UNICEF, OMS, Consejo Mundial del Agua, etc.

En conjunto a las iniciativas planteadas anteriormente para la implementación específica de la tecnificación del riego a nivel nacional, se propone una cartera de iniciativas transversal para el sector frutícola, que incorpora el análisis FODA y MAFE realizado en esta sección. Estas iniciativas se encuentran disponibles en la sección G.1.5).

G.1.2 Riego Solar

G.1.2.1 *Análisis FODA*

La tabla presente a continuación desarrolla la Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el ámbito interno y externo a la organización a cargo de la implementación de esta medida. El Comité Coordinador en este caso, está compuesto por el Ministerio de Agricultura, de Medio Ambiente, de Obras Públicas, de Ciencia y Tecnología, de Energía y de Economía.

Tabla G.4: Análisis FODA para la medida de Riego Solar. Elaboración propia.

MEDIDA: IMPLEMENTACIÓN DE RIEGO SOLAR A NIVEL NACIONAL (MINAGRI, MMA, MOP, Ciencias, Energía, Economía)	
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Marco legal existente y conocimiento del mismo (Ley 18.450 de Fomento al Riego, Ley 20.571 de Generación Distribuida). 2. Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, compromiso de carbono neutralidad al 2050. 3. Visión gubernamental de "Energía Sustentable al 2050". 4. Existencia de desarrollo en políticas públicas en materia energética (ej: Hoja de Ruta del sector Energía). 5. Existencia de iniciativas públicas previas exitosas en torno al riego solar. 6. Convenios interministeriales existentes (INDAP-Subsecretaría de Energía; CNR-GORES). 7. Capacidades existentes (personal, plataformas, etc.) 8. Existe presupuesto estatal y mecanismos de financiamiento definidos para este tipo de proyectos. 9. Existencia de capacidades de investigación y difusión. 10. Amplia existencia de información sobre implementación, diseño, condiciones climáticas, etc. (ej: explorador solar). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existencia de iniciativas privadas. 2. Trabajo conjunto con GORES, organizaciones y asociaciones de agricultores. 3. Chile es un país con alto potencial solar (zonas de alta radiación). 4. Conocimiento de contextos locales por parte de GORES. 5. Conexión a la red de distribución para el aprovechamiento del excedente energético, en caso de existir. 6. Reducción de costos operacionales asociados a la tecnificación del riego. 7. Beneficios ambientales y económicos. 8. El beneficio económico puede incentivar a la aceptación de la medida. 9. Posibilidad de aprovechar espacios a través de un diseño regenerativo (utilizar techos o proporcionar sombra a ciertos cultivos). 10. Generación de conciencia en torno a los impactos ambientales de la actividad agrícola. 11. Disponibilidad y acceso a tecnología para la implementación. 12. Posibilidad de potenciar la imagen "verde" de los productores.

11. Relevancia del subsector en la economía del sector agrícola.	13. Ciudadanía y consumidores cada vez más informados respecto a impactos medioambientales de las industrias. 14. Duración de proyectos fotovoltaicos (25 años aproximadamente). 15. Existen iniciativas y organizaciones a nivel internacional que trabajan en eficiencia energética y la implementación de proyectos solares.
Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificultad en la coordinación de organismos a cargo de las acciones 2. Instituciones del gobierno suelen trabajar de manera desarticulada, sin mostrar una única línea política frente al fenómeno de cambio climático. 3. Visión económica extractivista, más que conservacionista. 4. Poco desarrollo de políticas en materia ambiental ligada a la conservación y sostenibilidad de proyectos solares (lo que se evidencia en el marco regulatorio) 5. Fondos limitados que deben distribuirse en diferentes actividades 6. Actualmente se utilizan modelos energéticos orientados a riego que se encuentran obsoletos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promover la sobreproducción a costa de los ecosistemas. 2. Impactos ambientales asociados a la implementación de este tipo de proyectos. 3. Desigualdad de ingresos entre productores agrícolas. 4. Desconfianza de la ciudadanía en torno a iniciativas estatales. 5. Resistencia del sector agrícola debido a la visión conservadora y tradicionalista de los productores. 6. Los costos asociados a la mantención o al cargo fijo por conexión a la red de distribución pueden ser desalentadores si no se tiene información sobre la amortización de estos. 7. Posibilidad de mal uso de la tecnología (provocando ineficiencia y deterioro). 8. El acceso al agua es una condición para poder implementar esta medida. 9. La radiación solar es variable tanto temporal como geográficamente. 10. Dimensionamiento incorrecto de la tecnología debido a la falta de información sobre los sistemas de riego (que derivan de información edafológica y climática).

G.1.2.2 Definición de estrategias: matriz MAFE

A partir del análisis desarrollado en la sección precedente, se establecen las siguientes estrategias:

Tabla G.5: Matriz MAFE para la medida de Riego Solar. Elaboración propia.

MEDIDA: IMPLEMENTACIÓN DE RIEGO SOLAR A NIVEL NACIONAL (MINAGRI, MMA, MOP, Ciencias, Energía, Economía)	
Estrategias FO	Estrategias DO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Programas de difusión sobre riego solar (F4,F5,F6,F7,O1,O2,O3,O5,O6,O7,O8,O10,O12) 2. Programas de implementación y mantenimiento de riego solar a nivel regional (F1,F3,F4,F5,F6,F7,F8,O1,O2,O3,O4,O5,O8,O11,O12) 3. Programas de capacitación a agricultores en riego solar (F5,F6,F9,F11,O4,O5,O7,O9,O10) 4. Fortalecimiento de actividades con Gobiernos Regionales (F4,F5,F7,O2,O4) 5. Generación de espacios de encuentro y participación para el desarrollo de proyectos (F4,F5,F7,O2,O4) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de alianzas estratégicas de cooperación (D1,D2,D3,D4,D5,D6,O1,O2,O15) 2. Generación de espacios de participación ciudadana (D3,O13) 3. Acople de la medida con la Hoja de Ruta de Energía (D2,O3,O11)

