



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

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS DE ORIGEN AGRÍCOLA EN LA REGIÓN  
METROPOLITANA.  
CASO DE ESTUDIO: HORTALIZAS**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,  
MENCION QUÍMICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

CATALINA ANDREA QUIÑONES LÓPEZ

PROFESOR GUÍA:  
Felipe Díaz Alvarado

PROFESORA CO-GUÍA:  
María Elena Lienqueo Contreras

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
Francisco Gracia Caroca  
Irene Martínez Basterrechea

SANTIAGO DE CHILE

2023

## **RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:**

Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Química.

Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Química.

**POR:** Catalina Andrea Quiñones López

**FECHA:** 2023

**PROF. GUÍA:** Felipe Díaz Alvarado

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS DE ORIGEN AGRÍCOLA EN LA REGIÓN METROPOLITANA. CASO DE ESTUDIO: HORTALIZAS**

El Cambio Climático es uno de los problemas más relevantes en el presente, por lo que los países evalúan diferentes estrategias de mitigación y adaptación. Una de sus principales causas son las emisiones de gases de efecto invernadero, de las que Chile representa un 0,23 % del total global. Si bien su aporte puede ser considerado bajo, el efecto de las políticas públicas en un país podría tener un impacto mayor al de sus propias emisiones, pues otros países pueden adoptar tales medidas. En particular, medidas en la agricultura y los alimentos podrían ser adoptadas en muchos países, pues sus procesos se replican en todo el planeta.

Frente a lo anterior, este trabajo tiene como objetivo calcular el impacto ambiental de los alimentos de origen agrícola consumidos en la Región Metropolitana (RM), con las hortalizas como caso de estudio. Se calcula la Huella Ecológica (HE), que expresa las emisiones de  $CO_2$ , superficie y electricidad utilizada en el proceso, como unidad de área, y se usa la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para calcular la HE de la producción y distribución actual de hortalizas consumidas en la RM, y de un escenario propuesto asociado a la producción orgánica de estos alimentos.

Además, se evalúa la implementación de las siguientes medidas sobre ambos escenarios: aumentar el rendimiento del cultivo, aumentar la eficiencia de riego, disminuir las distancias recorridas, disminuir la masa de fertilizantes y, por último, un caso que simula la producción en huertos comunitarios sobre el que se evalúa el efecto del aumento del rendimiento. Los escenarios elegidos buscan comparar el efecto de una variedad de medidas o cambios que son discutidos en el mundo sobre sistemas productivos de alimentos, particularmente hortalizas.

Los resultados indican que las medidas propuestas pueden disminuir la HE del escenario actual. Destacan el aumento del rendimiento del cultivo, el cambio a una producción orgánica y la disminución de las distancias recorridas para las hortalizas producidas fuera de la RM. Estos cambios aplicados en conjunto pueden lograr una disminución de la HE en hasta un 60 % respecto al escenario actual, sin embargo, se recomienda analizar su implementación conjunta en detalle, considerando el efecto que tienen sobre todas las etapas del ACV.

Se concluye que el escenario actual puede ser mejorado, y el cambio con mayor efecto sobre la HE es adoptar una producción orgánica, acompañada de disminuir las distancias y aumentar el rendimiento. Esto último es factible mientras no se supere los incrementos máximos reportados en bibliografía. Además, se nota que hay medidas, como cambiar la eficiencia de riego, que no tienen un efecto importante en la HE. Estos resultados pueden aportar con una base científica necesaria para la composición de políticas públicas.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	1
1.1.1. Cambio Climático . . . . .	1
1.1.2. Impacto de la Agricultura a nivel mundial . . . . .	2
1.1.3. Impacto de la Agricultura en Chile . . . . .	3
1.1.4. Medidas ante Cambio Climático . . . . .	5
1.1.5. Soberanía alimentaria . . . . .	7
1.1.6. Análisis de Ciclo de Vida . . . . .	8
1.1.7. Huella Ecológica . . . . .	9
1.2. Caso de estudio . . . . .	10
1.3. Objetivos, alcances y exclusiones . . . . .	12
1.3.1. Objetivo general . . . . .	12
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	12
<b>2. Estado del arte</b>	<b>13</b>
2.1. Estudios internacionales . . . . .	13
2.2. Estudios en Chile . . . . .	14
<b>3. Caracterización del escenario actual</b>	<b>16</b>
3.1. Tipos de hortalizas . . . . .	16
3.2. Superficie productiva de hortalizas en Chile . . . . .	18
3.3. Producción de hortalizas en la RM . . . . .	20
3.4. Mercado de hortalizas en Chile y la RM . . . . .	21
3.5. Distribución de hortalizas . . . . .	21
3.6. Consumo de hortalizas en Chile y la RM . . . . .	23
3.7. Elección de alimentos . . . . .	24
3.8. Región de origen de hortalizas representativas . . . . .	26
3.9. Proceso productivo general . . . . .	27
<b>4. Cuantificación de Huella Ecológica</b>	<b>29</b>
4.1. Metodología de Análisis de Ciclo de Vida . . . . .	29
4.2. Objetivo y alcances del estudio . . . . .	30
4.2.1. Objetivo del estudio . . . . .	30
4.2.2. Definición de unidad funcional . . . . .	31
4.2.3. Límites del sistema . . . . .	31
4.2.3.1. Terminología del ACV . . . . .	31
4.2.3.2. Definición de los límites del sistema . . . . .	32
4.2.4. Categoría de impacto: Huella ecológica . . . . .	33

4.2.5.	Cálculo de huella ecológica . . . . .	34
4.2.5.1.	Términos considerados en cada etapa . . . . .	37
4.2.6.	Calidad de los datos . . . . .	39
4.3.	Análisis de inventario . . . . .	39
4.3.1.	Pérdida y desperdicio de hortalizas . . . . .	41
4.3.2.	Pérdida en producción de almácigos y siembra . . . . .	44
4.3.3.	Región de origen y rendimiento de hortalizas consumidas en la RM . . . . .	44
4.3.4.	Superficie utilizada . . . . .	45
4.3.5.	Uso de electricidad . . . . .	45
4.3.6.	Uso de agroquímicos . . . . .	46
4.3.7.	Uso de combustibles fósiles . . . . .	48
4.3.8.	Uso de agua . . . . .	48
<b>5.</b>	<b>Evaluación del impacto: HE del caso base</b>	<b>50</b>
5.1.	Huella ecológica de tomate . . . . .	50
5.2.	Huella ecológica de la lechuga . . . . .	52
5.3.	Huella ecológica de zanahoria . . . . .	54
5.4.	Análisis de resultados y discusiones parciales . . . . .	56
<b>6.</b>	<b>Escenario propuesto: Producción orgánica</b>	<b>61</b>
6.1.	Características de la producción orgánica . . . . .	61
6.1.1.	Rendimiento del cultivo . . . . .	63
6.1.2.	Requerimiento de agua . . . . .	64
6.1.3.	Agroquímicos . . . . .	65
6.1.4.	Semillas . . . . .	66
6.1.5.	Preparación de suelo . . . . .	67
6.1.6.	Disposición de residuos . . . . .	68
6.1.7.	Producción de plantines . . . . .	68
6.1.7.1.	Sustrato . . . . .	69
6.1.7.2.	Fertilizante . . . . .	69
6.1.7.3.	Requerimiento de semillas . . . . .	69
6.1.8.	Merma en producción . . . . .	70
6.1.9.	Resumen cambios de convencional a orgánico . . . . .	70
6.2.	Resultados para cultivo orgánico . . . . .	72
6.2.1.	Tomate . . . . .	72
6.2.2.	Lechuga . . . . .	73
6.2.3.	Zanahoria . . . . .	75
6.3.	Resumen resultados para la producción orgánica . . . . .	77
6.4.	Análisis de resultados y discusiones parciales . . . . .	77
<b>7.</b>	<b>Evaluación de medidas para disminuir la huella ecológica</b>	<b>81</b>
7.1.	Definición de las medidas a implementar . . . . .	83
7.2.	Medida 1: Aumento del rendimiento del cultivo . . . . .	84
7.2.1.	Resultados del cambio en el rendimiento del cultivo . . . . .	85
7.3.	Medida 2: Cambio en el uso de agua . . . . .	87
7.3.1.	Resultados del aumento en la eficiencia del riego . . . . .	88
7.4.	Medida 3: Disminución en la masa de agroquímicos . . . . .	90
7.4.1.	Resultados de disminución porcentual en masa de agroquímicos . . . . .	91

7.5.	Medida 4: Cambio en las distancias recorridas . . . . .	92
7.5.1.	Resultados de implementar la medida 4 . . . . .	92
7.6.	Medida 5: Producción en huertos . . . . .	94
7.6.1.	Resultados de implementar la medida 5 . . . . .	95
7.7.	Análisis de resultados y discusiones parciales . . . . .	96
<b>8.</b>	<b>Reflexiones y discusiones finales</b>	<b>102</b>
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>105</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>122</b>
	<b>Anexos</b>	<b>123</b>
	<b>Anexo A. Masa producida por hortaliza en RM</b>	<b>123</b>
A.1.	Superficie sembrada por hortaliza en la región . . . . .	123
A.2.	Rendimiento por hortaliza en la RM . . . . .	124
A.3.	Masa producida de hortalizas en la RM . . . . .	127
	<b>Anexo B. Región de origen de hortalizas consumidas en RM</b>	<b>129</b>
	<b>Anexo C. Proceso productivo</b>	<b>131</b>
C.1.	Proceso principal - Foreground . . . . .	131
C.2.	Background: Upstream . . . . .	133
C.3.	Background: Downstream . . . . .	136
	<b>Anexo D. Captura de CO<sub>2</sub> por biomasa</b>	<b>138</b>
	<b>Anexo E. Cálculo de superficies</b>	<b>139</b>
E.1.	Superficie de preparación de la tierra . . . . .	139
E.2.	Superficie en venta en mercado . . . . .	139
E.3.	Superficie en consumo . . . . .	140
E.4.	Superficie de quema agrícola . . . . .	142
E.5.	Superficie de producción de plantines y semillas . . . . .	144
	<b>Anexo F. Factores de emisión de CO<sub>2</sub></b>	<b>145</b>
	<b>Anexo G. Balance de masa del proceso principal</b>	<b>147</b>
G.1.	Caso Siembra Indirecta . . . . .	147
G.2.	Caso Siembra Directa . . . . .	151
	<b>Anexo H. Uso de electricidad</b>	<b>153</b>
H.1.	Electricidad en consumo . . . . .	153
H.2.	Electricidad en incorporación de residuos a la tierra . . . . .	154
H.3.	Electricidad en producción cajas de cartón . . . . .	155
H.4.	Electricidad en riego por aspersión . . . . .	155
H.5.	Electricidad en extracción de turba . . . . .	156
H.6.	Electricidad en producción de herbicidas . . . . .	157
H.7.	Factores de caracterización de consumo eléctrico . . . . .	158

<b>Anexo I. Dosis de agroquímicos</b>	<b>160</b>
<b>Anexo J. Cálculo e información para uso de combustibles</b>	<b>164</b>
J.1. Uso de tractor . . . . .	164
J.2. Traslados y medios de transporte . . . . .	166
<b>Anexo K. Distancias recorridas</b>	<b>168</b>
K.1. Venta en mercado a consumo domiciliario . . . . .	168
K.2. Consumo domiciliario a relleno sanitario . . . . .	170
K.3. Importación . . . . .	171
<b>Anexo L. Requerimientos de agua</b>	<b>173</b>
L.1. Agua para riego . . . . .	173
L.2. Agua para lavado domiciliario . . . . .	176
L.3. Agua para aplicación de agroquímicos . . . . .	177
L.4. Agua para producción de agroquímicos . . . . .	178
<b>Anexo M. Resultados obtenidos en escenario actual</b>	<b>180</b>
M.1. Tomate . . . . .	180
M.2. Lechuga . . . . .	182
M.3. Zanahoria . . . . .	184
M.4. Resumen resultados caso base . . . . .	186
<b>Anexo N. Balance de masa producción orgánica</b>	<b>187</b>
<b>Anexo Ñ. Cambios en la producción orgánica</b>	<b>189</b>
Ñ.1. Requerimiento de agua en producción orgánica . . . . .	189
Ñ.2. Fertilización en cultivo orgánico . . . . .	191
Ñ.3. Plaguicidas en cultivos orgánicos . . . . .	192
Ñ.4. Preparación de suelo en cultivos orgánicos . . . . .	193
Ñ.5. Disposición de residuos en cultivos orgánicos . . . . .	194
Ñ.6. Merma en producción orgánica . . . . .	194
Ñ.7. Resumen características producción orgánica . . . . .	195
<b>Anexo O. Resultados obtenidos para producción orgánica</b>	<b>197</b>
O.1. Tomate . . . . .	197
O.2. Lechuga . . . . .	199
O.3. Zanahoria . . . . .	201
O.4. Resumen resultados producción orgánica . . . . .	203
<b>Anexo P. Resultados de implementación de Medida 1: Aumento en rendimiento</b>	<b>204</b>

# Índice de Tablas

3.1.	Hortalizas con mayor superficie productiva en la RM [37]. . . . .	19
3.2.	Hortalizas con mayor superficie productiva en la RM. . . . .	20
3.3.	Hortalizas con mayor masa producida en la RM en 2020. . . . .	20
3.4.	Resumen de alimentos con mayor consumo diario por persona en la RM y Chile.	24
3.5.	Resumen de hortalizas con mayor superficie productiva, masa producida y masa consumida en la RM. . . . .	24
3.6.	Grupo al que pertenecen las especies con mayor consumo en la RM. . . . .	25
3.7.	Resumen de hortalizas representativas . . . . .	26
3.8.	Regiones de origen de las hortalizas más consumidas en la RM. . . . .	26
4.1.	Factor de equivalencia para cada tipo de tierra [70]. . . . .	36
4.2.	Parámetros para cálculo de huella ecológica asociada a emisiones de $CO_2$ y uso de energía. . . . .	36
4.3.	Resumen de términos calculados para cada una de las etapas consideradas en el ciclo de vida de las hortalizas. . . . .	38
4.5.	Porcentaje de pérdida y desperdicio de hortalizas en cada etapa del proceso principal según la FAO. . . . .	43
4.6.	Datos para producción de plantines y siembra. . . . .	44
4.7.	Región en la que se producen las hortalizas más consumidas en la RM. . . . .	45
4.8.	Detalle de la superficie utilizada en cada hortaliza. . . . .	45
4.9.	Uso de electricidad en las etapas correspondientes de cada hortaliza. Los datos se presentan en [ $MJ/kg$ hortaliza consumida]. . . . .	46
4.10.	Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de tomate en el escenario actual. . . . .	47
4.11.	Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de lechuga en el escenario actual. . . . .	47
4.12.	Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de zanahoria en el escenario actual. . . . .	48
4.13.	Uso de combustibles fósiles para las tres hortalizas representativas. Los datos se presentan en [ $L$ combustible/kg hortaliza consumida]. . . . .	48
4.14.	Uso de agua en el ciclo de vida de las tres hortalizas representativas. . . . .	49
5.1.	Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. . . . .	50
5.3.	Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$ tomate consumido]. . . . .	51
5.4.	Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	52

5.6.	Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$ lechuga consumida]. . . . .	53
5.7.	Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	54
5.9.	Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$ zanahoria consumida]. . . . .	55
5.11.	Resumen de los resultados obtenidos de HE para las tres hortalizas representativas en el caso base. Los valores se presentan en [ $m^2/kg$ hortaliza consumida].	56
6.1.	Relación entre el rendimiento de cultivo orgánico (O) sobre el convencional (C) y valor final del rendimiento para cada especie [106]. . . . .	64
6.2.	Valores de coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) utilizados para cada hortaliza en las cuatro etapas fenológicas en producción orgánica. . . . .	64
6.3.	Uso de agua para cada hortaliza en agricultura convencional (caso base) y orgánica.	64
6.4.	Composición de fertilizantes orgánicos utilizados en los cultivos y lugar de origen para cada uno. . . . .	65
6.5.	Dosis de fertilizantes utilizados para cada cultivo [ $kg/ha$ ]. Calculado en Anexo Ñ.2 . . . . .	65
6.6.	Datos para la producción de semillas orgánicas. . . . .	67
6.7.	Uso de tractor en producción orgánica. . . . .	67
6.8.	Eficiencia en actividades de preparación de suelo en producción orgánica. . . . .	67
6.9.	Distribución de los residuos en la producción orgánica de tomate. . . . .	68
6.10.	Poder germinativo para las hortalizas representativas del estudio y dosis requerida en caso orgánico. . . . .	69
6.11.	Resumen de cambios para el cultivo de tomate al pasar de la agricultura convencional a orgánica. . . . .	71
6.12.	Resultados del cálculo de HE para 1 kg de tomate consumido en la RM con producción orgánica. . . . .	72
6.13.	HE por nivel para 1 kg de tomate consumido en la RM con producción orgánica. La HE se presenta en [ $m^2/kg$ tomate consumido]. . . . .	72
6.14.	Resultados del cálculo de HE para 1 kg de lechuga consumida en la RM con producción orgánica. . . . .	73
6.15.	Resultados por nivel para 1 kg de lechuga consumida en la RM. La HE se presenta en [ $m^2/kg$ lechuga consumida]. . . . .	74
6.16.	Resultados del cálculo de HE para 1 kg de zanahoria consumida en la RM con producción orgánica. . . . .	75
6.17.	Resultados por nivel para 1 kg de zanahoria consumida en la RM con producción orgánica. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$ zanahoria consumida]. . . . .	76
6.18.	Resumen de resultados de HE para las tres hortalizas representativas. Los valores se presentan en [ $m^2/kg$ hortaliza consumida]. . . . .	77
7.1.	Valor de $HE_{Total}$ en los escenarios calculados, y con una disminución de 25 y 60% en cada caso [ $m^2/kg$ hortaliza consumida]. . . . .	82
7.2.	Medidas a evaluar considerando los términos que tienen un aporte significativo en la HE. . . . .	83
7.3.	Cambio en el rendimiento para obtener un 25% y 60% de disminución en la HE.	87

7.4.	Cambio en el rendimiento para obtener un 25 % y 60 % de disminución en la HE en caso orgánico. . . . .	87
7.5.	Síntesis de las medidas propuestas y su potencial reducción porcentual sobre la HE del caso base. En la tabla T= Tomate, L=Lechuga y Z=Zanahoria. . . . .	101
A.1.	Superficie sembrada para cada una de las hortalizas consideradas en la RM. Elaboración propio a partir de datos ODEPA [37] . . . . .	124
A.2.	Rendimiento de las hortalizas en provincias de la RM. . . . .	125
A.3.	Continuación de rendimiento de las hortalizas en provincias de la RM. . . . .	126
A.4.	Valores utilizados para transformar unidades del rendimiento. . . . .	126
A.5.	Rendimiento promedio de las hortalizas en la RM. . . . .	127
A.6.	Masa producida de las hortalizas en la RM. . . . .	128
B.1.	Regiones de origen de las hortalizas más consumidas en la RM. . . . .	129
C.1.	Distribución de los residuos hortícolas generados en la cosecha. Los valores se presentan como porcentaje másico [124]. . . . .	137
C.2.	Distribución de los residuos hortícolas generados en las diferentes etapas del proceso. Los valores se presentan como porcentaje másico [124, 125]. . . . .	137
D.1.	Datos de fijación de carbono en diferentes tipos de árboles en las regiones de O'Higgins y Maule, y promedio obtenido [126]. . . . .	138
E.1.	Dimensiones de caja utilizada para traslado y venta de hortalizas en ferias libres [127]. . . . .	140
E.2.	Dimensiones de un refrigerador usado a nivel domiciliario. . . . .	141
E.3.	Dimensiones de las hortalizas estudiadas. . . . .	141
E.4.	Datos de superficie de quema en Chile según la CONAF [130]. . . . .	142
E.5.	Superficies destinadas productivas a nivel nacional en 2018. [73] . . . . .	142
E.6.	Masa producida de cada hortaliza a nivel nacional en 2018 y masa de pérdida que es quemada. . . . .	143
E.7.	Superficie utilizada para quemar 1 kg de rastrojo para cada hortaliza estudiada. . . . .	143
E.8.	Rendimientos en la producción de plantines y semillas. . . . .	144
F.1.	Factores de emisión de $CO_2$ utilizados para el cálculo de la huella ecológica asociada a emisiones. . . . .	145
F.1.	Continuación de la Tabla F.1 . . . . .	146
G.1.	Porcentaje de pérdida y desperdicio de hortalizas en cada etapa del proceso principal para caso de estudio. . . . .	148
G.2.	Flujos másicos para hortalizas de siembra indirecta. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por $F_{15}$ . . . . .	149
G.3.	Flujos másicos para hortalizas de siembra indirecta. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por $F_{15}$ . . . . .	151
G.4.	Flujos másicos para hortalizas de siembra directa. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por $F_{13}$ . . . . .	152
H.1.	Datos para cálculo de la electricidad utilizada en consumo domiciliario. . . . .	153
H.2.	Información técnica de trituradora eléctrica comercializada en Chile [157]. . . . .	154
H.3.	Datos para el cálculo de electricidad utilizada en la producción de cajas de cartón para envasado [145]. . . . .	155
H.4.	Información técnica de bomba de agua sumergible utilizada para el riego por aspersión [158]. . . . .	155
H.6.	Datos de extracción de turba en seis turberas en Europa [159]. . . . .	156

H.8.	Electricidad utilizada en la producción de herbicidas según el ingrediente activo que contienen [143]. . . . .	157
H.10.	Factores de caracterización para el cálculo de la electricidad utilizada en cada etapa del ciclo de vida. . . . .	159
I.1.	Requerimiento de NPK para cada hortaliza estudiada. . . . .	160
I.2.	Agroquímicos para el cultivo de tomate en el escenario actual. . . . .	161
I.3.	Agroquímicos para el cultivo de lechuga en el escenario actual. . . . .	161
I.4.	Agroquímicos para el cultivo de zanahoria en el escenario actual. . . . .	162
I.5.	Composición de los fertilizantes utilizados en cada hortaliza estudiada. . . . .	162
I.6.	Cantidad de cada fertilizante utilizada para los cultivos estudiados. . . . .	163
J.1.	Información para cada uno de los usos de maquinaria en las hortalizas. . . . .	164
J.2.	Eficiencia de la maquinaria para que cada una de las tareas . . . . .	165
J.3.	Tiempo de uso de tractor en cultivo de las hortalizas en el escenario actual. . . . .	166
J.4.	Parámetros técnicos de tractor para cultivos hortícolas en Chile. . . . .	166
J.5.	Datos técnicos de los camiones utilizados para el transporte de agroquímicos. . . . .	166
J.6.	Datos técnicos de los camiones 3/4 utilizados para el transporte desde el lugar de producción a los mercados mayoristas. . . . .	167
J.7.	Datos técnicos de los autos comúnmente utilizados para mover desde el mercado a los hogares. . . . .	167
J.8.	Datos técnicos de los camiones que mueven residuos desde el consumo domiciliario hasta el relleno sanitario. . . . .	167
K.1.	Distancias promedio entre mercado Lo Valledor y las comunas de la RM. Las distancias fueron medidas usando Google Maps y la población se extrae del CENSO 2017 [57]. . . . .	168
K.1.	Continuación de la Tabla K.1 . . . . .	169
K.2.	Distancias promedio entre las comunas de la RM y el Relleno Sanitario Lomas Los Colorados. Las distancias fueron medidas usando Google Maps y la población se extrae del CENSO 2017 [57]. . . . .	170
K.2.	Continuación de la Tabla K.2 . . . . .	171
K.3.	Datos para el cálculo de emisiones y uso de combustible en transporte de insumos importados a Chile. . . . .	172
L.1.	Valores referenciales para el coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) según la fase de cultivo [186]. . . . .	175
L.2.	Datos para el cálculo de uso de agua de riego para cada hortaliza. Información extraída de las fichas de costos referenciales de la ODEPA. . . . .	175
L.3.	Datos para el cálculo de uso de agua de riego para cada hortaliza. Datos extraídos de la Red Agrometeorológica del INIA. . . . .	175
L.4.	Requerimiento de agua para riego para cada hortaliza. . . . .	176
L.5.	Datos para de lavado de hortalizas en consumo domiciliario [187]. . . . .	176
L.6.	Volumen de agua utilizado para lavado de hortalizas en consumo domiciliario. . . . .	177
L.7.	Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de tomate. . . . .	177
L.8.	Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de lechuga. . . . .	177
L.9.	Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de zanahoria. . . . .	178
L.10.	Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de tomate. . . . .	179
L.11.	Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de lechuga. . . . .	179
L.12.	Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de zanahoria. . . . .	179

M.1.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. . . . .	180
M.2.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. . . . .	181
M.3.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. . . . .	181
M.4.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	182
M.5.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	183
M.6.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	183
M.7.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	184
M.8.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	185
M.9.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. . . . .	185
N.1.	Flujos para la producción orgánica de las hortalizas de siembra indirecta. . . .	187
N.2.	Flujos para la producción orgánica de las hortalizas de siembra directa. . . .	188
Ñ.1.	Resumen de cambios para el cultivo de lechuga al pasar de la agricultura convencional a orgánica. . . . .	195
Ñ.2.	Resumen de cambios para el cultivo de zanahoria al pasar de la agricultura convencional a orgánica. . . . .	196
O.1.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM. . . . .	197
O.2.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM. . . . .	198
O.3.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM. . . . .	198
O.4.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM. . . . .	199
O.5.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM. . . . .	200
O.6.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM. . . . .	200
O.7.	Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM. . . . .	201
O.8.	Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM. . . . .	202
O.9.	Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM. . . . .	202
O.10.	HE por etapa para cada hortaliza con producción orgánica. . . . .	203
P.1.	Resultados obtenidos en la aplicación de la medida 1. . . . .	204
P.2.	Resultados obtenidos en la implementación de la medida 1 en caso orgánico. .	205

# Índice de Ilustraciones

3.1.	Almaciguero para plantines de hortalizas [54]. . . . .	18
3.2.	Porcentaje de la superficie de hortalizas sembrada en Chile por región, 2020. Elaboración propia a partir de datos de ODEPA [37]. . . . .	19
3.3.	Cadena de suministro de hortalizas consumidas en la RM. . . . .	23
3.4.	Proceso general de hortalizas. Para el caso de la lechuga y el tomate se considera trasplante, mientras que para la zanahoria se considera siembra. Elaboración propia. . . . .	28
4.1.	Límites del sistema estudiado. . . . .	33
4.2.	Diagrama de bloques para guiar la comprensión del análisis de inventario del caso base. . . . .	41
4.3.	Pérdida y desperdicio de alimentos, según estudio de la FAO en 2014. Elaborado basado en los datos entregados por el estudio [73]. . . . .	42
4.4.	Proceso principal según FAO. Elaboración propia. . . . .	43
5.1.	Distribución de HE según término de la ecuación de HE para el tomate en el escenario actual. . . . .	51
5.2.	Distribución de resultados de la HE del tomate en el escenario actual. . . . .	52
5.3.	Distribución de HE según término de la ecuación de HE para la lechuga en el escenario actual. . . . .	53
5.4.	Distribución de resultados de la HE de la lechuga en el escenario actual. . . . .	54
5.5.	Distribución de HE según término de la ecuación de HE para la zanahoria en el escenario actual. . . . .	55
5.6.	Distribución de resultados de la HE de la zanahoria en el escenario actual. . . . .	56
6.1.	Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. . . . .	63
6.2.	Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de tomate convencional y orgánico. . . . .	72
6.3.	Distribución de resultados de la HE del tomate con producción orgánica. . . . .	73
6.4.	Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de lechuga convencional y orgánica. . . . .	74
6.5.	Distribución de resultados de la HE de la lechuga con producción orgánica. . . . .	75
6.6.	Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de zanahoria convencional y orgánica. . . . .	76
6.7.	Distribución de resultados de la HE de la zanahoria con producción orgánica. . . . .	77
7.1.	Etapas en las que se reflejan los cambios al aumentar el rendimiento del cultivo. Los bloques en amarillo representan las etapas sobre las que se realiza directamente el cambio de rendimiento, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta. . . . .	85

7.2.	Valores de HE en función del porcentaje de aumento del rendimiento para el caso convencional y orgánico. . . . .	86
7.3.	Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. En amarillo las etapas sobre las que se realiza directamente el cambio. . . . .	88
7.4.	Valores de HE n función del aumento de la eficiencia de riego para el caso convencional y orgánico. . . . .	89
7.5.	Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. Los bloques en amarillo representan las etapas sobre las que se realiza el cambio, y en celeste aquellas que se ven afectadas indirectamente. . . . .	90
7.6.	Valores de HE para diferentes disminuciones porcentuales en la masa de agroquímicos para el caso convencional y orgánico. . . . .	91
7.7.	Etapas en las que se reflejan los cambios al disminuir las distancias recorridas. En amarillo la etapa sobre la que se realiza el cambio, y en celeste las que se ven afectadas de forma indirecta. . . . .	92
7.8.	Valores de HE para diferentes disminuciones porcentuales de las distancias recorridas para el caso convencional y orgánico. . . . .	93
7.9.	Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. En amarillo las etapas sobre las que se realizan directamente los cambios, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta. . . . .	94
7.10.	Valores de HE para huerto comunitario en función del aumento porcentual del rendimiento en caso convencional y orgánico. . . . .	96
G.1.	Proceso utilizado para el BM. . . . .	147
G.2.	Diagrama del proceso principal de las hortalizas de siembra directa. . . . .	152

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. Cambio Climático

El Cambio Climático (CC) es uno de los grandes problemas que existen actualmente, y tiene como principal causa el calentamiento global. En las últimas décadas, la Tierra ha aumentado su temperatura a una tasa sin precedentes en la historia. Este incremento ha causado, y seguirá causando, problemas en diferentes ámbitos, como el aumento en el nivel del mar, mayor intensidad de desastres naturales, escasez hídrica, entre otros.

El calentamiento global se debe a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas a diario a nivel mundial. Entre los principales GEI se encuentran el vapor de agua, dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y clorofluorocarbonos (CFC). La presencia de estos gases en la atmósfera inhibe que la radiación emitida por la Tierra pueda salir, provocando la acumulación de calor y, por lo tanto, el aumento de la temperatura en la Tierra [1].

La emisión de estos gases en la Tierra es natural, sin ellos no se tendría la temperatura suficiente para que exista vida. El problema radica en el aumento de la concentración de estos gases por efecto de la actividad humana, que ha provocado el aumento de la temperatura a valores preocupantes. Las emisiones naturales entre 1890 y 2010, un período de 120 años, deberían provocar una variación de temperatura, hacia arriba o hacia abajo, de alrededor de  $0,1^\circ C$ , pero con la intervención humana, se está aumentando cerca de  $0,2^\circ C$  por década [2].

En 2016, a nivel mundial se emitían 49,36 billones de toneladas de  $CO_{2eq}$  por factores antropogénicos, donde los principales eran  $CO_2$ , con un 74,4% de las emisiones totales, el  $CH_4$ , con un 17,3% y el  $N_2O$ , con un 6,2%. Entre los rubros que más emiten se encuentran el de la energía, con un 72%, seguida por la agricultura, con un 11% [3, 4].

Tal como se mencionó anteriormente, los GEI provocan una acumulación de energía porque constituyen una resistencia extra a la salida de calor radiativo. Sin embargo, no todos los gases tienen la misma capacidad de bloquear la salida de calor, y para cuantificar esta capacidad se utiliza el Potencial de Calentamiento Global, PCG o GWP, por sus siglas en inglés.

El GWP considera la capacidad de un gas de absorber radiación y el tiempo de residencia que tiene en la atmósfera. Para el cálculo, se utiliza el  $CO_2$  como gas de referencia, por lo que para él el GWP es 1. En el caso del  $CH_4$  y  $N_2O$ , el GWP, en un horizonte de 100 años, es de 25 y 298 respectivamente, lo que representa el impacto que tienen en comparación con el  $CO_2$ . Con estos valores se puede concluir que el impacto de una tonelada de  $CH_4$  y una de  $N_2O$  es equivalente al de emitir 25 y 298 toneladas de  $CO_2$ , respectivamente [5].

A partir de lo anterior, se puede notar que la emisión de  $N_2O$  cobra gran importancia por su alto impacto comparado con otros gases. Mediante investigaciones y mediciones, se identificó que la principal fuente de emisión este gas es la agricultura, con alrededor del 75 % de las emisiones totales de  $N_2O$  a nivel mundial. El impacto de este rubro se debe principalmente al uso de fertilizantes sintéticos y las prácticas de cultivo convencionales [6].

Por otro lado, el uso de la tierra es otro de los factores relevantes para el cambio climático, y la agricultura, producción energética, entre otros, tienen incidencia directa en él. El cambio en el uso de suelo puede llevar a que la erosión de la tierra. Esta erosión tiene distintas consecuencias y una de las más relevantes tiene es la disminución de la capacidad del suelo para almacenar carbono en él, lo que finalmente también provoca un aumento en los gases en la atmósfera, asociados al calentamiento global.

Los puntos expuestos dejan en claro que las consecuencias del CC han quedado en evidencia en los últimos años. Las olas de calor, sequías, cambio y disminución en las precipitaciones en diferentes sectores, aumento en el nivel de mar, derretimiento de glaciares, entre otros, muestran la situación en la que se encuentra el medio ambiente. También sus efectos en el ecosistema hacen notar la relevancia de este tema hoy en día, abriendo una importante línea de investigación enfocada a la adaptación y mitigación de sus efectos.

### **1.1.2. Impacto de la Agricultura a nivel mundial**

La industria alimenticia produce alrededor del 26 % de las emisiones a nivel mundial. La cadena de suministro, producción de cultivos y el uso de tierra aportan con el 69 % de ese porcentaje. La agricultura aporta con alrededor de la mitad de las emisiones de esta industria, y tal como se mencionó antes, el CC se debe principalmente a las emisiones de GEI, que entre los más dañinos se encuentra el  $N_2O$ , emitido principalmente por la agricultura.

Aunque las emisiones GEI constituyen uno de los principales impactos de la agricultura, es importante también considerar otros. Este rubro tiene un impacto directo y relevante en la huella hídrica (HH), que expresa el consumo de agua dulce para la producción del recurso, generación de residuos por el desperdicio, uso de suelo, entre otros.

A nivel mundial el sector agrícola tiene la mayor demanda de agua, con un 70 % del total. La HH cambia dependiendo de la categoría o tipo de alimento que se está estudiando. Por ejemplo, para producir 1 kg de tomate se requieren de 5.336 litros de agua. El arroz por su lado, utiliza 49.576 litros por kg producido. Estas cifras dejan en evidencia el gran volumen de agua que es utilizado en la producción de alimentos, volviéndolo un foco de mejora [7].

Otro de los conflictos medioambientales es la eutrofización, un proceso en el que la concen-

tración de nutrientes en el agua aumenta de forma desmedida. El incremento en la concentración de estos nutrientes, generalmente fósforo y nitrógeno, tiene como principal consecuencia la proliferación de diferentes especies, como las algas, que conlleva diferentes impactos en el ecosistema acuático. La aparición de estas especies aumenta la demanda de oxígeno en el lugar, que puede llegar a ser lo suficientemente alta para producir anoxia en el cuerpo de agua, y las algas en la superficie pueden crear una capa que evite la entrada de luz al cuerpo de agua, afectando los procesos y reacciones que ocurren en él [8].

Este último problema se relaciona directamente con la agricultura mediante el uso de fertilizantes. En los cultivos es común la utilización de fertilizantes nitrogenados o fosfatados, tales como la urea y el fosfato monoamónico, y si estos agroquímicos son aplicados en exceso se pueden infiltrar mediante la lixiviación o el movimiento por corrientes y lluvia. en cuerpos de agua cercanos provocando la eutrofización en los mismo [9].

Por otro lado se tiene el cambio en el uso de tierra. En la agricultura actual, para abastecer la demanda de alimentos a nivel mundial, se utilizan técnicas que buscan la intensificación de la agricultura, es decir, buscan obtener más producto en un área más reducida. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) reconoce que aunque estas técnicas disminuyen la superficie de la tierra usada, se debe tener en cuenta que también la degradan y reducen la diversidad biológica en ellas, provocando que el suelo pierda las propiedades necesarias para seguir siendo productiva.

Este último punto abre el debate sobre la elección de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que algunas de ellas generan beneficios a corto plazo, como el aumento en el rendimiento de los cultivos utilizados estrategias de intensificación, pero estas mismas medidas pueden causar un problema en el largo plazo. Las consecuencias de la intensificación se presentan actualmente y estudios declaran que con el paso de los años el suelo biológicamente productivo en el mundo ha disminuido [10].

Finalmente, en contraposición a lo antes mencionado, el desperdicio de alimentos es un problema a nivel global. Se estima que 1/3 de los alimentos producidos terminan siendo desechados, aun cuando hay lugares en el mundo donde existe hambruna, con personas y animales que mueren por la falta de alimentos. Además, las emisiones generadas por los alimentos desperdiciados en la cadena de suministro o por los mismos consumidores, aportan un 6 % de las emisiones de GEI a nivel mundial [11].

Los problemas antes descritos son algunos de los impactos más relevantes que tiene la agricultura a nivel mundial, y una de las principales razones por las que se ha convertido en uno de los rubros más importantes a estudiar para encontrar formas de mitigar sus efectos en el CC.

### **1.1.3. Impacto de la Agricultura en Chile**

En 1990, Chile emitía 45,26 millones de  $tCO_2eq$ . En ese mismo año, las emisiones a nivel mundial eran de 30,61 billones de  $tCO_2eq$ , por lo que el país representaba cerca de un 0,15 % de las emisiones en el mundo. En 2019 las emisiones del país habían aumentado a más del doble, teniendo 113,02 millones de  $tCO_2eq$ , mientras que a nivel mundial se emitieron 48,12

billones. El aporte de Chile aumentó a un 0,23 % del total.

Aunque las emisiones del país pueden ser consideradas bajas, es importante notar que entre 1990 y 2019, un período de 29 años, hubo un aumento relativo del 150 % en las emisiones, mientras que a nivel global fue del 57 %. Estos datos muestran el incremento sostenido y acelerado de las emisiones a nivel nacional, por lo que se deben buscar, presentar y evaluar diferentes medidas que permitan frenarlo [12].

Por otro lado, en el mismo período (1990-2019) Chile tuvo un aumento del 265 % del producto interno bruto (PIB), indicador económico utilizado para evaluar el avance de un país en términos monetarios. La comparación entre la tasa de variación del PIB y de las emisiones es utilizada para medir la ecoeficiencia de un país, es decir, la relación entre la economía y los impactos ambientales, donde los países más ecoeficientes son aquellos que logran aumentar el PIB a una tasa mayor que la de las emisiones[13].

Según lo anterior, se puede notar que Chile se encuentra en un escenario positivo, ya que el aumento relativo de sus emisiones es menor al del producto interno bruto. Sin embargo, si este análisis se realiza para los últimos cinco años con información disponible, de 2014 a 2019, se encuentra que el cambio relativo en las emisiones es de un 17 % al aumento, mientras que el del PIB es de un 10 %. Lo anterior deja en evidencia que en los últimos años las emisiones han tenido un aumento acelerado, superando incluso la tasa de incremento del PIB [12, 13].

En Chile, las emisiones se deben a 5 rubros principales: energía, agricultura, residuos, procesos industriales y uso de los productos (IPPU por sus siglas en inglés), y uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), y al igual que a nivel mundial, los principales gases emitidos son  $CO_2$ , con un 78,7 % de los GEI,  $CH_4$ , con un 12,5 %, y  $N_2O$ , con un 6 %. En particular, en 2016, las emisiones eran 87,89, 13,94 y 6,71  $MtCO_2eq$  de  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  respectivamente [14].

Aún cuando las emisiones de óxido nitroso son casi 13 veces más pequeñas que las de  $CO_2$ , se debe tener en cuenta que su GWP, en un horizonte de 100 años, es 298 veces más alto, por lo que los 6,71  $MtCO_2eq$  emitidos en 2016, tienen un impacto equivalente a haber emitido casi 2000  $Mt$  de  $CO_2$ , lo que permite notar la gran relevancia de disminuir las emisiones de este gas.

Tal como se mencionó antes, el  $N_2O$  es emitido principalmente por la agricultura, debido al uso de fertilizantes. En Chile, este rubro aporta con un 10,6 % de las emisiones totales, y en sectores como la Región de Los Ríos, donde es uno de los principales ejes productivos, sus emisiones alcanzan hasta el 57,3 % de las de todo el sector [15, 16].

Aunque las emisiones GEI son un impacto importante, al igual que a nivel mundial, en Chile la agricultura también tiene otros impactos. En particular, la agricultura intensiva es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el país. El sistema agrícola utilizado actualmente se cataloga como intensivo por el uso de agua y agroquímicos, además del manejo de suelo. Este sistema utiliza grandes extensiones de terreno, que conlleva una disminución en la diversidad de especies en estos sectores, ya que se prioriza la obtención de especies que generen ganancia económica, dejando de lado, e incluso eliminando, aquellas

que no van en línea con este objetivo [17, 18].

Según el Sexto Informe Nacional de Biodiversidad en Chile, entre el 2014 y 2018 gran parte de los ecosistemas terrestres han disminuido su tasa de pérdida, exceptuando los bosques nativos, donde la tasa aumentó. Más del 50 % de estos bosques se encuentran entre la Región de Los Lagos y la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. A pesar de la disminución en la tasa de pérdida, en 2015 un 50 % de los ecosistemas nacionales se encontraban amenazados, la mayoría ubicados en el sector centro y sur del país.

El aumento en la tasa de pérdida de los bosques nativos tiene estrecha relación con las plantaciones que se realizan en estos sectores. Los bosques son reemplazados, convirtiéndose en superficies para el sector agrícola, urbano y plantaciones forestales, entre los que en los últimos años han destacado el aumento en el cultivo de paltos y la creación de viñedos, especialmente para exportación.

El cambio en el uso de suelo, la priorización de los sectores productivos como la agricultura, y las técnicas utilizadas en sus procesos, han conducido a una importante pérdida de biodiversidad en el país, que deja de lado la relevancia de los ecosistemas terrestre, incluso cuando en el mismo estudio se menciona que las áreas silvestres protegidas del Estado pueden capturar hasta el 15 % de las emisiones de carbono del país [19].

Además del impacto de las emisiones GEI y el uso de suelo, se tiene la HH. Actualmente existe una escasez hídrica a nivel mundial, que ha puesto el cuidado del agua como un foco de mejora importante. Según un estudio, realizado en el año 2012 por el Programa de Huella Hídrica de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Universidad Católica, en Chile el mayor uso consuntivo de agua lo tiene la agricultura, con un 73 % del total, principalmente por la irrigación [20].

Según este mismo estudio, la demanda de agua del sector agrícola la lideran las regiones de la zona centro del país, específicamente las ubicadas entre la Región de O'Higgins y la de la Aisén, teniendo en el primer lugar a la Región del Maule. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) realizó una estimación de la demanda de agua en 2015, en la que se concluyó que el sector agrícola se mantiene en un 73 % del uso a nivel nacional, liderado por las regiones del Maule, O'Higgins y la Región Metropolitana (RM). En ellas el consumo agrícola es un 96 %, 91 % y 62 %, respectivamente, del uso consuntivo regional [21].

Los antecedentes presentados buscan mostrar que el impacto de la agricultura tiene diferentes aristas. La forma de producción y técnicas utilizadas en el sector agrícola han tenido efectos por sus emisiones, uso de suelo, huella hídrica, entre otros. En la búsqueda de la adaptación al CC y mitigación de sus efectos, se deben realizar estudios que contemplen diversos impactos, para así tomar medidas con una visión más completa del panorama actual.

#### **1.1.4. Medidas ante Cambio Climático**

Frente al contexto antes presentado, a lo largo de los años se han tomado diferentes medidas que buscan adaptarse y mitigar los efectos del CC. Aún se continúa en la búsqueda de alternativas que permitan mejorar el panorama actual en términos medioambientales, por

lo que la adaptación al CC y mitigación de sus efectos se ha convertido en uno de los temas más relevantes a tratar hoy en día, siendo objetivo de diferentes investigaciones que tienen como fin el cuidado del medio ambiente.

Diversas instituciones han presentado propuestas para tener un futuro más sostenible. El año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) planteó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y Chile es uno de los países comprometidos con lograrlos. Estos objetivos abordan diferentes temáticas relacionadas con los tres ejes de la sustentabilidad: económico, social y medioambiental.

Varios de estos objetivos tienen relación con la forma de obtener alimentos. El Objetivo 12 busca la “Producción y Consumo Responsables”, y uno de sus ejes es disminuir la cantidad de comida que se desperdicia a nivel mundial, ya que alrededor de 1/3 de los alimentos que se producen anualmente terminan en vertederos, debido al mal manejo en el transporte, recolección, o porque son desechados por los propios consumidores y productores [22, 23].

Por otro lado, el Objetivo 2, “Hambre Cero”, busca terminar con el hambre y garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición de las personas, además de comprometerse con la búsqueda de nuevas formas para llegar a una agricultura sustentable. La meta es lograr estos objetivos al 2030, mediante medidas como incentivar la producción agrícola a pequeña escala, aplicar prácticas agrícolas resilientes, aumentar el presupuesto entregado a investigación el sector agrícola, entre otros [24].

Aunque los objetivos plantean medidas ligadas al medio ambiente, estudios muestran que al llevar a la práctica las metas propuestas, los efectos radican principalmente en el ámbito económico y no en el cuidado del ecosistema. La falta de seguimiento, medición y propuestas concretas, que busquen regenerar y cuidar los recursos, queda en evidencia al notar la correlación entre los indicadores de los ODS y los preexistentes enfocados en la biodiversidad y el desarrollo socio-económico.

En un estudio realizado en 2020, se concluyó que de los 101 indicadores de los ODS relacionados con el medio ambiente, 18 tienen una correlación positiva con los indicadores de biodiversidad, 12 con el ámbito socio-económico y 22 con ambos, donde en este último grupo, todos los indicadores tienen mayor correlación con el aspecto socio-económico que con el de biodiversidad. De los indicadores restantes, 23 tienen correlación negativa o inexistente con ambos aspectos y 26 no contaban con la información suficiente para el cálculo.

En otras palabras, se ha demostrado que el reporte que hacen los países sobre el avance en los ODS no está correlacionado con la mejora ambiental, de hecho, en muchos casos, el avance en los ODS está correlacionado con un retroceso en indicadores ambientales [25].

Los resultados muestran la baja relación entre las medidas adoptadas por los países y lo que se requiere para lidiar con el CC. Aunque los ODS tienen una gran relevancia a nivel mundial, las medidas adoptadas han tenido un impacto principalmente en el área económica. Esto deja en claro la necesidad de usar los ODS como herramienta para definir medidas aún más autoexigentes que busquen la adaptación y mitigación de los efectos del CC.

Por otro lado, según lo presentado en el Sexto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile, la Meta Nacional 1 al 2030 busca el uso sustentable de la biodiversidad nacional, donde uno de los rubros a mejorar es el sector agrícola. Para esto, se han propuesto los Acuerdos de Producción Limpia (APL), que plantean una serie de directrices para producir de forma más segura y eficiente en materia ambiental. Hasta el 2017, el 65 % de los APL se asociaban al sector agrícola del país [19, 26].

También como una forma de mitigar los impactos de la agricultura, se propuso el Plan de Agricultura Sustentable. Este proyecto tiene como fin la disminución de las quemadas agrícolas realizadas en el país, comúnmente utilizadas para eliminar los residuos que quedan luego de la faena o cosecha. Su realización conlleva diferentes impactos, entre los principales se encuentran el aporte en emisiones de material particulado, que tiene un efecto importante en la calidad del aire, así como el riesgo de provocar incendios forestales. La meta en la RM es disminuir las quemadas en un 50 % [27, 28].

En la misma línea, entre los años 2012 y 2018 se ejecutó el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático para el sector silvoagropecuario, compuesto por 21 medidas centradas en los impactos principales de este sector y que buscan mejorar el uso de agua, fomentar la investigación, información y creación de capacidades, implementar la gestión de riesgos y seguros agrícolas, como también la gestión forestal. Al finalizar, se concluyó un logro del 84 % de las medidas propuestas.

Actualmente se encuentra en proceso de creación un segundo plan, que inició durante el 2022 y tiene como fin establecer la forma de gobernar y coordinar la organización general del plan, fortalecer la inversión asociada a la mejora en esta área, apoyado por procesos participativos, así como alinear la adaptación con las políticas públicas y los objetivos de desarrollo del país, crear una estrategia para financiar las medidas necesarias y crear un sistema que permita realizar un seguimiento y monitoreo de las medidas [29].

Finalmente, como parte del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC), también se plantean medidas de mitigación para el sector silvoagropecuario. Estas medidas se detallan en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) elaborado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Esta estrategia busca la implementación de medidas que permitan aumentar la resiliencia de los ecosistemas ante el CC, y mejorar la captura de GEI [30].

Las estrategias y planes antes descritos son considerados en la Estrategia Climática de Largo Plazo 2050 que se encuentra en proceso de elaboración, y que tiene como objetivo entregar lineamientos generales para la mitigación y adaptación al CC en el país [31].

### **1.1.5. Soberanía alimentaria**

En adición a los efectos que tiene la industria alimenticia en el medio ambiente, otro factor que ha sido relevante al pensar en los cambios que se pueden realizar, es la soberanía alimentaria, un término que surgió durante el año 1996 y que tiene estricta relación con las políticas agrarias. La soberanía alimentaria plantea que las personas, pueblos u otros, tienen el derecho a definir y participar en la creación de sus políticas agrarias y alimentarias.

Entre los principales objetivos de la soberanía alimentaria están priorizar la producción de alimentos locales, garantizando a los campesinos los recursos necesarios para la producción agrícola, así como su derecho a decidir qué producir. También autorizar a países u organizaciones a tomar medidas para cuidarse de las importaciones con costos económicos bajos y, finalmente, el derecho de los consumidores a decidir lo que consumen y la forma en que se producen sus alimentos.

La necesidad de soberanía alimentaria nace por diferentes razones, una de ellas tiene relación con los problemas de hambruna que existen hasta el día de hoy. Países donde aún no se garantiza la alimentación y nutrición de todos sus habitantes, exportan gran parte de los alimentos que producen. Además, la industrialización del sector agrícola ha llevado a una dependencia a la importación de alimentos, y que gran parte de los campesinos tengan que cambiar las técnicas productivas tradicionalmente utilizadas [32].

La forma de producción de alimentos generalizada actualmente no se encuentra alineada con la soberanía alimentaria. Para cumplir con estos objetivos, se deben plantear alternativas para la producción y distribución de alimentos. Tal como se mencionó antes, una de las metas de la Agenda 2030 de Chile es incentivar la producción y venta de alimentos agrícolas a baja escala, acompañado de la búsqueda de formas para que esta producción se realice de forma sostenible. La meta se plantea como una forma de recuperar y mejorar la calidad de la tierra, no obstante, estaría alineado también con los planteamientos de la soberanía alimentaria [24].

### **1.1.6. Análisis de Ciclo de Vida**

Los antecedentes mencionados en las secciones previas dejan en claro la necesidad de estudiar y tomar medidas que permitan la adaptación y mitigación del CC realizando cambios en diferentes áreas, y en particular este trabajo se enfoca en el sector agrícola.

La toma de decisiones respecto a la producción y distribución de alimentos es un problema complejo, que debe ser observado, estudiado y analizado desde diferentes aristas. Este trabajo se enfoca en la comparación de distintas formas de producir y distribuir los alimentos, y en en la comparación de escenarios de producción y distribución agrícola, una de las herramientas comúnmente utilizadas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), o análisis de la cuna a la tumba.

El ACV permite cuantificar el impacto de un proceso o producto considerando todas las etapas necesarias para su obtención o realización. La utilización de este tipo de herramientas se vuelve necesaria ya que, la cuantificación de los efectos de cada cambio permite evaluar y comparar alternativas, aportando con argumentos sólidos en las decisiones sobre medidas y/o políticas públicas [33].

La herramienta de ACV se encuentra estandarizada por las normas de la International Standardization Organization (ISO), donde se definen y explican detalladamente las etapas necesarias para realizar este tipo de análisis, y las características generales de los mismos. A continuación se presenta la lista de normas asociadas al ACV:

- ISO 14040: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de

referencia.

- ISO 14041: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario.
- ISO 14042: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.
- ISO 14043: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida.
- ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.

Las etapas principales del ACV definidas por las normas ISO se pueden encontrar en el Capítulo 4, en el que se explica la metodología utilizada en el presente estudio.

### 1.1.7. Huella Ecológica

Tal como se mencionó antes, el ACV es una herramienta que permite la cuantificación de diferentes impactos abarcando todas las etapas de un proceso y cuantificando todas sus entradas y salidas. Esta herramienta puede ser utilizada para cuantificar diversos impactos como GWP, uso de suelo, huella hídrica y huella ecológica. En particular, esta última puede ser relacionada con las tres anteriores.

La Huella Ecológica (HE) expresa el impacto en términos de superficie productiva necesaria para obtener un recurso y absorber parte de los contaminantes que provoca su proceso. La HE entonces considera el área directamente utilizada en el proceso, pero también la superficie de tierra necesaria para absorberlos residuos gaseosos, líquidos y sólidos que se generan en el mismo.

Este indicador se encuentra compuesto por diferentes impactos, ya que considera la superficie utilizada para absorber el  $CO_2$  emitido, los residuos líquidos y sólidos generados, la superficie efectivamente utilizada, y la requerida para obtener los insumos del proceso, como lo es el agua en la agricultura, abarcando entonces una parte del potencial de calentamiento global, uso de suelo y huella hídrica respectivamente.

La HE junta distintos impactos en un solo valor expresado generalmente en hectáreas globales (hag), es decir, una unidad de superficie. Su utilización se debe a que es una unidad fácil de entender y asimilar para las personas, lo que permite generar una mayor conciencia respecto al impacto de lo que se consume.

En general, el resultado final es comparado con la biocapacidad de un país o región, que es la capacidad que tiene el territorio de generar recursos o activos ecológicos, incluidos los bosques, terrenos construidos, entre otros. Así, con el valor obtenido de la Huella Ecológica y su comparación con la biocapacidad, se puede concluir si la demanda de recursos de un territorio en particular excede su capacidad regenerativa.

Una de las principales ventajas de la cuantificación de la Huella Ecológica frente a otras categorías de impacto es que logra medir diferentes emisiones, como flujos y concentraciones,

llevándolas a una unidad que permita visibilizar el impacto que se tiene sobre el ambiente de forma concreta [34].

Finalmente, debido a que combina diferentes categorías de impacto asociadas a la agricultura, y la sencillez en la lectura y comprensión de los resultados obtenidos en su cálculo, es que se define la HE como indicador a cuantificar en el presente estudio mediante la metodología de ACV.

## 1.2. Caso de estudio

Con los antecedentes expuestos anteriormente, se deja en claro la relevancia de realizar cambios en la agricultura para sobrellevar el Cambio Climático en Chile. Los impactos del sector agrícola son diversos, y su magnitud depende de distintos factores, como el tipo de alimento, lugar en que se produce, entre otros. La agricultura es un rubro amplio, que permite obtener diferentes alimentos, tales como frutas, cereales y hortalizas.

En particular, las hortalizas se encuentran entre los alimentos más recomendados para una dieta saludable. Son reguladores naturales, con un alto aporte de vitaminas y minerales, por lo que son un aporte a la salud y bienestar de las personas. En el grupo de las hortalizas se encuentran alimentos como las zanahorias, tomates, cebollas, lechuga, entre otros, que son ampliamente consumidos en el país [35].

Según datos presentados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en la VIII Encuesta de Presupuestos Familiares de 2016, la lechuga y el tomate se encuentran entre los 10 alimentos más consumidos en el país. En 2020, esta misma institución estimó que la superficie de producción de hortalizas en Chile es de 92720 ha, de las que un 75 % es utilizada en la producción de solo 12 especies, entre las que destacan nuevamente la lechuga y el tomate, que en conjunto con la cebolla, choclo y poroto, utilizan alrededor del 50 % de la superficie productiva de hortalizas en el país [36, 37].

La producción de hortalizas es liderada por la Región Metropolitana, con el 28,4 % de la superficie productiva a nivel nacional, seguida por las regiones de O'Higgins y del Maule, que en conjunto tienen alrededor de un 30 %. Esta producción se realiza principalmente con cultivos convencionales, que es la forma de cultivo utilizada comúnmente en el mundo. En este tipo de agricultura se utilizan fertilizantes, plaguicidas, entre otros productos químicos, que buscan lograr una mayor eficiencia y rendimiento en el cultivo [37].

Una de las alternativas a la agricultura convencional es la agricultura orgánica, que tiene como principal diferencia la eliminación de productos químicos en los cultivos, disminuyendo los impactos medioambientales asociados a su utilización, como la erosión de suelos, contaminación de agua, entre otros. En 2019, a nivel nacional se tenían 150 [ha] certificadas como orgánicas para hortalizas, representando menos del 1 % del cultivo en el país, aun cuando estudios muestran a la producción orgánica como una alternativa para la mitigación de los impactos en la obtención de alimentos [38, 39].

Con el mismo fin han surgido nuevas alternativas, como la producción de alimentos a baja escala. En diversas regiones de Chile se han implementado huertos comunitarios, iniciativa

relacionada con el fomento del consumo local, una de las opciones más mencionadas ya que permite la disminución del impacto asociado al transporte. En este contexto, han surgido estudios para determinar, en términos de espacios geográficos y/o distancias, qué se considera local, tal que se logre disminuir el impacto antes mencionado. Así, también se han realizado estudios que cuantifican el efecto del cambio de la producción de alimentos a distintas escalas, como regional y nacional, en diversos países [40, 41].

En particular, la RM cuenta con huertos en comunas como La Reina, Ñuñoa, El Bosque, entre otras, donde una de las primeras apuestas ha sido el cultivo de hortalizas, como el tomate y las zanahorias, especialmente por su alto aporte nutritivo, rápido consumo y la facilidad con la que pueden ser cultivadas [42].

Aunque los huertos comunitarios han sido implementados en diferentes sectores, en Chile no hay estudios que cuantifiquen el impacto ambiental del consumo de hortalizas que provengan de huertos o que comparen las distintas formas de producción, tal que se pueda decidir si es o no la mejor opción para este contexto particular. Entonces, ¿los huertos son una mejor alternativa a la actual?, ¿podría ser perjudicial ambientalmente que todas las personas se alimenten de hortalizas producidas en huertos?.

Considerando estas preguntas y antecedentes, las hortalizas se eligen como caso de estudio para cuantificar el impacto de diferentes escenarios de producción y distribución de alimentos en la Región Metropolitana. Este grupo de alimentos puede ser cultivado a diferentes escalas en la región, siendo de las más utilizadas en las nuevas iniciativas, como los huertos comunitarios, además de que algunas de ellas se encuentran entre los alimentos más consumidos en el país, conformando una parte relevante de la dieta a nivel nacional.

Lo anterior presenta a las hortalizas como un caso de estudio apropiado para responder mediante una comparación cuantitativa, cuál es la mejor forma, en términos medioambientales, de obtener alimentos, y qué cambios se pueden realizar en el escenario actual para lograr una obtención más sustentable de este recurso.

## **1.3. Objetivos, alcances y exclusiones**

En esta sección se presenta el objetivo general del trabajo, los objetivos específicos, y sus alcances y exclusiones.

### **1.3.1. Objetivo general**

Proponer mejoras al sistema de producción y distribución de hortalizas en la RM sobre la base de un análisis de escenarios que compare la huella ecológica mediante la técnica de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos del trabajo serán:

1. Caracterizar el escenario actual de producción y distribución de hortalizas en la RM, definiendo las etapas a considerar en el análisis y los límites del sistema.
2. Cuantificar la huella ecológica en el escenario actual a través de un ACV en las etapas previamente definidas.
3. Proponer escenarios de producción y distribución alternativos al caso base para reducir la huella ecológica en aquellas etapas de mayor impacto ambiental, identificadas en el objetivo anterior.
4. Caracterizar los escenarios previamente definidos, cuantificar el impacto ambiental de cada uno e identificar el mejor de los casos mediante una comparación de la huella ecológica obtenida para cada uno.
5. Proponer cambios, que se puedan realizar en el corto y largo plazo, a la forma de producir y distribuir alimentos en la RM, con el fin de disminuir el impacto ambiental de su obtención.

# Capítulo 2

## Estado del arte

Para evaluar escenarios de producción y distribución de alimentos se debe pensar en los cambios que se pueden realizar a la cadena de suministro actual. Entre las modificaciones más mencionadas se pueden encontrar las asociadas a las materias primas y técnicas utilizadas en el proceso, como es la agricultura orgánica, y el cambio en la escala productiva y distributiva, que puede ser comunal, regional, nacional, etc.

Al realizar la comparación de escenarios es común la utilización de herramientas como el ACV, que permiten obtener resultados cuantitativos de uno o más impactos de un proceso. Los impactos que pueden ser medidos son variados y dependen del proceso a estudiar. Tal como se mencionó anteriormente, en el caso de la agricultura, algunos pueden ser la cuantificación de la huella hídrica, huella ecológica, uso de energía y de emisiones GEI.

En este trabajo se cuantificará la huella ecológica de diferentes escenarios de producción y distribución de hortalizas en la RM. En estos escenarios se modificará la escala productiva y tipo de cultivo utilizado, por lo que se presenta una revisión bibliográfica de estudios asociados a la evaluación de escenarios de producción y distribución de alimentos en Chile, como también en otros países.

### 2.1. Estudios internacionales

Teniendo en cuenta que los impactos ambientales de la alimentación son un problema a nivel mundial, se han realizado estudios en distintos países que buscan analizar y encontrar la forma de volver este proceso más eficiente y amigable con el medioambiente.

En 2013 se realizó un estudio en Estados Unidos que cuantificó el impacto ambiental de la cadena de suministro de alimentos a dos escalas: a nivel nacional y a nivel regional. Esta investigación fue realizada para tomates procesados, y se cuantificó el uso de energía, huella hídrica y emisiones GEI mediante un ACV. En el mismo trabajo se analizaron también las diferencias entre producir de forma orgánica y de forma convencional.

El trabajo concluyó que el transporte en largas distancias tiene un bajo aporte porcentual en el uso de energía y emisiones GEI de la cadena de suministro, a pesar de esto, y aunque el no es la etapa con mayor impacto, puede haber una disminución en esas categorías si se

modifica el medio de transporte en el que se realiza. También se concluyó que la categoría de impacto elegida condiciona la que será la mejor alternativa, ya que mientras un escenario puede ser más eficiente energéticamente, el otro puede ser, por ejemplo, más resiliente frente a variaciones en los recursos [43].

Por otro lado, en 2002 se realizó un estudio en UK en el que se calculó el uso de energía y la huella de carbono asociada al transporte de manzanas para el caso en que estas son importadas desde Estados Unidos y para el caso en que son producidas a nivel nacional. Los resultados mostraron que el aporte asociado a recorrer distancias es considerable, pudiendo utilizar más energía en el transporte que en el cultivo cuando las manzanas son importadas.

Mediante esta investigación también se pudo concluir que la producción y distribución de las manzanas dentro del país disminuiría las emisiones de  $CO_2$  en un 97%, y la energía consumida puede ser hasta 29 veces menor que al importarlas [44].

En 2006 en España se realizó un estudio que cuantificó la huella ecológica de la agricultura y la forma de alimentación en el país. La investigación muestra la evolución de la HE de los distintos cultivos agrícolas entre 1955 y 2000, y concluye que desde 1961 en adelante ha habido un déficit en la superficie cultivada necesaria para la producción de este sector. En otras palabras, la superficie productiva requerida es mayor a la biocapacidad del país [45].

Los trabajos antes mencionados estudian y comparan diferentes escalas de producción y distribución, tales como internacional, nacional y regional, y también se enfocan en el estudio del cultivo orgánico versus el convencional, pero ninguno menciona la posibilidad de utilizar huertos urbanos, aun siendo una alternativa que ha resonado en los últimos años.

Finalmente, el análisis de estos estudios deja en claro que la lectura de los resultados de un ACV debe ser cuidadosa, ya que en ellos se hablará de lo que ocurre con una categoría de impacto y esto puede entregar una visión sesgada respecto a los efectos ambientales de las alternativas. Debido a lo anterior es que realizar estudios que cuantifiquen más de una categoría de impacto se vuelve útil, ya que permite tener una mirada más compleja. Ante esto, la HE se vuelve un indicador más interesante y atractivo que una categoría de impacto unidimensional.

## 2.2. Estudios en Chile

En Chile se han realizado estudios similares a los presentados antes. En 2019, profesionales de distintas universidades realizaron un ACV para comparar tres tipos de producción de arándanos en el país: convencional, orgánica y agroecológica. En las dos últimas no se usó productos sintéticos y se diferencian en que en la orgánica se permite usar productos comerciales, mientras que la agroecológica prioriza producirlos por sí misma, y en el caso convencional no se tenían restricciones para el uso de productos sintéticos.

Los impactos cuantificados fueron emisiones GEI, acidificación y eutrofización. En él concluyeron que la producción agroecológica es la más eficiente en términos ambientales y económicos, y notaron también que las tres formas logran rendimientos similares en la producción de este alimento [46].

En esta misma línea, en 2016 se publicó un estudio que cuantificó la huella de carbono de la producción orgánica de arándanos, también mediante un ACV. La investigación mostró que las emisiones GEI de esta forma de cultivo se deben principalmente a los fertilizantes orgánicos utilizados, seguida por el uso de energía [47].

En 2012, un estudio realizó un ACV para comparar los impactos del cultivo orgánico y convencional de trigo en la Región de la Araucanía. Se cuantificó el agotamiento de recursos abióticos, acidificación, eutrofización y GWP, y se concluyó que existen diferencias en el impacto generado según las técnicas utilizadas. El cultivo convencional tiene mayor impacto en las cuatro categorías analizadas respecto al orgánico, y se pudo notar que la etapa de manejo de suelo es la que tiene mayor impacto en ambos escenarios [48].

Por otro lado, en 2015, se realizó un estudio para cuantificar la HH asociada al riego del sector agrícola. Los resultados mostraron que existe un estrés hídrico, dejando en claro la necesidad de crear políticas públicas para mejorar el manejo del agua en el país. Un segundo estudio, publicado en 2016, midió la escasez de agua debido a la minería y la agricultura en Chile. La investigación concluyó que la minería tiene la mayor demanda de agua en la región de Antofagasta, pero en el resto de las regiones la tiene la agricultura [49, 50].

En 2014, un estudio cuantificó las brechas de rendimiento y la huella ecológica de la producción de papas en Chile. Se calcularon estos valores para la producción de papas para consumo humano y como semilla, en distintas zonas del país, y a pequeña y gran escala, considerando como gran escala los cultivos de más de 10 ha/año. Los resultados mostraron que los cultivos a gran escala tienen menos huella terrestre, pero mayor huella de carbono e hídrica. También se pudo concluir que es preferible cultivar este alimento en verano en el sector sur del país, antes que hacerlo en el sector centro en invierno [51].

Finalmente, en 2020 se publicó una evaluación de distintos sistemas alimenticios de vegetales en Chile. El trabajo se enfocó en una evaluación mediante consulta a expertos, a los que se les planteó 5 sistemas alimenticios diferentes, en los que se presentaban cambios en la escala productiva y la forma de cultivo. La evaluación abordó el ámbito social, económico y ambiental, y para la obtención de resultados se promediaron las respuestas de los expertos. El estudio concluye que la producción agroecológica y la orgánica a pequeña escala son potenciales alternativas, pero es importante notar que su implementación a lo largo del país puede tener dificultades [52].

Con la información expuesta, se puede notar que la mayor parte de los estudios nacionales de este tema se han enfocado en cuantificar y comparar el efecto de diferentes tipos de cultivo, pero pocos han indagado en identificar claramente las etapas, insumos u otros que pueden estar aumentando el impacto, para luego evaluar lo que ocurre al realizar cambio sobre ellas. Considerando lo anterior, el estudio y cuantificación del impacto de distintos escenarios se vuelve relevante, ya que los resultados deben ser considerados en la toma de decisiones de medidas que buscan la mitigación y adaptación al CC en el país.

# Capítulo 3

## Caracterización del escenario actual

En este capítulo se presenta la caracterización de la producción y distribución de hortalizas en Chile y la RM. En él se incluye la variedad de productos, formas comúnmente usadas para clasificarlas, superficie productiva destinada a ellas, masa que se produce de cada una, entre otros, para al final elegir y adoptar hortalizas representativas del sector, que permitan facilitar la cuantificación.

Entonces, el objetivo de este capítulo es la elección de los productos representativos para el caso de estudio, además de presentar un diagrama de bloques que describa el proceso general, y así cuantificar el impacto ambiental en los siguientes capítulos.

### 3.1. Tipos de hortalizas

En primer lugar, es importante saber que las hortalizas son alimentos que no necesariamente comparten características botánicas entre sí. Incluyen principalmente vegetales, como la lechuga, la zanahoria y la cebolla, pero también algunas frutas, como por ejemplo el tomate. Las principales características que comparten estos alimentos es que pueden ser cultivados en huertas y consumidos rápidamente después de la cosecha, sin mayor procesamiento [53].

El boletín de hortalizas publicado en agosto del 2021 por la ODEPA contabiliza 28 especies producidas en Chile, y agrupa las menos frecuentes en “Otras hortalizas”. El detalle de las especies es presentado a continuación [37]:

- |                         |                                  |                        |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1. Acelga               | 9. Brócoli                       | 16. Lechuga            |
| 2. Achicoria industrial | 10. Cebolla de guarda y temprana | 17. Melón              |
| 3. Ají                  | 11. Choclo                       | 18. Orégano            |
| 4. Ajo                  | 12. Coliflor                     | 19. Pepino de ensalada |
| 5. Alcachofa            | 13. Espárrago                    | 20. Pimiento           |
| 6. Apio                 | 14. Espinaca                     | 21. Poroto granado     |
| 7. Arveja verde         | 15. Haba                         | 22. Poroto verde       |
| 8. Betarraga            |                                  | 23. Repollo            |

- |  |                      |                                  |
|--|----------------------|----------------------------------|
| 24. Sandía                             | 26. Zanahoria        | 28. Zapallo temprano y de guarda |
| 25. Tomate consumo fresco e industrial | 27. Zapallo italiana | 29. Otras hortalizas             |

Tal como se mencionó antes, en esta lista se encuentran diferentes tipos de alimentos por lo que pueden ser clasificadas bajo distintos criterios. En este trabajo se presentan los dos más comunes: según la parte de la planta que es comestible y según la forma de siembra.

La clasificación según la parte comestible de la planta se enfoca principalmente en lo que ocurre en el consumo del alimento. En esta categoría las hortalizas pueden ser divididas en cinco tipos presentados a continuación [35]:

- Hortalizas de hoja comestible. Ejemplos: Lechuga, acelga y apio.
- Hortalizas de raíz comestible. Ejemplos: Zanahoria y betarraga.
- Hortalizas de tallo y bulbo comestible. Ejemplos: Cebolla y ajo.
- Hortalizas de flor comestibles. Ejemplos: Alcochofa, brócoli y coliflor.
- Hortalizas de fruto comestible. Ejemplos: Arveja, pepino y tomate.

Tal como se explicó antes, esta clasificación es una de las más comunes y divide las hortalizas según lo que ocurre en la etapa de consumo de la planta, pero otra forma de clasificarlas es dependiendo del método utilizado en la siembra, es decir, desde que la semilla es depositada en la tierra hasta que aparecen las primeras hojas. En esta clasificación se encuentran dos tipos de hortalizas:

- Hortalizas de siembra indirecta o trasplante: Hortalizas que utilizan la siembra con almácigo, un contenedor o bandeja en el que se deposita la semilla con sustrato, y se cultiva en un ambiente controlado hasta que germina y aparecen las primeras hojas, generando lo que se denomina una plántula o plantín, para finalmente trasplantar al terreno definitivo. En la Figura 3.1 se puede ver un almaciguero en proceso de llenado.
  - Ejemplos de hortalizas con siembra indirecta: Lechuga, tomate, repollo, acelga, entre otros.
- Hortalizas de siembra directa: En este método la semilla se deposita desde el inicio en el terreno definitivo, en el que germinará y se desarrollará hasta estar lista para ser cosechada. Este tipo de siembra no utiliza el almácigo ni considera un trasplante.
  - Ejemplos de hortalizas con siembra directa: Ajo, arvejas, habas, zanahorias, entre otros.



Figura 3.1: Almaciguero para plantines de hortalizas [54].

A partir de lo anterior se puede notar que no todas las hortalizas son cultivadas de la misma forma, y esto se debe principalmente a la diversidad de especies que existen y los distintos cuidados que cada una requiere. En particular para definir la forma de siembra se tienen en cuenta diversos factores, entre los principales se encuentran [35, 55]:

- **Tamaño de la semilla:** Las hortalizas con semillas grandes tienden a ser sembradas de forma directa, ya que requieren de espacio suficiente para su germinación y desarrollo.
- **Requerimientos de condiciones climáticas:** Las hortalizas que tienen mayor sensibilidad a las condiciones a las que están expuestas son generalmente sembradas de forma indirecta, ya que así se mantienen en espacios con condiciones controladas y óptimas para su desarrollo.
- **Costo de las semillas:** La siembra indirecta permite que las semillas germinen en ambientes controlados y, por lo tanto, que haya una menor pérdida en su desarrollo. Es por esto que las hortalizas que tienen semillas más costosas son generalmente sembradas en almacigos con el fin de disminuir la pérdida.

Los tres factores anteriores son los comúnmente considerados para definir el tipo de siembra, sin embargo, pueden haber otros a tener en cuenta dependiendo la disponibilidad de espacios, tiempo de producción, región en que se produce, entre otros.

La primera clasificación presentada permite notar la amplia variedad de alimentos que son incluidos en las hortalizas, sin embargo, para este estudio la segunda clasificación cobra mayor importancia, ya que se enfoca en estudiar el proceso de las hortalizas, por lo que se debe identificar de forma clara las características de los tipos de siembra.

## 3.2. Superficie productiva de hortalizas en Chile

En 2020 la superficie sembrada de hortalizas en Chile fue de 92.720 [ha], concentrada mayoritariamente en el sector centro del país. La Figura 3.2 presenta el porcentaje de la superficie que corresponde a cada región, y en ella se puede notar que entre la Región Metropolitana, la Región de O'Higgins y la Región del Maule tienen alrededor de un 60% de la superficie productiva, con la RM liderando con un 28,4%. El resto de la producción se

distribuye principalmente entre las regiones de Valparaíso y Coquimbo, que suman cerca del 21 % [37].

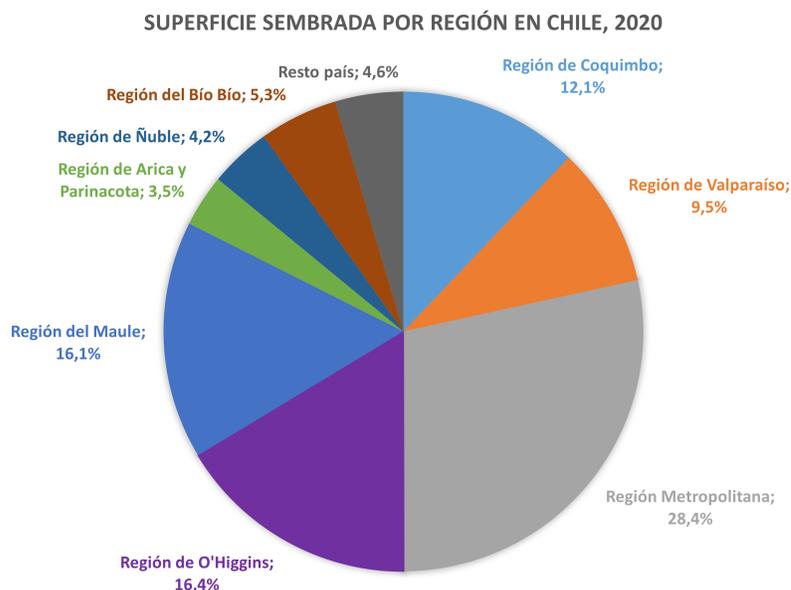


Figura 3.2: Porcentaje de la superficie de hortalizas sembrada en Chile por región, 2020. Elaboración propia a partir de datos de ODEPA [37].

Los datos presentados consideran la superficie asociada a todas las hortalizas que se producen en Chile, sin tener en cuenta qué especies son las que utilizan mayor área de cultivo. Respecto a esto, la Tabla 3.1 presenta el detalle de las tres hortalizas principales y el porcentaje que representan respecto al total en Chile. Los datos muestran que las hortalizas con mayor superficie productiva a nivel nacional son el tomate, el choclo y la cebolla.

Tabla 3.1: Hortalizas con mayor superficie productiva en la RM [37].

Lugar	Hortaliza	Superficie sembrada [ha]	Porcentaje del total [%]
1	Tomate	13.070	14,1
2	Choclo	10.116	10,9
3	Cebolla	8.198	8,8

En el caso del tomate, el porcentaje incluye la superficie productiva para consumo fresco e industrial, que representan 5,7 % y 8,4 % respectivamente, y suman el 14,1 % mencionado en la tabla. Con lo anterior se puede notar que actualmente más de la mitad de la superficie destinada al cultivo de tomate es para uso industrial, es decir, luego de ser cosechado es llevado a procesos que lo transforman en otros productos en vez de ser consumido directamente. Los datos muestran que estas tres hortalizas utilizan más del 30 % de la superficie sembrada en Chile [37, 56].

Ahora, teniendo en cuenta que la Región Metropolitana (RM) es la región con mayor cantidad de habitantes en el país, concentrando un 40 % de la población chilena en ella, y que además lidera la producción de hortalizas en Chile, la RM se considera un caso de estudio relevante para el presente trabajo, ya que concentra una gran parte del movimiento y

comercio de las hortalizas del país [57].

Debido a lo anterior, en las próximas secciones se describe en mayor detalle lo que ocurre con la producción y consumo de hortalizas en esta región en particular.

### 3.3. Producción de hortalizas en la RM

Como se mencionó en la sección anterior, la RM cuenta con cerca del 28 % de la superficie hortícola del país, equivalentes a 26.341 [ha] de hortalizas sembradas, que la posicionan como la región con mayor producción de este tipo de alimentos.

Según los datos de la ODEPA, en esta región las especies con mayor superficie productiva son el choclo, la cebolla y la lechuga. Se puede notar que dos de las especies se repiten respecto a lo que ocurre a nivel nacional, pero en este caso entra la lechuga a la lista, dejando fuera al cultivo del tomate [37].

El detalle de la superficie asociada a las tres hortalizas principales de la región se puede ver en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Hortalizas con mayor superficie productiva en la RM.

Lugar	Hortaliza	Superficie sembrada [ha]	Porcentaje del total [%]
1	Cebolla	3.710	14,1
2	Choclo	3.440	13,1
3	Lechuga	2.317	8,8

Los datos expuestos muestran la superficie productiva de cada hortaliza, pero esto no implica que en términos máxicos también sean las principales, es decir, no necesariamente serán las hortalizas con mayor masa producida, ya que esto depende del rendimiento de cada cultivo.

Para determinar la masa que se produce de cada una en la región se utilizan las superficies asociadas a las hortalizas y los rendimientos de los cultivos, presentados en el Anexo A. A través de este cálculo se estima que la producción total en la RM es de alrededor de 2.151 [kton] de hortalizas, y que las tres especies principales son la cebolla, el tomate y la zanahoria. La masa producida de cada una se presenta en la Tabla 3.3

Tabla 3.3: Hortalizas con mayor masa producida en la RM en 2020.

Lugar	Hortaliza	Masa anual [kt]
1	Cebolla	236,9
2	Tomate	76,9
3	Zanahoria	42,8

Se puede notar que las hortalizas con mayor masa producida no son exactamente las mismas que las que tienen mayor superficie sembrada. Esta diferencia se debe al rendimiento de los cultivos, que es diferente para cada hortaliza. Por ejemplo, el choclo tiene la segunda

superficie más grande en la RM, pero no se encuentra en las tres hortalizas con mayor producida ya que su rendimiento es menor al de las otras especies presentadas en la Tabla 3.2 [58].

### 3.4. Mercado de hortalizas en Chile y la RM

Las secciones anteriores muestran que la RM tiene la mayor superficie productiva de hortalizas en Chile y se identifican las hortalizas que utilizan la mayor parte de esta superficie y las que tienen mayor masa producida. Los datos anteriores entregan información sobre la producción de estos alimentos en la región, pero sin abordar el destino que tienen luego de ser cosechados.

En términos monetarios, en 2020 la hortaliza con mayor exportación fue el tomate, exportando el 96 % como tomate procesado en forma de pasta. Por otro lado, entre las hortalizas frescas que son exportadas destacan el ajo y la cebolla, que juntas logran el 97 % del valor total de las exportaciones de hortalizas para consumo fresco del país [37].

En ese mismo año, según datos registrados por la ODEPA, Chile exportó cerca de 442,9 [kton] de hortalizas, y la RM representó el 8,8 % con 38,8 [kton], con la cebolla como principal especie, de la que se exportó 16,7 [kton].

Mediante los datos presentados en esta sección y la anterior, se puede estimar que la RM exporta cerca del 2 % de masa que produce de hortalizas al año, es decir, se puede asumir que el 98 % de su producción se queda en el mercado interno.

Actualmente no se tiene un registro detallado de los cultivos del país y sus rendimientos, por lo tanto, no se tiene valores exactos respecto a la masa producida a nivel nacional. Esto se debe principalmente a que la producción de alimentos es variable. Los productores se van adaptando año a año a la demanda y a la disponibilidad de recursos, por lo que el mercado interno del país no se conoce con detalle.

A pesar de lo anterior, diferentes estudios han determinado que la forma principal de comercio de hortalizas en Chile es mediante mercados mayoristas y ferias libres y, por esta misma razón, la ODEPA publica boletines diarios de precios y volúmenes de frutas y hortalizas en los mercados mayoristas en Chile, que permiten tener una noción de lo que ocurre en el mercado interno de estos alimentos [37].

Esta última información puede ser utilizada para determinar el origen y destino de las hortalizas, necesarios para conocer las características de la producción de estos alimentos y las distancias que recorren, por lo que esta será detallada y utilizada más adelante.

### 3.5. Distribución de hortalizas

Otro aspecto relevante del mercado interno de las hortalizas, y que es relevante para el estudio, es la cadena de distribución que siguen estos alimentos para llegar a los consumidores.

En la sección anterior se mencionó que las hortalizas son principalmente distribuidas mediante mercados mayoristas y ferias libres, pero sin mayores detalles. Ante esto, a continuación se presenta la información disponible respecto a la cadena de suministro.

Las hortalizas son comercializadas mediante dos cadenas principales: mercados abiertos mayoristas y minoristas, como Lo Valledor y ferias libres respectivamente, y el mercado retail, asociado principalmente a los supermercados [59]. Así mismo, estudios estiman que la producción hortícola en la región tiene 5 destinos principales: Lo Valledor, con un 50 % de lo producido, el mercado retail con un 12 %, La Vega con un 7 %, hoteles, con un 1 %, y el 30 % restante va a otros destinos [60].

A partir de las cifras anteriores se puede notar que la mayor parte de las hortalizas producidas en la región son vendidas a mayoristas, como Lo Valledor y la Vega Central, y luego estos abastecen a las ferias libres, pequeños negocios o directamente a consumidores.

Aunque el 50 % de las hortalizas producidas en la RM son vendidas a los mercados mayoristas de la región, esta producción no siempre es suficiente para abastecer a quienes viven en ella, por lo que para contar con diversidad y mantenerse abastecidos durante todo el año, los mayoristas también compran a productores de otras regiones.

La variedad de hortalizas es amplia, y no todas son cultivadas en la RM por diferentes factores, tales como la superficie disponible y las condiciones climáticas requeridas por cada especie. En general los mayoristas optan por abastecerse con lo producido en la RM y en regiones cercanas, como la Región de Valparaíso, Maule u O'Higgins, ya que por la distancia y, por lo tanto, el tiempo de viaje, les permiten tener los alimentos para consumo fresco.

Este último punto es relevante ya que las hortalizas frescas es la forma más común de consumo de este tipo de alimentos. Por esta misma razón, las ferias libres se convierten en el canal principal de obtención de hortalizas para los consumidores, ya que se encuentran cerca de sus hogares y con precios convenientes respecto a los supermercados o almacenes. Al 2008 se estimaba que había 408 ferias en toda la RM, donde 372 se encontraban en el Gran Santiago y 46 en las demás provincias.

Las ferias se abastecen de verduras con diversos proveedores, pero tal como se mencionó antes, los dos principales son Lo Valledor y la Vega Central, teniendo el mercado Lo Valledor el 76,54 % de la masa total comercializada, y la Vega Central el 14,43 %. Entre ambos mercados abastecen más del 90 % de las verduras vendidas en las ferias libres de la región [59].

Por lo tanto, la principal cadena de suministro de hortalizas en la región inicia con los productores de hortalizas, ubicados en diferentes regiones del país, que abastecen a los mercados mayoristas, con el mercado Lo Valledor como comprador principal. Luego de esto, las ferias libres adquieren los alimentos en este mercado, para finalmente venderlos en las diferentes comunas de la región. En el esquema presentado en la Figura 3.3 se encuentra un resumen de la cadena de suministro.

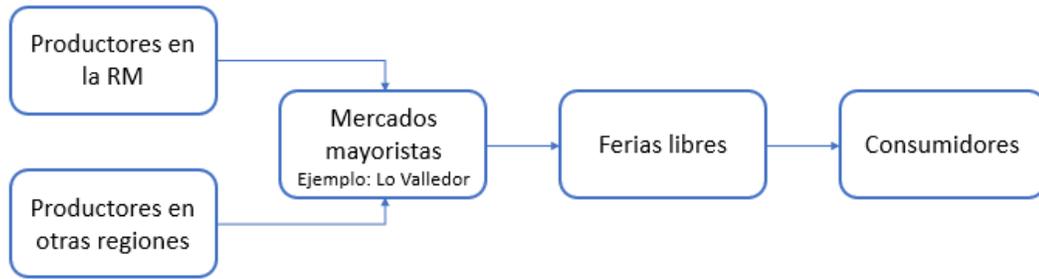


Figura 3.3: Cadena de suministro de hortalizas consumidas en la RM.

Finalmente, se debe tener en cuenta que los productores de hortalizas en Chile no tienen los mismos rendimientos durante todo el año y van cambiando las hortalizas cultivadas en un mismo terreno, ya que deben adaptarse a la demanda actual y a los recursos que tienen para producir, con especial énfasis en el agua para riego. A partir de esto, se debe tener en cuenta que los productores que abastecen a la RM pueden ir cambiando anualmente, o incluso de forma estacional.

### 3.6. Consumo de hortalizas en Chile y la RM

En la caracterización del escenario actual, y luego de haber abordado la producción de hortalizas en Chile y la RM, y revisar datos generales respecto al mercado interno de las mismas, es importante también estudiar lo que ocurre con el consumo de estas especies en el país.

En el caso de estudio se mencionó que las hortalizas son un grupo de alimentos altamente recomendado en las dietas debido a sus diferentes aportes a la salud y bienestar, y es por esto que se han impulsado iniciativas que invitan a las personas a aumentar su consumo, y un ejemplo de esto es el programa “5 al día”, que busca promover el consumo de al menos 5 porciones diarias de frutas y verduras [61].

En la misma línea, la Organización Mundial de la Salud (OMS) también ha entregado sus recomendaciones, planteando que las personas deberían consumir tres porciones de verduras al día y 2 de frutas, sumando entre ambas al menos 400 gramos de frutas y verduras diarias, es decir, cerca de 80 gramos por porción.

La última Encuesta Nacional de Consumo Alimentario (ENCA) realizada en 2010 determinó que el consumo promedio de verduras por persona en Chile es de 227 [g/día], valor por debajo de la recomendación de la OMS. En esta misma encuesta se identificó que las hortalizas principalmente consumidas son el tomate, con 49 [g/día], la lechuga, con 35 [g/día], y la zanahoria, con 21 [g/día].

Por su lado, en la Región Metropolitana el promedio fue un poco más alto, teniendo el segundo lugar en el país, con 249 [g/día] por persona, y al igual que a nivel nacional los alimentos más consumidos son el tomate, la lechuga y la zanahoria, en este caso con 57 [g/día], 48 [g/día] y 21 [g/día] [62].

En la Tabla 3.4 se presenta el resumen del consumo promedio diario por persona en Chile

y en la RM de las principales verduras.

Tabla 3.4: Resumen de alimentos con mayor consumo diario por persona en la RM y Chile.

Lugar	Hortaliza	Consumo Chile [g/día]	Consumo RM [g/día]
1	Tomate	49	57
2	Lechuga	35	48
3	Zanahoria	21	21

Con la información obtenida de la ENCA, se puede ver que dos de las hortalizas con mayor consumo en la RM coinciden con las que tienen mayor masa producida en la misma región.

### 3.7. Elección de alimentos

Para la realización del ACV y cuantificación de la HE será necesario estudiar el proceso productivo, y sus entradas y salidas, de forma detallada. Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos en este capítulo, que muestran las diferencias entre las hortalizas en términos de lugar y forma en que se producen, y considerando también la disponibilidad de tiempo para la realización de este estudio, se escogerán tres especies que representen a las hortalizas consumidas en la RM y se calculará la HE para ellas.

La elección de las hortalizas representativas se basa en los antecedentes presentados para caracterizar el escenario actual de la RM. En primer lugar, se analizarán los datos asociados al consumo, superficie y masa producida de las hortalizas y, para esto, en la Tabla 3.5 se presenta un resumen de los datos a tener en cuenta para la elección.

Tabla 3.5: Resumen de hortalizas con mayor superficie productiva, masa producida y masa consumida en la RM.

Lugar	Más consumidas	Mayor superficie	Mayor masa producida
1	Tomate	Cebolla	Cebolla
2	Lechuga	Choclo	Tomate
3	Zanahoria	Lechuga	Zanahoria

Según la información presentada en la Tabla 3.5, el tomate lidera las hortalizas más consumidas en la región y tiene el segundo lugar en las con mayor masa producida. La cebolla lidera las categorías de mayor superficie y masa producida, sin embargo, no se encuentra entre las más consumidas en la RM. Esto indica que la masa que se produce de este alimento no se queda en la RM, sino que se va a otras regiones o se exporta.

El choclo ocupa el segundo lugar en las hortalizas con mayor superficie de cultivo, pero no se encuentra entre las más consumidas o con mayor volumen producido, lo que indica que su rendimiento es bajo y/o su producción se distribuye en otras regiones o se exporta.

La lechuga se encuentra en el segundo lugar en las hortalizas más consumidas y en tercero con mayor superficie, pero no se encuentra entre las tres con mayor masa producida, por lo

que se asume que tiene un rendimiento bajo.

Por último, la zanahoria se encuentra entre las más consumidas y las que tienen una mayor masa producida. Al no estar entre las de mayor superficie se puede asumir que tiene un rendimiento alto en comparación a las otras hortalizas mencionadas.

Las categorías presentadas en la tabla muestran diferentes aspectos del mercado de hortalizas en la región. Las hortalizas más consumidas representan lo que se vende y mueve principalmente dentro de la RM, es decir, las hortalizas que son más requeridas por quienes viven en este sector, mientras que las de mayor superficie productiva y mayor masa producida muestran los alimentos principalmente cultivados en la RM y/o con mejores rendimientos, pero que podrían tener como destino la industria, otras regiones o la exportación.