6. Fortalecimiento de proyectos multipropósito (F1,F3,F4,F5,F6,F7,F8,O1,O2,O3,O4,O5,O8,O11,O12)	
Estrategias FA	Estrategias DA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Generación de espacios de encuentro y participación para el desarrollo de proyectos (F4,F7,F9,A4,A5) 2. Programas de fomento a una agricultura sostenible (F7,F9,F11,A1,A2,A7) 3. Modificación del Marco Regulatorio Existente (F1,F2,F3,F11,A1,A7,A8) 4. Visión cultural y política enfocada a la protección ambiental (F5,F7,F9,F11,A1,A8) 5. Fortalecimiento de la investigación en materia de sostenibilidad, eficiencia energética, etc. (F7,F9,F11,A3,A6,A7,A9,A10) 6. Capacitaciones a agricultores (F7,F9,A1,A6,A7) 7. Programas de generación, gestión y transparencia de información (F7,F9,F10,A4,A5,A6,A9,A10) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigación en materia energética, sostenibilidad y mejora continua (D3,D4,D6,A1,A2,A10) 2. Fortalecimiento de alianzas y capacidades con Gobiernos Regionales (D4,D5,D6,A6,A7) 3. Fomento a la cooperación interministerial (D1,D2) 4. Determinación de un comité ejecutivo a cargo de la implementación de la medida (D1,D2,D4,A4) 5. Definición de políticas internas claras para la cooperación entre instituciones (D1,D2,A4) 6. Alianzas estratégicas con organismos internacionales (D1,D2,D3,D4,D5,D6,A1,A3,A5)

G.1.2.3 *Iniciativas, acciones y plazos*

Para esta medida, la duración de la implementación se estima en 18 años. En este sentido, el corto plazo se considera 4 años (CP); mediano plazo, 9 años (MP); y largo plazo, 18 años como máximo (LP). Adicionalmente, se debe destacar que la definición de responsables y actores clave corresponden solo a un ejemplo de aplicación, pudiendo redefinirse según sea el caso y el comité ejecutivo de cada medida.

Las iniciativas propuestas se clasifican según diferentes ejes de acción, los que se describen a continuación:

Tabla G.6: Nomenclatura de Ejes de Acción para Iniciativas y Acciones. Elaboración Propia.

Eje	Símbolo
Implementación sectorial	
Investigación y generación de contenido	
Normativo – Político	
Coordinación Interna	



INICIATIVA 1				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Implementación de programas de riego solar a lo largo del territorio nacional. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de proyectos de riego abastecido por energía solar fotovoltaica.								
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Ampliar la cobertura y montos de fondos destinados a proyectos de riego solar fotovoltaico, priorizando proyectos de conexión a la red en predios con riego ya tecnificado.							CNE, CNR	SMA, INDAP, Sociedad Nacional de Agricultura, etc.
b. Promover la transición justa a partir de la asignación de fondos a aquellos productores provenientes de sectores más vulnerables, tanto en términos socioeconómicos como ambientales.							SMA, CNR, INDAP, CNE	Organizaciones Campesinas
c. Promover la inversión privada en proyectos de riego solar.							SMA, CNR, INDAP, CNE, DOEPA	Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, Fundación Chile, etc.
d. Creación e implementación de programas macrozonales para la implementación de riego solar fotovoltaico, considerando la asignación de fondos en las etapas de diseño, implementación y operación de los proyectos.							SMA, CNR, INDAP, CNE, ODEPA	Gobiernos Regionales, Municipios, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
e. Implementar programas de capacitación en proyectos de riego solar para distintos niveles organizacionales, involucrando profesionales de agricultura regenerativa en talleres prácticos, asesorías, monitoreo, y acompañamiento durante la operación y el mantenimiento de la tecnología.							FUCOA, ODEPA, INDAP, CNR	Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Gobiernos Regionales, etc.
f. Fortalecer los gobiernos regionales para la implementación de los programas mencionados anteriormente, con el fin de adaptar los proyectos de riego solar a los distintos contextos sociales, económicos y ambientales.							Secretarías Ministeriales Regionales (MINAGRI, MMA, Energía)	Gobiernos Regionales, Municipios

INICIATIVA 2				CP	MP	LP	Responsables	Ejes de Acción
Promoción del riego solar. Promover el abastecimiento energético para riego a partir de energía solar por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la eficiencia energética, capacitaciones, entre otros.								
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Implementar un sistema de acreditación de productores responsables con el uso energético que visibilice los compromisos y avances en materia de la producción con técnicas sostenibles.							SMA, INIA	Huella Chile, ACESOL, etc.

b. Elaborar y divulgar material de difusión orientado a destacar el rol del sector en la crisis climática a nivel mundial, los casos de éxito de proyectos de tecnificación del riego y su abastecimiento con energía solar, sus oportunidades y beneficios, etc.				SMA, INIA, FUCOA	Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Gobiernos Regionales, etc.
c. Proveer espacios de intercambio y creación de conocimientos entre productores que cuenten con la tecnología y productores que no cuenten con ella, fortaleciendo el aprendizaje a través del ejemplo.				FUCOA, ODEPA, INDAP, CNR	Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Gobiernos Regionales, etc.

INICIATIVA 3				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Colaboración en el diseño y ejecución de planes. Promover la acción conjunta y articulada de organismos públicos para cumplir con los objetivos y metas planteadas en los plazos definidos.							Ministerio Energía, MMA, MINAGRI	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Fomentar la cooperación y el trabajo colaborativo a nivel interministerial.							SMA, MINAGRI, Ministerio de Energía	Ministerio de Economía, Ministerio de Hacienda.
b. Conformar comisiones de trabajo interministeriales e interdisciplinarias, con el fin de reunir las diferentes miradas de actores involucrados.							MMA, MINAGRI, Ministerio de Energía	Ministerio de Economía, Ministerio de Hacienda.
c. Generar Sistemas de Incentivo a la cooperación, entre ministerios y otros organismos públicos, que mejoren la calidad laboral de los empleados.							MMA, MINAGRI, Ministerio de Energía	
d. Establecer alianzas estratégicas con iniciativas ya existentes, organismos nacionales e internacionales para la creación de capacidades, el diseño, ejecución y monitoreo de los planes y proyectos que buscan cumplir con los objetivos propuestos en la Hoja de Ruta.							MMA, MINAGRI, Ministerio de Energía	Gobiernos Regionales, FAO, Fundación Chile, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático

INICIATIVA 4				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Modificación del marco regulatorio existente. Replantear los elementos regulatorios existentes en materia de riego y abastecimiento energético de los sistemas tecnificados, con el fin de asegurar su uso de manera sostenible.							Ministerio de Energía, MMA, MINAGRI	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Modificar los instrumentos de incentivo para la tecnificación del riego y su abastecimiento energético, enfocándolos en la preservación de los ecosistemas por sobre la producción y orientándolos a la generación de un sistema alimentario sostenible a nivel territorial.							Ministerio de Energía, SMA, Ministerio de Economía	CNR, Sociedad Nacional de Agricultores, Gobiernos Regionales, etc.
b. Evaluar y modificar la asignación de presupuesto para los diferentes concursos a implementar en los programas de riego solar, de modo de facilitar la transición justa para el sector.							Ministerio de Energía, SMA,	CNR, Organizaciones Campesinas, etc.

				Ministerio de Economía	
c. Alinearse y potenciar la iniciativa de modificación del marco de gestión del agua, de modo de asegurar el acceso a la misma de manera equitativa en los distintos territorios del país.				SMA, MINAGRI	DGA, Fundación Chile, Sociedad Civil, etc.
d. Promover políticas energéticas en el sector con foco en la protección ambiental y la producción consciente.				SMA, Ministerio de Energía	Sociedad Civil, Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, etc.
e. Promover la Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos agrícolas por parte del SEA.				SMA, SEA	

En conjunto a las iniciativas planteadas anteriormente para la implementación específica de la medida de Riego Solar, se propone una cartera de iniciativas transversal para el sector frutícola, que incorpora el análisis FODA y MAFE realizado en esta sección. Estas iniciativas se encuentran disponibles en la sección G.1.5).

G.1.3 Incorporación de residuos al suelo

G.1.3.1 *Análisis FODA*

La tabla presente a continuación desarrolla la Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el ámbito interno y externo a la organización a cargo de la implementación de esta medida. El Comité Coordinador en este caso, está compuesto por el Ministerio de Agricultura y de Medio Ambiente.

Tabla G.7: Análisis FODA para la implementación de la medida de incorporación de residuos al suelo. Elaboración propia.

MEDIDA: REEMPLAZO DE LA QUEMA DE RESIDUOS POR SU INCORPORACIÓN AL SUELO (MINAGRI, MMA)	
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> Existencia de marco regulatorio que fiscaliza la combustión de residuos (quema controlada⁵⁰, planes de prevención y descontaminación, etc.). Conocimiento del marco regulatorio existente Experiencias previas en la incorporación de residuos al suelo Existencia de capacidades (humanas y técnicas) para la implementación de la medida Existencia de un programa para suelos degradados, siendo una opción de financiamiento Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, compromiso de carbono neutralidad al 2050. Relevancia del subsector en la economía del sector agrícola Preocupación a nivel nacional por la conservación del agua Existencia de capacidades de investigación y difusión. 	<ol style="list-style-type: none"> Enlace de la implementación de la medida con políticas de tecnificación del riego. Enlace de la medida con técnicas agroecológicas complementarias. La incorporación de los residuos aporta nutrientes al suelo, lo que puede mejorar el rendimiento de los cultivos. Disminución en el consumo de pesticidas y/o fertilizantes sintéticos⁵¹ Disminución a los daños en la población asociados al uso de pesticidas. Posibilidad de simbiosis con el sector pecuario (utilizando purines como fuente de nitrógeno y residuos de poda como fuente de carbono). Fortalecimiento del sentido de pertenencia al territorio. El agua es un elemento indispensable para el desarrollo agrícola, lo que es un incentivo para cuidarla.

⁵⁰ Decreto Supremo 276/1980, del Ministerio de Agricultura.

⁵¹ La bibliografía existente sugiere que el reemplazo de los fertilizantes sintéticos por residuos orgánicos disminuye la aparición de plagas, y que el uso de pesticidas suele asociarse también a un mayor uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos [114].

	<ol style="list-style-type: none"> 9. Trabajo conjunto con GORES, organizaciones y asociaciones de agricultores. 10. Conocimiento de la realidad territorial por parte de los GORES y agricultores. 11. Existen iniciativas y organizaciones a nivel internacional que promueven la conservación del agua y la adopción de prácticas agroecológicas. 12. La medida permite ahorrar agua a los productores frutícolas. 13. La ciudadanía demuestra mayor interés en productos elaborados bajo técnicas sostenibles y armónicas con el medio ambiente. 14. Posibilidad de potenciar la imagen "verde" de los productores. 15. Disponibilidad de tecnología
Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificultad en la coordinación de organismos a cargo de las acciones. 2. Instituciones del gobierno suelen trabajar de manera desarticulada, sin mostrar una única línea política frente al fenómeno de cambio climático. 3. Visión económica extractivista, más que conservacionista. 4. Fondos limitados que deben distribuirse en diferentes actividades. 5. Falta de marco regulatorio en materia del uso y conservación de suelos. 6. La regulación en la combustión de residuos es estacional o se centra en la <i>quema controlada</i>, más que en la eliminación de la combustión como tal. 7. Falta de profundización en la responsabilidad de las industrias en la conservación del agua y el suelo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existencia de una cultura instaurada en el sector en torno a la combustión de residuos. 2. Resistencia por parte del sector frutícola a adoptar la medida, debido al costo energético que supone o a la visión conservadora y tradicionalista del sector. 3. Bajo conocimiento de las características edafológicas de los predios. 4. Desigualdad de ingresos entre productores agrícolas. 5. Pérdida de conocimientos tradicionales del sector. 6. Posible impulso a la sobre explotación del suelo (en la medida de que el rendimiento de los cultivos aumente) 7. Probabilidad de fenómenos climáticos adversos. 8. Poca recepción de la ciudadanía y productores agrícolas frente a iniciativas del gobierno. 9. Dificultad para el acceso y comprensión de información técnica en los distintos mandos de producción.