En esta misma línea, es necesario recordar que la RM es la región con mayor producción de hortalizas en el país, por lo que una parte de lo producido se destina a otras regiones, además de exportar un porcentaje de su producción, con la cebolla como principal especie. Debido a esto, la mayor superficie productiva en la región no necesariamente se condice con la hortaliza más consumida.

Al analizar las hortalizas con mayor masa producida se puede ver que tiene en común a la zanahoria y el tomate con las más consumidas, y la cebolla con las de mayor superficie. Así, se puede notar que en esta categoría influyen las dos anteriores, pero también el rendimiento de cada uno de los cultivos, ya que se relaciona estrechamente con la masa obtenida.

Frente a la información expuesta, y recordando que el objetivo del estudio es cuantificar la huella ecológica de las hortalizas producidas y consumidas en la Región Metropolitana, se considera que las hortalizas representativas más acorde al presente trabajo son las tres más consumidas en la RM: lechuga, tomate y zanahoria. Esta categoría es la que más se ajusta al objetivo, que busca también evaluar diferentes formas de abastecer a la región, por lo que se debe considerar los alimentos que requieren quienes habitan en ella.

En la elección es importante cerciorarse de que las especies elegidas representen diferentes tipos de hortalizas. Para esto se debe recordar las dos clasificaciones principales: según parte comestible de la planta y según tipo de siembra. Ante esto, la Tabla 3.6 contiene un resumen de la clasificación correspondiente a cada una de las hortalizas mencionadas en la Tabla 3.5.

Tabla 3.6: Grupo al que pertenecen las especies con mayor consumo en la RM.

<b>Hortaliza</b>	<b>Parte de la planta comestible</b>	<b>Tipo de siembra</b>
Tomate	Hortaliza de fruto comestibles	Siembra indirecta
Lechuga	Hortaliza de hoja comestible	Siembra indirecta
Zanahoria	Hortaliza de raíz comestible	Siembra directa

Según el resumen presentado en la Tabla 3.6 las hortalizas más consumidas son diversas en torno a la parte de la planta que es comestible y su tipo de siembra. Lo anterior permite que las especies elegidas representen de forma más completa a este tipo de alimentos.

Se puede notar que las tres especies elegidas: tomate, lechuga y zanahoria, representan tres de los cinco tipos de hortalizas según parte comestible de la planta, y tienen los dos tipos de siembra, por lo que se reafirma la decisión al asegurarse de la diversidad de especies elegidas.

Finalmente, se concluye que las hortalizas representativas serán el tomate, la lechuga y la zanahoria, para las que se puede encontrar un resumen de las características antes descritas en la Tabla 3.7. El cálculo de la HE de su producción y consumo en la RM será realizado para estas tres especies.

Tabla 3.7: Resumen de hortalizas representativas

Hortaliza	Consumo RM	Tipo de siembra	Parte de la planta comestible
Tomate	57 [g/día]	Siembra indirecta	Hortaliza de fruto comestible
Lechuga	48 [g/día]	Siembra indirecta	Hortaliza de hoja comestible
Zanahoria	21 [g/día]	Siembra directa	Hortaliza de raíz comestible

### 3.8. Región de origen de hortalizas representativas

Las hortalizas elegidas representan las tres especies más consumidas en la RM, y según lo explicado anteriormente, tienen diferencias tanto en sus procesos, como en flujos de entrada y de salida, dependiendo de la forma en que se producen y el lugar en que son producidas.

En esta sección se definirá la región en la que se producen las hortalizas representativas consumidas en la RM, ya que, recordando lo descrito para el mercado interno y distribución, no necesariamente son cultivadas en esta misma zona.

Para definir el lugar en que se producen las hortalizas representativas se utilizan los datos del boletín de precios y volúmenes diarios de frutas y hortalizas en mercados mayoristas presentados por la ODEPA, que incluye la región de origen de cada hortaliza. En particular se usan los datos del mercado Lo Valledor, que es el principal distribuidor en la región.

El detalle de la información es presentada en el Anexo B, y la Tabla 3.8 muestra el resumen de las regiones en las que se considerará la producción de las hortalizas.

Tabla 3.8: Regiones de origen de las hortalizas más consumidas en la RM.

Hortaliza	Región de origen
Tomate	Región de Valparaíso
Lechuga	Región Metropolitana
Zanahoria	Región de Ñuble

En las regiones de origen de las tres hortalizas se utilizan métodos de cultivo convencionales y riego por surcos, que además son los más comunes en Chile para la producción de este tipo de alimentos. Lo anterior implica que las tres hortalizas serán estudiadas considerando labranza, uso de agroquímicos y riego por gravedad.

### 3.9. Proceso productivo general

Para terminar la caracterización del escenario actual, y habiendo elegido las especies representativas, identificado el lugar donde se producen y las principales características de la producción, esta sección se enfoca en describir las etapas incluidas en el proceso principal de producción de hortalizas en Chile.

Para esto, en la Figura 3.4 se presenta el diagrama del proceso general de producción de hortalizas, y a continuación se realiza una descripción de las etapas incluidas en él [63]:

1. **Preparación de la tierra:** La preparación de la tierra inicia con la realización de un análisis de suelo que permita conocer el estado actual del terreno y evaluar la necesidad de nutrientes o nivelación. Luego, se deben ubicar las estacas e hilos necesarios para dividir el terreno. Esta acción se realiza la primera vez que se utiliza el terreno, o si se quiere cambiar el cultivo, en otros casos, las estacas e hilos se mantienen de una temporada a otra. Finalmente, teniendo los resultados del análisis, se realiza la aplicación de los agroquímicos necesarios.
2. **Trasplante o siembra:** Esta etapa cambia dependiendo del tipo de siembra que tenga la hortaliza. En los casos en que la siembra sea directa, entonces esta consistirá en depositar las semillas en la tierra, ya sea con maquinaria o de forma manual, dependiendo del nivel de tecnificación en el cultivo, mientras que si la siembra es indirecta, entonces esta etapa consiste en trasplantar los plantines desde los almácigos al terreno definitivo.
3. **Cultivo:** El cultivo abarca desde la siembra de la semilla, o plantín en caso que la hortaliza sea sembrada en almácigo, hasta que se encuentre lista para ser cosechada. Es la etapa con mayor duración del proceso, pudiendo tomar meses para la mayor parte de hortalizas. En esta etapa se realiza el riego, que puede ser por goteo, surcos u otro, y se aplican agroquímicos, como fertilizantes, fertilizantes foliares y plaguicidas, que permiten nutrir, controlar y/o sobrellevar las enfermedades que se puedan presentar en las plantas. El tipo de riego y la cantidad de agroquímicos utilizados dependerá del nivel de tecnificación, la especie cultivada, las condiciones del sector, las enfermedades que se presenten, entre otros factores.
4. **Cosecha:** La etapa de cosecha consiste en la recolección de las hortalizas listas para consumo. Esta tarea se puede realizar de forma manual o mecanizada, dependiendo del nivel tecnológico que se tenga en el lugar.
5. **Transporte a selección y envasado:** Las hortalizas cosechadas en la etapa anterior son trasladadas a una etapa de selección y envasado.
6. **Selección y envasado:** Aquí las hortalizas pasan por un proceso de selección, donde se evalúan sus características físicas, químicas y/u otras, tal que cumplan con las condiciones necesarias para ser consumidas. Luego pasan al envasado del producto, que generalmente es realizado en cajas o sacos de polipropileno. El estándar para seleccionar las hortalizas aptas para consumo y el envasado que deben llevar dependerá del lugar de destino del alimento. Esta etapa puede ser realizada de forma manual o mecanizada.
7. **Venta:** La venta considera diferentes etapas dependiendo de la forma de comercialización y consumo de las hortalizas. En general los productores venden a mercados

mayoristas o supermercados, pero también hay un porcentaje asociado al autoconsumo o la venta particular a quienes van directamente al lugar de producción. En el caso de los mercados mayoristas, uno de sus principales cliente son las ferias libres, que compran las hortalizas y las venden en sectores más cercanos a los consumidores.

8. **Distribución:** A continuación del envasado, las hortalizas son distribuidas para consumo fresco, llevándolas a supermercados y principales mercados del país, o para procesamiento, transportándolas a las industrias que se dedican a este rubro para el mercado interno o exportación. Esta distribución se realiza generalmente en camiones, pero el medio de transporte y condiciones del mismo dependerá del destino que tenga la hortaliza.
9. **Consumo:** Tal como se mencionó antes, el consumo de hortalizas puede ser fresco o procesado, por lo que esta etapa puede ocurrir en diferentes regiones o países. Además, el consumo se da en diferentes espacios, pudiendo ser, por ejemplo, domiciliario o industrial. En este estudio se considerará el consumo domiciliario como principal destino.
10. **Disposición:** Involucra la disposición de todos los residuos generados en el proceso, desde la preparación de la tierra hasta el consumo. Debido a esto, los residuos generados son variados, pero los principales serán de origen orgánico. En esta etapa se consideran diferentes formas de disponer los restos, tales como desechar en rellenos sanitarios, compostar, incorporar al suelo, quema de rastrojos, entre otros.

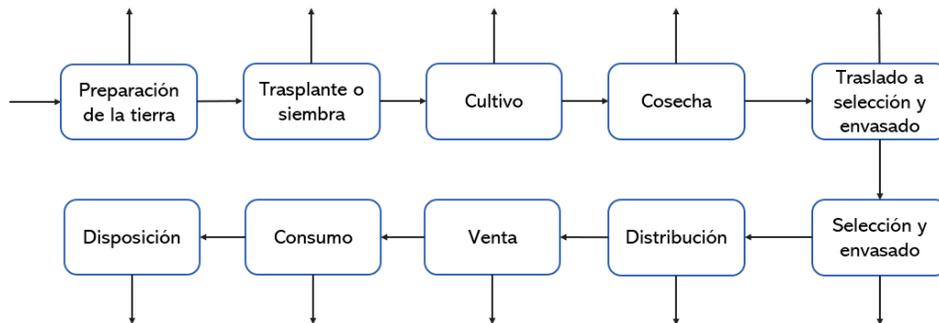


Figura 3.4: Proceso general de hortalizas. Para el caso de la lechuga y el tomate se considera trasplante, mientras que para la zanahoria se considera siembra. Elaboración propia.

Es importante notar que el proceso descrito en esta sección incluye solo las etapas principales relacionadas con la producción y distribución de las hortalizas, pero deja fuera la obtención de las materias primas necesarias para este proceso.

La obtención de materias primas es distinta para cada hortaliza, ya que necesitan diferentes tipos de agroquímicos, volúmenes de agua, formas de envasado, entre otros, requiriendo estudiarlas separado. Esto último se realizará más adelante en el siguiente capítulo.

# Capítulo 4

## Cuantificación de Huella Ecológica

Luego de caracterizar el escenario actual de producción y distribución de las hortalizas en Chile y la RM, se puede describir la metodología utilizada para la cuantificación del impacto seleccionado.

Para esto, en primer lugar se debe recordar el objetivo de este estudio, que es evaluar y comparar escenarios de producción y distribución de las hortalizas consumidas en la RM. Para lograrlo se vuelve necesario tener en cuenta criterios cualitativos o cuantitativos, según corresponda, que permitan realizar la comparación e identificar la mejor alternativa.

En particular en este estudio se cuantifica la huella ecológica para comparar los distintos escenarios, iniciando con la cuantificación del escenario actual, y así tener una referencia para definir si los escenarios y medidas propuestas representan una mejora al caso de estudio.

En la siguiente sección se profundiza y explicita la metodología para el cálculo de la huella ecológica, que será utilizada para el escenario actual y los propuestos.

### 4.1. Metodología de Análisis de Ciclo de Vida

En primer lugar se describirá la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV), que es la herramienta que permitirá calcular el indicador de huella ecológica.

El ACV es una metodología estandarizada, y según las normas ISO que la rigen, se deben tener en cuenta 4 etapas principales al momento de utilizarla, que son detalladas a continuación [64]:

1. **Definición de objetivos y alcances:** Es la etapa inicial del ACV. Se basa en explicar el objetivo del proyecto, las razones por las que se realiza y es relevante, describir el ciclo de vida junto con los límites del sistema, definir la unidad funcional a utilizar y la/s categoría/s de impacto que serán incluidas. En esta etapa se debe delimitar el estudio para definir lo que se quiere lograr con él, y el nivel de profundidad que tendrá el análisis.
2. **Análisis de inventario:** La segunda etapa se basa en la recopilación de datos y cuantificación de los flujos de entrada y salida del ciclo de vida, teniendo en cuenta el objetivo y los alcances definidos en la etapa anterior. En el análisis de inventario se incluye el uso de materia, energía, agua y suelo, así como también las salidas del sistema, como

emisiones al aire, desechos líquidos y desechos sólidos.

La recopilación de esta información se basa en la búsqueda de datos desde diferentes fuentes, procurando que sean lo más acorde y cercano posible al contexto del estudio, en términos físicos y temporales. Ante esto, es necesario tener en cuenta que el ACV se realiza mediante un proceso iterativo entre sus etapas, por lo que la búsqueda de información podría modificar, por ejemplo, los límites del sistema, Mientras más información se tiene, se puede definir el objetivo, límites y alcances de forma más exacta y acorde a los datos disponibles.

3. **Evaluación del impacto:** La tercera parte se enfoca en la cuantificación de la/las categorías de impactos elegidas en la primera etapa. La evaluación tiene como fin obtener resultados cualitativas y/o cuantitativos que permitan cumplir con el objetivo del estudio, relacionando la información obtenida en el análisis de inventario con la/s categoría/s de impacto elegidas.
4. **Interpretación de resultados:** La última etapa del ACV tiene como fin estudiar y analizar los resultados obtenidos en la evaluación del impacto. En este punto también se tendrá que discutir la calidad de los datos presentados en el análisis de inventario y utilizados en la evaluación, de forma que en la interpretación se deje en claro la fiabilidad de los resultados obtenidos respecto a la realidad y la teoría.

Para cumplir con los objetivos de este estudio, se deben llevar a cabo las 4 etapas del ACV en el cálculo de la huella ecológica. En este capítulo se desarrollan los dos primeros puntos, mientras que la evaluación del impacto e interpretación de resultados serán abordados en los siguientes capítulos.

## 4.2. Objetivo y alcances del estudio

En esta sección se aborda la primera etapa del ACV, que consiste en la definición del objetivo del estudio y los alcances que va a tener el mismo. En ella se detallarán la unidad funciona, los límites del sistema y el indicador que será cuantificado.

### 4.2.1. Objetivo del estudio

El presente estudio busca evaluar en términos medioambientales diferentes escenarios para el consumo de alimentos en la RM. Para esto, se realiza un ACV sobre el caso de estudio, es decir, las hortalizas, y se cuantifica el impacto de los escenarios con el fin de comparar los resultados obtenidos y concluir cuál es la mejor forma, en términos medioambientales, de consumir hortalizas en la RM.

En función de lo anterior es que, en primer lugar, se cuantifica la huella ecológica del escenario actual, para luego proponer nuevos escenarios en los que se realicen modificaciones a lo que ocurre actualmente, cuantificar el impacto de estos nuevos escenarios y, finalmente, comparar y concluir la mejor alternativa.

Entonces, el objetivo general de este trabajo es la cuantificación de la huella actual del

escenario actual y de escenarios alternativos de producción y distribución de hortalizas consumidas en la RM.

## 4.2.2. Definición de unidad funcional

Para definir la unidad funcional se debe realizar una serie de preguntas respecto al estudio, tales como ¿cuál es la función del sistema?, ¿qué se quiere cuantificar? ¿dónde será cuantificado? y ¿cuándo será cuantificado?. Su definición debe estar estrechamente ligada al objetivo del estudio, que es el foco principal del trabajo, ya que la unidad funcional permite la normalización de los cálculos y su posterior agrupación y comparación.

A partir de lo anterior, en el presente estudio se utiliza como unidad funcional 1 kg de hortaliza consumida en la RM. Esta unidad permite normalizar los resultados obtenidos a algo común, y representa lo que se requiere en el sistema: la búsqueda de la mejor alternativa para producir y distribuir las hortalizas consumidas en la RM.

## 4.2.3. Límites del sistema

### 4.2.3.1. Terminología del ACV

Antes de definir los límites del sistema, es necesario explicar la terminología utilizada en los análisis de ciclo de vida.

El ACV en su mayor nivel de detalle considera todas las etapas de un servicio, producto u otro, desde la extracción de las materias primas de la naturaleza hasta la disposición de todos sus residuos a la misma. Frente a esto es que surgen los dos primeros términos: tecnósfera y ecósfera.

Estos términos dividen el ciclo de vida en dos. La tecnósfera engloba todas las etapas, procesos y flujos que son intervenidos por las personas, es decir, todos los procesos que no son llevados a cabo por el ambiente de forma natural, sino que requieren de acción humana, mientras que, por su lado, la ecósfera representa lo que antes se mencionó como la naturaleza, o el medioambiente.

Se entiende entonces que cuando se realiza el ACV de tal forma que todas sus entradas vienen desde la naturaleza o ecósfera, y todas sus salidas llegan a la misma, entonces el ciclo de vida fue analizado de forma completa, comúnmente llamado “desde la cuna hasta la tumba”.

Teniendo en cuenta que para realizar el análisis desde la cuna a la tumba se deben incluir todos los procesos unitarios necesarios para un producto, servicio u otro, y que esto resulta en el estudio de cientos de procesos y/o flujos, es que se define una división que permita agrupar los procesos u operaciones unitarias. En esta nueva división se encuentran el: *foreground*, *upstream* y *downstream*.

El *foreground* considera todos los procesos unitarios o etapas que son parte del proceso principal del sistema a analizar. Generalmente, el ACV busca un mayor nivel de detalle en el cálculo del *foreground* mediante el uso de información cercana y certera respecto al caso de

estudio y/o estudiando las operaciones unitarias que lo componen con un alto nivel de detalle.

Por otro lado, el *upstream* abarca la extracción y producción de los insumos para el proceso principal o *foreground*, enfocándose entonces en los procesos y operaciones unitarias asociadas a la obtención de los flujos de entrada. Finalmente, el *downstream* representa todos los procesos u operaciones unitarias a las que se dirigen los flujos de salida del *foreground*, ya sea como residuo o subproducto.

Entonces, según lo descrito, esta segunda división permite identificar el proceso principal a estudiar y definir las etapas y/o operaciones unitarias que son clave dentro del ciclo de vida. Esta identificación se realiza por la complejidad asociada a realizar un análisis de ciclo de vida, que generalmente requiere acotar el sistema de forma que el cálculo de la o las categorías de impacto se lleve a cabo respetando las limitaciones de información disponible y tiempo para su realización [65].

Sabiendo lo anterior, se puede avanzar a definir los límites del sistema.

#### 4.2.3.2. Definición de los límites del sistema

El presente estudio considera la operación o producción de los alimentos y sus materias primas, y deja fuera de los límites las etapas de construcción y desmantelamiento de infraestructura o maquinaria utilizada en cada proceso. La decisión se debe principalmente a la vida útil de las plantas, maquinarias y superficies en las que se cultiva. Estos son utilizadas para la producción por un tiempo considerablemente mayor al de la construcción y desmantelamiento, por lo que resulta poco significativo en la evaluación del impacto.

En la etapa de operación se definen diferentes niveles de detalle, dependiendo de la implicancia de cada etapa en el resultado final de la cuantificación. En la Figura 4.1 se presenta un resumen de los límites del estudio, representando también las divisiones antes explicadas: ecósfera, tecnósfera, *foreground*, *upstream* y *downstream*.

En la evaluación del impacto se incluye la producción de los insumos directos del proceso principal, tales como agroquímicos, combustibles fósiles, agua, entre otros, pero, a excepción del uso de agua, no se incluyen las materias primas requeridas para producir estos insumos.

El uso de agua para la producción de agroquímicos es calculado ya que otros estudios han demostrado que es un factor importante en el impacto ambiental de la producción de hortalizas, por lo que se decide estudiar su efecto en la huella ecológica en particular.

Finalmente, en el *downstream* se cuantifica el impacto de disponer los residuos orgánicos de las hortalizas en las diferentes etapas del proceso, y se excluye la disposición de los residuos asociados a los insumos del proceso, tales como envases de agroquímicos, de semillas, contenedores, cajas u otros.

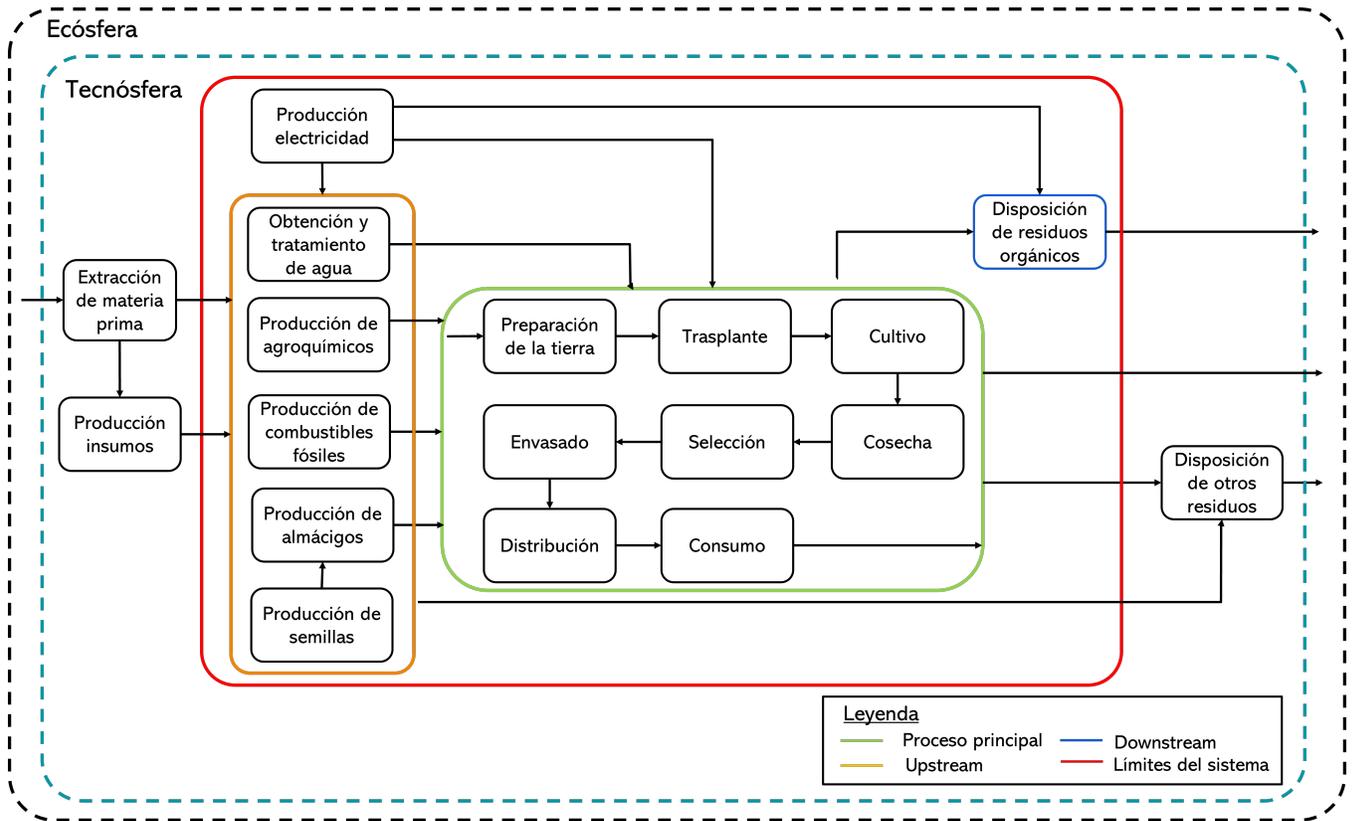


Figura 4.1: Límites del sistema estudiado.

La Figura 4.1 presenta las etapas de forma general tal que permita definir los límites del sistema y la división del ciclo de vida. El detalle y descripción de cada una de las etapas consideradas en el estudio se puede encontrar en el Anexo C.

#### 4.2.4. Categoría de impacto: Huella ecológica

La huella ecológica es un indicador de sostenibilidad o métrica que expresa el impacto ambiental en términos de superficie. La HE cuantifica la cantidad de naturaleza o superficie productiva que es requerida para abastecer la producción y consumo de un producto, región o país. Es generalmente expresada en hectáreas globales (hag), pero la unidad puede ser adaptada a lo que esté siendo cuantificado, mientras sea expresada como superficie.

Las hectáreas globales es una unidad que mide la productividad biológica promedio anual de la tierra o el agua. Se utiliza en la huella ecológica ya que permite transformar a superficie cosas que generalmente no son cuantificadas de esta manera, como por ejemplo, las emisiones y desechos líquido y sólidos.

Aunque la huella ecológica habla de superficie, no solo considera el área utilizada físicamente por la infraestructura, sino también la superficie que requiere la naturaleza para absorber los residuos que se generan en cada una de las etapas del ciclo de vida.

Esta métrica está normada por los "Ecological Footprint Standards", una serie de estándares definidos por la Global Footprint Network Standards Committee, que deben ser seguidos

para que la cuantificación se considerada como cálculo de huella ecológica. Estos estándares han sido actualizados a lo largo de los años, y la versión operativa actualmente es la realizada en 2009 [66].

En general, en un ACV se selecciona una de las categorías de impacto que han sido aprobadas a nivel internacional, y en este grupo se encuentran categorías como cambio climático, acidificación, eutrofización, entre otras, sin embargo, el ACV es una metodología que permite calcular diferentes impactos, por lo que también puede ser utilizado para cuantificar otros indicadores [67].

Sabiendo lo anterior, se decide utilizar el ACV para el cálculo de la huella ecológica. Su cuantificación considera diversos aspectos, que serán detallados en la metodología, pero la elección de este indicador se debe a que es intuitivo y permite entender y visualizar de forma más clara el impacto de un producto, sector o país. Además, a diferencia de las categorías de impacto comúnmente utilizadas, como potencial de calentamiento global, huella hídrica o uso de suelo, es multidimensional.

La huella ecológica une diferentes categorías de impacto ya que incluye las emisiones, uso de agua, superficie utilizada, energía, entre otras. Esto la convierte en un indicador multidimensional y permite que con sus resultados se puedan analizar diferentes aristas del caso de estudio.

#### 4.2.5. Cálculo de huella ecológica

La HE tiene como objetivo cuantificar la superficie biológicamente productiva requerida para producir y para absorber todos los residuos que son generados en el ciclo de vida, y en general el resultado obtenido es comparado con la superficie efectivamente disponible en el sector donde habita la/s persona/s o en el que se realiza la actividad, para concluir si el valor se ajusta o no a lo físicamente disponible y, por lo tanto, si se está en un déficit ecológico.

Tal como se mencionó antes, se encuentra estandarizada por los “Ecological Footprint Standards” del año 2009, que presentan los lineamientos generales para la cuantificación, y estos se basan principalmente en lo que se mencionó en su definición.

El cálculo debe estar enfocado en determinar cuánta superficie biológicamente productiva, es decir, tierras agrícolas, bosques, agua, entre otros, es requerida para el consumo, tal que se considere la superficie efectivamente utilizada en el ciclo de vida y la absorción de todos los residuos generados en el mismo.

Entonces, la fórmula más general para cuantificar la huella ecológica del consumo queda expresada de la siguiente manera:

$$HE_C = HE_P + (HE_I - HE_E)$$

Donde  $HE_C$  es la huella ecológica del consumo,  $HE_P$  es la huella ecológica de la producción,  $HE_I$  es la huella ecológica de importar y  $HE_E$  es la huella ecológica de exportar. En particular, el término  $(HE_I - HE_E)$  se denomina la huella ecológica neta del comercio [34].

En particular en el presente trabajo se estudian las hortalizas para consumo fresco, que en su mayoría son producidas a nivel nacional y su exportación es poco significativa, por lo que no se considerarán los términos asociados a importar y exportar los alimentos, quedando solo el término de producción. Luego, el cálculo de la HE se realiza de la forma [68]:

$$HE_C = HE_P$$

Sabiendo lo anterior, se determinó la forma general para calcular la  $HE_P$  en productos. Se decidió utilizar la fórmula planteada por Huijbregts et. al (2008), obtenida a partir del cálculo de la huella ecológica para 2630 productos. El estudio identificó tres términos que tenían un aporte más significativo en el resultado final para la mayoría de los casos, concluyendo que el cálculo de la HE para un producto tiene la siguiente forma:

$$HE = HE_{Directa} + HE_{CO_2} + HE_{Nuclear}$$

En este caso,  $HE$  es la huella ecológica total, que antes se había mencionado como huella ecológica del consumo o producción,  $HE_{Directa}$  es la huella ecológica asociada a la superficie efectivamente utilizada por las instalaciones, construcciones u otros, la  $HE_{CO_2}$  es la huella ecológica asociada a emisiones y, finalmente,  $HE_{Nuclear}$ , representa la energía nuclear utilizada en el ciclo de vida, sin embargo, esto no es aplicable para el caso particular de Chile, ya que no existen plantas de energía nuclear, por lo que el término se asociará a la electricidad utilizada, denominado  $HE_{EE}$  en adelante [69].

Ahora, recordando que este indicador cuantifica flujos, como por ejemplo las emisiones de  $CO_2$ , y los lleva a unidades de superficie globales, en el mismo estudio de Huijbregts et. al (2008) se presentan las siguientes ecuaciones que permiten expresar cada impacto como superficie:

$$HE_{Directa} = \frac{P_i}{Y_i} \cdot EQF_i$$

Donde  $i$  corresponde al producto estudiado,  $P_i$  es la cantidad producida de  $i$  en el lugar en particular donde se produce,  $Y_i$  es el rendimiento promedio de la producción por unidad de área, y  $EQF_i$  es el factor de equivalencia para el tipo de tierra usado en la producción de  $i$ .

$$HE_{CO_2} = \frac{P_C \cdot (1 - S_{Océano})}{Y_C} \cdot EQF_f$$

Donde  $P_C$  representa las emisiones de  $CO_2$  antropogénicas,  $S_{Océano}$  es la fracción de  $CO_2$  capturada por los océanos anualmente y, finalmente,  $Y_C$  es la tasa de fijación anual de carbono por hectárea en bosques.

$$HE_{EE} = E_{EE} \cdot I_{CO_2} \cdot \frac{1 - F_{CO_2}}{S_{Océano}} \cdot EQF_f$$

Para  $HE_{EE}$  se tiene  $E_{EE}$ , que es la la electricidad utilizada en  $[MJ]$ , e  $I_{CO_2}$ , que es la intensidad de emisión de  $CO_2$  para los combustibles fósiles en  $[kgCO_2/MJ]$ .

Ahora, analizando esta última ecuación en detalle, se puede notar que tiene la misma estructura que para el  $CO_2$ , solo que en la  $HE_{EE}$  las emisiones son calculadas como la mul-

tipificación de la energía nuclear utilizada y la intensidad de emisión de dióxido de carbono por cada  $MJ$  de energía. Lo anterior implica que, en realidad, la energía utilizada está siendo transformada a emisiones de  $CO_2$ , para luego cuantificar la superficie que se requiere para absorber esas emisiones.

Finalmente, los valores de los parámetros  $EQF_i$ ,  $S_{Océano}$ ,  $I_{CO_2}$  y  $F_{CO_2}$  deben ser encontrados por bibliografía, mientras que los valores que deben ser calculados con el análisis de ciclo de vida son  $P_i$ ,  $P_C$  y  $E_{nuclear}$ .

En las Tablas 4.1 y 4.2 se presentan los factores de equivalencia según el tipo de tierra en el que se realiza el proceso y los valores del resto de los parámetros requeridos respectivamente.

Tabla 4.1: Factor de equivalencia para cada tipo de tierra [70].

Tipo de tierra	EQF	Unidad
Principales tierras agrícolas	2,21	[hag/ha]
Tierras agrícolas marginales	1,79	[hag/ha]
Bosques	1,34	[hag/ha]
Tierra de pastoreo permanentes	0,49	[hag/ha]
Marinas	0,36	[hag/ha]
Aguas continentales	0,36	[hag/ha]
Asentamientos humanos	2,21	[hag/ha]

Tabla 4.2: Parámetros para cálculo de huella ecológica asociada a emisiones de  $CO_2$  y uso de energía.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
$S_{Océano}$	0,30	[ $kgCO_2/m^2$ ]	Anexo D
$I_{CO_2}$	0,11	[ $kgCO_2/MJ$ ]	[71]
$F_{CO_2}$	0,31	[-]	[72]
$EQF_F$	1,34	[-]	Tabla 4.1

En la Tabla 4.1 se puede notar que los valores presentados cambian dependiendo del tipo de tierra, ya que son determinados a través de estudios que consideran la productividad y capacidad de carga de los diferentes tipos de tierra.

En los datos presentados se puede ver que para los bosques se tiene un factor de equivalencia más alto respecto a, por ejemplo, las principales tierras agrícolas. Esto se debe a que los bosques son reconocidos por su capacidad productiva, de almacenar y capturar carbono, entre otros, mientras que las principales tierras agrícolas no tienen esta misma capacidad debido al uso intensivo del suelo. Entonces, el factor de equivalencia refleja que, para producir lo mismo, se necesitaría una mayor superficie de principales tierras agrícolas respecto a hacerlo en un bosque. El uso de este factor permite comparar las áreas.

#### 4.2.5.1. Términos considerados en cada etapa

Para terminar la primera etapa del ACV, se debe tener en cuenta que aunque la huella ecológica tiene tres términos en su cálculo:  $HE_{Directa}$ ,  $HE_{CO_2}$  y  $HE_{EE}$ , no necesariamente se consideran los tres para todas las etapas del ciclo de vida.

Lo anterior se debe a que en las etapas o subprocesos puede haber uno o más términos que sean significativamente mayores o menores que los otros. La definición de que términos cuantificar se puede hacer mediante bibliografía o realizando el cálculo para una etapa en particular y, luego, tomar como supuesto que va a ocurrir lo mismo en etapas similares.

La definición de los términos considerados en cada etapa es un proceso iterativo, ya que a medida que se van realizando los cálculos o revisando bibliografía se puede ir modificando lo que se va a considerar en cada parte del proceso.

Entre los principales supuestos considerados se tiene que para procesos industriales y traslados la  $HE_{directa}$  tiende a ser menos significativa que la  $HE_{CO_2}$  y/o la  $HE_{EE}$ . Esto se debe a que la vida útil de estos procesos puede ser de incluso décadas, por lo que si se considera el factor temporal, la superficie efectivamente dedicada al proceso o etapa, termina siendo significativamente menor respecto a la utilizada en captación de emisiones de  $CO_2$  o para la electricidad.

Lo antes descrito ocurre en la producción de insumos. Al pensar en la producción de, por ejemplo, agroquímicos, se debe tener en cuenta que la industria que lo produce tiene generalmente más de un producto generándose en paralelo. Esto implica que la superficie efectivamente utilizada debe ser dividida de forma proporcional entre todos sus productos, para así cuantificar lo que corresponde a la masa de agroquímico utilizada en el proceso principal.

Por otro lado, para las etapas que se encuentran entre preparación de la tierra hasta envasado (ver Tabla 4.3) se considera que se utiliza la misma superficie, por lo que se cuantifica la  $HE_{Directa}$  solo para la etapa de preparación de la tierra.

Teniendo en cuenta que la producción de hortalizas en Chile tiene un nivel de tecnificación medio, se consideró la utilización de maquinaria para la preparación de la tierra y aplicación de agroquímicos, pero se considera que el trasplante, cosecha, selección y envasado se realizan de forma manual para las tres hortalizas.

La Tabla 4.3 resume los términos considerados para cada etapa, donde N/A significa "No aplica", es decir, no requiere ese cálculo. En ella se lista todas las etapas consideradas para el ciclo de vida del estudio. Para mayor detalle respecto a cada una de ella se puede revisar el Anexo C, que describe cada etapa, identificado también si pertenece al *downstream*, *upstream* o *foreground*.

Tabla 4.3: Resumen de términos calculados para cada una de las etapas consideradas en el ciclo de vida de las hortalizas.

Nivel	Etapa	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>
Foreground	Preparación de la tierra	Aplica	Aplica	N/A
	Traslado en el terreno	N/A	N/A	N/A
	Trasplante	N/A	N/A	N/A
	Cultivo	N/A	Aplica	N/A
	Cosecha	N/A	N/A	N/A
	Selección de fruta	N/A	N/A	N/A
	Envasado	N/A	N/A	N/A
	Traslado al mercado	N/A	Aplica	N/A
	Consumo domiciliario	Aplica	N/A	Aplica
Upstream	Producción insecticidas	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado insecticidas	N/A	Aplica	N/A
	Producción contenedores plántulas	N/A	N/A	N/A
	Producción fungicidas	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado fungicidas	N/A	Aplica	N/A
	Producción fertilizantes	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado fertilizantes	N/A	Aplica	N/A
	Producción cajas/sacos envasado	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado cajas/sacos	N/A	Aplica	N/A
	Producción plántulas	Aplica	N/A	Aplica
	Producción sustrato para plántula	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado sustrato para plántula	N/A	Aplica	N/A
	Producción fertilizantes foliares	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado fertilizantes foliares	N/A	Aplica	N/A
	Producción herbicidas	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado herbicidas	N/A	Aplica	N/A
	Tratamiento de agua potable	N/A	Aplica	Aplica
	Obtención de agua para riego	N/A	Aplica	Aplica
	Producción de cloro	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado de cloro	N/A	Aplica	N/A
	Lavado contenedores de plántulas	Aplica	N/A	N/A
	Producción de semillas	N/A	Aplica	Aplica
	Traslado de semillas	N/A	Aplica	N/A
	Producción de electricidad	N/A	Aplica	N/A
Producción de combustibles fósiles	N/A	Aplica	N/A	
Downstream	Traslado de envases a disposición	N/A	Aplica	N/A
	Traslado residuos a relleno	N/A	Aplica	N/A
	Disposición residuos	Aplica	Aplica	N/A

### 4.2.6. Calidad de los datos

Para obtener los datos requeridos para la cuantificación se utilizarán fuentes oficiales, principalmente chilenas. Teniendo en cuenta que el caso de estudio son las hortalizas, se utilizan datos extraídos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y del Servicio Agrícola Ganadero (SAG). Estas fuentes permiten obtener información del proceso general de cada hortaliza, rendimiento de los cultivos, agroquímicos utilizados, origen de los agroquímicos, entre otros.

Para la obtención de factores de emisión y uso de agua se utilizan diversas fuentes. Los dos principales son la base de datos *Base Carbone*, con información para uso público, y *Ecoinvent*, a la que se accede mediante el software *OpenLCA*. También se utilizan datos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

El resto de la información necesaria se busca en investigaciones previas publicadas en revistas del área, priorizando los datos que tengan mayor cercanía al estudio en particular, tanto en términos físicos como temporales, principalmente para el proceso principal o *foreground*, y los insumos directos del mismo.

## 4.3. Análisis de inventario

En esta se realiza el análisis de inventario para el caso base del estudio, asociado al escenario actual de producción y distribución de hortalizas consumidas en la RM.

En la lista presentada a continuación se detallan datos generales y supuestos requeridos para la realización del estudio:

- La producción actual de hortalizas en Chile se realiza principalmente con cultivo convencional, por lo que se considera que las especies representativas usan este mismo método.
- Las hortalizas se consumen principalmente frescas y no procesadas, por lo tanto, se asume esa será la forma de producción y distribución de ellas.
- Las hortalizas consumidas en la RM son producidas en la misma región o en regiones de la zona centro-sur de Chile. El lugar de origen de cada una se puede encontrar en la Tabla 3.8.
- La distribución de hortalizas para consumo fresco se realiza en camiones que, en la mayoría de los casos, no tienen refrigeración, por lo que se asume que no hay refrigeración en los traslados.
- Basándose en los manuales de producción de hortalizas en Chile y las fichas de costos presentadas por la ODEPA, se asume que el nivel de tecnificación en los cultivos es intermedio. En este nivel se considera la tenencia de un tractor para las actividades de labranza, aplicación de agroquímicos, entre otros, pero cuenta con riego por surcos y etapas como la cosecha o selección de alimentos se realizan de forma manual.

- El mayor distribuidor de alimentos en la RM es el mercado Lo Valledor, y según el boletín de precios y volúmenes de frutas y hortalizas vendidas en la RM, las hortalizas más consumidas en la región, es decir, el tomate, la lechuga y la zanahoria, son principalmente producidas en la Región Metropolitana, Región de Valparaíso y Región de Ñuble respectivamente, y luego transportadas en camiones al mercado.
- Los insumos importados llegan vía marítima, y lo hacen al puerto de San Antonio, que es el puerto principal de Chile. Luego, estos insumos son trasladados por vía terrestre, utilizando principalmente camiones, a la región donde se realiza el cultivo.
- Se asume que la producción de plantines se lleva a cabo en un espacio cercano a donde se encuentra el cultivo definitivo de la especie, por lo que no se considera una distancia entre ambos y, por lo tanto, tampoco un transporte.
- El envasado para las hortalizas de consumo fresco considera solo guardarlas en cajas o sacos, según corresponda, mas no envasarlas una a una en plástico u otro material.
- El porcentaje de pérdida y desperdicio de alimentos se supone igual para las tres hortalizas representativas. Lo anterior implica asumir que todas pierden el mismo porcentaje en cada etapa del proceso principal.
- Se asume que en la producción y transporte de insumos para el proceso principal o *foreground* no hay pérdidas, es decir, la cantidad de insumo requerido para el cultivo es exactamente la misma que se produce, ya que no hay pérdida de masa al ser producido o trasladado.
- La huella ecológica directa entre la preparación de la tierra y el envasado de las hortalizas se calcular solo para la etapa de preparación de la tierra. Las etapas de trasplante, cultivo, cosecha y selección se realizan en el mismo terreno, por lo que se considera la superficie solo una vez en la etapa de preparación. El detalle de esta estimación se encuentra en el Anexo E.
- En el Anexo F se presenta la lista de los factores de emisión de  $CO_2$  utilizados en el estudio.

Habiendo definido los supuestos y datos anteriores, a continuación se detalla la información asociada a ellos y se agregan datos respecto a los flujos de entrada y salida del ciclo de vida. Para facilitar la comprensión del análisis de inventario, la Figura 4.2 contiene las entradas y salidas generales del proceso, cada una acompañada de la sección en que es abordada.

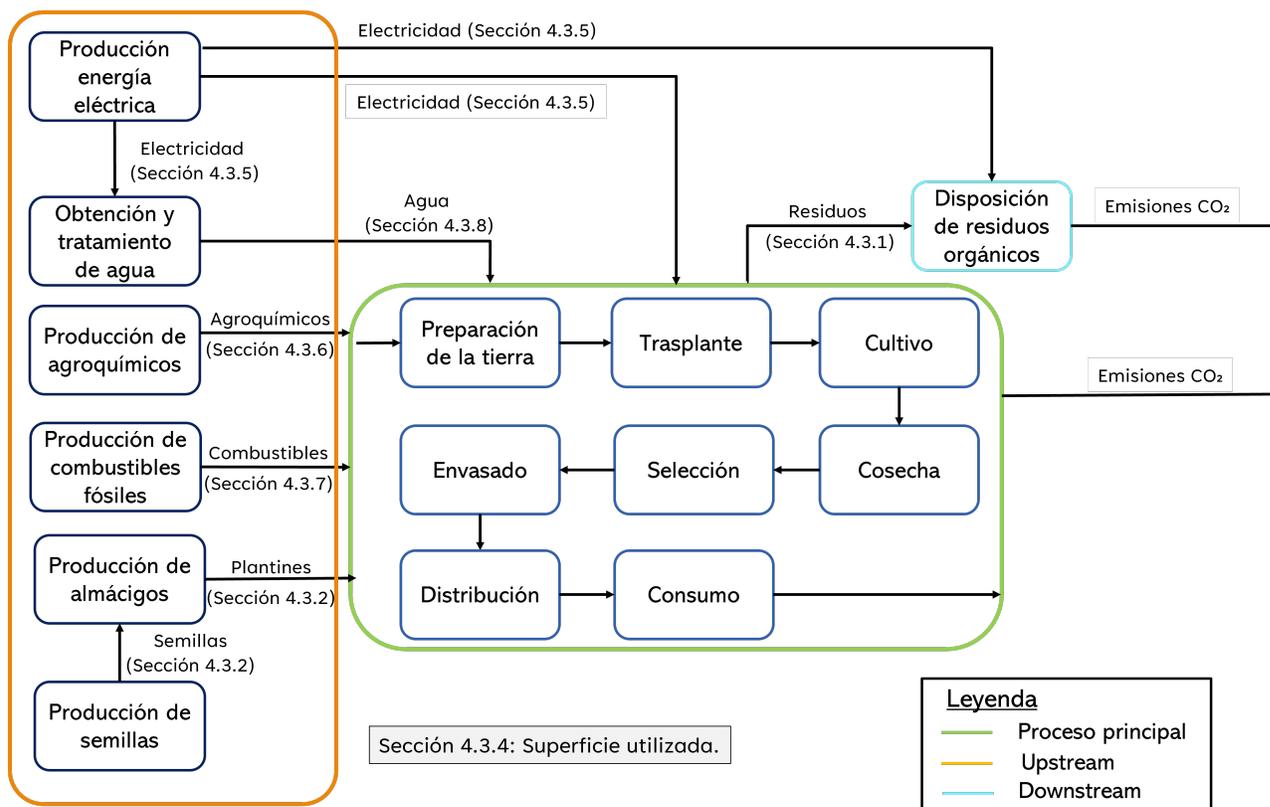


Figura 4.2: Diagrama de bloques para guiar la comprensión del análisis de inventario del caso base.

### 4.3.1. Pérdida y desperdicio de hortalizas

Primero, con el fin de unificar el lenguaje de aquí en adelante, es necesario mencionar que la diferencia principal entre los términos de pérdida y desperdicio radica en la etapa de la cadena de suministro en la que se genera el residuo. Se llama pérdida al porcentaje de alimentos que termina como residuo en la etapa de producción, mientras que el desperdicio son los residuos generados en la venta y el consumo.

Aunque se sabe que la pérdida y desperdicio de alimentos a nivel mundial es importante, la información sobre este tema tiende a ser baja, y en particular en Chile no se tiene claridad sobre el porcentaje de alimentos que termina como residuo. Ante esto, y con el fin de ajustarse a la información disponible, se considera la estimación de pérdida y desperdicio de alimentos de la FAO realizada para frutas y hortalizas en América Latina.

El estudio de la FAO concluyó los valores presentados en la Figura 4.3, y los porcentajes extraídos del gráfico son presentados en la Tabla 4.5. Estos porcentajes serán considerados para el proceso principal de las tres hortalizas representativas [73].

### Pérdidas y desperdicios de alimentos por Región [%]

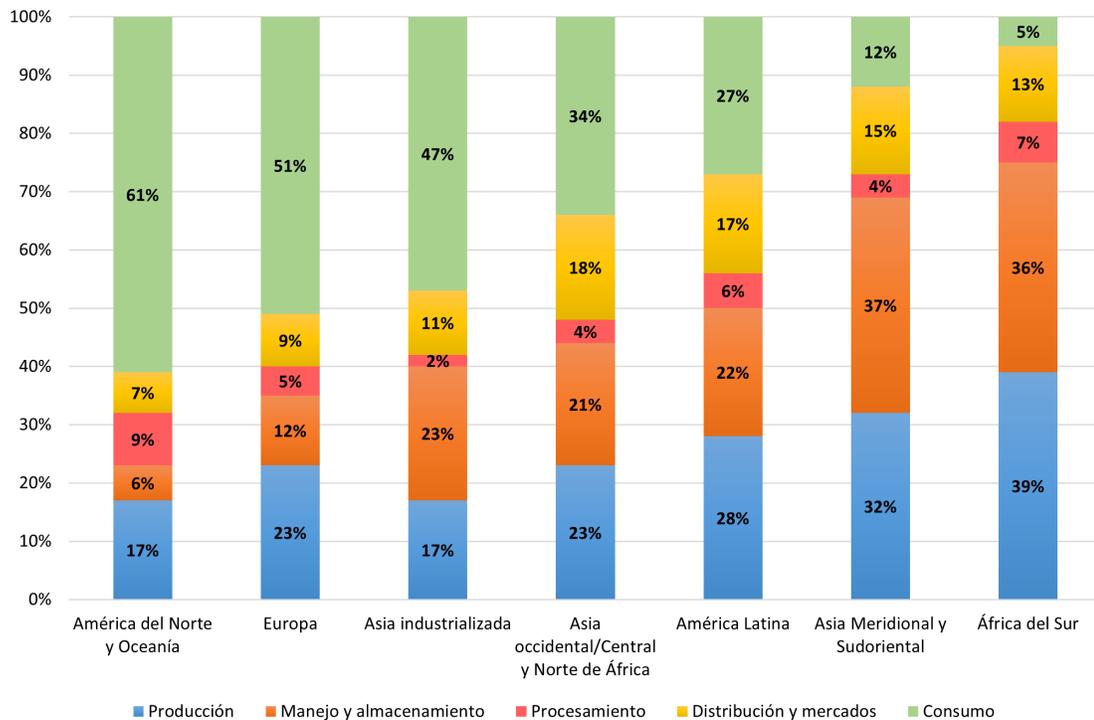


Figura 4.3: Pérdida y desperdicio de alimentos, según estudio de la FAO en 2014. Elaborado basado en los datos entregados por el estudio [73].

En particular, de la figura se extraen los datos asociados a América Latina. Los datos se refieren al porcentaje asociado a cada etapa respecto al total de masa de alimentos que se pierde o desperdicia. Se puede notar que la suma de los porcentajes entrega un 100 %, donde ese 100 % se refiere a la masa total perdida o desperdiciada durante el proceso, mas no menciona cuánto es esa cantidad.

El estudio menciona que la cantidad que se pierde depende del tipo de alimentos, y en específico las frutas y hortalizas son las que tienen un mayor porcentaje de pérdida durante el proceso, con un 55 % de pérdida de alimentos entre la producción y consumo. Teniendo esta información, se puede calcular un porcentaje de pérdida respecto al flujo de entrada a la etapa de producción, para así identificar la pérdida en cada etapa. Este porcentaje también es presentado en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Porcentaje de pérdida y desperdicio de hortalizas en cada etapa del proceso principal según la FAO.

Etapa	Porcentaje de residuos por etapa [%]	Porcentaje de residuos respecto al flujo inicial [%]
Producción	28 %	15,4 %
Manejo y almacenamiento	22 %	12,1 %
Procesamiento	6 %	3,3 %
Distribución	17 %	9,4 %
Consumo	27 %	14,9 %

Se puede notar que el estudio utiliza las etapas de producción, manejo y almacenamiento, procesamiento, distribución y consumo, por lo que se debe hacer la semejanza con las etapas utilizadas en el presente trabajo. Para esto, se extrae el proceso principal presentado en la Figura 3.4 y, a partir de él, se elabora la Figura 4.4, que describe las operaciones unitarias que son incluidas en cada una de las etapas descritas por la FAO.

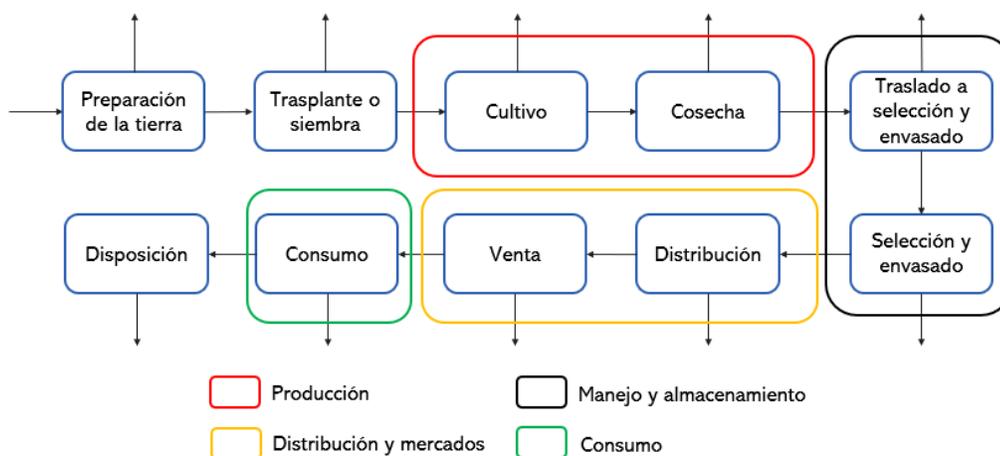


Figura 4.4: Proceso principal según FAO. Elaboración propia.

Al igual que lo presentado en la Figura 4.1, que muestra los límites del sistema, la disposición se deja fuera del proceso principal o *foreground*. Teniendo esto en cuenta, se debe dejar en claro que la merma de 55 % para frutas y hortalizas representa la masa que termina como residuo entre la entrada de la etapa de producción (o cultivo) y la salida del consumo.

Además, las etapas de preparación de la tierra y trasplante o siembra no son consideradas en la producción. Esto se debe principalmente a que en estas etapas aún no se tiene la hortaliza, por lo que en realidad la pérdida en cada una de ellas debe ser asociada a los flujos de entrada de cada una.

Para el caso de la preparación de la tierra, sus flujos de entrada son principalmente de agroquímicos y combustibles fósiles. Para ambos insumos se decidió que no hay pérdida en esta etapa, por lo que la entrada es exactamente lo requerido para la preparación. Por su lado, en el trasplante o siembra se debe considerar la pérdida de plántulas para el caso de las hortalizas con siembra indirecta, y de semillas para el caso de la siembra directa.

En las hortalizas de siembra indirecta, se asume en la etapa de trasplante la pérdida es igual a cero. Este supuesto se basa en que uno de los beneficios de la siembra indirecta es precisamente la disminución de la pérdida en el trasplante, ya que la germinación se realiza en ambientes controlados. Mediante bibliografía se pudo obtener que la tasa de éxito de trasplante en hortalizas es cercana al 100 %, por lo que se asume que no hay pérdida de plantines [74].

Para las hortalizas de siembra directa, que no cuentan con almácigos ni trasplante, la entrada a la siembra es de semillas, y en ella se considera una pérdida que será detallada en la siguiente sección.

### 4.3.2. Pérdida en producción de almácigos y siembra

Según lo descrito en la sección anterior, en las hortalizas de siembra indirecta se supone que la pérdida en el trasplante es nula, pero para la producción de plantines o almácigos, considerada como parte del *upstream* del sistema, se tiene una pérdida de semillas y plantines.

Por su lado, en las hortalizas de siembra directa también se considera una pérdida en las semillas utilizadas, principalmente debido a que solo un porcentaje de ellas germina.

La Tabla 4.6 presenta los valores considerados para la pérdida en la producción de almácigos, y el porcentaje de germinación de las semillas para cada una de las hortalizas representativas.

Tabla 4.6: Datos para producción de plantines y siembra.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Pérdida producción plantines	5	[ %]	[75]
Germinación semillas de tomate	85	[ %]	[76]
Germinación semillas de lechuga	85	[ %]	[76]
Germinación semillas de zanahoria	82	[ %]	[77]
Dosis de semillas de zanahoria	3,25	[kg/ha]	[78]
Semillas de zanahoria por gramo	690	[semillas/g]	[78]

Teniendo estos porcentajes se realiza el balance de masa que permita obtener los flujos en cada una de las etapas, basándose en la unidad funcional establecida: 1 kg de hortaliza consumida. Los resultados y el balance de masa pueden ser revisados en el Anexo G. Estos valores permiten la normalización de los flujos de tal forma que se ajusten a la unidad funcional elegida.

### 4.3.3. Región de origen y rendimiento de hortalizas consumidas en la RM

Para el cálculo de la huella ecológica se debe tener claro el lugar en el que la hortaliza se produce, ya que esta define las distancias recorridas, el nivel de tecnificación del cultivo, su rendimiento, entre otros. La Tabla 4.7 presenta la región en la que se considera la producción de las hortalizas estudiadas y el rendimiento considerado para cada una en el presente trabajo.

Para más detalles se puede revisar el Anexo B.

Tabla 4.7: Región en la que se producen las hortalizas más consumidas en la RM.

Hortaliza	Región	Rendimiento [kg/ha]	Referencia
Tomate	Región de Valparaíso	40.000	[79]
Lechuga	Región Metropolitana	20.900	[58]
Zanahoria	Región de Ñuble	40.510	[78]

Es importante mencionar que las regiones presentadas en la tabla no son las únicas que abastecen a la RM, pero se encuentran entre las principales para cada hortaliza, por lo que, para efectos del estudio, se supone que el cultivo es realizado en esa región, y según la información presentada por la ODEPA, se puede asumir que en las tres regiones para estos cultivos se tiene un nivel de tecnificación intermedio y cuentan con riego por surcos.

#### 4.3.4. Superficie utilizada

En esta sección se presentan los datos utilizados para las etapas en las que se consideró el uso de superficie, es decir, en las que se calculó una  $HE_{Directa}$ . El detalle de la estimación de estas superficies se puede encontrar en el Anexo E.

Tabla 4.8: Detalle de la superficie utilizada en cada hortaliza.

Etapa \ Hortaliza	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad
Preparación de la tierra	6,3 E-2	2,2 E-5	3,7 E-6	$[m^2/kg \text{ hortaliza}]$
Venta en mercado	1,3 E-2	2,7 E-2	2,3 E-3	$[m^2/kg \text{ hortaliza}]$
Consumo domiciliario	7,0 E-3	1,3 E-2	1,2 E-3	$[m^2/kg \text{ hortaliza}]$
Producción plantines	3,3 E-1	2,9 E-1	-	$[m^2/g \text{ semilla}]$
Lavado bandejas	2,3 E-1	2,3 E-1	-	$[m^2/tambor]$
Producción de semillas	5,9 E-2	1,9 E-2	1,0 E-2	$[m^2/g \text{ semilla}]$
Disposición en relleno	8,8 E-6	8,1 E-6	8,8 E-6	$[m^2/kg \text{ hortaliza}]$
Alimentación animal	3,3 E-3	1,2 E-2	3,4 E-4	$[m^2/hortaliza]$
Quema agrícola	1,3 E-1	2,5 E-1	1,3 E-1	$[m^2/kg \text{ hortaliza}]$

#### 4.3.5. Uso de electricidad

A continuación se presenta la Tabla 4.9 donde se listan las etapas en las que se considera el uso de electricidad, además del valor calculado o encontrado para la misma. El detalle de los cálculos y factores de consumo eléctrico utilizados se puede encontrar en el Anexo H.

Tabla 4.9: Uso de electricidad en las etapas correspondientes de cada hortaliza. Los datos se presentan en  $[MJ/kg \text{ hortaliza consumida}]$ .

<b>Etapas</b>	<b>Tomate</b>	<b>Lechuga</b>	<b>Zanahoria</b>
Consumo domiciliario	1,13 E-1	5,18 E-1	1,33 E-1
Producción insecticidas	7,99 E-2	1,51 E-2	1,24 E-3
Producción fungicidas	1,64 E-1	7,26 E-2	1,21 E-2
Producción fertilizantes	1,85 E-1	6,29 E-1	1,80 E-2
Producción cajas/sacos envasado	1,54 E-1	3,08 E-1	2,47 E-2
Producción plantines	1,18 E-1	5,26 E-5	-
Producción sustrato	4,77 E-4	1,48 E-4	-
Producción fertilizantes foliares	5,99 E-3	3,25 E-3	1,11 E-3
Producción acaricida/herbicida	3,76 E-5	1,89 E-2	6,21 E-4
Tratamiento de agua potable	1,43 E-1	1,63 E-1	8,71 E-2
Extracción agua de pozo para riego	1,16 E-1	3,16 E-2	1,62 E-1
Extracción agua pozo para agroquímicos	9,06 E-5	1,86 E-4	3,13 E-5
Producción de cloro	1,19 E-4	2,27 E-4	-
Producción de semillas	3,27 E-5	7,12 E-6	2,46 E-5
Incorporación de residuos al suelo	1,09 E-2	8,35 E-2	1,09 E-2

#### 4.3.6. Uso de agroquímicos

Tal como se describió anteriormente, los insumos para cada hortaliza son distintos, ya que sus requerimientos son diferentes en términos de nutrientes, control de plagas, enfermedades u otros. En particular, para la producción del tomate se consideró el uso de los agroquímicos presentados en la Tabla I.2, en el Anexo I. Las dosis y composición de cada uno se detallan en la Tabla 4.10.

<b>Agroquímico</b>	<b>Composición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dosis</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Mezcla NPK 0:15:15	0:15:15 (N:P:K)	% p/p	60	[kg/ha]	Calculado
Nitrato de potasio	13:0:44 (N:P:K)	% p/p	650	[kg/ha]	[80]
Nitrato de calcio	15,5	% p/p	60	[kg/ha]	[81]
Urea	46	% p/p	70	[kg/ha]	[82]
Ultrasol	25	% p/p	15	[L/ha]	[83]
MTD 600	60	% p/v	1,5	[L/ha]	[84]
Karate Zeon	5	% p/v	0,70	[L/ha]	[85]
Zero 5 EC	5	% p/v	425	[cc/ha]	[86]
Neres 50 % SP	50	% p/p	2,50	[kg/ha]	[87]
Manzate 200	80	% p/p	10	[kg/ha]	[88]
Ridomil MZ 68 WP	64	% p/p	5	[kg/ha]	[89]
Cercobin M	70	% p/p	0,85	[kg/ha]	[90]
Vertimec	2	% p/v	0,51	[L/ha]	[91]
Fosfimax 40 20	40:20 (P:K)	% p/p	15	[L/ha]	[92]
Terrasorb foliar	9,3	% p/p	5	[L/ha]	[93]
Frutaliv	4	% p/p	2,50	[L/ha]	[94]

Tabla 4.10: Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de tomate en el escenario actual.

Para la producción de la lechuga se asume el uso de los agroquímicos en la Tabla I.3, en el Anexo I. La composición y dosis utilizada de cada uno de ellos se presenta en la Tabla 4.11.

<b>Agroquímico</b>	<b>Composición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dosis</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Mezcla NPK	5:25:20 (N:P:K)	% p/p	50	[kg/ha]	Calculado
Urea	46	% p/p	100	[kg/ha]	[82]
Salitre potásico	67	% p/p	350	[kg/ha]	[80]
Ultrasol	25	% p/p		[kg/ha]	[83]
Zero EC	5	% p/v	0,175	[L/ha]	[86]
Puzzle 200 SC	35	% p/v	0,15	[L/ha]	[95]
Cercobin M	70	% p/p	0,75	[kg/ha]	[90]
Mancozeb 80 WP	80	% p/v	3,15	[kg/ha]	[96]
Herbadox 45 SC	45	% p/p	3,25	[L/ha]	[97]
Fosfimax 40 20	40:20 (P:K)	% p/p	5	[L/ha]	[92]
Kelpak	0,04:0,3:0,61 (N:P:K)	% p/p	5	[L/ha]	[98]

Tabla 4.11: Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de lechuga en el escenario actual.

Finalmente, para la producción de la zanahoria se consideran los agroquímicos listados en la Tabla I.4, en el Anexo I. La composición y dosis usada de cada agroquímico es presentada en la Tabla 4.12.

Agroquímico	Composición	Unidad	Dosis	Unidad	Referencia
Mezcla NPK 21:3:10	21:3:10 (N:P:K)	% p/p	350	[kg/ha]	Calculado
Nitrato de potasio	44	% p/p	80	[kg/ha]	[80]
Mezcla NPK 0:22:22	0:22:22 (N:P:K)	% p/p	180	[kg/ha]	Calculado
Cypress 100 EC	10	% p/v	0,75	[L/ha]	[99]
Bravo 720	72	% p/v	6	[L/ha]	[100]
Afalon 50WP	50	% p/p	5,6	[g/ha]	[101]
Verdict 1400	20	% p/v	0,7	[L/ha]	[102]
Terrisorb foliar	9,3	% p/p	7,5	[L/ha]	[93]

Tabla 4.12: Composición y dosis de agroquímicos para el cultivo de zanahoria en el escenario actual.

El detalle del cálculo de dosis requeridas de fertilizantes para las tres hortalizas se puede encontrar en el Anexo I. La información de composición y dosis de los agroquímicos que no están en el anexo fue extraída de la ficha técnica asociada a cada uno.

#### 4.3.7. Uso de combustibles fósiles

La Tabla 4.13 presenta el volumen utilizado de cada combustible fósil para las tres hortalizas. El detalle de los datos usados para el cálculo se encuentra en el Anexo J.

Tabla 4.13: Uso de combustibles fósiles para las tres hortalizas representativas. Los datos se presentan en [L combustible/kg hortaliza consumida].

Etapa	Tipo	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Preparación del suelo	Diésel	5,89 E-3	1,03 E-2	6,50 E-3
Traslado terrestre de agroquímicos	Diésel	1,25 E-4	1,35 E-4	2,94 E-4
Traslado marítimo de agroquímicos	Fuel oil	3,98 E-5	5,14 E-4	7,70 E-5
Traslado terrestre de semillas	Diésel	6,19 E-8	1,87 E-8	4,80 E-7
Traslado marítimo de semillas	Fuel oil	2,36 E-8	1,85 E-8	1,77 E-8
Traslado terrestre de sustrato	Diésel	3,95 E-4	1,87 E-4	-
Traslado marítimo de sustrato	Fuel oil	9,32 E-4	1,16 E-4	-
Traslado terrestre de cloro	Diésel	1,42 E-8	3,78 E-8	-
Traslado marítimo de cloro	Fuel oil	5,83 E-8	6,78 E-8	-
Traslado de residuos	Diésel	1,33 E-3	1,57 E-3	1,33 E-3
Traslado terrestre de cajas/sacos	Diésel	3,64 E-4	1,49 E-3	3,25 E-5
Traslado marítimo de cajas/sacos	Fuel oil	-	-	3,15 E-6
Traslado cultivo-mercado	Diésel	1,24 E-2	5,29 E-3	3,87 E-2
Traslado mercado-consumo	Gasolina	4,71 E-3	4,71 E-3	4,71 E-3

#### 4.3.8. Uso de agua

Para terminar, la Tabla 4.14 entrega un resumen del uso de agua en el ciclo de vida de las tres hortalizas representativas. Para más información respecto a los valores utilizados se puede ver el Anexo L.

Tabla 4.14: Uso de agua en el ciclo de vida de las tres hortalizas representativas.

<b>Etapas</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tomate</b>	<b>Lechuga</b>	<b>Zanahoria</b>	<b>Unidad</b>
Producción agroquímicos	Potable	3.634,2	2.238,3	3,624,2	[m <sup>3</sup> /ha]
Aplicación agroquímicos	De pozo	5.928,6	6.376,2	5.928,6	[L/ha]
Riego en plantines	De pozo	28,8	9,75	-	[L/g semilla]
Lavado bandejas	De pozo	0,35	1,9	-	[L/bandeja]
Riego en cultivos	De pozo	46,3	23,3	46,3	[L/hortaliza]
Lavado en consumo	Potable	2,7	3	2,7	[L/hortaliza]

Finalmente, con el análisis de inventario presentado en este capítulo y sus complementos en los anexos mencionados, se puede pasar a la siguiente etapa del ACV, es decir, la evaluación del impacto para el escenario actual.

# Capítulo 5

## Evaluación del impacto: HE del caso base

A partir de la metodología y análisis de inventario presentados en el capítulo anterior, se calcula la huella ecológica para el escenario actual de producción y distribución de hortalizas en la Región Metropolitana. El cálculo es realizado para las tres hortalizas elegidas como representativas: lechuga, tomate y zanahoria, que son las más consumidas en la zona.

En este capítulo se presentan los resultados generales obtenidos para cada hortaliza. El detalle de los resultados obtenidos etapa a etapa se pueden encontrar en el Anexo M.

### 5.1. Huella ecológica de tomate

Los resultados obtenidos para el tomate se presentan en la Tabla 5.1. Tal como se mencionó anteriormente, en esta sección se presentan los resultados principales. El detalle de los resultados para cada etapa del ciclo de vida se pueden encontrar en el Anexo M.1.

Tabla 5.1: Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	Valor	Unidad
Directa	1,25	$[m^2/\text{kg tomate consumido}]$
$CO_2$	2,38	$[m^2/\text{kg tomate consumido}]$
Electricidad	0,36	$[m^2/\text{kg tomate consumido}]$
<b>Total</b>	<b>4,00</b>	<b><math>[m^2/\text{kg tomate consumido}]</math></b>

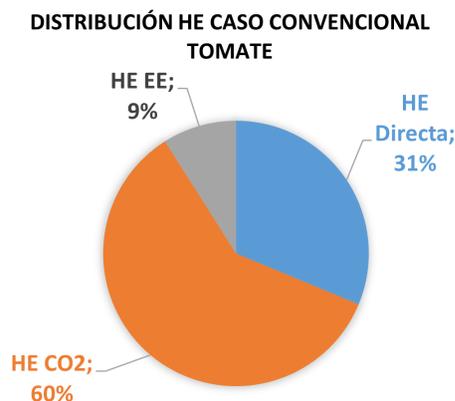


Figura 5.1: Distribución de HE según término de la ecuación de HE para el tomate en el escenario actual.

La Tabla 5.1 y Figura 5.1 muestran que en el caso del tomate, una hortaliza de fruta cultivada con siembra indirecta, la huella ecológica se encuentra principalmente asociada a las emisiones de  $CO_2$ , seguidas por las emisiones directas, teniendo entre ambas cerca del 90 % de la  $HE_{Total}$ , quedando en último lugar la huella asociada a la electricidad.

Por otro lado, también se puede comparar la HE dependiendo del nivel del estudio. El ciclo de vida fue dividido en el *upstream*, *foreground* y *downstream*, por lo que la Tabla 5.3 detalla los valores obtenidos para cada nivel en los tres términos calculados.

Tabla 5.3: Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$  tomate consumido].

HUELLA ECOLÓGICA TOMATE						
Nivel	Parámetro	Valor	Aporte [%]	HE	Aporte [%]	HE
Upstream	$HE_{Directa}$	0,03	0,71 %	1,25	31,3 %	
	$HE_{CO2}$	0,91	22,77 %			
	$HE_{EE}$	0,31	7,85 %			
Foreground	$HE_{Directa}$	1,21	30,24 %	1,74	43,6 %	4,00
	$HE_{CO2}$	0,49	12,32 %			
	$HE_{EE}$	0,04	1,05 %			
Downstream	$HE_{Directa}$	0,02	0,40 %	1,00	25,1 %	
	$HE_{CO2}$	0,98	24,58 %			
	$HE_{EE}$	0,003	0,09 %			

Los resultados en la tabla anterior permiten notar que el *foreground* es el que tiene una mayor huella asociada, llegando al 43,6%. En segundo lugar se tiene el *upstream* con un 31,3%, y por último está el *downstream* con 25,1% de la huella.

Finalmente, la Figura 5.2 muestra los resultados agrupando las principales etapas en cada

nivel del estudio, para así notar el aporte que tiene cada una de ellas en la  $HE_{Total}$ .

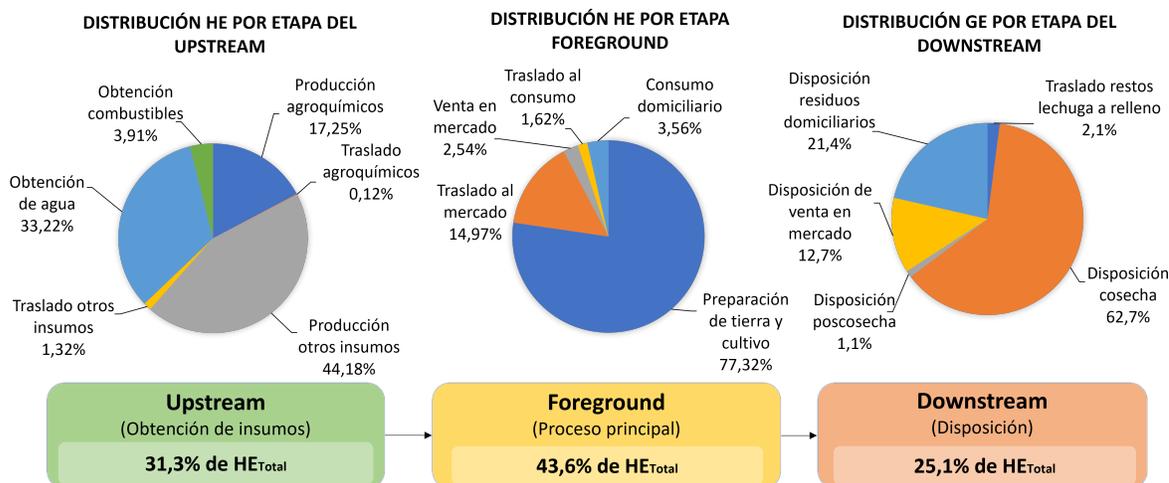


Figura 5.2: Distribución de resultados de la HE del tomate en el escenario actual.

En estas últimas figuras se puede notar que en el *upstream* el aporte principal de la HE está dado por la producción de otros insumos, mientras que en el *foreground* se debe a la preparación de la tierra, y en el *downstream* se asocia a la disposición de residuos de cosecha.

## 5.2. Huella ecológica de la lechuga

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos para la lechuga. Estos datos son resumidos en la Tabla 5.4 y Figura 5.3. El detalle de estos datos puede ser encontrado en el Anexo M.2.

Tabla 5.4: Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	Valor	Unidad
Directa	2,35	$[m^2/kg \text{ lechuga consumida}]$
$CO_2$	1,57	$[m^2/kg \text{ lechuga consumida}]$
Electricidad	0,61	$[m^2/kg \text{ lechuga consumida}]$
<b>Total</b>	<b>4,53</b>	<b><math>[m^2/kg \text{ lechuga consumida}]</math></b>

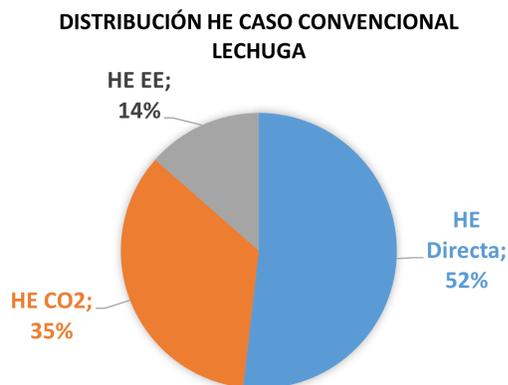


Figura 5.3: Distribución de HE según término de la ecuación de HE para la lechuga en el escenario actual.

Según los resultados presentados, se puede notar que para el caso de la lechuga, una hortaliza de hoja y siembra indirecta, el término con mayor preponderancia en el cálculo es la HE directa, con un 52 %, seguida por la HE del  $CO_2$ , con un 35 %, y en tercer lugar se encuentra la HE de la electricidad, con un 14 %.

Al igual que en el caso del tomate, en la Tabla 5.6 se presenta el detalle del cálculo asociado a cada nivel del ciclo de vida.

Tabla 5.6: Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2$ /kg lechuga consumida].

<b>HUELLA ECOLÓGICA LECHUGA</b>						
<b>Nivel</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Aporte [%]</b>	<b>HE</b>	<b>Aporte [%]</b>	<b>HE</b>
Upstream	$HE_{Directa}$	0,005	0,11 %	1,05	23,3 %	4,53
	$HE_{CO_2}$	0,62	13,69 %			
	$HE_{EE}$	0,43	9,50 %			
Foreground	$HE_{Directa}$	2,32	51,20 %	2,88	63,7 %	
	$HE_{CO_2}$	0,39	8,55 %			
	$HE_{EE}$	0,18	3,96 %			
Downstream	$HE_{Directa}$	0,02	0,52 %	0,59	13,0 %	
	$HE_{CO_2}$	0,56	12,40 %			
	$HE_{EE}$	0,003	0,06 %			

Los datos en las tablas anteriores muestran una distribución similar a la del tomate entre los niveles del ciclo de vida, teniendo el *foreground* el aporte más relevante con un 63,7 %, luego el *upstream* con un 23,3 % y, finalmente, se encuentra el *downstream* con un 13,0 %.

Por último se presentan los gráficos en la Figura 5.4, en los que se muestra el aporte porcentual de cada etapa o conjunto de etapas en cada nivel del ciclo de vida.

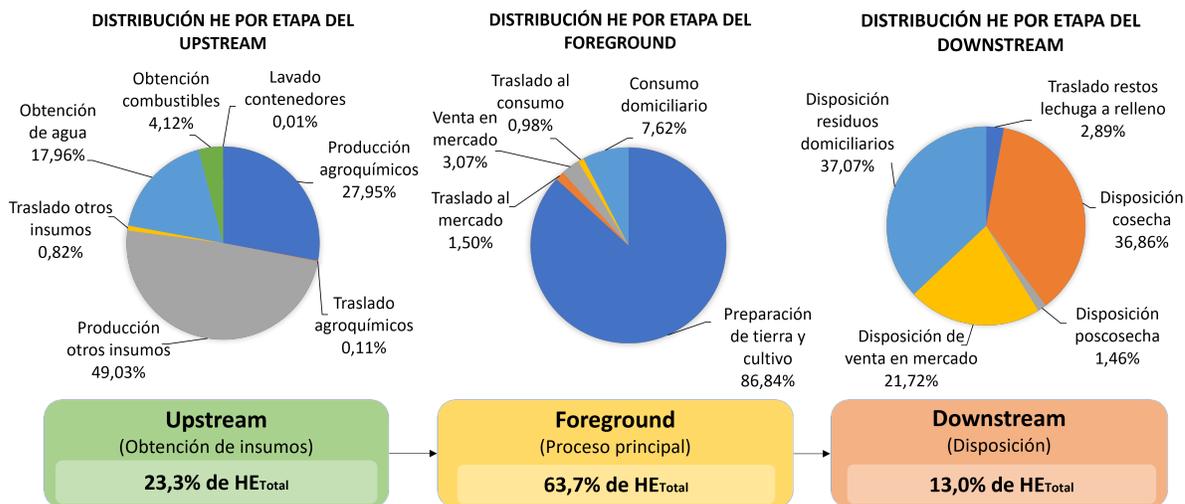


Figura 5.4: Distribución de resultados de la HE de la lechuga en el escenario actual.

Al igual que en el caso del tomate, en el *upstream* el principal aporte lo tiene la producción de otros insumos, con cerca del 50% de la HE, seguida por la producción de agroquímicos. Para el *foreground* la etapa principal se mantiene, siendo también la preparación de la tierra, con un 86,84%. Finalmente, en el *downstream* se puede ver que el aporte principal es en la disposición de residuos domiciliarios y de cosecha.

### 5.3. Huella ecológica de zanahoria

Por último, en la Tabla 5.7 y Figura 5.5 se presentan los principales resultados obtenidos para la cuantificación de la huella ecológica de la zanahoria consumida en la RM. El detalle de estos datos puede ser encontrado en el Anexo M.3.

Tabla 5.7: Resultados del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	Valor	Unidad
Directa	1,15	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]
CO <sub>2</sub>	2,30	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]
Electricidad	0,17	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]
<b>Total</b>	<b>3,62</b>	<b>[m<sup>2</sup>/kg zanahoria consumida]</b>

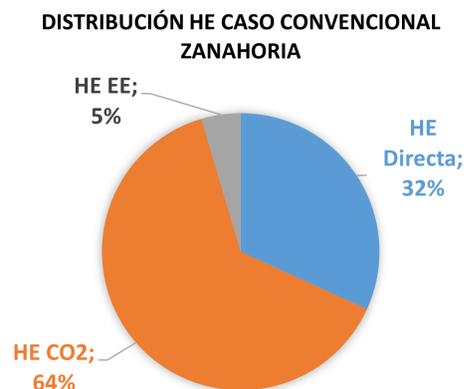


Figura 5.5: Distribución de HE según término de la ecuación de HE para la zanahoria en el escenario actual.

Según la información en la tabla y figura anterior se puede notar que la zanahoria, una hortaliza de siembra directa y de raíz comestible, tiene resultados similares a los del tomate. La HE del  $CO_2$  lidera la huella con un 64 %, seguida por la directa con un 32 %, y dejando en tercer lugar la HE asociada a la electricidad con un 5 %.

En la Tabla 5.9 se puede se presenta el detalle de los valores obtenidos en cada término de la ecuación de la HE para cada nivel del ciclo de vida.

Tabla 5.9: Resultados por nivel del cálculo de huella ecológica de la producción y distribución de 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$  zanahoria consumida].

HUELLA ECOLÓGICA ZANAHORIA						
Nivel	Parámetro	Valor	Aporte [%]	HE	Aporte [%]	HE
Upstream	$HE_{Directa}$	0,001	0,02 %	0,48	13,3 %	3,62
	$HE_{CO2}$	0,37	10,19 %			
	$HE_{EE}$	0,11	3,13 %			
Foreground	$HE_{Directa}$	1,14	31,55 %	2,22	61,4 %	
	$HE_{CO2}$	1,03	28,51 %			
	$HE_{EE}$	0,05	1,36 %			
Downstream	$HE_{Directa}$	0,01	0,24 %	0,91	25,3 %	
	$HE_{CO2}$	0,90	24,92 %			
	$HE_{EE}$	0,004	0,10 %			

Al igual que en los casos anteriores, el ciclo de vida de la zanahoria tiene su principal huella ecológica en el *foreground*, con un 61,4% del total, seguido por el *downstream* con un 25,3% y el *upstream* con un 13,3%..

Por último, para evaluar los resultados con mayor detalle, la Figura 5.6 muestra el distribución de la HE por cada etapa o conjunto de etapas de los tres niveles del ciclo de vida.

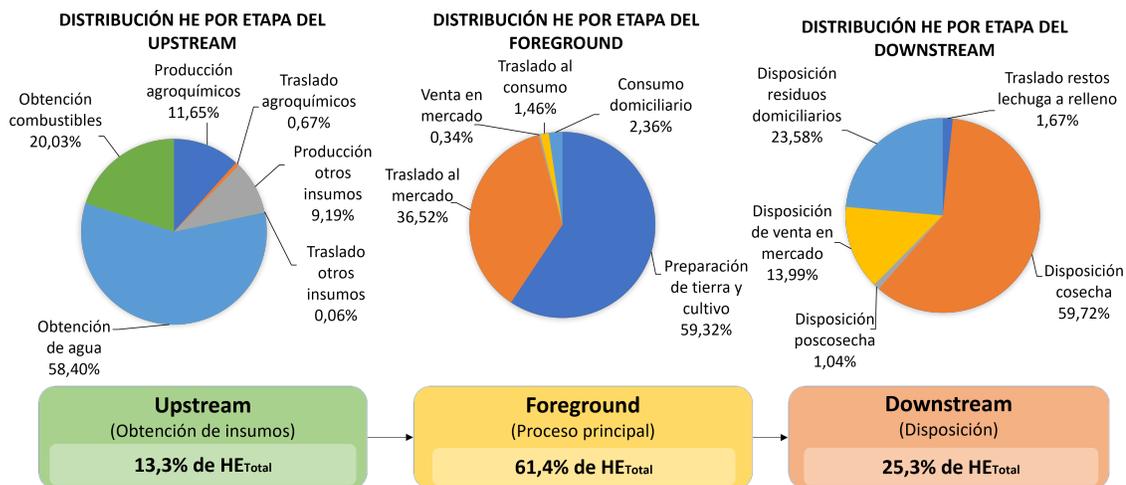


Figura 5.6: Distribución de resultados de la HE de la zanahoria en el escenario actual.

A partir de los datos en la esta última figura se puede notar que la distribución es similar a los casos del tomate y la lechuga, teniendo la producción de otros insumos como aporte principal en el *upstream*, la preparación de la tierra en el *foreground* y, finalmente, la disposición de residuos de cosecha en el *downstream*.

Para terminar, se presenta la Tabla 5.11 que resume los resultados para las tres hortalizas en el escenario actual, tal que se puedan comparar de forma más clara

Tabla 5.11: Resumen de los resultados obtenidos de HE para las tres hortalizas representativas en el caso base. Los valores se presentan en [ $m^2/kg$  hortaliza consumida].

Resumen cálculo de huella ecológica en caso base			
Parámetro	Lechuga	Tomate	Zanahoria
$HE_{Directa}$	2,35	1,25	1,15
$HE_{CO_2}$	1,57	2,39	2,30
$HE_{EE}$	0,61	0,36	0,17
<b><math>HE_{Total}</math></b>	<b>4,53</b>	<b>4,00</b>	<b>3,62</b>

## 5.4. Análisis de resultados y discusiones parciales

Según los datos presentados en las secciones anteriores de este capítulo, se puede notar que las tres hortalizas tienen huellas ecológicas que se encuentran en el mismo orden de magnitud. En las tres se consideró igual nivel de detalle en la cuantificación de la HE, y aunque tuvieron diferentes distribuciones respecto al aporte de cada etapa del ciclo de vida en la huella o cada término asociado al cálculo, el valor final es similar, con la mayor distancia entre los casos de la lechuga y la zanahoria con cerca de un 20% de diferencia en la  $HE_{Total}$ .

Entre los principales resultados destaca la preponderancia de la huella ecológica por el uso

directo de la tierra y de las emisiones de  $CO_2$  respecto a la de la electricidad, teniendo esta última un aporte menor o igual al 14% de la huella total para las tres hortalizas.

En dos de los tres casos expuestos (tomate y zanahoria) el principal aporte a la huella ecológica lo tienen las emisiones de  $CO_2$ . En el caso del tomate se debe principalmente a las emisiones por obtención de insumos y la preparación de la tierra y cultivo, mientras que en el caso de la zanahoria se debe a la preparación de la tierra y el traslado al mercado.

Para explicar esto último es importante recordar que las tres hortalizas estudiadas en este trabajo son para consumo fresco en la RM, mas no producidas en la misma región. La producción del tomate se consideró en la Región de Valparaíso, la lechuga en la RM y la zanahoria en la Región de Ñuble. A partir de esto se puede entender la relevancia del transporte para el caso de la zanahoria, ya que es la que tiene que recorrer una mayor distancia entre el lugar de producción y el mercado, que en este caso fue considerado como el mercado Lo Valledor.

El transporte al mercado en las tres hortalizas se consideró en camiones de igual características entre sí y con el mismo consumo de combustible por km recorrido, por lo que el aumento en la distancia cambia de forma proporcional las emisiones de  $CO_2$  asociadas a trasladarse desde un sector a otro, explicando entonces que las emisiones de la zanahoria sean mayores, ya que recorre una distancia más grande que en los otros casos.

Para la lechuga la  $HE_{Directa}$  tiene una preponderancia respecto a la asociada a emisiones de  $CO_2$  y de la electricidad. Esto se debe principalmente al rendimiento del cultivo de esta hortaliza, que es el más bajo entre las tres estudiadas, con 20.900 [kg/ha] en comparación a alrededor de 40.000 [kg/ha] que tienen las otras dos especies, es decir, cerca de la mitad que las otras. Lo anterior implica que la lechuga utiliza una mayor superficie en el cultivo, teniendo, por lo tanto, un mayor uso de tierra directo comparado con el tomate y la zanahoria.

Por otro lado, a partir de los resultados presentados se extrae que la huella ecológica del *upstream* asociado a la zanahoria tiene un menor aporte porcentual con un 15,4% del total en comparación al tomate y la lechuga, donde tiene un 31,2% y 24,2%. De hecho, se puede notar que el tomate y la lechuga tienen valores de la HE asociada al *upstream* mayores a 1 [ $m^2/kg$  hortaliza consumida], mientras que para la zanahoria el valor es de 0,48 [ $m^2/kg$  hortaliza consumida]. Esta diferencia se debe a dos razones principales: la forma de siembra y el consumo de agroquímicos.

Para el primer punto es necesario recordar que la zanahoria, a diferencia del tomate y la lechuga, se cultiva con siembra directa, es decir, no requiere de producción de plantines en almácigos previa al cultivo definitivo, sino que se siembra desde el inicio en su lugar definitivo. Luego, se puede notar que aunque este cambio se da en el *foreground*, también tiene implicancias en el *upstream*, ya que al no considerar la producción de plantines, se elimina la producción y traslado de los insumos asociados a esa etapa, como sustrato y fertilizantes.

Para la segunda razón, asociada al consumo de agroquímicos, se debe notar que en particular la zanahoria utiliza una menor masa y variedad de estos mismos respecto al tomate y la lechuga. Esto se debe principalmente a las características del sector en el que se produce, del cultivo en sí, y su fortaleza ante plagas y enfermedades.

Sumado a lo anterior, la zanahoria utiliza principalmente mezclas hortaliceras como fertilizantes, que tienen menores emisiones de  $CO_2$  y uso de electricidad en su producción respecto a otros fertilizantes, como por ejemplo la urea. De hecho, la zanahoria es la única de las tres hortalizas que no considera urea en su producción.

Respecto a este último punto, se debe mencionar y tener en consideración que en este estudio se utilizaron agroquímicos y valores de dosis referenciales de estos mismos. El tipo de agroquímico y las dosis se fijaron apoyadas por las fichas de costos de cada hortaliza, fichas técnicas de los agroquímicos e información bibliográfica respecto a los requerimientos de las plantas, sin embargo, la utilización de cada uno de ellos debe ser evaluada caso a caso, ya que depende del lugar y condiciones en las que se va a realizar el cultivo.

Ante la falta de información sobre pérdida y desperdicio de alimentos que hay en Chile, en los cálculos se utilizaron los mismos porcentajes de pérdida por etapa para las tres hortalizas, pero en la realidad esto no es así. Una de las razones por las que se realiza la siembra indirecta es que esto disminuye la pérdida de alimentos en la producción, por lo que en la realidad, el tomate y la lechuga deberían tener porcentajes de pérdida menores al de la zanahoria.

Considerando los errores mencionados se puede discutir respecto a la incertidumbre de los resultados obtenidos. Para hacerlo sería útil calcular el error y/o realizar un análisis de incertidumbre, pero obtener este valor es complejo debido a que la metodología de cálculo también lo es. Para hacerlo se tiene que conocer el error asociado a cada dato utilizado y hacer un estudio para identificar todas las etapas, insumos u otros que no fueron considerados en el trabajo, para así obtener un valor de incertidumbre proveniente de una propagación de errores. Ante esta dificultad, el cálculo no se realiza, pero se mencionan los aspectos más relevantes a tener en cuenta al analizar los resultados.

Al analizar los resultados también se debe recordar que la HE cuantifica solo emisiones de  $CO_2$ , dejando fuera a otros gases de efecto invernadero relevantes en la agricultura, como el  $N_2O$ , que es uno de los más relevantes en la descomposición y uso de fertilizantes. La inclusión de estas emisiones podría generar cambios importantes en el valor de la HE y la distribución porcentual entre niveles del ciclo de vida. No considerar este gas en la cuantificación del impacto implica que el valor asociado a emisiones está siendo subestimado.

Además del análisis de los resultados, es importante comparar los valores obtenidos con estudios realizados por otros autores. Carpintero (2005) mencionó en su estudio que al año 2000 el cultivo de hortalizas en España tenía una HE de 0,0072 [ha/habitante] [45]. Para hacer la comparación entre los valores primero se debe transformar el resultado obtenido en el presente trabajo, y para esto se considera una HE promedio entre las tres hortalizas estudiadas, el consumo de hortalizas por habitante de 227 [g/día].