G.1.3.2 Definición de estrategias: matriz MAFE

A partir del análisis desarrollado en la sección precedente, se establecen las siguientes estrategias:

MEDIDA: REEMPLAZO DE LA QUEMA DE RESIDUOS POR SU INCORPORACIÓN AL SUELO (MINAGRI, MMA)	
Estrategias FO	Estrategias DO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Modificación del marco regulatorio con enfoque de preservación (F1,F2,O1,O2,O3,O4,O5) 2. Prohibición absoluta de la combustión de residuos (F3,F6,F7,O4,O8) 3. Fortalecimiento cultural de actividad agrícola sostenible (F3,F4,F5,F7,F8,O1,O2,O7,O8,O10,O13,O14) 4. Simbiosis con el sector pecuario y otros residuos (F3,F4,F7,F8,O3,O4,O8,O14,O15) 5. Fortalecimiento de investigación en materia de suelos (F9, O2,O3,O4,O6,O8,O12,O13,O14) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promoción de espacios de encuentro, participación y discusión (D3,D4,D5,D6,O7,O13,O16) 2. Modificación del marco regulatorio con enfoque de preservación (D3,D4,D5,D6,O16) 3. Formación de alianzas estratégicas (D1,D2,D3,D4,O9,O10,O11)

6. Programa de gestión de residuos a nivel regional (F4,F5,F6,F9,O2,O3,O4,O6,O8,O12,O13,O14)	
Estrategias FA	Estrategias DA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Visión cultural y política enfocada a la protección ambiental (F2,F3,F4,F5,A1,A2,A6,A8) 2. Fortalecimiento de la investigación en materia de sostenibilidad, calidad de suelos, potencial de drenaje, etc. (F9,A3,A4,A5,A6,A7) 3. Capacitaciones a agricultores (F3,F4,F5,F7,A1,A2,A3,A6,A8,A9) 4. Programas de generación, gestión y transparencia de información (F3,F4,F5,F9,A3,A4,A5,A6,A8) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fortalecimiento de alianzas y capacidades con Gobiernos Regionales (D2,D3,A1,A2,A3) 2. Fomento a la cooperación interministerial (D1,D2) 3. Determinación de un comité ejecutivo a cargo de la implementación de la medida (D1,D2,D4,A1,A8) 4. Definición de políticas internas claras para la cooperación entre instituciones (D1,D2,A8) 5. Alianzas estratégicas con organismos internacionales (D1,D2,D3,D4,D7,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A8)

G.1.3.3 *Iniciativas, acciones y plazos*

Para esta medida, la duración de la implementación está contemplada para 12 años (entre 10 y 12 tomando las normativas vigentes como referencia). En este sentido, el corto plazo se considera 3 años (CP); mediano plazo 6 (MP); y largo plazo 12 años como máximo (LP). Adicionalmente, se debe destacar que la definición de responsables y actores clave corresponden solo a un ejemplo de aplicación, pudiendo redefinirse según sea el caso y el comité ejecutivo de cada medida.

Las iniciativas propuestas se clasifican según diferentes ejes de acción, los que se describen a continuación:

Tabla G.8: Nomenclatura de Ejes de Acción para la Incorporación de Residuos al Suelo. Elaboración propia.

Eje	Símbolo
Implementación sectorial	
Investigación y generación de contenido	
Normativo – Político	
Coordinación Interna	
Cultural	

INICIATIVA 1	CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
	Promoción de incorporación de residuos al suelo. Promover la adopción de esta práctica por parte de las y los productores agrícolas, a partir de difusión de información, reconocimiento por compromiso con la producción sostenible, capacitaciones, entre otros.			SMA, ODEPA	
ACCIONES	CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave

a. Implementar un sistema de acreditación de productores responsables con la gestión de residuos agrícolas y el uso del suelo que visibilice los compromisos y avances en materia de preservación de la tierra, por ejemplo, a través de la medición del nivel de erosión del suelo, la disminución en el uso de fertilizantes y/o pesticidas, etc.				INIA, ODEPA	Comité Ejecutivo de la Hoja de Ruta de Economía Circular, Fundación Basura, etc.
b. Elaborar y divulgar material de difusión orientado a destacar el rol del sector en la crisis climática a nivel mundial, los casos de éxito de proyectos de incorporación de residuos al suelo, sus oportunidades y beneficios, la necesidad de comprometerse con la preservación del suelo, etc.				SMA	INIA, CIREN, CR2, Organizaciones de la Sociedad Civil, etc.
c. Desarrollar indicadores de impacto ambiental relativos al uso y preservación del suelo en la producción agrícola, con el fin de visibilizar los avances del sector en materia ambiental (ej. Huella ecológica, nivel de erosión del suelo, disponibilidad de alimentos per cápita, etc.)				SMA	INIA, CIREN, Huella Chile, Ministerio de Ciencia