A partir de lo antes descrito, se concluye que la HE promedio para las hortalizas estudiadas es de 4,05 [ $m^2/kg$  hortaliza consumida], lo que lleva a una HE de 0,034 [ha/hab], valor aproximadamente 4 veces mayor que el obtenido para España en el año 2000. El origen de esta diferencia puede tener múltiples razones, asociadas a metodología, datos disponibles a la fecha, entre otras. En este caso se identifica una razón principal asociada a los residuos, ya

que en el estudio español no se estudiaron los residuos generados, lo que modifica el balance de masa y disminuye la HE de la disposición.

Por otro lado, Lillywhite (2008) calcula la HE para diferentes productos agrícolas cultivados de forma convencional, concluyendo que la lechuga en invernadero y la zanahoria tienen una HE de 58,4 y 18,7 [ha] por cada hectárea de cultivo respectivamente [103].

De la misma forma que en el caso anterior, se realiza un cambio de unidades al resultado obtenido en este trabajo, mediante la utilización del rendimiento del cultivo de lechuga y de zanahoria, igual a 20.900 [kg lechuga/ha] y 40.510 [kg zanahoria/ha], obteniendo una HE de 4,39 y 7,07 [ha] por cada hectárea de cultivo, respectivamente.

La HE de la lechuga calculada en este estudio es cerca de 13 veces menor que la estimada por Lillywhite, mientras que la zanahoria se encuentra en el mismo orden de magnitud. La diferencia en el resultado se asocia a los distintos niveles de detalle que se utilizan en el cálculo y las fuentes de información de cada uno. En particular la diferencia en la lechuga se asocia también a que en este trabajo se asumió la producción al aire libre y no en invernadero, lo que involucra una diferencia en la infraestructura, cuidado de la hortaliza, entre otros.

Los resultados obtenidos son cercanos a los presentados en otros estudios y sirven como referencia para futuros trabajos que busquen calcular la HE con mayor nivel de detalle, o para la toma de decisiones respecto a cambios en la forma de producir y distribuir los alimentos consumidos hoy en día. Estos resultados permiten saber dónde poner la atención al momento de realizar cambios en el escenario actual. Mediante esta información se puede notar que, por ejemplo, el uso de electricidad no tiene un impacto mayor en las hortalizas, mientras que el rendimiento del cultivo o la cantidad de agroquímicos requeridos tienen aportes significativos.

Continuando con el último punto, se puede observar la relevancia del rendimiento del cultivo en la HE, que queda en evidencia al revisar los resultados presentados en la Tabla 5.11, donde la  $HE_{Directa}$  tiene un aporte entre el 31 % y 52 %, según la hortaliza, sobre la  $HE_{Total}$ .

También se puede ver la relevancia en la obtención de agua, que incluye el agua de pozos y de tratamiento de agua potable. El tratamiento de agua potable tiene una HE por  $m^3$  más de 5 veces mayor que la de la obtención de agua de pozo, lo que provoca que aunque el uso de agua potable sea menor, puede tener el mismo impacto sobre la  $HE_{Total}$ . Lo anterior muestra que la HE de las hortalizas es sensible al uso de agua, en particular con calidad potable, y, por lo tanto, sensible a la fuente de la que esta proviene.

Respecto a este último punto es importante notar que hay más de una medida que se puede tomar para disminuir la HE del uso de agua. Se puede modificar la fuente de obtención (de pozo o potable) y el volumen de agua utilizado, que depende del requerimiento para riego, los agroquímicos y la tecnología de riego que se use.

Por otro lado, se puede observar el aporte de la disposición de residuos, que se da principalmente por la disposición de los residuos de cosecha y de consumo domiciliario. Esto se debe a que son las etapas con mayor pérdida másica de alimentos, además de que ambas usan la quema y relleno sanitario como principales métodos de disposición, que tienen mayor

HE que la incorporación al suelo o alimentación animal.

Finalmente, se puede notar que el traslado desde la producción hasta el mercado Lo Valledor, y desde este último hasta el lugar de consumo, también tiene un impacto relevante en la HE. Estos transportes representan cerca del 35% de la HE del *foreground* para los alimentos que se producen en regiones más lejanas a la RM, como es el caso de la zanahoria, por lo que la disminución de las distancias puede ser relevante para el estudio.

# Capítulo 6

## Escenario propuesto: Producción orgánica

Luego de calcular la HE actual, se propone un nuevo escenario para la producción y distribución de hortalizas consumidas en la RM, que responda a uno de los cambios más mencionados hoy en día: la agricultura orgánica. Este escenario tiene como fin modificar la forma de cultivo, pasando de lo convencional a lo orgánico, manteniendo la escala de producción y distribución que se tiene actualmente.

A grandes rasgos, la agricultura orgánica tiene como objetivo la producción de alimentos con insumos y técnicas enfocadas en el cuidado del ecosistema. En este capítulo se plantean las características principales de este escenario propuesto, presentando el análisis de inventario de las etapas en las que se realizan cambios, para finalmente cuantificar la HE y presentar los resultados de este cálculo, acompañados de un análisis y discusiones parciales.

En términos metodológicos, la evaluación de este cambio comienza con la segunda fase del análisis de ciclo de vida, ya que el objetivo, unidad funcional y límites del sistema se mantienen para este escenario propuesto.

### 6.1. Características de la producción orgánica

El escenario actual contempla una producción con cultivo convencional, que conlleva la utilización de agroquímicos de origen sintético, quema de residuos, labranza del suelo, entre otros, que son insumos y actividades generalmente asociadas a altos impactos medio ambientales. La producción orgánica busca disminuir o eliminar estos puntos, ya que tiene como fin el cuidado del ecosistema mediante la minimización de la intervención humana sobre él.

En Chile la agricultura orgánica es regida por la Ley 20.089, en la que se detallan las características requeridas para que los productos agrícolas sean certificados como orgánicos, enfocándose principalmente en la producción, envasado y manejo de los alimentos. Esta ley define los productos orgánicos agrícolas como:

“Aquellos provenientes de sistemas holísticos de gestión de la producción en el ámbito agrícola, pecuario o forestal, que fomenta y mejora la salud del agroecosistema y, en particular, la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.”

A partir de esta definición se detallan los requerimientos para que un producto sea considerado orgánico. Actualmente, Chile cuenta con cuatro entidades registradas en el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para entregar la certificación de producto orgánico. Estas empresas pueden realizar el procedimiento para acreditar a un productor, siempre ateniéndose a la Norma Chilena de Producción Orgánica [104, 105].

En general, el proceso de acreditación puede demorar algunos años, ya que se debe cumplir con una serie de requisitos para la aprobación de una producción orgánica, entre ellos haber cultivado de forma orgánica por un mínimo de 2 o 3 años, por lo que este sería un plazo mínimo para obtenerlo [106].

En Chile los cultivos orgánicos son poco comunes. Al 2019 abarcaban menos del 1 % de la superficie agrícola a nivel nacional, y la mayor parte de su producción era destinada a la exportación. Por esto mismo, la disponibilidad de datos acerca de la producción de alimentos orgánicos dentro del país es baja [107, 108].

Teniendo en cuenta esto último, para realizar la cuantificación de la HE se utilizarán los manuales asociados a cultivos orgánicos en diferentes países y la información entregada por el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas.

En primer lugar, se debe identificar las etapas en las que se deben realizar modificaciones para que el cultivo cumpla con los lineamientos mencionados. Los puntos a considerar para pasar a una agricultura orgánica son los siguientes:

1. Rendimiento del cultivo: El cultivo orgánico tiene generalmente un rendimiento entre 10 % a 20 % más bajo que el de un cultivo convencional [106].
2. Uso de agroquímicos: Se debe ajustar a la lista de fertilizantes y plaguicidas aprobados en Chile para productos orgánicos, y presentados en el Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas.
3. Sustrato utilizado para la producción de plantines: La producción debe ser realizada con sustratos orgánicos, adaptando también las proporciones en que son utilizados.
4. Tipo de semillas: Las semillas utilizadas para la siembra de las especies también debe provenir de un cultivo orgánico.
5. Preparación del suelo: Esta forma de agricultura minimiza el laboreo y fomenta la rotación de cultivos para mantener o aumentar la actividad biológica y materia orgánica presente en la tierra, por lo que se debe modificar las técnicas utilizadas y el tiempo de uso de maquinaria.
6. Uso de agua: La agricultura orgánica requiere que el agua utilizada para riego no comprometa la condición de orgánica de la planta. Además, prioriza su uso eficiente mediante técnicas que permitan evitar la degradación del ecosistema.
7. Disposición de residuos: El manejo orgánico de los residuos no admite la quema como una forma de disposición, por lo que se debe modificar el destino de estos en la cosecha y

poscosecha. En general los residuos son compostados, incorporados al suelo o utilizados como alimento animal.

En la Figura 6.1 se identifican en color amarillo las etapas del proceso en que se verán reflejados los cambios respecto al caso base.

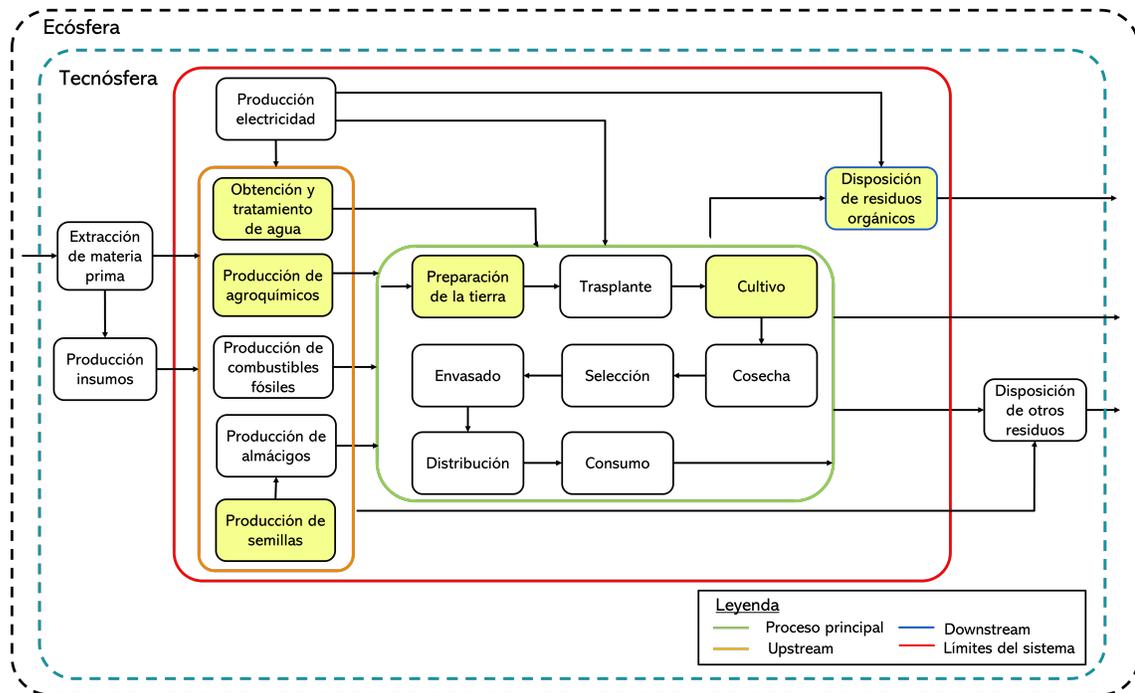


Figura 6.1: Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico.

Sabiendo lo anterior, en las siguientes secciones se detallan los datos a utilizar en el escenario propuesto, que se pueden complementar con la información en el Anexo Ñ.

### 6.1.1. Rendimiento del cultivo

Diferentes estudios plantean como hipótesis que los cultivos orgánicos tienen un menor rendimiento que los convencionales. Esto se justifica por diferentes razones, entre las que se encuentran la densidad de plantación, el manejo de plagas y enfermedades y el uso de agua.

En 2012 se realizó un estudio en Europa que compiló la comparación de rendimientos de 382 cultivos orgánicos y convencionales. En él se concluye que los cultivos orgánicos producen, en promedio, un 80 % del convencional, y presentan los datos para algunos alimentos en particular. Los valores utilizados para el cultivo orgánico de las hortalizas representativas de este estudio se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Relación entre el rendimiento de cultivo orgánico (O) sobre el convencional (C) y valor final del rendimiento para cada especie [106].

Hortaliza	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad
Relación O/C	0,81	0,86	0,89	[-]
Rendimiento	32.400	17.974	36.054	[kg/ha]

### 6.1.2. Requerimiento de agua

El requerimiento de agua en un cultivo orgánico cambia por diferentes razones, como las condiciones climáticas y las características del suelo. Para este escenario es necesario enfocarse en la segunda.

La producción orgánica generalmente aumenta la capacidad de la tierra para almacenar agua. Además, en este tipo de producción es común utilizar cubiertas vegetales sobre los cultivos para disminuir la evaporación de agua desde el suelo, por lo que, teniendo en cuenta estos factores, se asume que el requerimiento hídrico de las hortalizas cambia, ya que el suelo almacena un mayor volumen de agua y, mediante el uso de cubiertas vegetales, se disminuye la evaporación.

Estos cambios se representan mediante el coeficiente de cultivo,  $K_C$ , por lo que en la Tabla 6.2 se presentan los datos utilizados en este escenario.

Tabla 6.2: Valores de coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) utilizados para cada hortaliza en las cuatros etapas fenológicas en producción orgánica.

Etapa	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Inicial	0,42	0,42	0,42
Desarrollo	0,63	0,50	0,63
Media	0,95	0,81	0,87
Maduración	0,72	0,81	0,81

Teniendo esto, la Tabla 6.3 presenta el requerimiento de agua para cada hortaliza en el caso de producción orgánica, además del convencional para facilitar la comparación.

Tabla 6.3: Uso de agua para cada hortaliza en agricultura convencional (caso base) y orgánica.

Hortaliza	Convencional	Orgánica	Unidad
Tomate	0,19	0,20	[ $m^3$ /kg hortaliza]
Lechuga	0,11	0,05	
Zanahoria	0,26	0,25	

El cambio a agricultura orgánica provoca un requerimiento de agua menor por hectárea, pero ya que tiene un rendimiento menor al del convencional, el uso por unidad de masa puede ser igual o mayor. Para más detalles respecto a la cuantificación del requerimiento de agua en el caso orgánico se puede revisar el Anexo Ñ.1

### 6.1.3. Agroquímicos

El uso de agroquímicos es uno de los principales cambios que se dan al pasar de una agricultura convencional a orgánica, ya que se eliminan todos los insumos de origen sintético, que son ampliamente usados en Chile.

En la fertilización de cultivos orgánicos es común la utilización de compost, guano y roca fosfórica, y los tres se encuentran aprobados por el Sistema Nacional de Certificación de Producción de Orgánicos.

Considerando que la información respecto al funcionamiento de los cultivos orgánicos en Chile es escasa, entonces se asume el uso de ciertos fertilizantes, eligiendo los más comunes y complementándolos con aquellos que puedan aportar los nutrientes necesarios para el cultivo.

Se calcula las dosis según los requerimientos de cada hortaliza, por lo que se debe tener en cuenta que los fertilizantes utilizados y sus dosis son solo referenciales y para efectos del cálculo de la HE. Las Tablas 6.4 y 6.5 presentan la composición de los fertilizantes seleccionados y su lugar de origen, y la dosis utilizada para cada hortaliza respectivamente.

Tabla 6.4: Composición de fertilizantes orgánicos utilizados en los cultivos y lugar de origen para cada uno.

Fertilizante	N [%]	P [%]	K [%]	Origen	Referencia
Compost	0,6	0,4	0,2	Valparaíso	[109]
Harina de sangre	14	0	0	EE.UU	[110]
Sulfato de potasio	0	0	52	Antofagasta	[111]
Guano rojo	1	11,5	1	-	[112]
Estiércol estabilizado	2,0	-	-	-	[110]

El guano rojo y estiércol estabilizado, provenientes de los excrementos de aves u otros animales, se asume que son producidos en el mismo lugar del cultivo o alrededores, por lo que no se considera un país o región de origen.

Tabla 6.5: Dosis de fertilizantes utilizados para cada cultivo [kg/ha]. Calculado en Anexo Ñ.2 .

Fertilizante	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Compost	1.900	3.975	349
Harina de sangre	375	508	569
Sulfato de potasio	570	273	194
Guano rojo	-	-	444
Estiércol estabilizado	8625,1	8625,1	-

Para el caso del estiércol compostado y el guano rojo no se tiene un mercado claro y detallado, ya que gran parte de lo utilizado lo producen los mismos agricultores que cuentan con animales en el lugar. En caso de no tenerlos, se asume que se compran en alrededores. Debido a lo anterior, no se considera transporte de este fertilizante.

Respecto a la dosis de cada uno, la masa de fertilizantes para el cultivo se calcula en función del requerimiento de nutrientes que tiene el suelo, mientras que la del estiércol estabilizado, que es usada para la producción de plantines, se basa en la dosis de nitrógeno máxima que se puede aplicar.

Es importante mencionar que el cambio de fertilizantes podría ser más complejo que lo antes descrito. Puede ocurrir que la ingesta efectiva de la planta no sea igual al utilizar un fertilizante orgánico respecto a uno sintético, sin embargo, no se tiene información detallada sobre las dosis aplicadas en este tipo de cultivos, por lo que se decide mantener la masa requerida de cada nutriente, pues esto permite normalizar el cambio.

Por otro lado, para combatir y manejar las enfermedades o plagas que puedan aparecer en los cultivos, la producción convencional usa insecticidas, herbicidas, fungicidas, entre otros, mientras que la agricultura orgánica plantea una serie de medidas para manejarlas, tal que no provoquen un daño en los cultivos. El detalle de estas medidas se presenta en Anexo Ñ.3.

Aunque se busca priorizar el uso de medidas que no involucren agroquímicos, el SAG entrega una lista de productos comerciales para manejar las plagas y enfermedades autorizados para uso en cultivos orgánicos. Uno de los más comunes es el jabón potásico, por lo que se considerará su uso para las tres hortalizas, con la dosis recomendada por la ficha técnica. En ella se define una dosis única, sin diferenciar en el tipo de cultivo, igual a 6 [kg/ha].

#### **6.1.4. Semillas**

La producción de hortalizas orgánicas requiere que las semillas con las que son producidas también sean certificadas como orgánicas, por lo que se debe analizar su producción y mercado.

La ODEPA en 2014 realizó un estudio del mercado mundial y nacional de las semillas orgánicas, en el que concluyó que el mercado nacional se abastece de forma interna, ya que la importación de semillas a Chile es baja.

El mismo estudio declara que las semillas orgánicas producidas en Chile son principalmente exportadas, ya que solo el 10% de la producción se queda en el país y el otro 90% es exportado a lugares como Estados Unidos y la Unión Europea. A partir de estos datos, se asume que las semillas orgánicas son producidas en Chile [113].

Por otro lado, al tener una producción orgánica también cambiará el porcentaje de germinación de las semillas, así como el rendimiento en la producción de semillas y la cantidad de semillas por gramo. Mediante bibliografía se definieron los valores presentados en la Tabla 6.6 para las tres especies estudiadas.

Tabla 6.6: Datos para la producción de semillas orgánicas.

Hortaliza	Germinación [%]	Rendimiento [kg/ha]	Semillas [semillas/g]	Referencia
Tomate	85 %	170	425	[114]
Lechuga	85 %	533	800	[115]
Zanahoria	81 %	1000	690	[116]

Al igual que en el caso de las semillas producidas de forma convencional, se asume que la  $HE$  asociada a las emisiones de  $CO_2$  tiene un valor poco significativo en comparación a la  $HE_{CO_2}$  de otras etapas y la  $HE_{Directa}$  de la producción de semillas, por lo que las emisiones no serán calculadas.

Finalmente, por falta de información para la  $HE_{EE}$  tampoco se identifica un cambio y, considerando que en el caso base el impacto fue más de dos órdenes de magnitud menor respecto a la  $HE_{Directa}$ , se puede asumir que no marcará una diferencia, por lo que se decide mantener el mismo valor del caso base.

### 6.1.5. Preparación de suelo

Tal como se mencionó antes, la producción orgánica minimiza la labranza y prioriza las técnicas menos invasivas, además de incluir la incorporación de residuos generados en el cultivo anterior, como una forma de abono y de cubierta vegetal, que permite nutrir el suelo, evitar la pérdida de agua por evaporación, la escorrentía, erosión, entre otros.

A partir de esto, los tiempos de uso del tractor disminuyen y, al modificar las técnicas, cambia la eficiencia de las tareas a realizar, por lo que en la Tabla 6.7 se dejan los datos asociados a la utilización del tractor en el caso orgánico, y en la Tabla 6.8 los datos de eficiencia de cada actividad de preparación del suelo.

Tabla 6.7: Uso de tractor en producción orgánica.

Actividad	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad
Arado cincel	2	2	2	[ha]
Acequiadora	1	1	1	
Pulverizadora	2	2	1	
Sembradora	-	-	1	

Tabla 6.8: Eficiencia en actividades de preparación de suelo en producción orgánica.

Actividad	Eficiencia
Arado cincel	0,13
Rastra tandem	0,16
Acequiadora	0,16
Pulverizadora	0,31
Sembradora	1,00

En la producción convencional se utiliza generalmente arado de discos o vertederas, pero para los cultivos orgánicos se sugiere priorizar el arado de cincel, por lo que se asume el uso de este último para el presente escenario.

### 6.1.6. Disposición de residuos

Respecto a la disposición de residuos, para que un producto sea considerado orgánico, debe eliminar la quema de rastrojos en los cultivos y ser reemplazado por técnicas con menor impacto, por lo que se debe modificar la distribución en la disposición de residuos.

Los lineamientos expresados por el SAG mencionan el compostaje como una de las mejores alternativas para la disposición de residuos, además de la incorporación al suelo. En el caso convencional esta última es utilizada comúnmente, pero el compostaje se realiza con menor frecuencia.

En la evaluación del escenario propuesto, los residuos de cosecha que antes eran quemados, ahora se asumirá que son compostados. Por su lado, para los residuos de poscosecha actualmente se prioriza la incorporación al suelo y la alimentación animal, además de un 3% que va a relleno sanitario. No hay quema en esta etapa, por lo que para integrar el compostaje, se considera que la mitad del porcentaje asociado a alimentación animal ahora es compostado. Los demás porcentajes se mantendrán respecto al escenario actual según el Anexo C.3.

La Tabla 6.9 detalla la distribución de los residuos en cada etapa para las tres hortalizas representativas del estudio.

Tabla 6.9: Distribución de los residuos en la producción orgánica de tomate.

<b>Etapa</b>	<b>Destino</b>	<b>Tomate</b>	<b>Lechuga</b>	<b>Zanahoria</b>
<b>Cosecha</b>	Relleno sanitario	0 %	44 %	0 %
	Compost	60 %	10 %	52 %
	Incorporación al suelo	8 %	4 %	9 %
	Alimentación animal	32 %	42 %	37 %
<b>Selección</b>	Relleno sanitario	3 %	3 %	3 %
	Incorporación al suelo	41 %	41 %	41 %
	Compost	28 %	28 %	28 %
	Alimentación animal	28 %	28 %	28 %
<b>Mercado</b>	Relleno sanitario	100 %	100 %	100 %
<b>Consumo</b>	Relleno sanitario	96 %	96 %	96 %
	Alimentación animal	1,8 %	1,8 %	1,8 %
	Quema	2 %	2 %	2 %

### 6.1.7. Producción de plantines

En la producción de plantines los cambios se dan principalmente en los sustratos, fertilizantes y requerimiento de semillas. La modificación de cada uno es detallada a continuación.

### 6.1.7.1. Sustrato

La producción de plantines requiere sustratos para conformar el lecho en que germinarán las semillas. Para el caso convencional se usaba perlita y turba, que son sustratos que se encuentran en la lista de productos permitidos para un cultivo orgánico, por lo que se podría mantener la misma composición, sin embargo, se debe considerar que la agricultura orgánica tiende a usar más el compost, por lo que se agrega este último [110, 104].

En el caso base se utilizó 80 % del volumen de la bandeja con turba y 20 % con perlita. En este escenario se considera un 50 % volumétrico de compost, 25 % de turba y 25 % de perlita. Estos valores se definen a partir de un estudio realizado en Chile para evaluar la mezcla y proporciones de sustratos que logran obtener un mejor rendimiento para la producción plantines de hortalizas [117].

### 6.1.7.2. Fertilizante

En el caso convencional se consideraba el uso de un fertilizante comercial, llamado Ultrasol, pero este no tiene origen orgánico, sino sintético, por lo tanto, no se encuentra en la lista de fertilizantes aceptados para los productos orgánicos. Sabiendo esto, en este escenario se asume el uso de estiércol estabilizado o compostado como fertilizante para los plantines.

La cantidad de estiércol estabilizado utilizada se define basándose en el “Manual de cultivos para la para la Huerta Orgánica Familiar” del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina, y la dosis máxima permitida de nitrógeno en la tierra, igual a 170 [kg/ha].

A partir de la información anterior, se define una dosis de estiércol estabilizado de 0,86 [kg/m<sup>2</sup>] en la producción de plantines.

### 6.1.7.3. Requerimiento de semillas

Por último, se considera un cambio en el requerimiento de semillas ya que en la producción orgánica cambia el poder germinativo de las mismas y, por lo tanto, se debe calcular la dosis de semillas requerida para abastecer la producción orgánica.

En la Tabla 6.10 se presenta el poder germinativo de las semillas de las hortalizas representativas con cultivo convencional y orgánico, además de presentar la dosis requerida para este último.

Tabla 6.10: Poder germinativo para las hortalizas representativas del estudio y dosis requerida en caso orgánico.

Hortaliza	Convencional [%]	Orgánico [%]	Dosis [g semilla/m <sup>2</sup> ]
Tomate	85 %	74 %	2,61
Lechuga	85 %	86 %	3,46
Zanahoria	82 %	80 %	0,33

### **6.1.8. Merma en producción**

El manejo de plagas y enfermedades en los cultivos orgánicos en Chile aún tiene complicaciones debido a la limitada oferta de productos que pueden ser utilizados en este tipo de producción. Debido a esto, en la producción y manejo de los cultivos se tiene una pérdida de alimentos mayor a la del caso convencional.

Según un estudio realizado para la lechuga en el año 2019 en Costa Rica, la pérdida másica en la producción aumenta en un 4% y en la poscosecha un 8%, por lo que se considerará que la pérdida en estas etapas aumentará.

Aunque los datos mencionados fueron obtenidos para la lechuga, se debe recordar que en el caso convencional la pérdida y desperdicio se asumió igual para las tres hortalizas estudiadas, por lo que ahora, en el caso orgánico, también se asumirá el aumento en la pérdida para las tres.

Por su lado, la pérdida de plantines se mantendrá igual a la del caso convencional, equivalente a un 5%, ya que no se encontró información que evidenciara un cambio al pasar a la producción orgánica.

Para expresar estos cambios se realiza el balance de masa nuevamente en estas etapas, y los resultados del balance de masa se presentan en el Anexo N.

### **6.1.9. Resumen cambios de convencional a orgánico**

Para terminar la caracterización del cultivo orgánico, se presenta un resumen para las etapas en las que se presentaron cambios. Para esto, en la Tabla 6.11 se encuentran las modificaciones del cultivo del tomate orgánico respecto a lo que se tenía en el caso convencional. Este se deja como un ejemplo, el resumen para la lechuga y zanahoria puede ser encontrado en el Anexo Ñ.7.

Tabla 6.11: Resumen de cambios para el cultivo de tomate al pasar de la agricultura convencional a orgánica.

<b>Etapa</b>	<b>Detalle</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Preparación de suelo</b>	Uso de maquinaria	12	5	[ha]
	Uso de diésel	0,06	0,002	[L/kg tomate consumido]
<b>Cultivo</b>	Rendimiento del cultivo	40.000	32.400	[kg/ha]
	Uso agua de riego	0,185	0,195	[m <sup>3</sup> /kg tomate]
	Masa de agroquímicos	860	2.844	[kg/ha]
<b>Producción de plantines</b>	Masa semillas requerida	3,00	2,61	[g/m <sup>2</sup> ]
	Uso de agua de riego	28,79	30,77	[L/g semilla]
	Uso de sustrato	0,21	0,18	[kg/kg tomate consumido]
	Uso de fertilizante	180	170	[kg/ha]
<b>Producción de semillas</b>	Rendimiento de semillas	170	200	[kg/ha]
<b>Disposición de residuos</b>	Para la cosecha:			
	- Relleno sanitario	-	-	[ %]
	- Compost	-	60	[ %]
	- Incorporar al suelo	8	8	[ %]
	- Alimentación animal	32	32	[ %]
	- Quema	60	-	[ %]
	Para la selección:			
	- Relleno sanitario	3	3	[ %]
	- Compost	-	28	[ %]
	- Incorporar al suelo	41	41	[ %]
- Alimentación animal	56	28	[ %]	
- Quema	-	-	[ %]	
<b>Merma producción</b>	Merma cultivo	15,4	19,4	[ %]
	Merma selección	14,3	22,3	[ %]

## 6.2. Resultados para cultivo orgánico

En esta sección se presentan los resultados de la cuantificación de la HE para las tres hortalizas representativas con una producción orgánica.

### 6.2.1. Tomate

Las Tablas 6.12 y 6.13 presentan los resultados por término de la ecuación y nivel de detalle respectivamente, para 1 kg de tomate consumido en la RM con producción orgánica. La Figura 6.2 compara la distribución de la HE en el caso convencional y el orgánico.

Tabla 6.12: Resultados del cálculo de HE para 1 kg de tomate consumido en la RM con producción orgánica.

Huella Ecológica	Convencional	Orgánico	Unidad
Directa	1,25	1,75	$[m^2/kg \text{ tomate consumido}]$
$CO_2$	2,38	1,36	$[m^2/kg \text{ tomate consumido}]$
Electricidad	0,36	0,27	$[m^2/kg \text{ tomate consumido}]$
<b>Total</b>	<b>4,00</b>	<b>3,38</b>	<b><math>[m^2/kg \text{ tomate consumido}]</math></b>

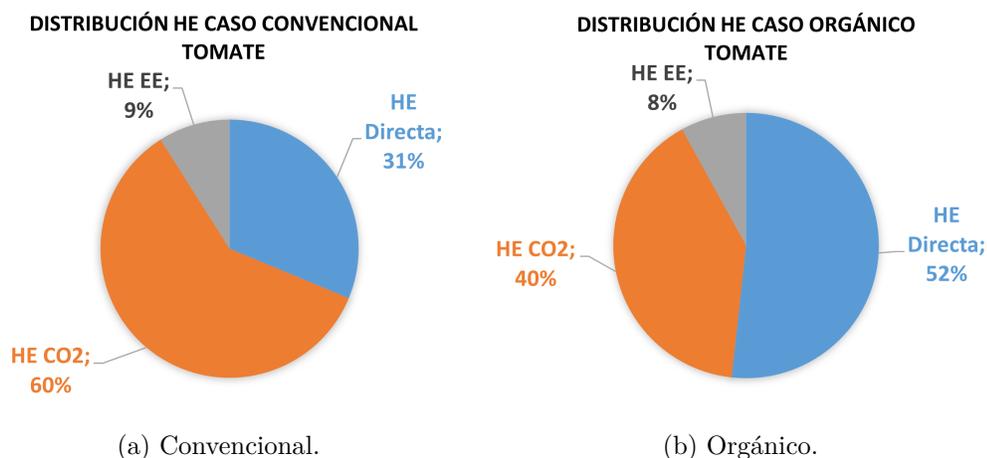


Figura 6.2: Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de tomate convencional y orgánico.

Tabla 6.13: HE por nivel para 1 kg de tomate consumido en la RM con producción orgánica. La HE se presenta en  $[m^2/kg \text{ tomate consumido}]$ .

Resumen HE tomate con producción convencional y orgánica					
Nivel	Término	Convencional		Orgánico	
		HE	Aporte	HE	Aporte
Upstream	$HE_{Directa}$	0,03	0,71 %	0,03	0,96 %
	$HE_{CO_2}$	0,91	22,77 %	0,56	16,46 %
	$HE_{EE}$	0,31	7,85 %	0,22	6,59 %

<b>Foreground</b>	$HE_{Directa}$	1,21	30,24 %	1,70	50,29 %
	$HE_{CO_2}$	0,49	12,32 %	0,37	11,05 %
	$HE_{EE}$	0,04	1,05 %	0,04	1,24 %
<b>Downstream</b>	$HE_{Directa}$	0,02	0,40 %	0,02	0,49 %
	$HE_{CO_2}$	0,98	24,58 %	0,43	12,76 %
	$HE_{EE}$	0,003	0,09 %	0,006	0,17 %

Además de los resultados anteriores, en la Figura 6.3 se presenta la distribución de la HE para el *upstream*, *foreground* y *downstream*.

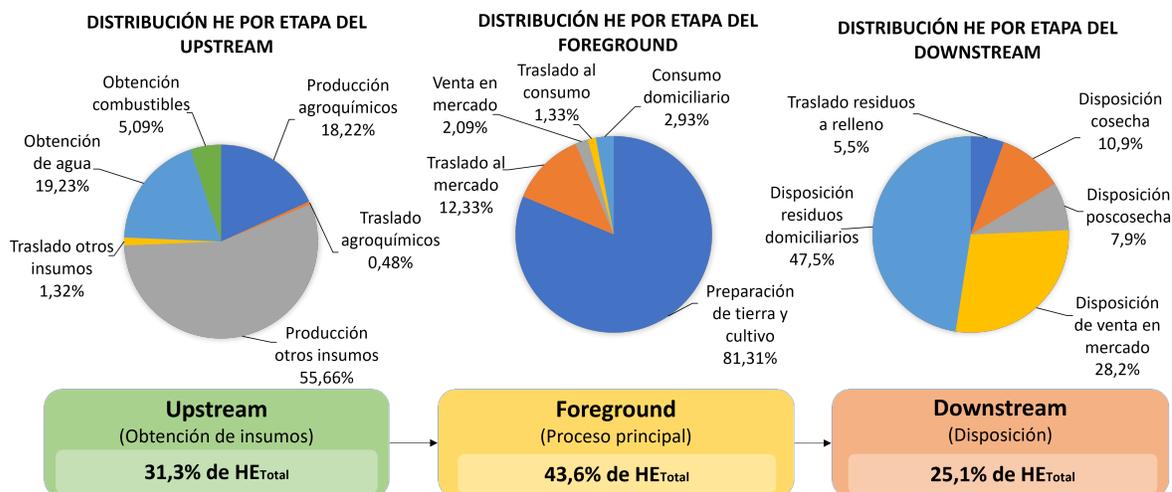


Figura 6.3: Distribución de resultados de la HE del tomate con producción orgánica.

## 6.2.2. Lechuga

Pasando a la lechuga, las Tablas 6.14 y 6.15 presentan los resultados por término de la ecuación de la HE y nivel de detalle respectivamente, para 1 kg de lechuga consumida en la RM con producción orgánica. La Figura 6.4 muestra la distribución porcentual dependiendo del término de la ecuación, comparando el caso convencional y orgánico.

Tabla 6.14: Resultados del cálculo de HE para 1 kg de lechuga consumida en la RM con producción orgánica.

Huella Ecológica	Convencional	Orgánico	Unidad
Directa	2,35	3,11	$[m^2/kg$ lechuga consumida]
$CO_2$	1,57	1,22	$[m^2/kg$ lechuga consumida]
Electricidad	0,61	0,40	$[m^2/kg$ lechuga consumida]
<b>Total</b>	<b>4,53</b>	<b>4,72</b>	<b><math>[m^2/kg</math> lechuga consumida]</b>

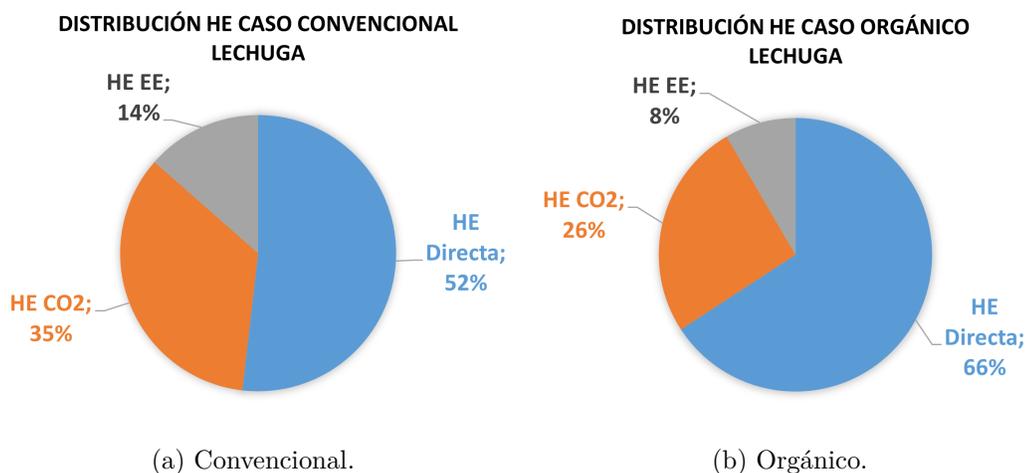


Figura 6.4: Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de lechuga convencional y orgánica.

Tabla 6.15: Resultados por nivel para 1 kg de lechuga consumida en la RM. La HE se presenta en [ $m^2/kg$  lechuga consumida].

Resumen HE lechuga con producción convencional y orgánica					
Nivel	Término	Convencional		Orgánico	
		HE	Aporte	HE	Aporte
Upstream	$HE_{Directa}$	0,005	0,11 %	0,005	0,11 %
	$HE_{CO_2}$	0,62	13,69 %	0,55	11,57 %
	$HE_{EE}$	0,43	9,50 %	0,21	4,50 %
Foreground	$HE_{Directa}$	2,32	51,20 %	3,08	65,14 %
	$HE_{CO_2}$	0,39	8,55 %	0,22	4,73 %
	$HE_{EE}$	0,18	3,96 %	0,18	3,80 %
Downstream	$HE_{Directa}$	0,02	0,53 %	0,03	0,56 %
	$HE_{CO_2}$	0,56	12,40 %	0,45	9,47 %
	$HE_{EE}$	0,003	0,06 %	0,005	0,10 %

Para tener un análisis más detallado de lo que está ocurriendo, la Figura 6.5 presenta la distribución de la HE por etapa para el *upstream*, *foreground* y *downstream*.

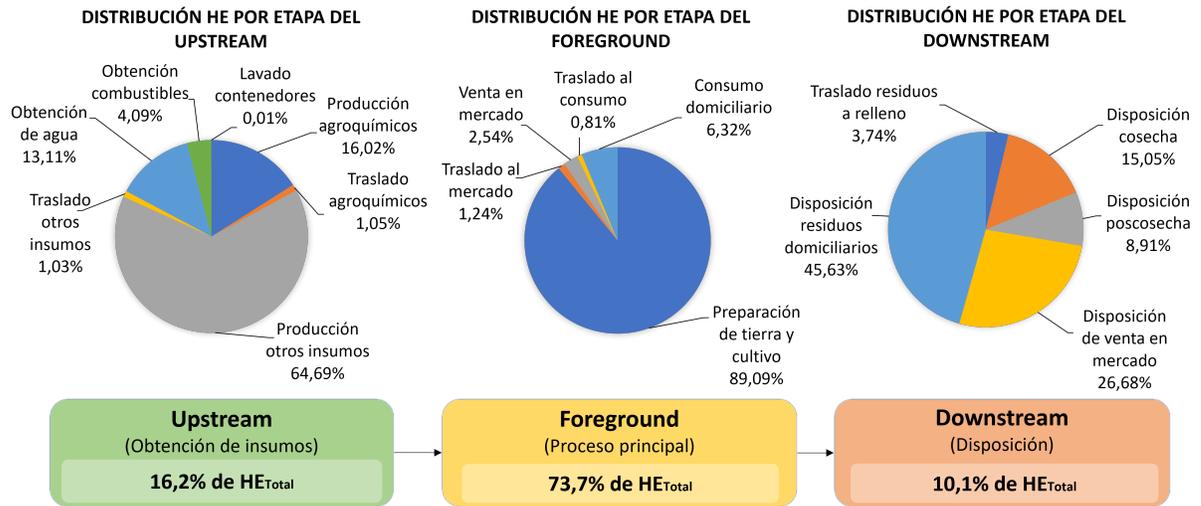


Figura 6.5: Distribución de resultados de la HE de la lechuga con producción orgánica.

### 6.2.3. Zanahoria

Finalmente, las Tablas 6.16 y 6.17 presentan los resultados para la zanahoria, divididos por término de la ecuación y nivel de detalle respectivamente, para 1 kg de zanahoria consumida en la RM con producción orgánica. La Figura 6.6 presenta la distribución de la HE según término de la ecuación para el caso orgánico y convencional.

Tabla 6.16: Resultados del cálculo de HE para 1 kg de zanahoria consumida en la RM con producción orgánica.

Huella Ecológica	Convencional	Orgánico	Unidad
Directa	1,15	1,48	$[m^2/kg$ zanahoria consumida]
$CO_2$	2,30	1,57	$[m^2/kg$ zanahoria consumida]
Electricidad	0,17	0,17	$[m^2/kg$ zanahoria consumida]
<b>Total</b>	<b>3,62</b>	<b>3,22</b>	<b><math>[m^2/kg</math> zanahoria consumida]</b>

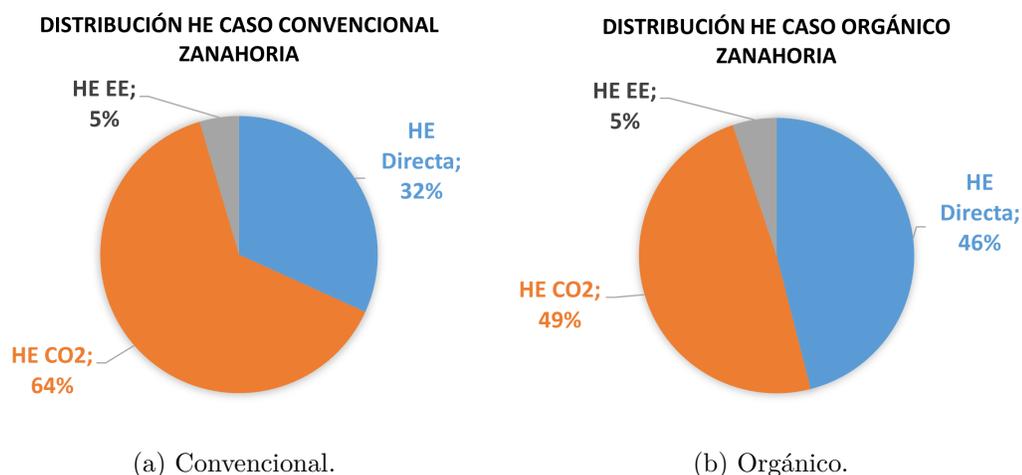


Figura 6.6: Comparación de distribución de resultados según los términos en el cálculo de HE de zanahoria convencional y orgánica.

Tabla 6.17: Resultados por nivel para 1 kg de zanahoria consumida en la RM con producción orgánica. Los valores de HE se presentan en [ $m^2/kg$  zanahoria consumida].

Resumen HE zanahoria con producción convencional y orgánica					
Nivel	Término	Convencional		Orgánico	
		HE	Aporte	HE	Aporte
Upstream	$HE_{Directa}$	0,001	0,02 %	0,001	0,02 %
	$HE_{CO_2}$	0,37	10,19 %	0,24	7,33 %
	$HE_{EE}$	0,11	3,13 %	0,11	3,47 %
Foreground	$HE_{Directa}$	1,14	31,55 %	1,48	45,91 %
	$HE_{CO_2}$	1,03	28,51 %	0,92	28,50 %
	$HE_{EE}$	0,05	1,36 %	0,05	1,52 %
Downstream	$HE_{Directa}$	0,01	0,24 %	0,003	0,08 %
	$HE_{CO_2}$	0,90	24,92 %	0,42	12,99 %
	$HE_{EE}$	0,004	0,10 %	0,006	0,18 %

Para complementar el análisis, la Figura 6.7 presenta la distribución de la HE en cada nivel del estudio.

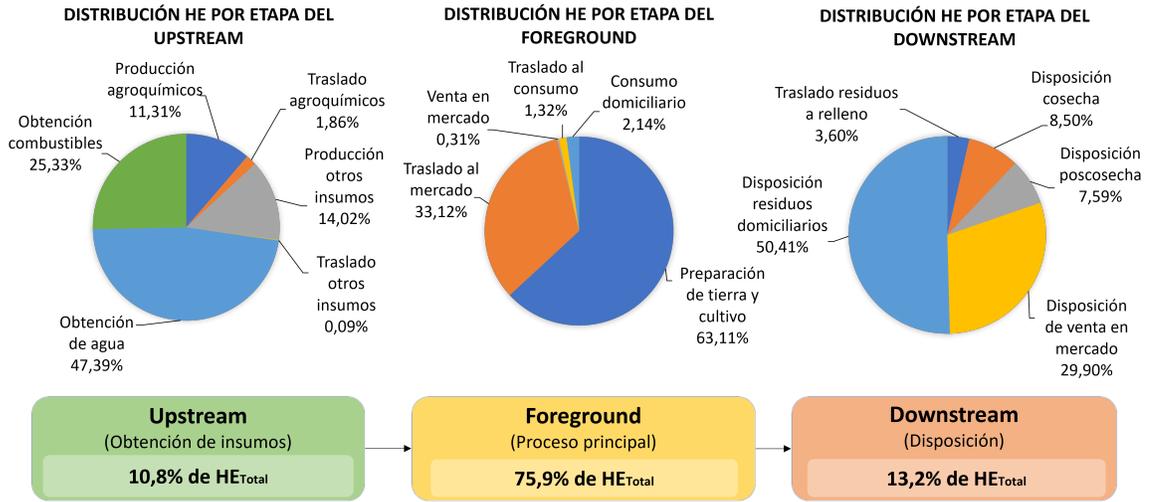


Figura 6.7: Distribución de resultados de la HE de la zanahoria con producción orgánica.