INICIATIVA 2				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Implementación de programas de gestión de residuos agrícolas para la preservación de suelos. Proveer recursos económicos y políticos para el diseño e implementación de programas que potencien la preservación de suelos a través de la incorporación de rastrojos al mismo.							ODEPA, SMA, SAG	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Identificar y enfrentar las brechas para la transición desde la combustión de rastrojos a la incorporación al suelo según los distintos contextos culturales y geográficos a lo largo del país.							INIA, SMA	Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, Fundación Basura, ONG's, etc.
b. Creación e implementación de programas regionales para la incorporación de residuos al suelo, avanzando paulatinamente desde aquellas regiones en donde se identifica mayor urgencia de implementación hasta aquellas de menor urgencia.							ODEPA, SMA	Gobiernos Regionales, Municipios, Organizaciones Campesinas, etc.
c. Fortalecer los gobiernos regionales para la implementación de los programas mencionados anteriormente.							Secretarías Ministeriales Regionales	Gobiernos Regionales, Municipios.
d. Implementar programas de capacitación en el manejo responsable de suelos agrícolas para distintos niveles organizacionales, que contemplen la participación de profesionales de agricultura regenerativa en talleres prácticos, asesorías, monitoreo, acompañamiento, etc.							FUCOA, ODEPA	Sociedad Nacional de Agricultura, organizaciones agrarias campesinas, etc.
e. Ampliar el alcance y montos de los incentivos económicos para la incorporación de rastrojos al suelo.							ODEPA, SAG, SMA	Gobiernos Regionales, Municipios, Organizaciones Campesinas, etc.
f. Facilitar la simbiosis con otros sectores industriales para la obtención de una proporción C/N adecuada tras la incorporación de rastrojos al suelo.							ODEPA, INIA, SAG	Sector Pecuario, Sociedad Nacional de Agricultores, Asociación de Ganaderos de Chile, etc.

g. Promover la inversión privada en proyectos de preservación y recuperación de suelos.				ODEPA, SMA	Sociedad Nacional de Agricultura, CORFO, InnovaChile, etc.
---	--	--	--	------------	--

INICIATIVA 3				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Colaboración en el diseño y ejecución de planes. Promover la acción conjunta y articulada de organismos públicos para cumplir con los objetivos y metas planteadas en los plazos definidos.							MINAGRI, MMA	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Fomentar la cooperación y el trabajo colaborativo a nivel interministerial.							ODEPA, SMA	
b. Generar Sistemas de Incentivo a la cooperación y articulación entre ministerios y otros organismos públicos, enfocándose en aumentar la calidad laboral de sus funcionarios.							MINAGRI, SMA	
c. Establecer alianzas estratégicas, con organismos nacionales e internacionales, para la creación de capacidades, el diseño, ejecución y monitoreo de los planes y proyectos que buscan cumplir con los objetivos propuestos en la Hoja de Ruta.							MINAGRI, SMA	FAO, CEPAL, BID, IICA, OIE, etc.
d. Vincularse con la Hoja de Ruta de Economía Circular para la concreción de iniciativas asociadas a la gestión de residuos.							MINAGRI, SMA	Comité Ejecutivo Economía Circular

INICIATIVA 4				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Regulación y Control del suelo y su manejo. Reformular la regulación existente en materia de manejo de suelo e instaurar nuevos sistemas que aseguren su uso sostenible.							MINAGRI, SMA	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Modificar los instrumentos de incentivo para la recuperación de suelos degradados, enfocándolos en la preservación de los ecosistemas y la adopción de técnicas productivas que permitan una producción sostenible.							MINAGRI, SMA	SAG, Gobiernos Regionales
b. Prohibir gradualmente la combustión de rastrojos, hasta abarcar todo el territorio chileno.							CONAF, SMA	Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
c. Promover políticas de regulación en el manejo de suelos, enfocadas en evitar la degradación de estos a largo plazo.							ODEPA, SMA	Gobiernos Regionales, Municipios, Organizaciones Campesinas, etc.
d. Promover la Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos agrícolas por parte del SEA. (se define corto plazo porque el proyecto de ley ya está)							SMA, SEA	Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.

En conjunto a las iniciativas planteadas anteriormente para la implementación específica del reemplazo de la combustión de residuos por su reincorporación al suelo a nivel nacional, se propone una cartera de iniciativas

transversal para el sector frutícola, que incorpora el análisis FODA y MAFE realizado en esta sección. Estas iniciativas se encuentran disponibles en la sección G.1.5).

G.1.4 Recambio en transporte interregional

G.1.4.1 *Análisis FODA*

La tabla presente a continuación desarrolla la Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas presentes en el ámbito interno y externo a la organización a cargo de la implementación de esta medida. El Comité Coordinador en este caso, está compuesto por el Ministerio de Agricultura, de Medio Ambiente, de Transporte y Telecomunicaciones, de Obras Públicas y de Economía.

Tabla G.9: Análisis FODA para la implementación de la medida de Recambio en el Transporte Interregional. Elaboración propia.

MEDIDA: RECAMBIO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE INTERREGIONAL (MINAGRI, MMA, MTT, MOP, ECONOMÍA)	
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Existencia de un marco normativo 2. Conocimiento del marco normativo existente 3. Existencia de alianzas previas con entes financieristas 4. Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, compromiso de carbono neutralidad al 2050. 5. Visión gubernamental de “Energía Sustentable al 2050”. 6. Existencia de iniciativas de mejora al transporte ferroviario de carga (por parte del MTT [221]) 7. Existencia de estudios, modelos y proyectos para la implementación de corredores ferroviarios hacia puertos [224]. 8. Existencia de capacidades de investigación y difusión. 9. Existencia de capacidades (humanas y técnicas) para la implementación de la medida. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sector privado muestra interés en la medida si esta se vuelve económicamente competitiva con el transporte carretero. 2. Transporte intermodal (combinación tren y camión) 3. Ventajas del ferrocarril para el sector frutícola (en términos de logística, tiempos de viaje, seguridad, etc.) 4. Existen iniciativas de privados para probar el servicio de transporte ferroviario de carga. 5. Existe un aumento en la capacidad del transporte ferroviario de carga refrigerada [225]. 6. Existencia de empresas logísticas promocionando el servicio de transporte ferroviario de carga a exportadoras de frutas [226]. 7. Chile presenta una geografía ventajosa para la implementación de proyectos ferroviarios. 8. Existencia de infraestructura disponible en algunas zonas para prestar servicios de transporte ferroviario (ej: servicio EFE). 9. Al permitir el transporte de mayores volúmenes que los camiones, existe la posibilidad de asociarse con otros rubros que requieran del transporte de carga. 10. El transporte ferroviario facilita la descongestión de carreteras. 11. Experiencias internacionales exitosas [227].
Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Políticas de transporte mayoritariamente centrada en transporte de pasajeros. 2. Dificultad en la coordinación de organismos a cargo de las acciones. 3. Fondos limitados que deben distribuirse en diferentes actividades. 4. Ausencia de una visión estratégica renovada sobre el desarrollo ferroviario [228]. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actualmente el ferrocarril no es una opción económicamente competitiva con el transporte camionero. 2. Gremio camionero tiene gran influencia en el transporte y cadenas de distribución. 3. Percepción del transporte ferroviario como un mercado monopólico.

5. Falta de coordinación entre actores tomadores de decisiones sobre el modo ferroviario [228].	4. Falta de infraestructura en los “kilómetros finales” de llegada a puertos de embarque dificulta la adopción del servicio.
6. Falta de investigación e información sobre logística en transporte ferroviario de carga.	5. La inversión en infraestructura ferroviaria se justifica solo si se moviliza una gran magnitud de carga [227].

G.1.4.2 Definición de estrategias: matriz MAFE

A partir del análisis desarrollado en la sección precedente, se establecen las siguientes estrategias:

Tabla G.10: Matriz MAFE para la medida de Recambio en el Transporte Interregional. Elaboración propia.

MEDIDA: RECAMBIO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE INTERREGIONAL (MINAGRI, MMA, MTT, MOP, ECONOMÍA)	
Estrategias FO	Estrategias DO
<ol style="list-style-type: none"> Promoción de la inversión privada (F3,F4,F5,F6,O1,O2,O3,O4,O6,O9,O10) Alianzas estratégicas con empresas de logística (F3,F4,F5,F6,F7,O5,O6,O8,O10) Generación de información referida al transporte y logística en el sector frutícola (F6,F7,F8,O1,O2,O3) Alianzas estratégicas con el sector privado y actores internacionales (F3,F4,F5,F6,O4,O6,O11) Implementación de pilotos en macrozonas que cuentan con infraestructura existente (F8,F9,O1,O2,O3,O5,O6,O8,O10) 	<ol style="list-style-type: none"> Alianzas estratégicas para desarrollo I+D (O11,D2,D3,D4,D6) Inversión en infraestructura existente para transporte de carga (O1,O4,O7,D4,D5) Generación de redes entre privados (O5,O9,D1,D2)
Estrategias FA	Estrategias DA
<ol style="list-style-type: none"> Evaluación y modificación del marco normativo (F1,F2,A1,A2,A3). Incentivos económicos a la utilización del ferrocarril para el transporte de carga (F1,F2,F3,F6,A1,A2,A5). Investigación sobre las brechas en la transición del transporte camionero a ferroviario y los impactos de esta vía de transporte (F8,F9,A1,A2,A3,A4,A5). Promoción del transporte intermodal (F8,A3). Potenciar proyectos existentes de desarrollo ferroviario (F3,F4,F5,F6,F8,A2,A4,A5). 	<ol style="list-style-type: none"> Investigación orientada a la cadena de distribución en el sector frutícola (D1,D6,A4,A5) Promoción de espacios de participación de la ciudadanía, gremios involucrados, etc. (A2,A3) Alianzas estratégicas con organismos internacionales a cargo de experiencias exitosas (D1,D2,D3,D4,A1).

G.1.4.3 Iniciativas, acciones y plazos

Para esta medida, la duración de la implementación se estima en 45 años (considerando la necesidad de construcción e inversión en infraestructura antes de tomar acciones). En este sentido, el corto plazo se considera 12 años (CP); mediano plazo, 23 años (MP); y largo plazo, 45 años como máximo (LP). Adicionalmente, se debe destacar que la definición de responsables y actores clave corresponden solo a un ejemplo de aplicación, pudiendo redefinirse según sea el caso y el comité ejecutivo de cada medida.

Las iniciativas propuestas se clasifican según diferentes ejes de acción, los que se describen a continuación:

Tabla G.11: Nomenclatura de Ejes de Acción para el Recambio en el Transporte Interregional. Elaboración propia.

Eje	Símbolo
Implementación sectorial	
Investigación y generación de contenido	
Normativo – Político	
Coordinación Interna	
Cultural	

INICIATIVA 1				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Caracterización local del potencial ferroviario en el sector frutícola. Fomentar las líneas de investigación y de generación de conocimiento asociada a la factibilidad y logística asociada al desarrollo y operación del transporte ferroviario, sus oportunidades, beneficios, desafíos e impactos sociales, ambientales, etc.							MTT, SMA	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
d. Identificar las brechas y capacidades existentes para la transición del sector frutícola al transporte ferroviario.							MTT, SMA, ODEPA	INIA, Academia, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
e. Establecer alianzas estratégicas entre macrozonas y universidades, centros de I+D+i, etc. a nivel nacional e internacional.							MTT, SMA	Academia, sector privado, etc.
f. Apoyar la investigación asociada a la logística de distribución del sector frutícola.							MTT	INIA, Academia, Sociedad Nacional de Agricultura, Empresas de Logística, etc.
g. Desarrollar indicadores de impacto ambiental y social para la cuantificación de los efectos de la transición al transporte ferroviario dentro del sector frutícola (ej: impacto sobre resiliencia frente al Cambio Climático, soberanía alimentaria, etc.)							SMA, INIA, MTT	Academia, Ministerio de Energía, Sociedad Nacional de Agricultura.

INICIATIVA 2				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Colaboración en el diseño y ejecución de planes. Promover la acción conjunta y articulada de organismos públicos para cumplir con los objetivos y metas planteadas en los plazos definidos.							MINAGRI, MMA, MOP, MTT	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave

a. Fomentar la cooperación y el trabajo colaborativo a nivel interministerial.				MINAGRI, MMA, MOP, MTT	
b. Conformar comisiones de trabajo interministeriales e interdisciplinarias, con el fin de reunir las diferentes miradas de actores involucrados.				MINAGRI, MMA, MOP, MTT	
c. Generar Sistemas de Incentivo a la cooperación, entre ministerios y otros organismos públicos, que mejoren la calidad laboral de los empleados.				MINAGRI, MMA, MOP, MTT	
d. Establecer alianzas estratégicas con organismos nacionales e internacionales para la creación de capacidades, el diseño, ejecución y monitoreo de los planes y proyectos que buscan cumplir con los objetivos propuestos en la Hoja de Ruta.				MTT, MMA	Gobiernos Regionales, FAO, EFE, OTIF, UE, etc.