El detalle de los resultados para las tres hortalizas se puede encontrar en el Anexo O.

### 6.3. Resumen resultados para la producción orgánica

Para terminar, en la Tabla 6.18 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la cuantificación de la HE de la producción orgánica de las tres hortalizas representativas, comparados con los obtenidos para el caso convencional.

Resumen HE con producción convencional y orgánica						
Parámetro	Lechuga		Tomate		Zanahoria	
	C	O	C	O	C	O
$HE_{Directa}$	2,35	3,11	1,25	1,75	1,15	1,48
$HE_{CO_2}$	1,57	1,22	2,39	1,36	2,30	1,57
$HE_{EE}$	0,61	0,40	0,36	0,27	0,17	0,17
$HE_{Total}$	4,53	4,72	4,00	3,38	3,62	3,22

Tabla 6.18: Resumen de resultados de HE para las tres hortalizas representativas. Los valores se presentan en [ $m^2/kg$  hortaliza consumida].

Entonces, en la producción orgánica la  $HE_{Total}$  de la lechuga tiene un aumento del 4,2% respecto al escenario actual, mientras que la del tomate y la zanahoria disminuyen en un 15,5% y un 11% respectivamente.

### 6.4. Análisis de resultados y discusiones parciales

A partir de los resultados obtenidos en este capítulo se pudo notar que la producción orgánica de tomate y zanahoria tienen una HE menor a la de la producción convencional en un 15 y 11% respectivamente, mientras que en el caso de la lechuga se tiene un aumento del 4%.

En las tres hortalizas se tiene un aumento en la  $HE_{Directa}$  respecto al caso convencional. Para la lechuga el aumento fue de un 32 %, para el tomate un 40 % y para la zanahoria un 29 %, siendo entonces el tomate el que tiene un mayor aumento en términos del uso directo del suelo. Esto se ajusta a lo esperado, ya que el tomate fue el que tuvo una mayor reducción en el rendimiento al pasar a la producción orgánica.

Teniendo en cuenta que aunque la  $HE_{Directa}$  aumenta un 29 % o más para las tres hortalizas, pero que para dos de ellas el valor de la  $HE_{total}$  disminuye, entonces se puede asumir que hay una mayor variación en la HE asociada a los otros dos términos de la ecuación, enfocados en las emisiones de  $CO_2$  y el uso de electricidad.

Al analizar los resultados relacionados con este último punto, se puede notar que, en el caso convencional para la zanahoria y el tomate, el término que predomina en el valor de la  $HE_{Total}$  es el del  $HE_{CO_2}$  y, al pasar a una producción orgánica, es justamente este último el que sufre el mayor cambio, con una disminución del 32 % y 43 % respectivamente. Esto explica que, aunque la  $HE_{Directa}$  aumenta en ambas hortalizas, la  $HE_{Total}$  es menor respecto al caso convencional, ya que la disminución de las emisiones predomina en su valor final.

El tomate y la zanahoria en el caso base se veían más afectados por la  $HE_{CO_2}$ , ya que su rendimiento es mayor y, por lo tanto, usan menos superficie para ser cultivados. Al pasar al cultivo orgánico es justamente este término el que se ve más afectado, teniendo, según lo mencionado, una baja de un 42 % para la zanahoria y 32 % para el tomate, lo que resulta en una disminución en la  $HE_{Total}$ , a pesar de tener un aumento en la  $HE_{Directa}$ .

Por su lado, para la HE de la lechuga se puede notar que en el caso convencional y orgánico el término que predomina es el de uso directo del suelo que, al pasar a la producción orgánica, aumenta su valor, y el que sufre la mayor variación es el asociado al uso de electricidad, con un 35 % menos que en el caso base, mientras que la  $HE_{CO_2}$  tiene una disminución de un 22 %.

La principal razón por la que la lechuga tiene un aumento en la  $HE_{Total}$  es que en el caso convencional la  $HE_{Directa}$  representaba más de un 50 % de la HE total y, en el caso de la producción orgánica, se aumenta aún más, por lo que la disminución en los otros dos términos no logra compensar para tener una disminución en la suma total. La etapa con mayor HE para el proceso de la lechuga es justamente la preparación del suelo, debido a la superficie utilizada para cultivar, que es cerca de un 65 % de la HE total.

Entonces, al ver en detalle los resultados de la HE de la lechuga, se podrá notar que el aumento se debe a tres razones principales. La primera es que el rendimiento del cultivo disminuye, aumentando la  $HE_{Directa}$ . La segunda es que se considera una mayor pérdida de alimentos respecto al caso convencional, lo que aumenta la masa de residuos, y, finalmente, la tercera razón es que, aunque en la producción orgánica ya no se usan fertilizantes y plaguicidas sintéticos, la masa de agroquímicos es casi 10 veces más grande que en el caso base.

El aumento en la masa de fertilizantes utilizada en los cultivos orgánicos se debe a que estos contienen una menor cantidad de los nutrientes requeridos, que son el nitrógeno, fósforo y potasio, respecto a los usados en la agricultura convencional. Lo anterior implica que, para cubrir el mismo requerimiento que se planteó en el caso base, la masa de fertilizantes debe ser

mayor, provocando que las emisiones asociadas a su producción y traslado terminen siendo similares a la de los fertilizantes sintéticos.

Aunque en el caso propuesto la masa de fertilizantes aumenta, es importante tener en cuenta que, tal como se mencionó antes, la cantidad considerada en el cálculo está basada en cumplir con los requerimientos de nutrientes del suelo actuales. Sin embargo, estos están basados en suelos tratados con técnicas convencionales, por lo que se puede asumir que este requerimiento será solo en una etapa de transición y, a medida que el suelo se vaya regenerando, debería disminuir la cantidad utilizada.

En esa misma línea, es importante notar que en el caso orgánico se cuantificó las emisiones por producir y trasladar el compost utilizado como fertilizante, pero además se contabilizó las emisiones por producir compost utilizando los residuos del cultivo. Esto también refleja lo que pasaría en el período de transición hacia un cultivo orgánico, en el que el compost debe ser comprado y trasladado, ya que el que se produce en el mismo lugar no se encuentra en condiciones para ser utilizado.

Entonces, con el paso del tiempo la masa de compost comprada a otros proveedores debería ser menor, lo que disminuye las emisiones asociadas a su producción y transporte, y la producción de combustibles fósiles, ya que se utilizaría el que se produce en el mismo lugar.

Por otro lado, se puede ver que el tomate es la hortaliza que tiene una mayor disminución en la  $HE_{Total}$ , con un 15,5% menos que en el caso base, aún cuando es el que bajó más su rendimiento y, por lo tanto, tuvo el mayor aumento porcentual en la  $HE_{Directa}$ , lo que se debe principalmente a que la HE asociada a emisiones baja en un 43%, siendo justamente el término con un mayor aporte en la HE del caso base del tomate.

Ahora, se vuelve interesante entender por qué el tomate tiene una mayor disminución en sus emisiones. Las principales razones tienen relación con el uso de agroquímicos y la distribución de los residuos. Entre las tres hortalizas representativas, el tomate es aquella que usa la mayor masa de fertilizantes y plaguicidas en el caso convencional, además de utilizar la quema como principal forma de disponer sus residuos de cosecha.

El cambio a la agricultura orgánica implicó que la HE asociada a agroquímicos disminuyera, ya que los fertilizantes orgánicos tienen menores emisiones y uso de electricidad por unidad de masa, y usan menos agua para su producción y aplicación sobre el cultivo. Además, la agricultura orgánica eliminó la quema como forma de disposición de residuos, por lo que también disminuyeron las emisiones asociadas a esta etapa.

Otro aspecto que se ve afectado al pasar al caso orgánico es el uso de agua para riego. Es importante recordar que el requerimiento depende de diversos factores, como las condiciones climáticas, del suelo y la superficie que utiliza la planta, por lo que para estimar el uso de agua se debe tener en cuenta que el caso orgánico tiene un menor rendimiento que el convencional, por lo que el uso de agua debería haber aumentado.

A pesar de lo anterior, al considerar los otros cambios que ocurren con los cultivos orgánicos el uso de agua baja. Esto se debe a la adaptación del  $K_C$ , generalmente estandarizado

para cultivos convencionales, a uno de cultivo orgánico que reflejara el uso de una cubierta vegetal, la menor evaporación de agua desde el suelo y, al mismo tiempo, la mayor capacidad del suelo para almacenar agua, entonces el requerimiento de agua pasó a ser menor en las tres hortalizas y, por lo tanto, la HE asociada a obtener esta agua es menor.

Además de disminuir el uso de agua, se debe considerar que en el caso convencional se asumió que todos los agroquímicos usaban agua potable en su producción, y el tratamiento de agua potable tiene una mayor HE por  $m^3$  de agua respecto al agua de pozo, mientras que en el caso orgánico se considera que el compost, que es justamente el fertilizante con mayor masa utilizada en las tres hortalizas, es realizado en los mismos campos usando agua de pozo en su producción, disminuyendo la HE asociada.

El cambio de un cultivo convencional a uno orgánico provoca una disminución en la HE en diferentes etapas del proceso de las tres hortalizas estudiadas, pero en particular destacan la reducción en la disposición de residuos, debido a la eliminación de la quema, llegando a una HE cerca de un 50 % menor respecto al caso base, y la de la producción de agroquímicos, que baja, según la hortaliza, desde un 30 % hasta un 60 % al pasar a una agricultura orgánica.

Finalmente, se puede ver que la producción orgánica tiene una menor huella ecológica en dos de las tres hortalizas representativas, y que el valor calculado disminuiría con el paso del tiempo, ya que el cultivo se encontraría más establecido, por lo que se plantea como una alternativa para disminuir el impacto de la producción de hortalizas.

# Capítulo 7

## Evaluación de medidas para disminuir la huella ecológica

En los capítulos anteriores se cuantificó la HE del caso base, correspondiente al escenario actual de producción y distribución de las hortalizas consumidas en la RM, y para el caso de producción orgánica, detallando las diferencias que se generan al pasar de una agricultura convencional a una orgánica.

Aunque la producción orgánica es una de las medidas más comentadas actualmente, no es lo único que se puede realizar para modificar el impacto ambiental de las hortalizas y, en particular, la huella ecológica. Para provocar un cambio en la HE también se puede modificar el nivel de tecnificación, la escala de producción y distribución, entre otras.

El caso ideal de este estudio sería calcular la HE para otros escenarios complejos, es decir, que conlleven un conjunto de cambios respecto al caso base porque en la realidad, al modificar una variable, todo lo demás no queda constante. Por ejemplo, reducir el uso de agua o de otros insumos puede disminuir la HE, pero también bajaría el costo del alimento, lo que podría entonces aumentar la demanda del mismo y, por lo tanto, provocar que crezca la producción hasta un punto en que se contrarreste la reducción inicial, teniendo finalmente un mayor impacto ambiental neto.

Una evaluación compleja, como la antes descrita, permite analizar el escenario desde distintas perspectivas y acoplar cambios que ocurren en paralelo, sin embargo, la información disponible para hacerla no es suficiente. Ante esto, se decide implementar medidas particulares, dejando todo lo demás constante, sobre los dos escenarios calculados en detalle: caso base y caso orgánico, para evaluar lo que ocurre al realizar cambios definidos sobre ellos.

La lógica descrita permite evaluar lo que pasa con la HE si se modifica solo una variable, tomando como supuesto que nada más cambia. Entonces, el objetivo de este capítulo es responder la pregunta: ¿qué pasa con el valor de la HE al implementar una medida en particular, dejando todo lo demás constante?, y la respuesta es variable, ya que depende de la medida que se escoja y la relevancia que tenga en los cálculos.

Ahora, teniendo en cuenta que el propósito es disminuir el impacto ambiental, que se condice en este caso con disminuir la HE, entonces las medidas serán aplicadas para disminuir

el valor de la HE en un determinado porcentaje, tal que se ajuste a lo requerido a nivel país.

Para definir estos porcentajes se utiliza la información entregada por la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile (ECLP) del 2021. En esta estrategia no se encuentran metas relacionadas directamente a la disminución de la HE, pero se pueden utilizar como referencia aquellas relacionadas con sus componentes principales, que son las emisiones, energía y uso de suelo.

La ECLP plantea una serie de metas enfocadas en lograr la carbono neutralidad para el 2050, por lo que la disminución de las emisiones de GEI es su foco principal, y plantea como primera meta un 25 % de disminución al 2030 respecto a lo que se tenía el 2018.

Como se mencionó en antecedentes, a nivel nacional las emisiones de GEI vienen desde distintos sectores, por lo que la ECLP presenta metas para cada uno de ellos, entre los que se puede encontrar el sector de energía, minería y silvoagropecuaria. Para el presente trabajo este último y el de energía pueden ser relevantes.

En particular para el sector de alimentos la mayoría de las metas no tienen valores numéricos que puedan ser relacionados con este estudio, ya que hablan principalmente de plazos para la consolidación o elaboración de planes, estándares o estrategias que les permitan disminuir las emisiones, mas no mencionan una magnitud comprometida de disminución.

Por su lado, para el sector energía la estrategia define como meta que al 2030 las emisiones de GEI tengan una disminución del 25 % respecto a lo que ocurría en 2018, y para un 60 % menos para el año 2050 [118].

Al no tener metas directas de HE o del sector alimenticio, se tomarán como referencia las metas mencionadas para el sector energía, que plantea la misma meta que la ECLP para el 2030, por lo que se evaluarán distintas medidas con el fin de lograr un 25 % y 60 % de disminución en la HE actual y la del caso orgánico.

Entonces, las medidas serán evaluadas para ambos escenarios previamente calculados, tal que se pueda ver el efecto que tendrían al ser aplicadas directamente sobre el escenario actual de producción y distribución, y al ser complementadas con la producción orgánica.

La Tabla 7.1 presenta los valores objetivo de la  $HE_{Total}$ , es decir, el valor que tendría frente a una disminución de un 25 y 60 % sobre el caso base y el orgánico para cada hortaliza.

Tabla 7.1: Valor de  $HE_{Total}$  en los escenarios calculados, y con una disminución de 25 y 60 % en cada caso [ $m^2/kg$  hortaliza consumida].

Hortaliza	Convencional			Orgánico		
	Base	-25 %	-60 %	Base	-25 %	-60 %
Tomate	4,00	3,00	1,60	3,38	2,53	1,35
Lechuga	4,53	3,40	1,81	4,72	3,54	1,89
Zanahoria	3,62	2,71	1,45	3,22	2,42	1,29

## 7.1. Definición de las medidas a implementar

Para definir las medidas a evaluar en este capítulo se utilizan los análisis realizados anteriormente para el caso base y el caso orgánico. A partir de estos se pudo identificar los términos que pueden ser disminuidos para lograr cambios significativos en la  $HE_{Total}$ . En la Tabla 7.2 se presenta un resumen de los términos que pueden ser disminuidos, y la medida con la que se realiza.

Tabla 7.2: Medidas a evaluar considerando los términos que tienen un aporte significativo en la HE.

Necesidad	Medida
Disminuir la $HE_{Directa}$	Aumentar el rendimiento del cultivo
Disminuir la $HE_{CO_2}$ por uso de agua	Aumentar la eficiencia de riego
Disminuir la $HE_{CO_2}$ por transporte	Reducir las distancias recorridas
Disminuir la $HE_{CO_2}$ y $HE_{CO_2}$ por agroquímicos	Reducir la masa de agroquímicos

La lista anterior resume las medidas que podrían tener un efecto significativo en el valor de la HE, según los resultados obtenidos en los dos casos calculados.

La tercera medida se encuentra asociada al consumo local, que es una de las iniciativas más mencionadas en la actualidad, precisamente porque disminuye las distancias de traslado. Esto vuelve interesante determinar cuánto tienen que disminuir estas distancias para generar un cambio significativo en la HE.

Por su lado, el análisis de la masa de fertilizantes permite saber, en particular para el caso orgánico, que tanto tiene que bajar la masa utilizada para poder lograr una disminución relevante respecto a la HE del caso convencional y a lo calculado para el orgánico.

Estas medidas serán evaluadas por separado sobre los dos escenarios previamente calculados, para así revisar su efecto sobre la  $HE_{Total}$ , y concluir si realizando una modificación en particular se puede llegar a los objetivos presentados antes.

Finalmente, se cuantificará un escenario que represente las características principales de una producción en huertos comunitarios, modificando el rendimiento para determinar el valor que debe lograr para obtener una disminución de un 25 y 60% en la HE.

Las medidas tomadas para representar a los huertos comunitarios serán aquellas que se relacionen con las mencionadas antes, que son: cambio en la fuente de agua a utilizar, disminución de las distancias recorridas y cambio en las condiciones climáticas, ya que se asume que ahora están todos ubicados en la RM, y esto modifica el uso de agua.

Entonces, para este último escenario se asume que el agua de riego es agua potable, se eliminan las distancias recorridas para llegar desde los cultivos hasta los hogares de las personas, y se cambian las condiciones climáticas a las que están expuestos los cultivos. Teniendo estas tres cosas, se evalúa cuánto tendría que cambiar el rendimiento y las distancias recorridas tal que se logren los objetivos planteados antes.

Este último escenario es considerado ya que los huertos comunitarios son una iniciativa que va tomando cada vez más relevancia en Chile y el mundo. Actualmente no se cuenta con información suficientemente certera para calcular la HE de forma detallada, pero sus principales características pueden ser representadas aplicando algunos cambios sobre los escenarios previamente calculados.

Debido a esto mismo, es importante notar que el huerto comunitario tiene características que no son consideradas en el estudio y, por lo tanto, no son aplicadas, ya que en este caso no se busca calcular su HE en detalle, sino evaluar las medidas antes mencionadas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar cada una de las medidas.

## 7.2. Medida 1: Aumento del rendimiento del cultivo

El aumento en el rendimiento tiene un efecto sobre los tres términos de la ecuación, es decir,  $HE_{Directa}$ ,  $HE_{CO_2}$  y  $HE_{EE}$ , pero principalmente sobre el primero, ya que tiene una estrecha relación con la superficie utilizada en el cultivo.

Aunque el rendimiento modifica los tres términos de la ecuación, se debe considerar que en todas las hortalizas se tendrá un valor mínimo al que puede llegar la HE con el cambio del rendimiento. Esto se debe a que hay etapas que no se verán afectadas por la modificación del rendimiento del cultivo, por lo que se tienen superficies, emisiones y uso de electricidad que no pueden ser disminuidas mediante el aumento del rendimiento.

Entre las etapas que no se ven afectadas por esta medida se encuentran los traslados de las hortalizas y la producción de plantines para los casos de siembra indirecta, ya que se está aumentando el rendimiento del cultivo en la tierra definitiva, mas no el de la producción de plantines.

La Figura 7.1 presenta en amarillo las etapas sobre las que se realiza directamente el cambio de rendimiento, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta.

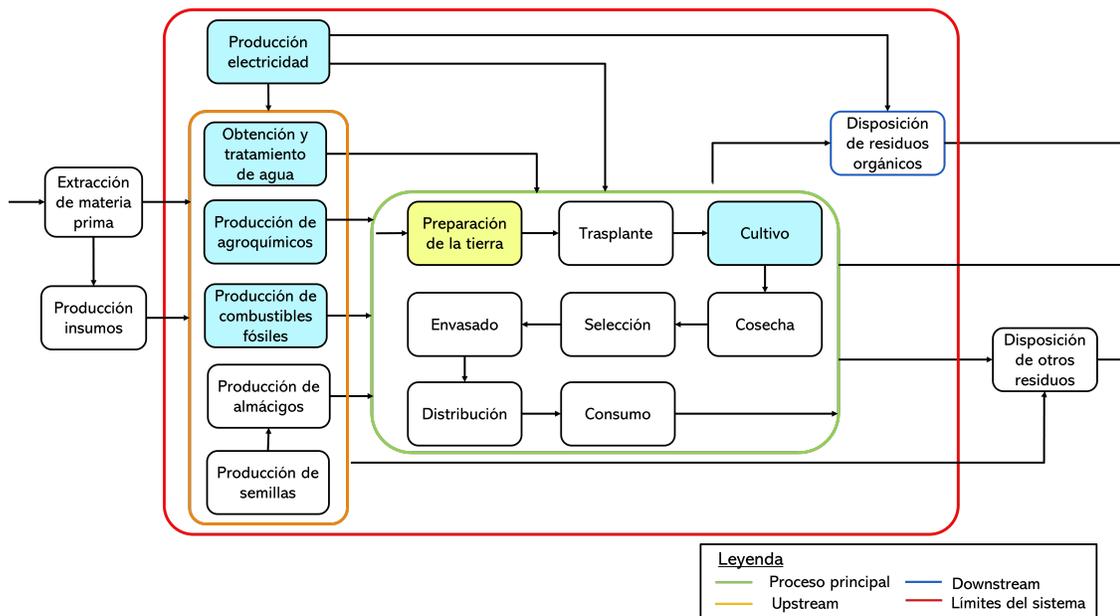


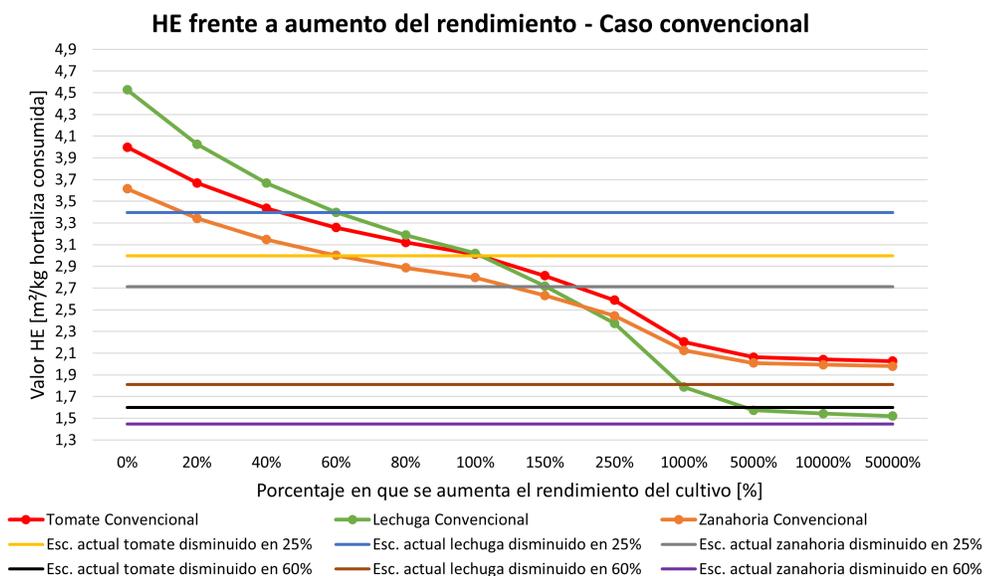
Figura 7.1: Etapas en las que se reflejan los cambios al aumentar el rendimiento del cultivo. Los bloques en amarillo representan las etapas sobre las que se realiza directamente el cambio de rendimiento, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta.

### 7.2.1. Resultados del cambio en el rendimiento del cultivo

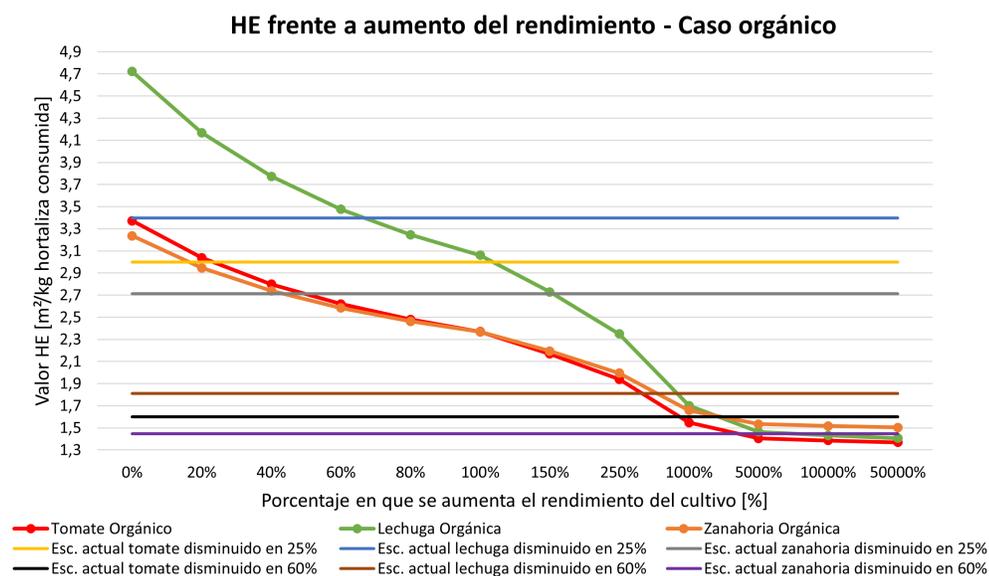
En esta sección se presentan los resultados asociados a la implementación de la primera medida, asociada al cambio en el rendimiento del cultivo, sobre el caso base, que realiza una agricultura convencional, y el orgánico.

La Figura 7.2 muestra los gráficos con los resultados asociados al cambio del rendimiento para los cultivos convencionales y orgánicos. En ellos se presentan los valores de la HE para las tres hortalizas, frente a distintos aumentos porcentuales del rendimiento. Además, se incluyen las rectas que representan los valores de la HE con un 25% y 60% de disminución respecto al caso actual.

Ambos gráficos comienzan con un aumento del rendimiento de un 0%, que tiene asociado el valor inicial de la HE, es decir, el obtenido en los capítulos anteriores para el escenario actual y el orgánico.



(a) Caso convencional



(b) Caso orgánico

Figura 7.2: Valores de HE en función del porcentaje de aumento del rendimiento para el caso convencional y orgánico.

Los resultados del caso convencional muestran que lechuga es la única de las tres hortalizas que podría llegar al 60 % de disminución modificando solo el rendimiento, mientras que para el caso del tomate y la zanahoria se puede llegar a lograr un 25 % menos.

La Tabla 7.3 presenta un resumen de los aumentos porcentuales que se deben realizar sobre el rendimiento para lograr que cada hortaliza tenga un 25 % y 60 % de disminución, según corresponda.

Tabla 7.3: Cambio en el rendimiento para obtener un 25 % y 60 % de disminución en la HE.

Disminución HE <sub>Total</sub> [%]	Cambio	Tomate	Lechuga	Zanahoria
25 %	Aumento del rendimiento	103 %	61 %	123 %
	Rendimiento obtenido [kg/ha]	81.200	33.649	90.337
60 %	Aumento del rendimiento	-	914 %	-
	Rendimiento obtenido [kg/ha]	-	211.929	-

Por su lado, el gráfico asociado al caso orgánico muestra que mediante la suma de una producción orgánica y un aumento del rendimiento se puede llegar a una disminución del 25 y 60 % de la HE del escenario actual para el tomate y la lechuga.

Para la zanahoria se logra el 25 % de disminución, pero no el 60 %. Sin embargo, llega a valores cercanos, alcanzando hasta un 58 % de disminución mediante el aumento del rendimiento en el cultivo orgánico.

La Tabla 7.4 presenta un resumen de los aumentos porcentuales y rendimientos que permiten que cada hortaliza tenga un 25 % y 60 % de disminución, según corresponda.

Tabla 7.4: Cambio en el rendimiento para obtener un 25 % y 60 % de disminución en la HE en caso orgánico.

Disminución HE <sub>Total</sub> [%]	Cambio	Tomate	Lechuga	Zanahoria
25 %	Aumento del rendimiento	23 %	67 %	44 %
	Rendimiento obtenido [kg/ha]	39.852	30.017	51.918
60 %	Aumento del rendimiento	759 %	708 %	-
	Rendimiento obtenido [kg/ha]	278.316	145.232	-

El detalle de los resultados obtenidos para diferentes aumentos porcentuales en el rendimiento para ambos casos, cultivo convencional y orgánico, se puede revisar en las Tablas P.1 y P.2 respectivamente en el Anexo P.

### 7.3. Medida 2: Cambio en el uso de agua

Para modificar el uso de agua de riego, ya sea de plantines o cultivos, se puede cambiar la eficiencia del sistema de riego, las condiciones del suelo, tal que pueda almacenar una mayor cantidad de agua, la superficie que utiliza cada planta o las condiciones climáticas en que se realiza el cultivo.

Teniendo en cuenta que el cultivo orgánico cambia las condiciones de suelo, el rendimiento modifica la superficie usada por planta y que, para modificar las condiciones climáticas se deben realizar grandes cambios estructurales, tales como producir en invernadero o trasladar el cultivo a otro lugar, en esta medida se evaluará el cambio en la eficiencia de riego.

Esta decisión se toma porque los otros cambios mencionados ya son evaluados de forma indirecta en otros casos o, para el cambio de condiciones climáticas, se requeriría una serie de modificaciones en la cuantificación de la HE, involucrando un conjunto de medidas adicionales que no tienen efecto solo en el uso de agua.

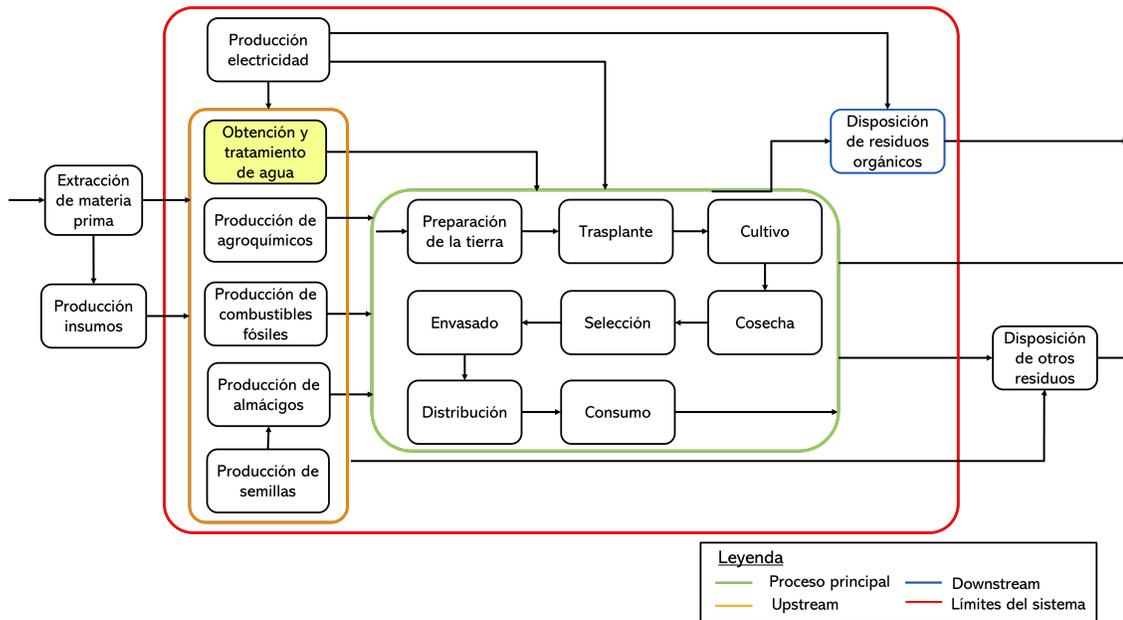


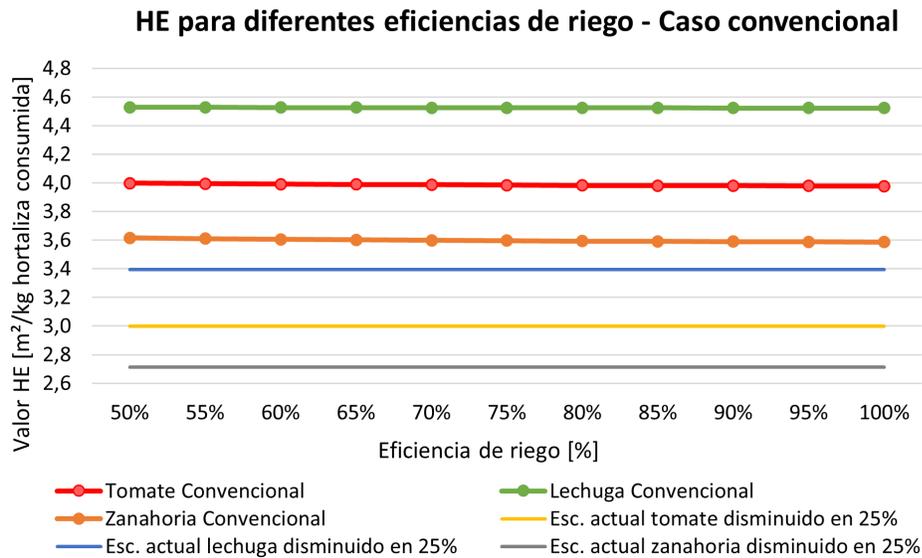
Figura 7.3: Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. En amarillo las etapas sobre las que se realiza directamente el cambio.

### 7.3.1. Resultados del aumento en la eficiencia del riego

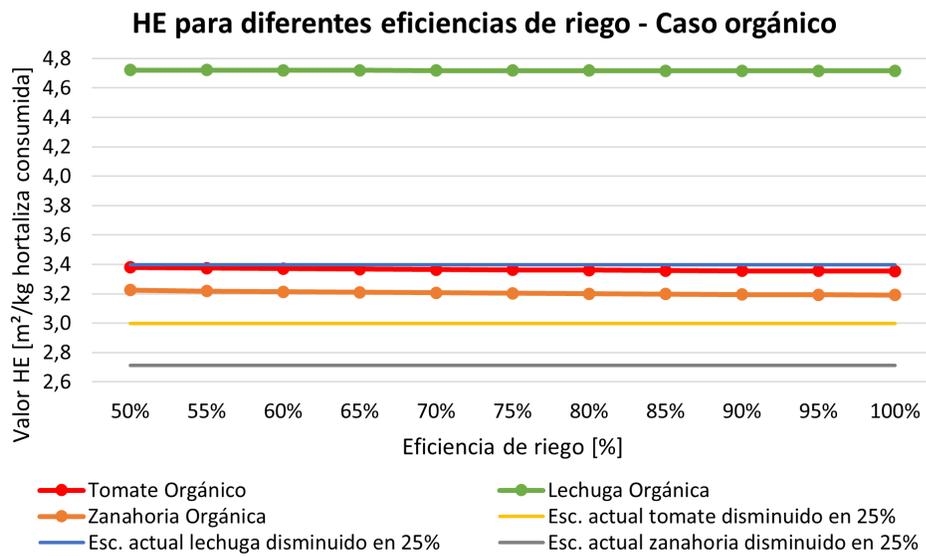
En esta sección se detallan los resultados obtenidos al aumentar la eficiencia de la forma de riego del cultivo y producción de plantines. Además, se presentan las líneas amarillas, azul y gris, que marcan los valores de la HE con un 25 % de disminución sobre el caso base para las tres hortalizas.

#### Cultivo convencional

La Figura 7.4 presenta el valor de la  $HE_{Total}$  frente a diferentes valores para la eficiencia de riego del cultivo y de la producción de plantines.



(a) Caso convencional



(b) Caso orgánico

Figura 7.4: Valores de HE n función del aumento de la eficiencia de riego para el caso convencional y orgánico.

Los resultados del caso convencional muestran que aún subiendo la eficiencia de riego a un 100 % el cambio en la HE es mínimo, ya que no supera la disminución del 1 % para ninguna de las tres hortalizas.

Para el caso orgánico ocurre algo similar, ya que para la lechuga prácticamente no hay un cambio, mientras que para los casos del tomate y la zanahoria es perceptible numéricamente, pero aún así pequeño.

Se debe tener en cuenta que para el riego se utiliza agua de pozo, pero en realidad es la obtención de agua potable la que tiene una HE mayor para un mismo volumen de agua respecto a la obtención desde el pozo. El agua potable es utilizada principalmente para el lavado de

alimentos a nivel domiciliario, lavado de contenedores en almácigos y producción de agroquímicos, y es a este último donde se tiene asociado el mayor volumen y, por lo tanto, mayor HE.

Para hacer un cambio en el uso de agua potable se tendría que disminuir la masa de agroquímicos a utilizar o realizar cambios en la forma de producción de estos últimos, pero esto último queda fuera de los alcances del presente estudio, por lo que la siguiente medida se enfoca en modificar la masa de agroquímicos.

## 7.4. Medida 3: Disminución en la masa de agroquímicos

Tal como se mencionó antes, la producción y traslado de agroquímicos tiene un impacto relevante para ambos tipos de cultivo. En particular para el caso de la producción orgánica, los agroquímicos utilizados tienen emisiones y uso de electricidad por unidad de masa menor que los sintéticos, sin embargo, la masa utilizada puede ser hasta 10 veces mayor, por lo que la HE termina siendo similar en ambos casos.

La tercera medida evalúa entonces el efecto de disminuir la masa de agroquímicos utilizados sobre el valor final de la  $HE_{Total}$ . La Figura 7.5 presenta en amarillo las etapas sobre las que se realizan cambios de forma directa, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta por las modificaciones.

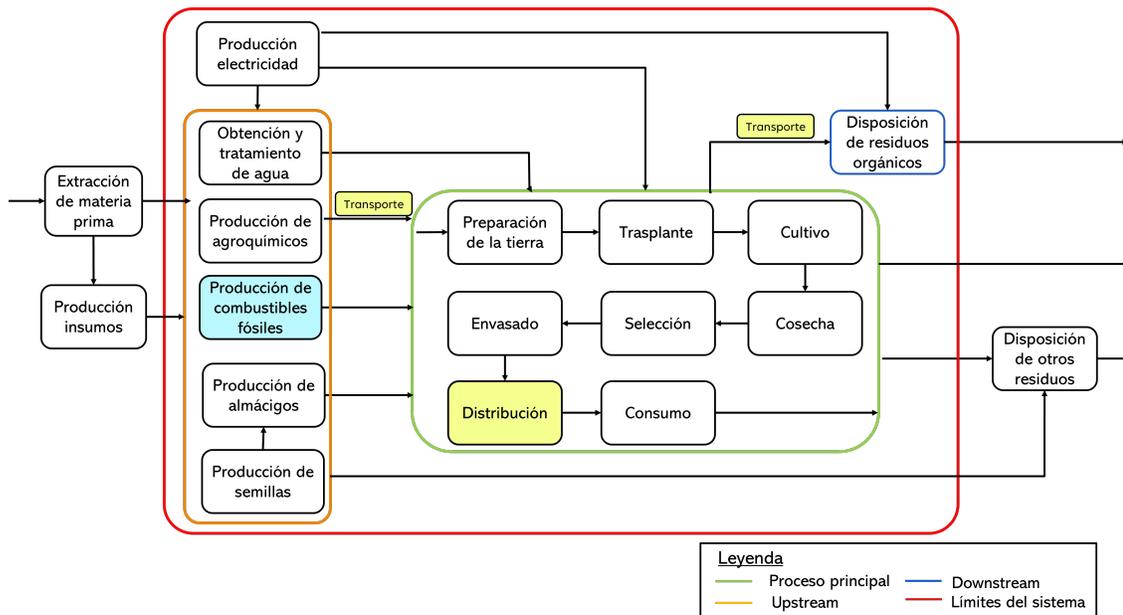
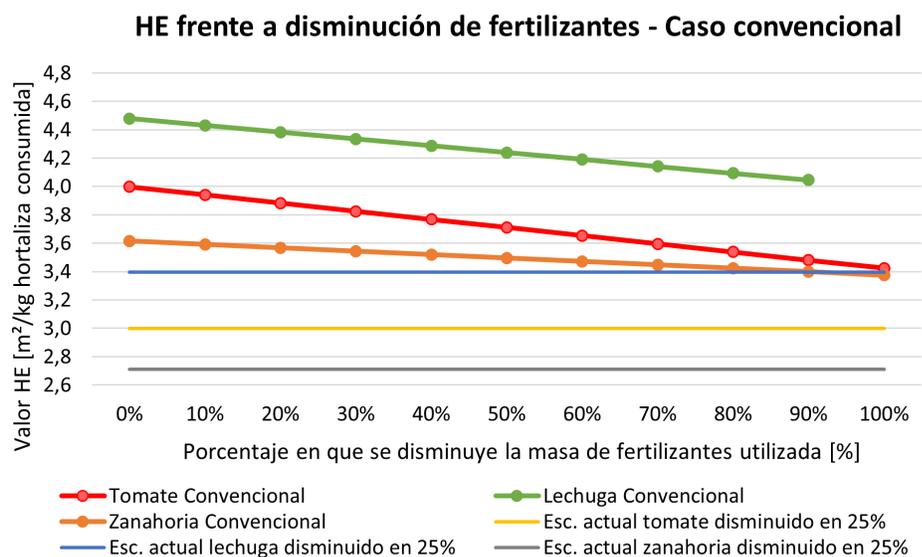


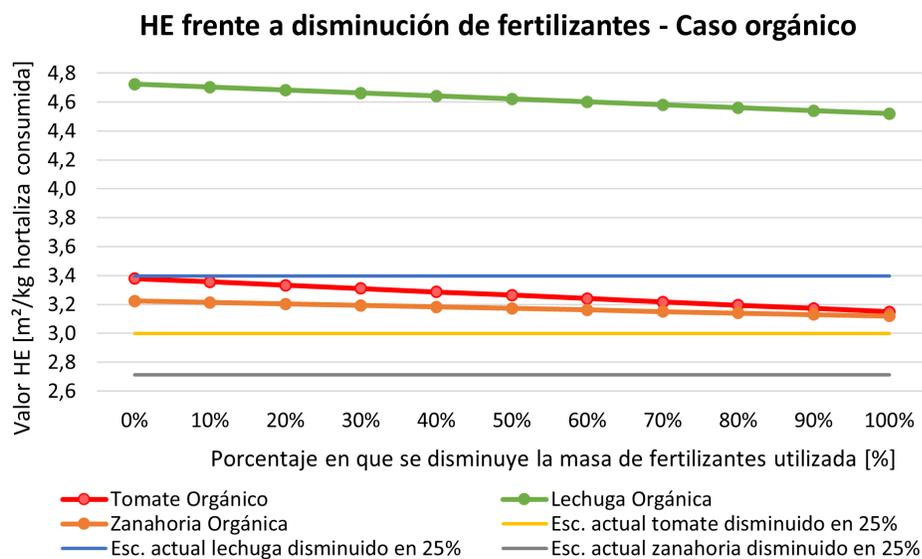
Figura 7.5: Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. Los bloques en amarillo representan las etapas sobre las que se realiza el cambio, y en celeste aquellas que se ven afectadas indirectamente.

### 7.4.1. Resultados de disminución porcentual en masa de agroquímicos

La Figura 7.6 presenta los resultados de la implementación de la medida 3 sobre el caso base y el caso orgánico. En ella se muestran los valores de la huella ecológica total del cultivo de las tres hortalizas representativas, ante diferentes disminuciones porcentuales en las distancias recorridas.



(a) Caso convencional



(b) Caso orgánico

Figura 7.6: Valores de HE para diferentes disminuciones porcentuales en la masa de agroquímicos para el caso convencional y orgánico.

Según los resultados presentados, ninguna de las hortalizas logra el 25% de disminución de la HE del escenario actual, ni para el caso convencional ni el orgánico. Para las tres se consideró el caso extremo de una disminución del 100% en la masa de agroquímicos utilizada,

que implica que esta última es igual a cero, pero aún con esta medida, la máxima reducción de la HE que se logra es para el tomate orgánico, con un 21 % menos respecto al escenario actual.

## 7.5. Medida 4: Cambio en las distancias recorridas

En esta medida se incluyen todas las distancias recorridas. En la Figura 7.7 se pueden identificar en amarillo las etapas sobre las que se hace el cambio directamente, es decir, las asociadas al transporte de insumos para la producción, traslados de las hortalizas entre la producción y el mercado, el mercado y el consumo, y el traslado de residuos, y en celeste las etapas que se ven afectadas de forma indirecta.

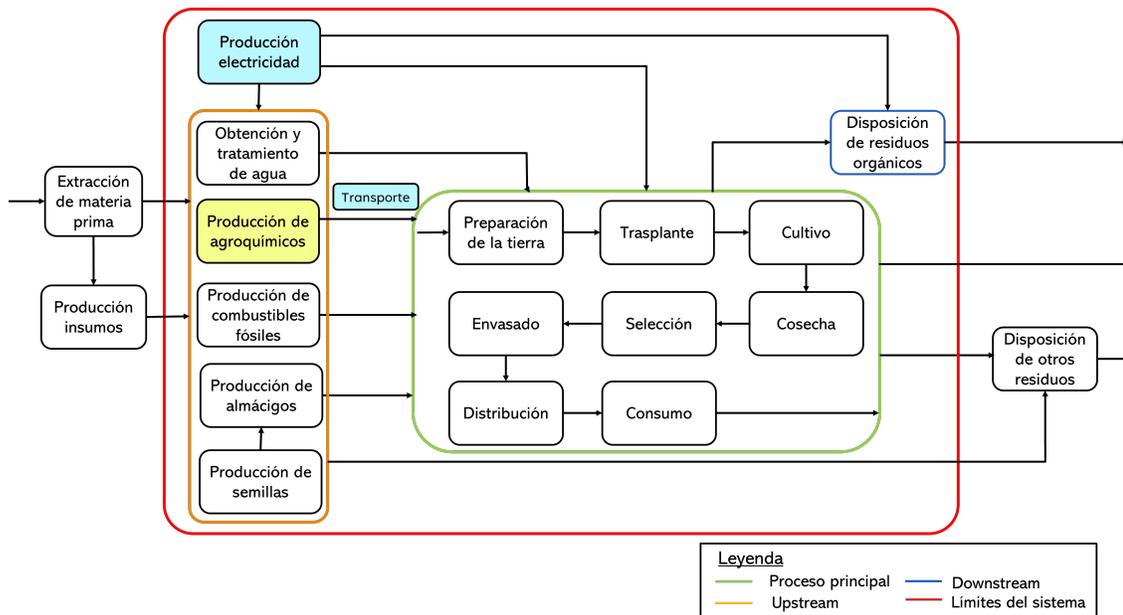


Figura 7.7: Etapas en las que se reflejan los cambios al disminuir las distancias recorridas. En amarillo la etapa sobre la que se realiza el cambio, y en celeste las que se ven afectadas de forma indirecta.