INICIATIVA 3				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Modificación del marco regulatorio existente. Replantear los elementos regulatorios existentes en materia de transporte de carga.							MTT	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Modificar la normativa existente asociada al transporte ferroviario de carga, focalizándola en hacer de esta alternativa una opción atractiva, justa y factible que permita la distribución y acceso a los productos a lo largo del territorio nacional, considerando en su implementación la protección de ecosistemas y la existencia de mínimos sociales.							MTT, SMA	Ministerio de Desarrollo Social, MINAGRI, Confederación Nacional Dueños de Camiones de Chile.
b. Promover la regulación de precios dentro de la red ferroviaria, a fin de evitar la existencia de un mercado mono o duopólico.							MTT	
c. Promover políticas de transporte carga en el sector con foco en la protección ambiental y la producción consciente.							MTT, SMA	MINAGRI, Sociedad Nacional de Agricultores, Gobiernos Regionales, etc.

INICIATIVA 4				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Promoción del transporte ferroviario en el sector frutícola. Motivar al sector privado tanto a la inversión en proyectos ferroviarios como a la participación en los mismos a través del pilotaje de experiencias de transporte de carga en tren y la implementación de alternativas económicas para su adopción.							MINAGRI, MTT	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Promover la inversión y participación privada en proyectos de desarrollo ferroviario, a partir de la difusión de las potencialidades ambientales y logísticas.							MTT, ODEPA	
b. Implementar proyectos piloto de transporte ferroviario e intermodal de productos frutícolas en las distintas vías ferroviarias existentes en las macrozonas del país.							MTT, ODEPA	Empresas Logísticas, Asociación Nacional de Exportadores de Fruta, Sociedad Nacional de Agricultura, etc.

c. Desarrollar programas de incentivo económico para el transporte ferroviario de productos frutícolas, tanto a nivel de consumo interno como para exportación.				MTT, ODEPA, FIA	Empresas Logísticas, Asociación Nacional de Exportadores de Fruta, Sociedad Nacional de Agricultura, etc.
d. Generar espacios, redes y canales de encuentro entre el sector público y privado y entre privados para la expansión del conocimiento y experiencias asociadas al transporte ferroviario.				MTT, ODEPA, FUCOA	Asociación Nacional de Exportadores de Fruta, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
e. Desarrollar plataformas interactivas de difusión sobre las potencialidades ambientales, sociales, logísticas, etc. del transporte ferroviario en el sector frutícola.				MTT, SMA, ODEPA	Asociación Nacional de Exportadores de Fruta, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.

G.1.5 Iniciativas, acciones y plazos transversales al sector frutícola

Las iniciativas y acciones transversales se asocian, principalmente, a las etapas de producción en el campo. Al tratarse de iniciativas ligadas a cambios culturales y a la investigación para la mejora continua, se estima la necesidad de un esfuerzo permanente. Considerando lo anterior y la estrategia climática de largo plazo, se considera que estos cambios deben lograrse, a más tardar, el 2050. En este sentido, se considera un largo plazo (LP) de 29 años, un mediano plazo (MP) igual a 14 años, y el corto plazo (CP) equivalente a 7 años. Adicionalmente, se debe destacar que la definición de responsables y actores clave corresponden solo a un ejemplo de aplicación, pudiendo redefinirse según sea el caso y el comité ejecutivo de cada medida.

INICIATIVA 1				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Cultura de producción sostenible en el sector frutícola. Generar conocimiento y reflexión, a nivel de productores, sobre la importancia de una industria frutícola sostenible en el tiempo, que respete los límites planetarios y asegure mínimos sociales para un desarrollo armónico.							SMA, MINAGRI (FUCOA, ODEPA, CNR, INIA)	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Sensibilizar a los productores frutícolas, OUA y regantes respecto al uso del agua, el suelo y la energía, promoviendo su uso de manera responsable con el medio ambiente y la sociedad.							ODEPA, FUCOA	Gobiernos Regionales, INIA, CIREN, Organizaciones Campesinas, Sociedad Civil, FUCOA, ODEPA, Gobiernos Regionales, Sociedad Nacional de Agricultura, Fundación Basura Cero, etc.
b. Implementación de un sistema de sellos con distintas categorías de sostenibilidad (consumo hídrico, energético, huella de carbono, agotamiento del suelo, etc.) para los productos frutícolas, orientado a visibilizar y transparentar a la ciudadanía el impacto ambiental de la producción de distintos alimentos.							SMA, ODEPA, INIA, CIREN	Huella Chile, sector privado, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones de agricultores locales, etc.
c. Desarrollar programas de capacitación de productores que fomenten la lógica de producción bajo una perspectiva que contribuya a respetar los máximos							INIA, INDAP, CNR, ODEPA, SMA	Ministerio Economía, Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, etc.

ecológicos y asegurar los mínimos sociales necesarios para el desarrollo de la misma (lógica de crecimiento de economía <i>doughnut</i>).					
--	--	--	--	--	--

INICIATIVA 2				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Cultura de sistema alimentario sostenible. Generar conocimiento y reflexión a nivel país sobre la importancia de un sistema alimentario sostenible en el tiempo.							MINAGRI, SMA	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Fomentar una cultura alimentaria que celebre la producción local, ética y responsable (tanto con la sociedad como con el medio ambiente) de alimentos.							SMA, ODEPA, FUCOA	INIA, Ministerio de Salud, Sociedad Civil, Sociedad Nacional de Agricultura, Asociación de Consumidores Circular, Organizaciones Campesinas, etc.
b. Promover la producción colaborativa y la adopción de medidas de manejo del agua y suelo a nivel de cuenca hidrográfica.							ODEPA, FUCOA, INIA, SMA	CNR, Organizaciones Agrícolas, Gobiernos Regionales, Sociedad Nacional de Agricultura, Empresas y pequeños agricultores, etc.
c. Promover la consideración de la interdependencia entre la humanidad y los ecosistemas en la implementación de nuevas tecnologías para el abastecimiento energético, hídrico y otros bienes necesarios para la producción agrícola.							SMA, ODEPA, FUCOA	CR2, Sociedad Civil, INIA, ODEPA, Organizaciones Campesinas, Asociación Nacional de Agricultura, ASOEX, etc.

INICIATIVA 3				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Implementación de sistemas de información local. Desarrollar material y plataformas informativas que faciliten el acceso y la comprensión de información asociada al diseño, implementación y evaluación de sistemas de riego, abastecimiento energético, disposición de residuos, entre otras materias asociadas al manejo sostenible del predio agrícola.							CIREN, INIA, CNR	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Crear plataformas interactivas que faciliten el dimensionamiento de sistemas de riego y de abastecimiento energético, incorporando datos sobre características edafológicas, climáticas, hídricas, etc. para las distintas zonas homogéneas y cuencas hidrográficas (según corresponda) en las diferentes regiones del país.							CIREN, CNR, CNE	Academia, Organizaciones Campesinas, Gobiernos Regionales, INIA, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, DGA, ACESOL, Academia, etc.
b. Mejorar las plataformas de información existentes a través de la implementación de sitios interactivos que permitan a las y los usuarios planificar el riego en el predio, además de evaluar los costos e impactos ambientales asociados a distintos escenarios de adopción							CNR, FUCOA, INIA, ODEPA, CNE, SMA	Organizaciones Campesinas, Gobiernos Regionales, ACESOL, Pequeños Agricultores, Sociedad Científica

de buenas prácticas agrícolas (ej. tecnificación del riego, disposición de residuos, uso de ERNC, etc.)					Chilena de Agroecología, etc.
c. Mejorar la plataforma y el acceso a la información pública por vía ley 20.285 (ley de transparencia), de modo de asegurar la entrega oportuna de la información solicitada y promover la cercanía y confianza de la ciudadanía con el estado.				Consejo Para La Transparencia y organismos asociados	INIA, ODEPA, CIREN

INICIATIVA 4				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Investigación y Desarrollo para un sector frutícola sostenible. Fomentar el desarrollo de líneas de investigación y desarrollo con potencial de acelerar la transición a un sistema frutícola sostenible, incluyendo materias como: eficiencia energética e hídrica, soluciones basadas en la naturaleza, agroecología, medición de huella hídrica, etc. procurando un enfoque aplicado que conecte el trabajo de investigación con desafíos y oportunidades concretas y atingentes al contexto local.							SMA, MINAGRI, Ministerio de Energía, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación	
ACCIONES				CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Establecer alianzas estratégicas entre regiones y Universidades, centros de I+D+i, etc.							GORES, SMA, MINAGRI,	Fundación Chile (EH2030), Academia, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, etc.
b. Implementar un sistema de financiamiento orientado a la investigación y desarrollo de proyectos que apunten a la conservación del suelo y agua por parte del sector frutícola.							CNR, CIREN, INIA, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación	Fundación Chile (EH2030), Academia, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones Campesinas, etc.
c. Implementar concursos orientados a la investigación y desarrollo de tecnologías para la eficiencia energética, incorporación de residuos al suelo, disminución en el uso de fertilizantes sintéticos, técnicas de cultivo, entre otras materias que ayuden a armonizar la actividad frutícola con el entorno.							INIA, INDAP, CNR, SMA, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación	Academia, sector privado, etc.
d. Promover la inversión estatal y privada en I+D orientada a la sostenibilidad del sector frutícola en el país.							Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Ministerio de Economía	Sociedad Nacional de Agricultura, ASOEX, Organizaciones Campesinas, etc.

INICIATIVA 5				CP	MP	LP	Responsables	Eje de Acción
Generación de espacios y canales de encuentro y participación.							MINAGRI, MMA	

Promover de manera permanente la participación y colaboración de la ciudadanía en el diseño, implementación y evaluación de proyectos, programas o planes que potencien el desarrollo sustentable del sector agrícola, con el fin de integrar la visión de las comunidades en el desarrollo de cada plan, proyecto o programa.					
ACCIONES	CP	MP	LP	Responsables	Actores Clave
a. Identificar y generar propuestas, de manera conjunta con la ciudadanía, para abordar las principales brechas que impiden una participación ciudadana representativa.				SMA, Consejo para la Transparencia, ODEPA	Gobiernos Regionales, Municipios, Sociedad Civil, Organizaciones Campesinas, etc.
b. Promover la habilitación de espacios de encuentro entre comunidades a nivel regional y nacional, para la discusión acerca de la visión de largo plazo del sector, la evaluación e implementación de proyectos e iniciativas en el mismo.				SMA, ODEPA, CNR	Organizaciones Campesinas, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones de Usuarios del Agua, etc.
c. Facilitar espacios de discusión entre las comunidades, asociaciones y organizaciones agrícolas y los gobiernos regionales.				SMA, ODEPA, CNR	Gobiernos regionales, Municipios, Organizaciones Campesinas, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones de Usuarios del Agua, etc.
d. Habilitar espacios de intercambio de saberes y experiencias relacionadas con la sustentabilidad entre productores agrícolas, con el fin de facilitar el aprendizaje a través del ejemplo y evaluar los proyectos implementados.				SMA, ODEPA, CNR, Gobiernos Regionales, Asociaciones de Agricultores	Gobiernos Regionales, Municipios, Sociedad Civil, Organizaciones Campesinas, Sociedad Científica Chilena de Agroecología, Agricultores Familiares Campesinos, etc.
e. Proporcionar mayores y mejores canales de participación ciudadana que permitan a las personas influir en el desarrollo de sus territorios.				SMA, ODEPA, CNR	Organizaciones Campesinas, Sociedad Nacional de Agricultura, Organizaciones de Usuarios del Agua, etc.