### 7.5.1. Resultados de implementar la medida 4

A continuación se plantean los resultados obtenidos para la  $HE_{Total}$  al disminuir porcentualmente las distancias recorridas.

En la aplicación de esta medida se aplican disminuciones porcentuales entre un 10 % y un 100 % para todas las distancias recorridas, para estudiar el efecto que tienen en el cálculo de la huella ecológica.

En el caso en que se disminuye un 100 % se está asumiendo la eliminación de todas las distancias, equivalente a suponer que todos los insumos son producidos en el mismo lugar donde se realiza el cultivo o a una distancia que puede ser recorrida a pie, que la producción se realiza también en sectores cercanos a los consumidores, y que los residuos son manejados en los mismos lugares en que se producen.

La Figura 7.8 muestra los resultados de la  $HE_{Total}$  ante disminuciones porcentuales en las distancias asociadas a los cultivos convencionales y orgánicos de las tres hortalizas representativas.

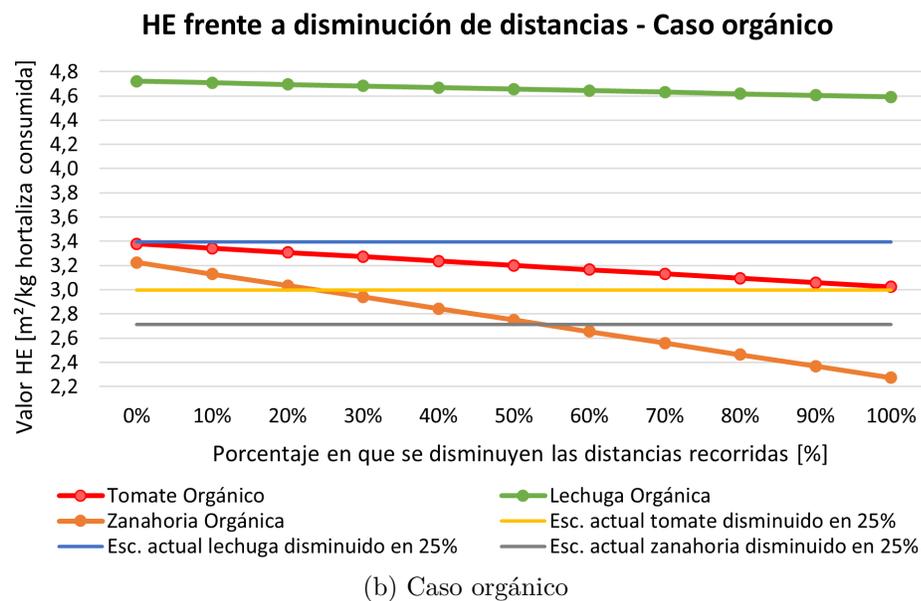
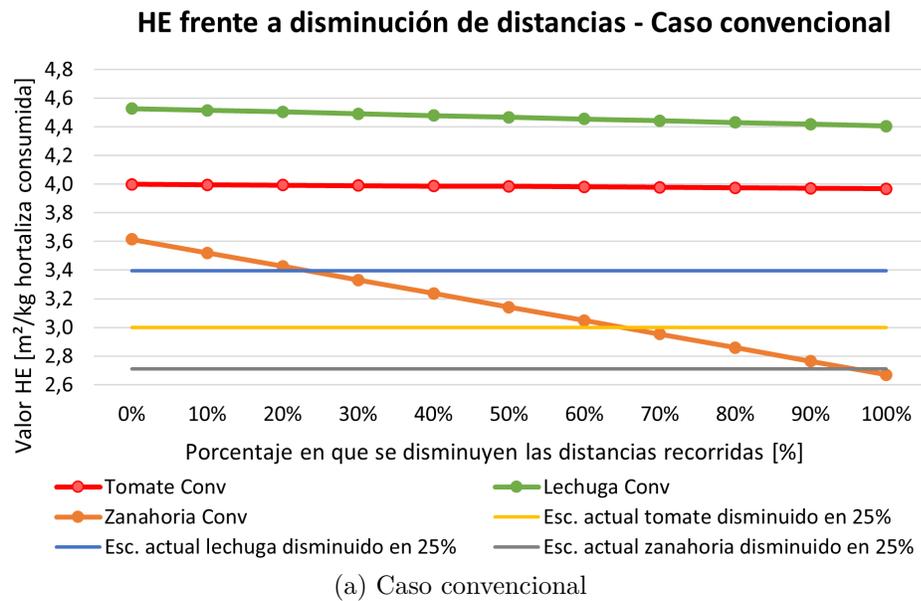


Figura 7.8: Valores de HE para diferentes disminuciones porcentuales de las distancias recorridas para el caso convencional y orgánico.

Para el cultivo convencional solo la zanahoria logra tener un 25 % de disminución en su HE, y lo hace al disminuir las distancias recorridas en un 96 % respecto a las que son recorridas en el caso base.

Al igual que en el caso convencional, la única hortaliza que logra un 25 % de disminución en la HE mediante la aplicación de la medida 4 es la zanahoria, ya que con un 90 % menos

logra el objetivo. El 60 % de reducción no es posible para ninguna de las hortalizas estudiadas y, en particular para el caso de la lechuga y tomate, tampoco se obtiene el 25 %, sin embargo, para el tomate se logra una baja porcentual de un 24 % en la HE al disminuir las distancias en un 100 %.

## 7.6. Medida 5: Producción en huertos

Finalmente, se evalúa un escenario con las principales características de los cultivos en huertos comunitarios.

Se asume que la producción en huertos utiliza agua potable para riego, y es realizada en las distintas comunas de la RM, por lo que se modifica el requerimiento de agua por el cambio en las condiciones climáticas. Además se eliminan las distancias recorridas entre la producción y el mercado, y el mercado y los consumidores, ya que el cultivo se realiza en cada comuna y, por lo tanto, recorrer estas distancias ya no tiene un impacto significativo.

La Figura 7.9 destaca en amarillo las etapas donde se realizan cambios para adaptar el escenario a uno con características similares a las de un huerto. En celeste se van las etapas que se ven afectadas de forma indirecta por los cambios realizados.

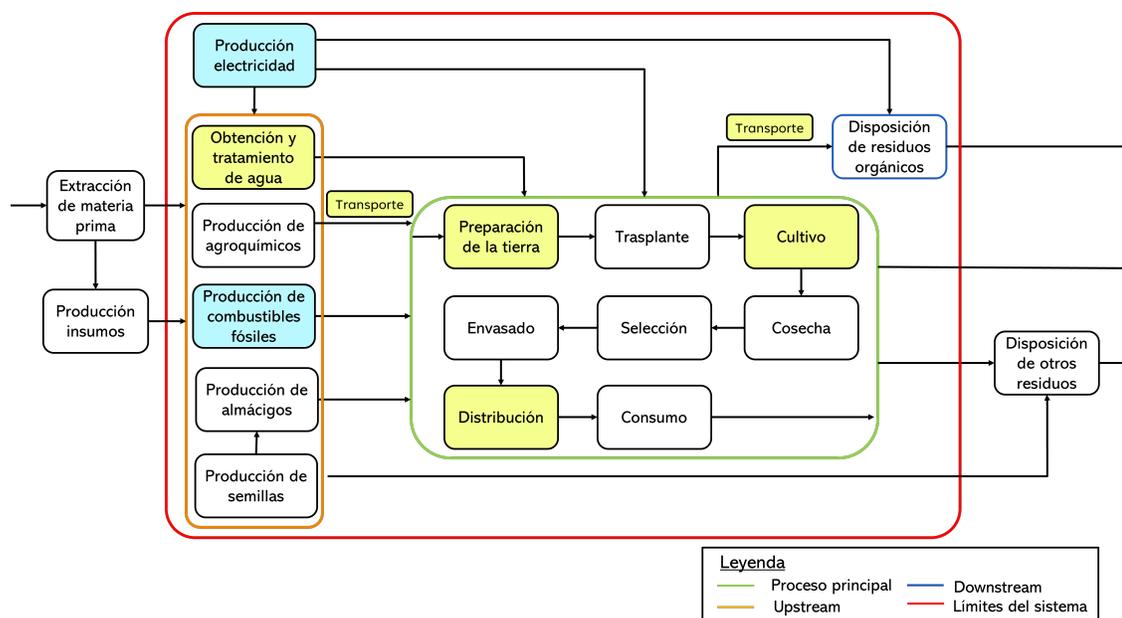


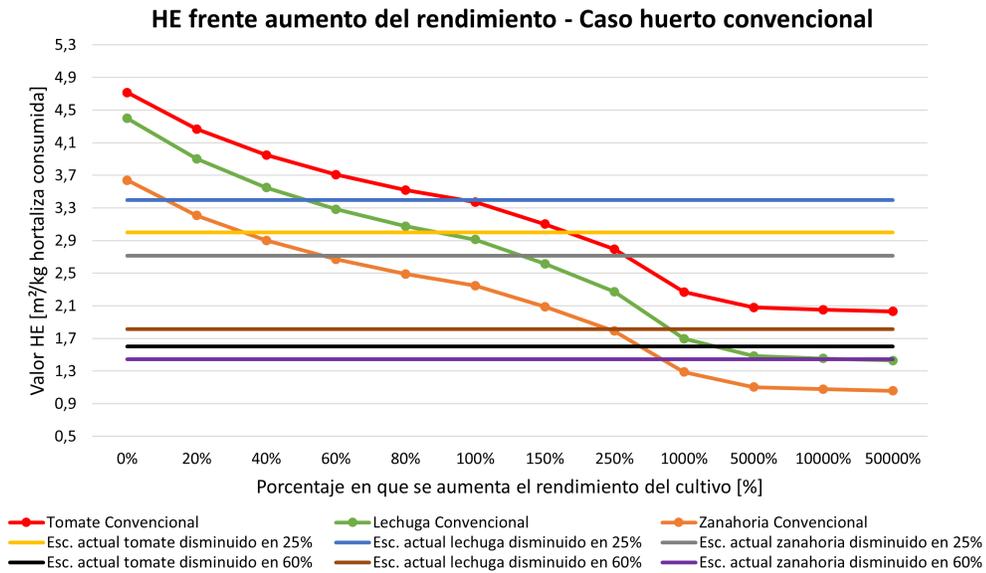
Figura 7.9: Etapas en las que se realizan los cambios para pasar de un cultivo convencional a orgánico. En amarillo las etapas sobre las que se realizan directamente los cambios, y en celeste aquellas que se ven afectadas de forma indirecta.

Luego de realizar las modificaciones sobre el caso base y el orgánico, se evalúan diferentes rendimientos para el cultivo tal que la HE del escenario actual baje un 25 % y un 60 %. Es importante tener en cuenta que en esta medida no se toman todos los supuestos asociados a huertos, sino solo aquellos asociados a las medidas que se mencionaron antes, como cambio en el uso de agua y distancias.

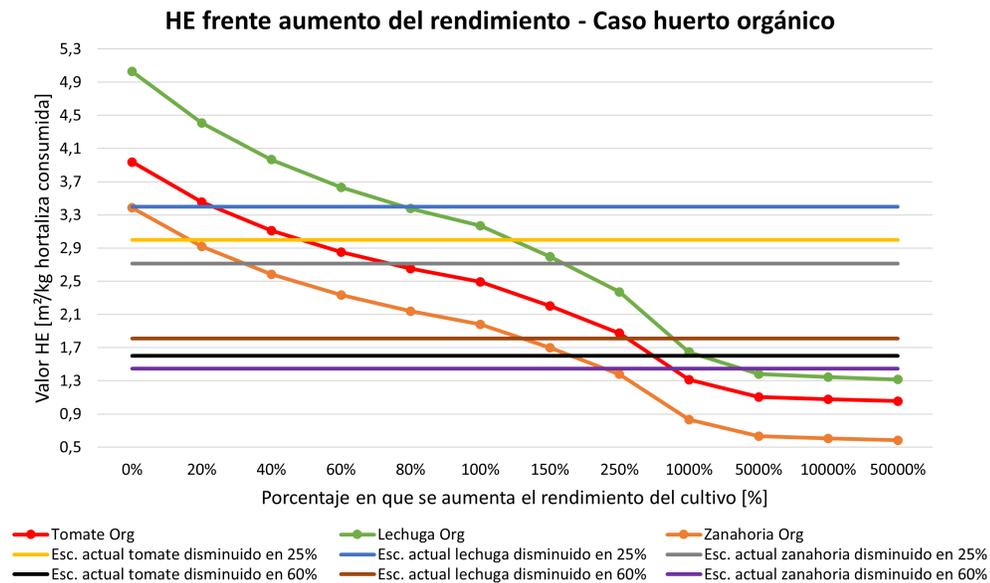
### 7.6.1. Resultados de implementar la medida 5

A continuación se presentan los resultados de la HE para las tres hortalizas con producción convencional y orgánica. Se modifica el rendimiento sobre el escenario en que el que se implementaron las características principales del huerto, es decir, el uso de agua potable, la nueva localización del cultivo y la eliminación de las distancias entre producción y consumo.

Habiendo implementado los cambios antes mencionados, se estudia cuánto tiene que aumentar el rendimiento del cultivo para lograr un 25 % y 60 % de disminución en la  $HE_{Total}$ . La Figura 7.10 presenta los valores obtenidos frente a aumentos porcentuales en el rendimiento.



(a) Caso convencional



(b) Caso orgánico

Figura 7.10: Valores de HE para huerto comunitario en función del aumento porcentual del rendimiento en caso convencional y orgánico.

Para el caso convencional se puede notar que la lechuga y zanahoria alcanzan una disminución del 25 y 60 % respecto al caso base, mientras que el tomate solo logra la primera meta. Por su lado, en el caso orgánico las tres hortalizas logran una disminución del 25 % y 60 % respecto a la HE actual.

## 7.7. Análisis de resultados y discusiones parciales

A partir de los resultados obtenidos se pudo notar que aumentar el rendimiento es la medida que permite modificar los valores de la HE de forma más significativa. Esto se debe

principalmente a que el aumento del rendimiento no fue acotado, mientras que las otras medidas, como disminuir la masa de agroquímicos, uso de agua y distancias recorridas, tienen un límite inferior asociado a eliminar el insumo o actividad.

Aunque el aumento del rendimiento no fue acotado, es importante tener en cuenta que en la realidad esto no se da de esa forma, ya que podría tener un límite agronómico que no se encuentra especificado en la literatura. El aumento porcentual debe considerar que la hortaliza requiere de una cierta superficie y tiempo para desarrollarse, por lo que al pasar a la realidad, el rendimiento no puede ser aumentado sin límite.

A través de los resultados se pudo notar que el cambio en el rendimiento permite llegar al 25 % de disminución de la HE para las tres hortalizas en el caso convencional y orgánico, aumentando desde un 56 % hasta un 123 % el rendimiento. Para el caso de la lechuga, se puede llegar a un 60 % menos en la HE subiendo un 914 % el rendimiento de la producción convencional y un 579 % en la producción orgánica.

La diferencia en los resultados de las hortalizas se debe principalmente a que la mayor parte de la  $HE$  de la lechuga se debe a la  $HE_{Directa}$ , que es el término que se ve más afectado con el cambio del rendimiento, por lo que logra una mayor disminución en la  $HE_{Total}$ .

Ahora, como se mencionó antes, en esta medida se debe tener en cuenta la factibilidad de aumentar el rendimiento en altos porcentajes. Thomas Payen (2022) realizó un estudio enfocado en comparar los rendimientos de la producción a gran escala y en huertos urbanos, analizando datos de casos en diferentes países, y concluyó que los huertos urbanos podrían tener un rendimiento de hasta 2,5 más alto que el de la producción a gran escala [119].

En el caso de la segunda medida, se puede ver que su implementación genera una disminución de cerca de un 1 % en el caso convencional y orgánico. El bajo cambio se debe a que el uso de agua de riego por kg de hortaliza no supera los 0,2 [ $m^3$ ] y, considerando que la eficiencia de riego máxima es de un 100 % y actualmente se considera un 50 %, el volumen de agua puede disminuir a la mitad como máximo, y esto no es suficiente para provocar un cambio importante.

Lo anterior se debe también a que la extracción de agua de pozo no tiene un impacto relevante en la HE, como sí lo tiene el tratamiento de agua potable, que es utilizada para el lavado de alimentos y producción de agroquímicos. Notar esto conduce a la tercera medida estudiada, que tiene como foco la disminución en la masa de agroquímicos usada y, por lo tanto, el agua utilizada en su producción.

Los resultados de la tercera medida mostraron que disminuir la masa de agroquímicos por sí sola tampoco permite disminuir el 25 % de la HE, pero permite un cambio mayor al de la medida 2, logrando desde un 6,6 % hasta un 14,4 % de disminución en el caso convencional, y de un 3 % a 7 % en el orgánico, según la hortaliza.

La efectividad de esta medida radica en que disminuye las emisiones y uso de electricidad en la producción de los agroquímicos, las emisiones del transporte y el uso de agua potable, por lo que disminuir la masa de agroquímicos incide en distintas etapas del proceso, dejando

en claro la relevancia de elegir cambios que modifiquen la HE en más de una etapa.

Pasando a la cuarta medida, asociada a disminuir las distancias recorridas, se pudo notar que la zanahoria fue la única que lograría bajar un 25 % la HE disminuyendo las distancias. Con una disminución del 96 % de las distancias logra tener un 25 % menos en la  $HE_{Total}$ .

Lo que ocurre en el caso de la zanahoria es que, entre las tres hortalizas estudiadas, es la que tiene la producción en el sector más lejano a la RM. La lechuga es producida en la RM y el tomate en la Región de Valparaíso, mientras que la zanahoria se produce en la Región de Ñuble, por lo que el recorrido que realiza es más largo y, por lo tanto, tiene mayores emisiones y uso de combustible asociado.

La evaluación de esta medida permitió observar que producir en la RM, o en regiones cercanas, tiene una disminución considerable en la HE, ya que el traslado desde la producción hasta el lugar de venta o consumo puede tener un aporte importante en las emisiones y uso de combustibles. Por su lado, las distancias asociadas a trasladar el alimento desde el mercado hasta el consumo o los insumos desde otros países utilizando barcos, tienen un impacto bastante menor al del transporte terrestre en distancias de cientos de km.

A partir de lo anterior se puede notar que, aunque los barcos realizan recorridos más largos, al transportar una masa más de 1000 veces mayor que la de un camión, el impacto por kg de producto pasa a ser menos significativo, por lo que sería una mejor alternativa de transporte.

En esta última afirmación se deben tener en cuenta algunos puntos. Aunque los barcos tengan menor impacto ambiental por unidad de masa, hay que considerar que el transporte en ellos es más lento, por lo que no pueden ser usados para transportar productos que tengan una vida útil corta, como en este caso son las hortalizas, ya que podrían no llegar en las condiciones óptimas para su consumo.

Ante los resultados de implementar esta última medida, se puede ver que la distancia recorrida es relevante para las hortalizas, por lo que se debe priorizar la producción en la misma región o alrededores, y que el transporte de insumos en barco desde otros países no tiene un efecto significativo.

Finalmente, en la última medida se implementaron características similares a las de un huerto comunitario, que fueron eliminar las distancias de traslado desde el cultivo hasta el consumo, cambiar la fuente de agua, pasando de la obtención desde pozo al tratamiento de agua potable, y modificar las condiciones meteorológicas, ya que la producción del tomate y la zanahoria ya no son en la Región de Valparaíso y Ñuble respectivamente, sino en la RM.

En la Figura 7.10 se presentaron los resultados con 0 % de aumento del rendimiento, es decir, aplicando solo los cambios antes descritos y se puede notar que la HE total aumenta respecto al caso base y orgánico. Esto se debe a que la HE por  $m^3$  de agua potable es casi 10 veces mayor a la del agua de pozo, y la baja en las distancias no logra compensar este aumento.

Luego de aplicar los cambios antes mencionados, se varió el rendimiento para ver cómo

este afectaba en el valor de la HE, y se obtuvo que, al mantener el rendimiento, la HE es mayor que en la producción a gran escala, sin embargo, en el caso convencional se puede llegar hasta un 25 % de disminución respecto al escenario actual, aumentando un 177 %, 51 % y 56 % para el tomate, la lechuga y la zanahoria respectivamente.

En este caso es posible llegar a un 60 % de disminución de la HE actual para la lechuga y la zanahoria con aumentos de 557 % y 669 % en el rendimiento respectivamente, pero, según lo antes mencionado, este incremento no es factible en la práctica.

Por su lado, la aplicación de la quinta medida en el caso orgánico, aunque tiene una HE mayor que la producción orgánica a gran escala, el tomate y la zanahoria tienen una HE menor que la del escenario actual. La medida 5 en su caso orgánico puede obtener un 25 % de disminución para las tres hortalizas aumentando el rendimiento en un 95 %, 67 % y 53 % para el tomate, lechuga y zanahoria respectivamente. Además, es la única medida evaluada que podría lograr un 60 % de disminución para las tres hortalizas, pero para lograrlo se debe aumentar el rendimiento entre un 290 % y un 855 %.

Ante estos últimos resultados, se extrae que la disminución de las distancias y el aumento del rendimiento pueden lograr una baja importante en la  $HE_{Total}$ . Además, se puede plantear que la producción en huertos comunitarios con técnicas orgánicas puede representar una mejora al escenario actual, mientras se mantenga o aumente levemente el rendimiento.

Es importante mencionar que este último punto se basa en los resultados obtenidos con los cambios considerados en este trabajo, pero como se explicó antes, hay cambios que se dejaron fuera. Por ejemplo, se podría considerar que la producción en huertos comunitarios disminuye el desperdicio de alimentos, pero también que, debido a la baja experiencia de las personas que lo realizan, podría haber una mayor pérdida de insumos, por lo que se recomienda estudiar el escenario con mayor detalle.

Por otro lado, un factor importante a considerar es que, tal como se declaró al inicio del capítulo, en la evaluación de las medidas se asumió el cambio de una variable, dejando todo lo demás constante, sin embargo, esto podría alejar el análisis de la realidad.

Partiendo por la primera medida, asociada a aumentar el rendimiento, es importante notar que en ella no se está considerando la forma en que este aumento es logrado. Modificar el rendimiento podría involucrar cambiar los agroquímicos a utilizar o aumentar la masa usada, subiendo entonces el impacto asociado a su producción y transporte, o disminuir la pérdida de alimentos en la producción, que involucraría una menor disposición de residuos. Dependiendo de la forma en que esto sea realizado, la HE podría aumentar o disminuir, por lo que existe una incertidumbre respecto al valor real que debería tener en este escenario.

Para la segunda medida, que plantea aumentar la eficiencia de riego, también sería relevante analizar cómo lograrlo. La mejora de la eficiencia podría ser realizada mediante un cambio de la tecnología, por lo que habría que estudiar los requerimientos energéticos de esta misma o los insumos requeridos para implementarla. Por ejemplo, pasar a un sistema de riego por microaspersión puede aumentar la HE asociada a la obtención de agua por el uso de electricidad.

La tercera medida, que evalúa disminuir la masa de agroquímicos, podrían tener un efecto en el rendimiento del cultivo. Los agroquímicos son utilizados como una forma de nutrir el suelo y de cuidar la producción de plagas y enfermedades, por lo que solo disminuir la masa utilizada podría provocar que la tierra no cuente con los nutrientes necesarios para el desarrollo de las hortalizas, o aumentar la pérdida en el cultivo.

Otra forma de ver esta última medida sería reemplazar los agroquímicos por otras formas de cuidado y protección del cultivo, como lo hacen el cultivo orgánico, por lo que se debe evaluar en detalle el impacto de las nuevas técnicas utilizadas.

En el caso de la cuarta medida, que se basa en la disminución de las distancias recorridas, se debe tener en cuenta que esto requeriría mover los alimentos en sectores más pequeños, provocando entonces un cambio en el lugar donde son producidos. Esto conlleva un cambio en las condiciones climáticas, del suelo, o incluso de los insumos disponibles para la producción.

Teniendo en cuenta que la disminución de las distancias también abordó aquellas asociadas a transportar insumos, como sustratos y agroquímicos, estos tendrían que ser conseguidos en lugares cercanos al de producción, y no importados, por lo que se tendría que evaluar la masa requerida de estas nuevas entradas, además de la HE asociada a su producción, y el efecto que tendrán sobre el rendimiento del cultivo.

La cuarta medida también podría eliminar la etapa de envasado del proceso, ya que si las distancias se disminuyen la compra podría ser directa desde el productor al consumidor, evitando tener que envasar en cajas o sacos.

Finalmente, la quinta medida, enfocada en el aumento del rendimiento en huertos comunitarios, solo considera los aspectos más relevantes de los huertos. Al igual que en la cuarta medida, la disminución de las distancias puede cambiar la disponibilidad de insumos, el envasado podría ser eliminado, y las condiciones climáticas y del suelo serían modificadas. Además, la producción en huertos comunitarios es generalmente manejada por personas que viven en el sector, y que no cuentan con experiencia en el cultivo de alimentos, por lo que hay un error humano que tampoco está considerado.

Esta última medida es probablemente la que tiene un mayor nivel de incertidumbre, ya que solo se consideraron algunos de los cambios más evidentes al pasar a un huerto comunitario, sumado a que no se explicita la forma en que se realiza el aumento del rendimiento y los efectos que tendría ese cambio sobre la HE.

Para terminar, la Tabla 7.5 muestra un resumen de las medidas, presentándolas en orden descendiente desde las que tienen un mayor potencial de reducción de la HE hasta la que tiene un menor impacto.

Tabla 7.5: Síntesis de las medidas propuestas y su potencial reducción porcentual sobre la HE del caso base. En la tabla T= Tomate, L=Lechuga y Z=Zanahoria.

Posición	Medida	Cultivo	Reducción de Huella Ecológica [%]		
			T	L	Z
1	Producir en huerto + Aumentar rendimiento	Orgánico	37,7 %	30,0 %	45,2 %
2	Aumentar rendimiento	Orgánico	40,7 %	23,4 %	40,8 %
3	Producir en huerto + Aumentar rendimiento	Convencional	15,7 %	35,7 %	35,1 %
4	Aumentar rendimiento	Convencional	24,7 %	33,3 %	22,7 %
5	Disminuir distancias	Orgánico	24,38 %	-1,4 %	37,1 %
6	Disminuir agroquímicos	Orgánico	21,3 %	0,3 %	13,7 %
7	Disminuir agroquímicos	Convencional	14,4 %	10,6 %	6,6 %
8	Disminuir distancias	Convencional	0,8 %	2,7 %	26,2 %
9	Aumentar eficiencia de riego	Orgánico	0,8 %	0,1 %	1,0 %
10	Aumentar eficiencia de riego	Convencional	0,5 %	0,1 %	0,8 %

La implementación de medidas muestra que el incremento del rendimiento es la medida que permite disminuir la HE del escenario actual en mayor proporción y, aunque el huerto comunitario por sí solo aumenta la HE respecto al caso base, acoplar ambas medidas les permite ser la mejor alternativa para la disminución de la HE.

Lo anterior se debe a que la producción en huertos tiene la  $HE_{Directa}$  y la obtención de agua como principales aportes a la  $HE_{Total}$ , y ambos valores disminuyen con el incremento del rendimiento. Por lo tanto, la producción en huertos comunitarios, aumentando el rendimiento en un 100 %, termina siendo la mejor alternativa.

El orden presentado en esta última tabla está basado en los resultados obtenidos en el presente estudio, dejando de lado la incertidumbre asociada a cada medida. La posición se define comparando la máxima disminución de la HE que puede lograr la implementación de cada medida, es decir, compara los porcentajes de reducción de la HE respecto al caso base, que se logran al aplicar la medida en su caso extremo, excepto para el aumento del rendimiento.

Para las medidas que involucran cambiar el rendimiento se consideró un incremento del 100 % ya que, según bibliografía, sería un aumento porcentual factible [119]. Rendimientos más altos podrían bajar aún más el valor de la HE, pero pueden no ser logrados en la realidad, por lo que el orden de las medidas se define en función del porcentaje factible.

# Capítulo 8

## Reflexiones y discusiones finales

Habiendo finalizado la presentación de resultados, se pueden extraer algunas discusiones y reflexiones generales del estudio. En primer lugar, la HE obtenida para el escenario actual se asemeja a valores obtenidos en otros países, por lo que puede ser considerada cercana a la realidad, sin embargo, se debe tener en cuenta la calidad de los datos y los supuestos que se tomaron para obtenerla, como por ejemplo, asumir la masa de agroquímicos que se utiliza y los factores de emisión utilizados.

Los datos antes mencionados fueron extraídos desde diferentes fuentes bibliográficas, que podrían no representar completamente lo que ocurre en Chile, o en la región en particular donde se produce cada uno de los insumos y las hortalizas, sin embargo, permite una aproximación a lo que está ocurriendo en la actualidad.

Se hace énfasis en que la HE de las hortalizas se encuentra dominada por las emisiones y el uso directo de la tierra, dejando atrás el uso de electricidad. Así mismo, el uso directo predomina en aquellas hortalizas con rendimientos más bajos, como lo es el caso de la lechuga, que tiene un rendimiento cercano al 50 % al rendimiento del tomate y la zanahoria.

Se pudo notar que es posible disminuir la HE pasando a una agricultura orgánica, lo que se ajusta a lo esperado, ya que es uno de los cambios más resonados hoy en día. Los resultados muestran que la HE del tomate y la zanahoria bajan respecto al caso base, mientras que la lechuga tiene un leve aumento, lo que se debe a que el cultivo orgánico tiene un rendimiento menor al del convencional, pero la implementación de medidas mostró que incrementando un 9 % el rendimiento de la lechuga se puede igualar la HE con la del caso convencional.

El incremento del 9 % se plantea como un escenario factible ya que aún con esto el rendimiento sigue siendo menor al del caso base. Además, el aumento puede ser logrado mediante un mayor control de plagas y enfermedades. Actualmente los cultivos orgánicos en Chile no cuentan con la oferta de productos acreditados necesaria para manejar las plagas y enfermedades, por lo que se vuelve relevante el desarrollo de esta área en este país.

Continuando con la implementación de medidas, se pudo notar también que aquellos cambios que generen modificaciones en distintas etapas del proceso tienen un mayor impacto en la HE. Esto se vio reflejado al modificar la masa de agroquímicos utilizada, ya que esto afectaba las emisiones por transporte, producción, uso de electricidad y uso de agua.

Aunque disminuir la masa de agroquímicos puede ser factible, se debe tener en cuenta que probablemente no podrá llegar a cero, como fue evaluado al disminuirla en un 100 %. Es común que los cultivos requieran nutrientes extra o plaguicidas, por lo que se debe elegir aquellos con menor impacto y priorizar otras medidas que permitan disminuir el uso de estos.

El estudio permitió notar que los agroquímicos orgánicos tienen menor HE por unidad de masa utilizada, sin embargo, al tener una menor proporción de los nutrientes requeridos, se debe usar una cantidad hasta 10 veces mayor que en el caso de los sintéticos, por lo que es necesario tener esto en cuenta al momento de utilizarlos.

Se debe recordar que la HE no refleja el cambio en la calidad del suelo al pasar a un cultivo orgánico, ya que con el tiempo el requerimiento de nutrientes debería disminuir respecto al caso actual. Esto genera un beneficio porque la masa necesaria para lograr el requerimiento actual provoca que el impacto de la producción de orgánicos y sintéticos sea similar.

Por otro lado, la modificación de las distancias permitió observar que la producción dentro de la RM, o en la Región de Valparaíso, permiten que las distancias a recorrer sean lo suficientemente pequeñas para que el transporte tenga un bajo impacto en las hortalizas producidas en estos lugares.

Continuando con el último punto, se pudo también evidenciar que disminuir las distancias asociadas al transporte de insumos, que se dan principalmente por vía marítima, no tiene un efecto significativo sobre la HE. Esto se debe principalmente a que los barcos pueden mover grandes volúmenes, por lo que la HE por unidad de masa es baja respecto a otros impactos.

Respecto al uso de agua se pudo notar que cambiar la eficiencia de riego solo modifica la  $HE_{Total}$ , la obtención de agua de pozo no tiene mayor impacto, y se debe cuidar el uso de agua potable, que tiene una mayor HE asociada.

Lo anterior también se pudo evidenciar en la última medida, asociada a la producción en huertos. Este escenario permitió ver que el cultivo en huertos comunitarios es una alternativa que puede disminuir la HE, y tiene como principal desventaja el uso de agua potable.

El tratamiento de agua potable tiene una HE por  $m^3$  cerca de 10 veces mayor que el agua de pozo, por lo que, al producir en huertos, se debe tener como objetivo disminuir el uso de agua mediante el cambio en la eficiencia de riego, las condiciones climáticas a las que se expone el cultivo, o el cuidado del suelo para mejorar su capacidad de almacenamiento de agua.

Con todo lo descrito se puede entender las razones por las que el huerto comunitario orgánico con un aumento del rendimiento es la mejor alternativa para las hortalizas consumidas en la RM. Tal como se ha explicado, el aumento del rendimiento disminuye la superficie utilizada y el consumo de agua para riego, lo que provoca una reducción en el valor de la HE.

En el caso de los huertos también se está aplicando otra de las medidas, que es la disminución de las distancias recorridas, y su efecto se nota desde el cultivo hasta el consumo. Esa disminución sumada a la que se da al aumentar al rendimiento, provoca que esta sea

la mejor alternativa en términos de HE. Aún así, para su implementación es necesario evaluar la factibilidad de la medida en términos de superficie disponible en la RM y los cambios económicos que podría traer en el costo de producción y, por lo tanto, de venta al consumidor.

Otro aspecto a tener en cuenta es la disposición de los residuos generados. Se observó una disminución en la HE asociada a la disposición de residuos al pasar de un cultivo convencional a uno orgánico, principalmente debido a la eliminación de la quema como forma de disposición, por lo que es conveniente impulsar esta medida en el escenario actual.

Luego de analizar los resultados, se debe mencionar que el presente estudio permite obtener valores de HE que se acercan a los cuantificados en otros países, pero se debe tener en cuenta que la metodología deja fuera algunos aspectos relevantes en la agricultura, y la importancia de utilizar datos que se acerquen al caso estudio.

Respecto al primer punto, la HE no cuantifica otros GEI además del  $CO_2$ , lo que para la agricultura es relevante ya que el uso de agroquímicos es una fuente de emisión de  $N_2O$  importante en el país, siendo este un gas con un PCG 298 más alto que el del  $CO_2$ , por lo que hay un impacto importante que no está siendo contabilizado y, por lo tanto, subestima la HE.

Por otro lado, la pérdida y desperdicio de alimentos ha sido poco estudiada en Chile, por lo que los porcentajes utilizados representan lo que ocurre en todo América Latina, pero no el caso específico de Chile. Además, la pérdida considerada no diferencia entre los tipos de hortaliza, cuando en realidad debería cambiar según la etapa y la hortaliza producida.

Aunque hay aspectos que pueden ser mejorados en la cuantificación, el análisis de los resultados obtenidos entrega información relevante para la realización de ACV en las hortalizas. En él se pudo notar que hay etapas que no marcan mayores diferencias en los escenarios, entre las que se encuentran la producción de plantines, el consumo domiciliario y la producción de insumos con bajos volúmenes utilizados, como por ejemplo el cloro.

Para finalizar, a partir de los resultados se puede extraer que la producción orgánica y local provocan una disminución de la huella ecológica asociada a las hortalizas y que, para cuidar que esto realmente ocurra, se deben tomar las medidas necesarias para mantener o aumentar el rendimiento de cada cultivo.

El estudio de los diferentes escenarios y medidas deja ver que las medidas con mejores resultados para disminuir la HE actual son la producción en huertos comunitarios, el aumento del rendimiento y la producción orgánica, principalmente para aquellos alimentos que son producidos en sectores alejados de la RM.

# Capítulo 9

## Conclusiones

Para finalizar este trabajo, se puede concluir que se cumplen los objetivos del estudio, ya que se cuantificó la huella ecológica de la producción y distribución actual de hortalizas consumidas en la RM, se calculó la HE asociada a un escenario propuesto, basado en la producción orgánica de estos alimentos, para finalmente evaluar medidas sobre los dos casos calculados, que permitan definir la mejor forma de producir y distribuir los alimentos consumidos en la RM.

Mediante los resultados obtenidos se pudo notar que la producción orgánica puede disminuir la HE de las hortalizas respecto al escenario actual, y que, además, esta puede ser complementada con otras medidas, como por ejemplo, disminuir las distancias recorridas y la masa de agroquímicos utilizados, para aumentar aún más su efecto. El cambio a una producción orgánica logra disminuir la HE en 15,5% y 10,8% para el tomate y la zanahoria respectivamente, mientras que para la lechuga la HE se incrementa en un 4,3%.

Con la aplicación de medidas se pudo notar que con leves modificaciones en el rendimiento o la masa de agroquímicos utilizada en la producción orgánica de lechuga se puede lograr que la HE sea igual o menor a la convencional. De hecho, se puede notar que el cambio a una agricultura orgánica, acompañada de un aumento del rendimiento del 100% en los cultivos puede disminuir la HE de las tres hortalizas entre un 23 y 41%.

Si las dos medidas anteriores son aplicadas sobre huertos comunitarios, es decir, producir en ellos de forma orgánica y con rendimientos un 100% mayor que en el escenario actual, entonces se puede lograr una disminución de la HE aún mayor, obteniendo desde un 30% hasta 45% menos en la  $HE_{Total}$  de las hortalizas respecto al caso base.

A través de los resultados de la primera medida implementada se pudo observar que el rendimiento es uno de los factores más relevantes para la HE, ya que la huella ecológica directa tiene un aporte significativo sobre la  $HE_{Total}$  de las tres hortalizas. Algo similar ocurre con las emisiones de  $CO_2$ , que representan el aporte principal en la HE para dos de las tres hortalizas estudiadas.

Sabiendo esto, se pueden mejorar varios aspectos con el fin de disminuir la HE, y entre los principales a considerar se encuentran la disminución de las distancias en los traslados y la eliminación de la quema como forma de disposición de residuos.

La evaluación de medidas dejó en claro que disminuir las distancias recorridas también es un aporte para la disminución de la HE, principalmente para aquellas que son transportadas desde regiones a cientos de kilómetros de distancia, por lo que se recomienda que las regiones se autoabastezcan con su propia producción y/o con la de regiones aledañas.

Esto último es posible para la RM debido a que es la región con mayor producción de hortalizas, pero se tendría que realizar una redistribución de los alimentos cultivados con el fin de modificar las cantidades producidas y la variedad. Así mismo, es necesario también evaluar si las condiciones climáticas permiten la producción de todas las hortalizas consumidas por la población del sector, pero en caso que no sea factible, se puede abastecer de regiones cercanas o decidir consumir los alimentos propios del sector.

Aunque disminuir las distancias recorridas disminuye la HE, se recomienda complementar con otras medidas no excluyentes, como cambiar a un cultivo orgánico y/o disminuir la masa de agroquímicos, ya que esta medida por sí sola no logra reducir el 25 % que se había planteado como primer objetivo.

Basándose en esa meta, los resultados permiten ver que las medidas con mejores resultados para disminuir la HE son el cambio a la producción orgánica, la disminución de distancias recorridas cuando la producción se realiza en regiones alejadas del consumo, y el aumento del rendimiento de los cultivos, que quedan expresados en conjunto en la quinta medida, asociada a la producción orgánica en huertos comunitarios con aumento del rendimiento.

Respecto a este último punto, se debe cuidar que numéricamente la HE puede ser disminuida en altos porcentajes al aumentar el rendimiento, pero estudios muestran que este incremento podría llegar a ser de hasta 2,5 veces la masa actualmente producida por hectárea en los cultivos convencionales, por lo que aumentos mayores a ese podrían no ser factibles.

Debido a lo anterior, la comparación de resultados se realizó con los valores obtenidos para la HE con aumentos de un 100 % en el rendimiento, permitiendo entonces respetar el incremento factible según bibliografía. Con esto se obtuvo que la mejor alternativa es producir en huertos orgánicos, sin embargo, se debe tener en cuenta que este escenario no fue evaluado en detalle, sino que para simularlo se consideraron solo algunas características principales de los huertos, pero en caso de querer implementar esta alternativa, se sugiere cuantificar su HE con mayor profundidad.

Por su lado, la mejora en la eficiencia de riego y la disminución de los agroquímicos utilizados logra un menor efecto sobre la HE respecto a las medidas anteriores, sin embargo, pueden ser utilizados como un complemento a las otras medidas.

Finalmente, el presente estudio permite concluir que con las medidas planteadas se puede lograr una disminución de al menos un 25 % sobre la HE de las hortalizas consumidas en la RM, y que los cambios estudiados en este trabajo pueden presentar, en mayor o menor medida, mejoras para el escenario actual, por lo que se recomienda su aplicación y, más aún, la implementación conjunta de aquellos que no son excluyentes.

# Bibliografía

- [1] NASA, “The Causes of Climate Change,” [en línea], <https://climate.nasa.gov/causes/>. [Consulta: 28 de agosto 2021].
- [2] Commission, E., “Causes of climate change,” [en línea], 2014, [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_en](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_en). [Consulta: 27 de agosto 2021].
- [3] Ritchie, H. y Roser, M., “Greenhouse gas emissions,” [en línea], 2016, <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions#by-gas-how-much-does-each-contribute-to-total-greenhouse-gas-emissions>. [Consulta: 29 de julio 2021].
- [4] C2ES, “Global Emissions,” [en línea], 2019, <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>. [Consulta: 20 de julio 2021].
- [5] NIWA, “What are ‘Global Warming Potentials’ and ‘CO2 equivalent emissions’?,” [en línea], <https://niwa.co.nz/atmosphere/faq/what-are-global-warming-potentials-and-co2-equivalent-emissions>. [Consulta: 26 de noviembre 2021].
- [6] Our World in Data, “Nitrous oxide emissions by sector, World,” [en línea], 2016, [https://ourworldindata.org/grapher/nitrous-oxide-emissions-by-sector?country=~OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/nitrous-oxide-emissions-by-sector?country=~OWID_WRL). [Consulta: 3 de noviembre 2021].
- [7] Aqua, “La mayor huella hídrica agrícola de Chile: Regiones de O’Higgins, del Maule y La Araucanía,” [en línea], 2014, <https://www.aqua.cl/2014/05/28/la-mayor-huella-hidrica-agricola-de-chile-regiones-de-ohiggins-del-maule-y-la-araucania/#>. [Consulta: 29 de septiembre 2022].
- [8] Marc, B., Imad, H., Jeff, P., y Kristen, B. K., “Evaluation of Hypolimnetic Oxygen Demand in a Large Eutrophic Raw Water Reservoir, San Vicente Reservoir, Calif.,” *Journal of Environmental Engineering*, vol. 133, no. 2, pp. 130–138, [en línea], 2007, [doi:10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2007\)133:2\(130\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2007)133:2(130)). [Consulta: 11 de julio 2022].
- [9] Balasuriya, B. T. G., Ghose, A., Gheewala, S. H., y Prapasongsa, T., “Assessment of eutrophication potential from fertiliser application in agricultural systems in thailand,” *Science of The Total Environment*, vol. 833, p. 154993, [en línea], 2022, [doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154993](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154993). [Consulta: 20 de diciembre 2022].
- [10] IPCC, “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability,” [en línea], 2022, [https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf). [Consulta: 18 de enero 2023].

- [11] Ritchie, H. y Roser, M., “Environmental impacts of food production,” [en línea], 2020, <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>. [Consulta: 11 de julio 2021].
- [12] Our World In Data, “Total GHG emissions excluding LUCF,” [en línea], 2016, <https://ourworldindata.org/grapher/total-ghg-emissions-excluding-lucf?tab=table>. [Consulta: 7 de agosto 2021].
- [13] EUSTAT, “Emisiones en relación PIB,” [en línea], 2022, [https://www.eustat.eus/documentos/opt\\_0/tema\\_455/elem\\_13130/definicion.html](https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_455/elem_13130/definicion.html). [Consulta: 21 de noviembre 2022].
- [14] MMA, “Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático,” [en línea], 2018, <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>. [Consulta: 3 de septiembre 2021].
- [15] MMA, “Cuarto reporte del estado del medio ambiente,” [en línea], 2018, [https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/Cuarto-REMA-comprimido\\_compressed\\_compressed.pdf](https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/Cuarto-REMA-comprimido_compressed_compressed.pdf). [Consulta: 22 de mayo 2021].
- [16] MMA, “Inventarios regionales de gases de efecto invernadero, serie 1990-2016.,” [en línea], 2019, <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/Inventarios-regionales-de-gases-de-efecto-invernadero-serie-1990-2016.pdf>. [Consulta: 25 de julio 2021].
- [17] MMA, “Estrategia nacional de biodiversidad 2017-2030,” [en línea], 2015, [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia\\_Nac\\_Biodiv\\_2017\\_30.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia_Nac_Biodiv_2017_30.pdf). [Consulta: 16 de julio 2021].
- [18] Ginocchio, R., Melo, O., Pliscoff, P., Camus, P., y Arellano, E., “Conflicto entre la intensificación de la agricultura y la conservación de la biodiversidad en Chile: alternativas para la conciliación,” [en línea], 2019, <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2019/11/PAPER-NÂž-118-VF.pdf>. [Consulta: 4 de septiembre 2021].
- [19] MMA, “Sexto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile,” [en línea], 2020, [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/6NR\\_FINAL\\_ALTA-web.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/6NR_FINAL_ALTA-web.pdf). [Consulta: 10 de noviembre 2021].
- [20] Donoso, G. y Franco, G., “La huella hídrica agrícola de Chile,” [en línea], 2013, [http://agronomia.uc.cl/component/com\\_sobipro/Itemid,232/pid,1050/sid,1056/](http://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/pid,1050/sid,1056/). [Consulta: 25 de septiembre 2023].
- [21] MOP, “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y catacterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile.,” [en línea], 2017, <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04ResumenEjecutivo/ResumenEjecutivo.pdf>. [Consulta: 3 de julio 2022].
- [22] Espinoza, J., Agüero, T., y Apey, A., “Consideraciones ambientales para una agricultura competitiva y sustentable al 2030.” ODEPA, [en línea], 2018, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ambiental10parte.pdf>. [Consulta: 8 de septiembre 2022].

- [23] Nations, U., “Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns.”, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>. [Consulta: 19 de octubre 2021].
- [24] Chile Agenda 2030, “Objetivos de desarrollo sostenible 2: Hambre Cero,” [en línea], <http://www.chileagenda2030.gob.cl/seguimiento/ods-2>. [Consulta: 13 de agosto 2021].
- [25] Yiwen, Z., Maxwell, S., Runting, R., Venter, O., Watson, J., y Carrasco, L. R., “Environmental destruction not avoided with the Sustainable Development Goals,” *Nature Sustainability*, vol. 3, pp. 1–4, [en línea], 2020, doi:10.1038/s41893-020-0555-0. [Consulta: 14 de septiembre 2021].
- [26] ODEPA, “Plan de Trabajo Agricultura 2015-2018,” [en línea], 2017, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/2-Plan-de-Agricultura-Sustentable.pdf>. [Consulta: 19 de septiembre 2021].
- [27] MMA, “Anuncian Plan de Agricultura Sustentable donde uno de sus ejes es disminuir a la mitad la Quemadas Agrícolas en la RM,” [en línea], 2021, <https://mma.gob.cl/anuncian-plan-de-agricultura-sustentable-donde-uno-de-sus-ejes-es-disminuir-a-la-mitad-la-quemas-agricolas-en-la-rm/>. [Consulta: 17 de octubre 2022].
- [28] CONAF, “Quemas controladas,” [en línea], <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/quemas-controladas/>. [Consulta: 16 de agosto 2022].
- [29] ODEPA, “Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático Sector silvoagropecuario,” [en línea], 2020, <https://www.odepa.gob.cl/temas-transversales/plan-de-adaptacion-nacional-al-cambio-climatico-sector-silvoagropecuario>. [Consulta: 20 de septiembre 2021].
- [30] MMA, “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022,” [en línea], 2017, [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf). [Consulta: 20 de septiembre 2021].
- [31] MMA, “Estrategia Climática de Largo Plazo 2050,” [en línea], 2021, <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/vinculacion-con-otros-instrumentos/>. [Consulta: 20 de septiembre 2021].
- [32] La Via Campesina, “¿Qué significa soberanía alimentaria?,” [en línea], 2003, <https://viacampesina.org/es/quignifica-soberanalimentaria/>. [Consulta: 20 de septiembre 2021].
- [33] Recicla, S., “Curso gestión de residuos para la ciudadanía. módulo 2: Ciclo de vida, obsolescencia y ecodiseño de productos. unidad 1: Ciclo de vida de los productos,” [en línea], 2018, <http://santiagorecicla.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/MÃşdulo-2-CICLO-DE-VIDA-DE-LOS-PRODUCTOS.pdf>. [Consulta: 10 de junio 2021].
- [34] Network, G. F., “Ecological Footprint,” [en línea], 2022, <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. [Consulta: 17 de octubre 2022].
- [35] FAO, “Producción de hortalizas,” [en línea], 2011, <http://www.fao.org/3/as972s/as972s.pdf>. [Consulta: 19 de julio 2021].

- [36] INE, “Síntesis de Resultados VIII Encuesta de Presupuestos Familiares,” [en línea], 2018, [https://www.ine.cl/docs/default-source/encuesta-de-presupuestos-familiares/publicaciones-y-anuarios/viii-epf---\(julio-2016---junio-2017\)/sÃntesis-de-resultados-viii-epf.pdf?sfvrsn=317508eb\\_2](https://www.ine.cl/docs/default-source/encuesta-de-presupuestos-familiares/publicaciones-y-anuarios/viii-epf---(julio-2016---junio-2017)/sÃntesis-de-resultados-viii-epf.pdf?sfvrsn=317508eb_2). [Consulta: 24 de julio 2022].
- [37] ODEPA, “Boletín de hortalizas, agosto 2021,” [en línea], 2021, <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-agosto-2021>. [Consulta: 7 de agosto 2021].
- [38] SAG, “Datos de producción orgánica. Temporada 2019,” [en línea], 2019, [http://www.sag.cl/sites/default/files/estadisticas\\_nacionales\\_de\\_produccion\\_organica\\_2019.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/estadisticas_nacionales_de_produccion_organica_2019.pdf). [Consulta: 8 de julio 2021].
- [39] Gomiero, T. y Galanakis, C. M., “Chapter 2 - Organic agriculture: impact on the environment and food quality,” en *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption*, pp. 31–58, Academic Press, [en línea], 2021, [doi:10.1016/B978-0-12-821363-6.00002-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821363-6.00002-3). [Consulta: 9 de julio 2021].
- [40] Michalský, M. y Hooda, P. S., “Greenhouse gas emissions of imported and locally produced fruit and vegetable commodities: A quantitative assessment,” *Environmental Science Policy*, vol. 48, pp. 32–43, [en línea], 2015, [doi:10.1016/j.envsci.2014.12.018](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.018). [Consulta: 9 de julio 2021].
- [41] Edwards-Jones, G., “Does eating local food reduce the environmental impact of food production and enhance consumer health?,” *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 69, no. 4, pp. 582–591, [en línea], 2010, [doi:10.1017/S0029665110002004](https://doi.org/10.1017/S0029665110002004). [Consulta: 9 de julio 2021].
- [42] Saldías, G., “Huerta urbana comunitaria: Una buena práctica social,” [en línea], 2016, [http://dup.ucentral.cl/dup\\_31/gabriela\\_saldias.pdf](http://dup.ucentral.cl/dup_31/gabriela_saldias.pdf). [Consulta: 1 de octubre 2021].
- [43] Brodt, S., Kramer, K. J., Kendall, A., y Feenstra, G., “Comparing environmental impacts of regional and national-scale food supply chains: A case study of processed tomatoes,” *Food Policy*, vol. 42, pp. 106–114, [en línea], 2013, [doi:10.1016/j.foodpol.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.07.004). [Consulta: 8 de julio 2021].
- [44] JONES, A., “An environmental assessment of food supply chains: A case study on dessert apples,” *Environmental Management*, vol. 30, no. 4, pp. 560–576, [en línea], 2002, [doi:10.1007/s00267-002-2383-6](https://doi.org/10.1007/s00267-002-2383-6). [Consulta: 12 de octubre 2021].
- [45] Carpintero, , “La huella ecológica de la agricultura y la alimentación en España, 1955-2000,” *Areas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, vol. 25, pp. 31–45, [en línea], 2006, <https://revistas.um.es/areas/article/view/127991>. [Consulta: 3 de octubre 2021].
- [46] Montalba, R., Vieli, L., Spirito, F., y Muñoz, E., “Environmental and productive performance of different blueberry (*vaccinium corymbosum* l.) production regimes: Conventional, organic, and agroecological,” *Scientia Horticulturae*, vol. 256, p. 108592, [en línea], 2019, [doi:10.1016/j.scienta.2019.108592](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108592). [Consulta: 30 de septiembre 2021].
- [47] Cordes, H., Iriarte, A., y Villalobos, P., “Evaluating the carbon footprint of Chilean organic blueberry production,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*,

- vol. 21, no. 3, pp. 281–292, [en línea], 2016, [doi:10.1007/s11367-016-1034-8](https://doi.org/10.1007/s11367-016-1034-8). [Consulta: 11 de octubre 2021].
- [48] Huerta, J., Muñoz, E., y Montalba, R., “Evaluation of two production methods of Chilean wheat by life cycle assessment (LCA),” *Idesia*, vol. 30, pp. 101–110, [en línea], 2012.
- [49] Donoso, G., Blanco, E., Franco, G., y Lira, J., “Water footprints and irrigated agricultural sustainability: the case of Chile,” *null*, vol. 32, no. 5, pp. 738–748, [en línea], 2016, [doi:10.1080/07900627.2015.1070710](https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1070710). [Consulta: 3 de octubre 2021].
- [50] Aitken, D., Rivera, D., Godoy-Faúndez, A., y Holzapfel, E., “Water Scarcity and the Impact of the Mining and Agricultural Sectors in Chile,” [en línea], 2016, [doi:10.3390/su8020128](https://doi.org/10.3390/su8020128). [Consulta: 11 de octubre 2021].
- [51] Haverkort, A. J., Sandaña, P., y Kalazich, J., “Yield Gaps and Ecological Footprints of Potato Production Systems in Chile,” *Potato Research*, vol. 57, no. 1, pp. 13–31, [en línea], 2014, [doi:10.1007/s11540-014-9250-8](https://doi.org/10.1007/s11540-014-9250-8). [Consulta: 11 de octubre 2021].
- [52] Gaitán-Cremaschi, D., Klerkx, L., Duncan, J., Trienekens, J. H., Huenchuleo, C., Dogliotti, S., Contesse, M. E., Benítez-Altuna, F. J., y Rossing, W. A. H., “Sustainability transition pathways through ecological intensification: an assessment of vegetable food systems in Chile,” *null*, vol. 18, no. 2, pp. 131–150, [en línea], 2020, [doi:10.1080/14735903.2020.1722561](https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1722561). [Consulta: 12 de octubre 2021].
- [53] FAO, “Capítulo 28: Hortalizas y frutas,” [en línea], <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0w.htm>. [Consulta: 15 de julio 2021].
- [54] INIA, “Producción de plantines de hortalizas,” [en línea], 2019, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/5017/NR41944.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 16 de septiembre 2022].
- [55] AgroSpray, “5 métodos de siembra que debes conocer,” [en línea], 2021, <https://agrospray.com.ar/blog/metodos-de-siembra/#:~:text=ExistendiversosmÃltodosdesiembra,sobrelasiembraenalmÃaçigos>. [Consulta: 19 de enero 2022].
- [56] Arredondo S., S., “Cultivo de tomate industrial en Chile,” *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, no. 338, [en línea], 2016, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6552/NR40564.pdf?sequence=6&isAllowed=y#:~:text=Eltomateindustrialpertenece,aatravÃlsdesucesivasmigraciones>. [Consulta: 26 de mayo 2022].
- [57] INE, “Resultados CENSO 2017 - Por país, regiones y comunas,” [en línea], 2017, <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>. [Consulta: 9 de diciembre 2021].
- [58] Espinosa Toro, M. y Villa Lagos, P., “Diagnóstico Estudio Monitoreo Territorial Hortícola de la Región Metropolitana de Santiago.” *CIREN*, [en línea], 2022, <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/147767/PC22522.pdf>. [Consulta: 8 de marzo 2022].

- [59] Contreras, L. A. B., “Análisis de la cadena de distribución en la comercialización de productos frescos en Chile: frutas y hortalizas,” [en línea], 2011, <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104325/Analisis-de-la-cadena-de-distribucion-en-la-comercializacion-de.pdf?sequence=3>. [Consulta: 28 de septiembre 2021].
- [60] Sepulveda S, F., Godoy C, P., Zolezzi V, M., y Riquelme C, M., “Diagnostico y linea base: Productores de hortalizas de la Región Metropolitana,” Santiago: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 288, [en línea] 2014, <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7721>. [Consulta: 4 de noviembre 2021].
- [61] 5 al día Chile, “5 al día. ¿Qué hacemos?,” [en línea], 2020, <https://5aldia.cl/que-hacemos/>. [Consulta: 15 de diciembre 2021].
- [62] Facultad de Economía y Negocios, U. d. C., “Encuesta Nacional de Consumo Alimentario,” [en línea], 2010, [https://www.minsal.cl/sites/default/files/ENCA-INFORME\\_FINAL.pdf](https://www.minsal.cl/sites/default/files/ENCA-INFORME_FINAL.pdf). [Consulta: 8 de junio 2021].
- [63] Martínez, R., “El proceso de producción y las oportunidades de innovación tecnológica en la horticultura sinaloense de exportación,” en *Economía Informa*, no. 345, [en línea], 2007, <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/345/05RamonMartinez.pdf>. [Consulta: 13 de agosto 2022].
- [64] International Organization for Standardization, “Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework,” [en línea], 2006, <https://wapsustainability.com/wp-content/uploads/2020/11/ISO-14040.pdf>. [Consulta: 14 de agosto 2022].
- [65] Hauschild, M., Rosenbaum, R., y Irving, S., *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. [en línea], 2018, doi:10.1007/978-3-319-56475-3. [Consulta: 20 de noviembre 2021].
- [66] Global Footprint Network, “Glossary,” [en línea], 2022, <https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/>. [Consulta: 24 de agosto 2022].
- [67] Ecochain, “Impact Categories (LCA) – Overview,” [en línea], 2022, <https://ecochain.com/knowledge/impact-categories-lca/>. [Consulta: 29 de diciembre 2022].
- [68] Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J. C., Wackernagel, M., y Galli, A., “Accounting for demand and supply of the biosphere’s regenerative capacity: The national footprint accounts’ underlying methodology and framework,” *Ecological Indicators*, vol. 24, pp. 518–533, [en línea], 2013, doi:10.1016/j.ecolind.2012.08.005. [Consulta: 3 de septiembre 2021].
- [69] Office of Nuclear Energy, “5 incredible ways nuclear powers our lives,” [en línea], 2018, <https://www.energy.gov/ne/articles/5-incredible-ways-nuclear-powers-our-lives>. [Consulta: 4 de abril 2022].
- [70] WWF, “Informe Planeta Vivo 2006,” [en línea], 2006, [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/lpr\\_2006\\_spanish.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/lpr_2006_spanish.pdf). [Consulta: 14 de noviembre 2022].
- [71] Abierta, E., “Factores de emisión,” [en línea], 2022, <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>. [Consulta: 28 de noviembre 2022].

- [72] Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., van Heuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R. M., Kozyr, A., Lauvset, S. K., Lo Monaco, C., Mathis, J. T., Murata, A., Olsen, A., Perez, F. F., Sabine, C. L., Tanhua, T., y Wanninkhof, R., “The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub> from 1994 to 2007,” *Science*, vol. 363, no. 6432, pp. 1193–1199, [en línea], 2019, doi:10.1126/science.aau5153. [Consulta: 20 de noviembre 2022].
- [73] ODEPA, “Pérdida y desperdicio de alimentos en el sector agrícola: avances y desafíos,” [en línea], 2019, [https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/articulo-perdida\\_desperdicios.pdf](https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/articulo-perdida_desperdicios.pdf). [Consulta: 24 de septiembre 2022].
- [74] Tapia F., F. y Pérez C., C., “Bases para la producción y comercialización de hortalizas en Magallanes,” [en línea], 2016, <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6540>. [Consulta: 15 de mayo 2022].
- [75] Martínez-Godoy, R. E., “Proyecto de Inversión: Establecimiento de un vivero para la producción de plantines de hortalizas bajo el sistema "Soil Block”,” [en línea], 2018, [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-8500/UCC8524\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCC8524_01.pdf). [Consulta: 20 de diciembre 2022].
- [76] Rathgeb, W., Escaff, M., y Aljaro, A., “Producción de almácigos,” [en línea], 1983, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/34697/NR00662.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 27 de enero 2023].
- [77] González Idiarte, H., Salvo, G., Gallo, A., Machado, S., Rocha, B., y García de Souza, M., “Producción de semilla de zanahorias anuales (*Daucus carota* L.) en la región sur de Uruguay,” *Agrociencia* (Uruguay), vol. 16, pp. 68 – 78, [en línea], 2012, [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482012000100009&nrm=iso](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482012000100009&nrm=iso). [Consulta: 28 de septiembre 2022].
- [78] Saavedra del R., G. y Kehr M., E., “Hortalizas para Procesamiento Agroindustrial.” *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, [en línea], 2019, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6818/Capitulo2.Zanahoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. [Consulta: 16 de septiembre 2021].
- [79] Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., y Martin, A., “Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill),” [en línea], 2009, [http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/manuales\\_innova/Manual\\_cultivo\\_tomate.pdf](http://www.hortyfresco.uchile.cl/docs/manuales_innova/Manual_cultivo_tomate.pdf). [Consulta: 29 de marzo 2022].
- [80] Garces, I., “Nitrato de potasio (nitro, salitre).” U. de Antofagasta, [en línea], <https://intranetua.uantof.cl/salitre/NitratoK.pdf>. [Consulta: 9 de noviembre 2022].
- [81] Vitra, “Nitrato de calcio (maxisacos),” [en línea], <https://www.agrovitra.com/nitrato-de-calcio-granulado-maxisacos.html>. [Consulta: 14 de diciembre 2023].
- [82] ODEPA, “La urea y su comercialización en Chile,” [en línea], 2012, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2012/07/urea.pdf>. [Consulta: 28 de agosto 2023].
- [83] Agrícola, P., “ULTRASOL Crecimiento 25.10.10 + ME,” [en línea], <https://www.buscador.portalteconoagricola.com/vademecum/mex/producto/ULTRASOLCrecimiento25.10.10+ME>. [Consulta: 13 de noviembre 2022].

- [84] Chile, P., “Etiqueta MTD 600 Insecticida,” [en línea], [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol.\\_renov.\\_mtd\\_600\\_\\_point\\_chile\\_s.a.-etiqueta.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol._renov._mtd_600__point_chile_s.a.-etiqueta.pdf). [Consulta: 22 de agosto 2022].
- [85] Global, S., “KARATE CON TECNOLOGIA ZEON 050 CS,” [en línea], 2021, <https://www.syngenta.cl/product/crop-protection/insecticidas/karate-con-tecnologia-zeon-050-cs-1>. [Consulta: 11 de agosto 2022].
- [86] Anasac, “Etiqueta Insecticida Zero 5 EC,” [en línea], <https://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/Etiqueta-Zero-5-EC.pdf>. [Consulta: 19 de agosto 2022].
- [87] Bayer CropScience Colombia S.A., “Etiqueta Neres 50% SP,” [en línea], [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol.\\_renov\\_neres\\_50\\_sp\\_valent\\_biosciences\\_de\\_chile\\_s.a.\\_-\\_anexo\\_etiqueta.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol._renov_neres_50_sp_valent_biosciences_de_chile_s.a._-_anexo_etiqueta.pdf). [Consulta: 5 de septiembre 2022].
- [88] UPLOpenAg, “Fungicida Manzate 200,” [en línea], [https://cl.uplonline.com/download\\_links/oGthFCviZVIRuTJg49OUI2G8oYXyQ3eTBNuAD04d.pdf](https://cl.uplonline.com/download_links/oGthFCviZVIRuTJg49OUI2G8oYXyQ3eTBNuAD04d.pdf). [Consulta: 6 de enero 2023].
- [89] Global, S., “RIDOMIL GOLD MZ 68 WG,” [en línea], 2022, <https://www.syngenta.cl/product/crop-protection/fungicidas/ridomilr-gold-mz-68-wg-1>. [Consulta: 9 de septiembre 2022].
- [90] Nippon Soda Co., L., “Fungicida Cercobin M,” [en línea], 2017, [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/cercobin\\_m\\_resol\\_17-03-2017.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/cercobin_m_resol_17-03-2017.pdf). [Consulta: 10 de enero 2023].
- [91] Syngenta, “Vertimec 018 EC Acaricida o insecticida,” [en línea], [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/vertimec\\_018\\_ec\\_-\\_resol\\_ndeg\\_711\\_02-02-2017.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/vertimec_018_ec_-_resol_ndeg_711_02-02-2017.pdf). [Consulta: 14 de noviembre 2022].
- [92] Bioamerica, “Ficha Técnica Fosfimax 40-20,” [en línea], [https://www.bioamerica.cl/wp-content/files\\_mf/1652280144FTFOSFIMAX4020.pdf](https://www.bioamerica.cl/wp-content/files_mf/1652280144FTFOSFIMAX4020.pdf). [Consulta: 16 de enero 2023].
- [93] AgroConnexion, “Ficha Técnica Terra-Sorb foliar,” [en línea], 2019, <https://agroconnexion.cl/wp-content/uploads/2022/05/FT-TerraSorb-foliar-V01-07-2019.pdf>. [Consulta: 16 de enero 2023].
- [94] Bioamerica, “Ficha Técnica Frutaliv,” [en línea], [https://www.bioamerica.cl/wp-content/files\\_mf/1585236506FTFRUTALIV.pdf](https://www.bioamerica.cl/wp-content/files_mf/1585236506FTFRUTALIV.pdf). [Consulta: 16 de enero 2023].
- [95] Arysta LifeScience, “Insecticida Puzzle SC,” [en línea], [https://cl.uplonline.com/download\\_links/yILRajKzSd9wVBPMoeXTjVi27URrt9V118a8zz2C.pdf](https://cl.uplonline.com/download_links/yILRajKzSd9wVBPMoeXTjVi27URrt9V118a8zz2C.pdf). [Consulta: 12 de noviembre 2022].
- [96] Limin Chemical Co. Ltd., “Fungicida Mancozeb 80 WP,” [en línea], 2019, [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/mancozeb\\_80\\_wp\\_07-02-2019.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/mancozeb_80_wp_07-02-2019.pdf). [Consulta: 11 de enero 2023].
- [97] BASF Chile, “Herbadox® 45 – herbicida para hortalizas y frutales,” [en línea], [Herbadox-45-herbicida-para-hortalizas-y-frutales](https://www.basf.cl/Herbadox-45-herbicida-para-hortalizas-y-frutales). [Consulta: 10 de noviembre 2022].

- [98] NUTRITERRA, “Ficha Técnica Kelpak,” [en línea], 2018, <https://www.afipa.cl/HDS/KelpakL.pdf>. [Consulta: 16 de enero 2023].
- [99] Tecnoagícola, P., “CYPRESS 100 EC,” [en línea], <https://www.buscador.portalteconoagricula.com/vademecum/esp/producto/21710/CYPRESS%100EC?pagina=Categorías>. [Consulta: 8 de septiembre 2022].
- [100] Syngenta, “Bravo 720 Fungicida,” [en línea], 2022, <https://www.syngenta.cl/product/crop-protection/fungicidas/bravor-720-2>. [Consulta: 15 de octubre 2022].
- [101] ADAMA AGAN Ltd, “Afalon 50 % WP Herbicida,” [en línea], 2021, [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/afalon-50--wp\\_ene21\\_finalok.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/afalon-50--wp_ene21_finalok.pdf). [Consulta: 24 de octubre 2022].
- [102] Corteva, “Verdict™ 1400 Herbicida,” [en línea], <https://www.corteva.co/productos-y-soluciones/proteccion-de-cultivos/verdict-1400.html>. [Consulta: 19 de noviembre 2022].
- [103] Lillywhite, R., “The environmental footprint: a method to determine the environmental impact of agricultural production,” *Aspects Appl Biol*, vol. 86, 2008.
- [104] SAG, “Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos Agrícolas,” [en línea], 2019, [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/sist\\_nac\\_cert\\_prod\\_organicos.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/sist_nac_cert_prod_organicos.pdf). [Consulta: 13 de diciembre 2022].
- [105] Seufert, V., Ramankutty, N., y Foley, J., “Comparing the yields of organic and conventional agriculture,” *Nature*, vol. 485, pp. 229–32, [en línea], 2012, [doi:10.1038/nature11069](https://doi.org/10.1038/nature11069). [Consulta: 25 de octubre 2022].
- [106] de Ponti, T., Rijk, B., y van Ittersum, M. K., “The crop yield gap between organic and conventional agriculture,” *Agricultural Systems*, vol. 108, pp. 1–9, [en línea], 2012, [doi:10.1016/j.agsy.2011.12.004](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004). [Consulta: 12 de diciembre 2022].
- [107] ChileBio, “Estudio concluye que producción de semillas transgénicas no impacta al negocio de la agricultura orgánica en Chile,” [en línea], 2022, <https://www.chilebio.cl/2022/01/06/estudio-concluye-que-produccion-de-semillas-transgenicas-no-impacta-al-negocio-de-la-agricultura-organica-en-chile/>. [Consulta: 27 de noviembre 2022].
- [108] ODEPA, “Comisión Nacional de Agricultura Orgánica,” [en línea], 2020, <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70593/PresentacionOdepa091220.pdf>. [Consulta: 17 de enero 2023].
- [109] García, , Resultados y Lecciones en Modelo de manejo nutricional orgánico del arándano : proyecto de Innovación en regiones Metropolitana, del Maule, del Biobío y de La Araucanía. [en línea], 2016, <http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/146394>. [Consulta: 14 de enero 2023].
- [110] SAG, “Agricultura orgánica nacional: Bases técnicas y situación actual,” [en línea], 2013, [https://www.sag.cl/sites/default/files/agricultura\\_org\\_nacional\\_bases\\_tecnicas\\_y\\_situacion\\_actual\\_2013.pdf](https://www.sag.cl/sites/default/files/agricultura_org_nacional_bases_tecnicas_y_situacion_actual_2013.pdf). [Consulta: 28 de marzo 2022].

- [111] SQM, “Sulfato de potasio para agricultura orgánica de excelencia,” [en línea], [https://www.sqmc.cl/sites/default/files/descargables/volante\\_allganic\\_potasium.pdf](https://www.sqmc.cl/sites/default/files/descargables/volante_allganic_potasium.pdf). [Consulta: 20 de enero 2023].
- [112] PASCHE Agroindustrial, “Guano Rojo Fosilizado,” [en línea], <https://pascheagroindustrial.cl/ficha-tecnica-guano-rojo-fosilizado.html>. [Consulta: 20 de enero 2023].
- [113] ODEPA, “Estudio del Mercado mundial y nacional de semillas orgánicas,” [en línea], 2014, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/02/mercadoSemillasOrganicas.pdf>. [Consulta: 25 de noviembre 2022].
- [114] Brown, C., Kilpatrick, C., Vu, M., Weaver, M., y Kautz, E., “Seeds From Fresh Conventional Tomatoes Germinate Faster than Dried or Organic Seeds,” *Georgia Journal of Science*, vol. 75, 2017.
- [115] GardeGreen, “100 semillas lechuga crespa orgánica en maceta o huerta,” [en línea], [https://www.gardengreen.com.co/MCO-584149941-100-semillas-lechuga-crespa-organica-en-maceta-o-huerta-\\_JM#:~:text=GerminaciÃn:93GerminaciÃn:20a40dÃas](https://www.gardengreen.com.co/MCO-584149941-100-semillas-lechuga-crespa-organica-en-maceta-o-huerta-_JM#:~:text=GerminaciÃn:93GerminaciÃn:20a40dÃas). [Consulta: 17 de enero 2023].
- [116] ITAB, “Produire des semences de Carotte dans un itinéraire Agrobiologique,” [en línea], <https://orgprints.org/id/eprint/38103/1/38103fiche-carotte.pdf>. [Consulta: 9 de enero 2023].
- [117] Osorio Castro, C. B., “Evaluación de distintas fórmulas de sustratos orgánicos para la producción de plantines de lechuga y repollo,” [en línea], 2011, <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112788>. [Consulta: 6 de diciembre 2022].
- [118] MMA, “Estrategia climática de largo plazo de Chile,” [en línea], 2021, <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>. [Consulta: 10 de enero 2023].
- [119] Payen, F. T., Evans, D. L., Falagán, N., Hardman, C. A., Kourmpetli, S., Liu, L., Marshall, R., Mead, B. R., y Davies, J. A. C., “How Much Food Can We Grow in Urban Areas? Food Production and Crop Yields of Urban Agriculture: A Meta-Analysis,” *Earth’s Future*, vol. 10, no. 8, [en línea], 2022, [doi:10.1029/2022EF002748](https://doi.org/10.1029/2022EF002748). [Consulta: 10 de enero 2023].
- [120] CartMarket, “Acelga (atado),” [en línea], 2020, <https://www.cartmarket.cl/product-page/accelga>. [Consulta: 5 de mayo 2022].
- [121] Krarup, C., Fernández, S., y Nakashima, K., *Manual electrónico de poscosecha de hortalizas*. P. Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile., 2008.
- [122] ANASAC, “Semillas de lechuga,” [en línea], 2016, [https://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/Folleto\\_Lechugas.pdf](https://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/Folleto_Lechugas.pdf). [Consulta: 14 de mayo 2022].
- [123] Chile, P., “¿Qué son los agroquímicos?,” [en línea], <https://chile.pochteca.net/que-son-los-agroquimicos/>. [Consulta: 9 de enero 2022].

- [124] INIA, “Caracterización y dimensión de los residuos generados por la actividad agropecuario en el Valle de Azapa,” [en línea], 2012, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7880/Capitulo2.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. [Consulta: 19 de abril 2022].
- [125] Monti Clavijo, C. M., “Aplicación de un método para cuantificar la pérdida de alimentos en pequeños productores de berries y hortalizas en la Región del Maule.” Universidad de Talca, [en línea], 2021, <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12515/3/2021A000243.pdf>. [Consulta: 2 de agosto 2022].
- [126] Vita Alonso, A., Ruiz Gozalvo, F., Bown Intveen, H., Castillo Soto, M., Zúñiga Navarrete, P., y Garfías Salinas, R., Funciones de biomasa y estimación de carbono fijado por las principales especies del bosque esclerófilo de las regiones de O’Higgins y del Maule. 1 ed., [en línea], 2019, [https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio\\_documento/2020/08/RESUMEN.pdf](https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2020/08/RESUMEN.pdf). [Consulta: 15 de diciembre 2022].
- [127] Comyu Catálogo Online, “Caja 600x400x300,” [en línea], <https://comyuonline.cl/producto/caja-600x400x300/>. [Consulta: 13 de noviembre 2022].
- [128] Hogar Mexicano, “Guía sobre las medidas de refrigerador pequeño o grande en centímetros,” [en línea], <https://hogarmexicano.com.mx/medidas-de-refrigerador/#:~:text=Losrefrigeradoresconvencionales,queestÃn,y175centÃnmetrosdealtura>. [Consulta: 19 de agosto 2022].
- [129] Krarup, C., Fernández, S., y Nakashima, K., “Manual electrónico de poscosecha de hortalizas,” [en línea], 2008, [https://www7.uc.cl/sw\\_educ/agronomia/manual\\_poscosecha/index.html](https://www7.uc.cl/sw_educ/agronomia/manual_poscosecha/index.html). [Consulta: 25 de enero 2023].
- [130] Ruiz-Sánchez, C., “Rastrojos de cultivos y residuos forestales.” Boletín INIA, [en línea], 2015, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7856/BoletÃnINIANÃ308?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 22 de julio 2022].
- [131] Gaviola, J. C., “Producción de semillas hortícolas,” [en línea], 2020, [https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu3465\\_inta\\_asaho\\_web\\_semillas\\_v1.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu3465_inta_asaho_web_semillas_v1.pdf). [Consulta: 16 de enero 2023].
- [132] Servicios Integrales de Calidad Ambiental LTDA -S SICAM Ingeniería, “CAPÍTULO III: Fuentes móviles en ruta y fuera de ruta - Actualización del inventario de emisiones atmosféricas de las comunas concepción metropolitano, año base 2013,” [en línea], 2015, [http://www.cpcbiobio.cl/wp-content/uploads/2016/07/CAPITULO-III\\_Fuentes-Moviles.pdf](http://www.cpcbiobio.cl/wp-content/uploads/2016/07/CAPITULO-III_Fuentes-Moviles.pdf). [Consulta: 10 de mayo 2022].
- [133] Hernández, M., “Potencial de calentamiento global de los sistemas agrícolas cero labranza y convencional en una localidad regada en la zona central de Chile,” [en línea], 2017, <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/153177/Potencial-de-calentamiento-global-de-los-sistemas-agri%colas-cero-labranza-y-convencional-en-una-localidad-regada-de-la-zona-central-de-Chile.pdf?sequence=1>. [Consulta: 19 de noviembre 2022].
- [134] Roig, M., “Determinación de la Huella de Carbono de productos agrícolas en una finca de agricultura ecológica.” Master’s thesis, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, [en línea], 2016. [Consulta: 23 de noviembre 2022].

- [135] IPCC, “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 3: Combustión móvil,” [en línea], 2006, [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf). [Consulta: 14 de julio 2022].
- [136] Salas, I., Islas, I., y Muñoz, C., “Elementos De Sustentabilidad en La Producción De Biocombustibles: La Certificación Como Instrumento De Política Ambiental,” [en línea], 2000, [https://www.academia.edu/23756315/Elementos\\_De\\_Sustentabilidad\\_en\\_La\\_ProducciÃ³n\\_De\\_Biocombustibles\\_La\\_CertificaciÃ³n\\_Como\\_Instrumento\\_De\\_PolÃtica\\_AMBIENTAL1](https://www.academia.edu/23756315/Elementos_De_Sustentabilidad_en_La_ProducciÃ³n_De_Biocombustibles_La_CertificaciÃ³n_Como_Instrumento_De_PolÃtica_AMBIENTAL1). [Consulta: 22 de diciembre 2022].
- [137] ADEME, “Pesticides and other agrochemical products,” [en línea], 2021, [https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_EN/index.htm?pesticides\\_et\\_autres\\_produits\\_.htm](https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_EN/index.htm?pesticides_et_autres_produits_.htm). [Consulta: 4 de septiembre 2022].
- [138] Wood, S. y Cowie, A., A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production, vol. 38. [en línea], 2004, [https://www.researchgate.net/publication/235704822\\_A\\_Review\\_of\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emission\\_Factors\\_for\\_Fertiliser\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/235704822_A_Review_of_Greenhouse_Gas_Emission_Factors_for_Fertiliser_Production).
- [139] Europe, F., “Mineral fertilizer carbon footprint reference values: 2011,” [en línea], 2011, <https://www.agindustries.org.uk/static/2a6d34b7-bcf9-4ac1-a2843dede9fde0d5/Mineral-Fertiliser-Carbon-Footprint-Reference-Values-2011.pdf>. [Consulta: 10 de noviembre 2023].
- [140] Davis, J. y Haglund, C., “Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production: Fertiliser Products Used in Sweden and Western Europe,” Master’s thesis, Chalmers University of Technology, 1999.
- [141] Ghosh, A., Vijay Anand, K. G., y Seth, A., “Life cycle impact assessment of seaweed based biostimulant production from onshore cultivated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva—Is it environmentally sustainable?,” *Algal Research*, vol. 12, pp. 513–521, [en línea], 2015, [doi:10.1016/j.algal.2015.10.015](https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.10.015). [Consulta: 27 de noviembre 2022].
- [142] Marinussen, M. y Kool, A., “Environmental impacts of synthetic amino acid production,” [en línea], 2010, <https://vdocuments.net/environmental-impacts-of-synthetic-amino-acid-7-23-functional-unit-the-functional.html?page=2>. [Consulta: 9 de enero 2023].
- [143] Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D., y Williams, A., Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. [en línea], 2009, [doi:10.13140/RG.2.1.5095.3122](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5095.3122). [Consulta: 16 de noviembre 2022].
- [144] López-Álvarez, N., “Metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades,” [en línea], 2008, [http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/987984792\\_NLópez.pdf](http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/987984792_NLópez.pdf). [Consulta: 11 de noviembre 2023].
- [145] Xu, F. y Pan, J.-J., “Low-carbon design for product packaging: a case study on wineglass,” *Int J Low-Carbon Tech*, vol. 16, no. 1, pp. 89–97, [en línea], 2021, [doi:10.1093/ijlct/ctaa039](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa039). [Consulta: 30 de julio 2022].

- [146] Ma, X., Li, C., y Li, B., “Carbon Emissions of China’s Cement Packaging: Life Cycle Assessment,” [en línea], 2019, [doi:10.3390/su11205554](https://doi.org/10.3390/su11205554). [Consulta: 1 de octubre 2022].
- [147] Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., y Martikainen, P. J., “Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps,” *Biogeosciences*, vol. 7, no. 9, pp. 2711–2738, [en línea], 2010, [doi:10.5194/bg-7-2711-2010](https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010). [Consulta: 4 de octubre 2022].
- [148] Factor CO2, “Informe de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de 2018 de ENCE Energía Celulosa,” [en línea], 2020, [https://ence.es/wp-content/uploads/2020/09/Informe-GEI-2018\\_ENCE\\_-rev-1.pdf](https://ence.es/wp-content/uploads/2020/09/Informe-GEI-2018_ENCE_-rev-1.pdf). [Consulta: 10 de enero 2023].
- [149] Worrell, E., Phylipsen, D., Einstein, D., y Martin, N., “Energy use and energy intensity of the U.S. chemical industry,” Lawrence Berkeley National Laboratory, [en línea], 2000, <https://escholarship.org/uc/item/2925w8g6>. [Consulta: 22 de agosto 2022].
- [150] Department for Business, E. . I. S., “Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020,” [en línea], 2020, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>. [Consulta: 19 de enero 2023].
- [151] USM, “Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso - Anexo 12 Fichas de Perfil de Proyectos Innovativos.,” [en línea], 2012, [https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo\\_residuos/ANEXO12FichasProyectosInnovativos.pdf](https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo_residuos/ANEXO12FichasProyectosInnovativos.pdf). [Consulta: 16 de enero 2023].
- [152] Herrera-Murillo, J., Rojas-Marín, J. F., y Anchía-Leitón, D., “Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterio derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica,” *Revista De Ciencias Ambientales*, vol. 52, no. 1, pp. 94–109, [en línea], 2017, <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/10114>. [Consulta: 29 de abril 2022].
- [153] Mugica, V., “Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y contaminantes de vida corta, metano (CH<sub>4</sub>) y carbono negro por prácticas de quema agrícola,” [en línea], 2016, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores\\_de\\_Emision\\_de\\_Quema\\_Agr cola\\_CGMCC\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores_de_Emision_de_Quema_Agr cola_CGMCC_2016.pdf). [Consulta: 26 de enero 2023].
- [154] In – Data SpA, CDT, “Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018,” [en línea], 2019, [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe\\_final\\_caracterizacion\\_residencial\\_2018.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf). [Consulta: 19 de enero 2023].
- [155] SODIMAC, “HISENSE Refrigerador no fost top mount 321 litros,” [en línea], 2022, <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/product/110075399/Refrigerador-no-fost-top-mount-321-litros/110075400>. [Consulta: 16 de agosto 2022].
- [156] Silva, I., “Cuánto tiempo pueden durar las verduras en el refrigerador?,” [en línea], 2019, <https://www.sumedico.com/bienestar/cuanto-tiempo-pueden-durar-las-verduras-en-el-refrigerador/316148>. [Consulta: 25 de enero 2023].
- [157] PuntoMak, “Trituradora Electrica 2500w 44mm TRE 744/220,” [en línea], <https://bit.ly/3OaW3bE>. [Consulta: 13 noviembre 2022].

- [158] TripleE, “Bomba de agua sumergible pozo profundo LEO 1 hp,” [en línea], <https://www.triplee.cl/bomba-de-agua-sumergible-pozo-profundo-leo-1-hp--442.html>. [Consulta: 11 de febrero 2022].
- [159] Pakere, I. y Blumberga, D., “Energy Efficiency Indicators in Peat Extraction Industry - A Case Study,” *Energy Procedia*, vol. 113, pp. 143–150, [en línea], 2017, [doi:10.1016/j.egypro.2017.04.042](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.042). [Consulta: 28 de septiembre 2022].
- [160] Goudouva, G., Loizia, P., Inglezakis, V., y Zorpas, A. A., “Quarries environmental footprint in the framework of sustainable development: The case study of Milos island,” vol. 133, no. SCOPUS:85057809763, pp. 307–314, [en línea], 2018, [doi:10.5004/dwt.2018.23087](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23087). [Consulta: 5 de julio 2022].
- [161] Heimpel, G. E., Yang, Y., Hill, J. D., y Ragsdale, D. W., “Environmental Consequences of Invasive Species: Greenhouse Gas Emissions of Insecticide Use and the Role of Biological Control in Reducing Emissions,” *PLOS ONE*, vol. 8, no. 8, p. e72293, [en línea], 2013, [doi:10.1371/journal.pone.0072293](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072293). [Consulta: 28 de septiembre 2022].
- [162] Bhushan, C., Sardana, S. A., Trivedi, V., Subramanian, K., Srivastava, S., y Verma, S., “How green is the urea sector?,” [en línea], 2019, <https://www.downtoearth.org.in/news/agriculture/how-green-is-the-urea-sector--64836#:~:text=AverageCO2emissionintensityduring,cubicmetres/tonneureaproduced>. [Consulta: 16 de enero 2023].
- [163] Han, X., Yan, X., Wang, X., Ran, J., Wu, C., y Zhang, X., “Preparation of chloride-free potash fertilizers by electrodialysis metathesis,” *Separation and Purification Technology*, vol. 191, pp. 144–152, [en línea], 2018, [doi:10.1016/j.seppur.2017.09.022](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.09.022). [Consulta: 5 de octubre 2022].
- [164] Amenumey, S. y Capel, P., “Fertilizer Consumption and Energy Input for 16 Crops in the United States,” *Natural Resources Research*, vol. 23, [en línea], 2014, [doi:10.1007/s11053-013-9226-4](https://doi.org/10.1007/s11053-013-9226-4). [Consulta: 29 de noviembre 2022].
- [165] CEDEUS, *Camino a Ciudades Sustentables - Aportes desde la investigación a las políticas públicas urbanas en Chile*. 1 ed., [en línea], 2018, [https://www.cedeus.cl/wp-content/uploads/2018/08/DT\\_DEF\\_CEDEUS.pdf](https://www.cedeus.cl/wp-content/uploads/2018/08/DT_DEF_CEDEUS.pdf). [Consulta: 18 de enero 2023].
- [166] Ibrahim, H. Y., “Energy use pattern in vegetable production under fadama in North Central Nigeria,” *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, no. 3, pp. 1019–1024, [en línea], 2011, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93921493024>. [Consulta: 21 de julio 2022].
- [167] Poblete, M. y León, J., “INFORME FINAL Desarrollo de un sistema de información de costos para los pequeños productores hortofrutícolas,” [en línea], 2010, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/SistCostosProductores2010.pdf>. [Consulta: 18 de enero 2023].
- [168] REDECAM, “¿Cuánto combustible consume un camión?,” [en línea], <https://www.redecam.cl/cuanto-combustible-consume-un-camion/#:~:text=AunasÅn,seestimaque,demenorcargaconsumentenmenos>. [Consulta: 15 de mayo 2022].

- [169] Palomino, M., “Maxus lanza en Chile un nuevo camión ligero,” [en línea], 2020, <https://noticias.autocosmos.cl/2020/08/12/maxus-lanza-en-chile-un-nuevo-camion-ligero>. [Consulta: 9 de enero 2023].
- [170] Osses, M., “Consultoría para la cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile,” techreport 1, Banco Interamericano de Desarrollo, [en línea], 2019.
- [171] Prueba de Ruta, “¿Cuál es el peso máximo que soporta un coche?,” [en línea], <https://www.pruebaderuta.com/peso-maximo-coche.php>. [Consulta: 9 de enero 2023].
- [172] MTT, “Consumo de Combustible y Emisiones de CO2 Vehículos Homologados,” [en línea], 2014, <http://www.mtt.gob.cl/archivos/5626>. [Consulta: 10 de enero 2023].
- [173] Zoomlion, “Camiones recolectores,” [en línea], 2013, <http://www.zoomlionchile.cl/equipos/recolectores.html>. [Consulta: 10 de enero 2023].
- [174] Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos USM, “Informe final Consolidado Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso,” [en línea], 2011, [https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo\\_residuos/ANEXO12FichasProyectosInnovativos.pdf](https://www.quillota.cl/web/transparencia/wp-content/uploads/secplan/manejo_residuos/ANEXO12FichasProyectosInnovativos.pdf). [Consulta: 11 de enero 2023].
- [175] Organos de Palencia, “¿Cuál es la velocidad promedio de un barco carguero?,” [en línea], 2021, <https://organosdepalencia.com/biblioteca/articulo/read/80908-cual-es-la-velocidad-promedio-de-un-barco-carguero#question-0>. [Consulta: 23 de junio 2022].
- [176] Yakynin, K., “Navegamos con Wialon: control de combustible en buques de carga,” [en línea], 2018, <https://gurtam.com/es/blog/wialon-float-out-fuel-control-on-a-bulk-carrier-ship#:~:text=Normalmente,losbuquesconsumen225litrosdecombustibleporhora>. [Consulta: 16 de enero 2023].
- [177] Distance, “Distancia Chile - Francia,” [en línea], <https://es.distance.to/Chile/Francia>. [Consulta: 3 de agosto 2022].
- [178] AWARECON, “¿Cuánto cuesta el envío de un contenedor de China a Chile?,” [en línea], <https://www.awarecon.com/cuanto-cuesta-el-envio-de-un-contenedor-de-china-a-chile/#:~:text=El tiempo de tránsito entre, este hace en su camino>. [Consulta: 17 de enero 2023].
- [179] iContainers, “Transporte marítimo a USA (2): tiempos de tránsito,” [en línea], 2014, <https://www.icontainers.com/es/2014/03/26/tiempos-de-transito/>. [Consulta: 19 de enero 2023].
- [180] Cargo, D. V., “Preguntas frecuentes- El tiempo que toma por los trámites de aduana,” [en línea], <http://delvallecargo.com/preguntas-frecuentes/#:~:text=El tiempo que toma su, por los trámites de aduana>. [Consulta: 7 de septiembre 2022].
- [181] Júpiter de Colombia, “Tiempo de Tránsito Importación Marítima,” [en línea], 2020, <https://www.jupiterdecolombia.com/wp-content/uploads/2020/07/Tiempo-Transito-importacion-maritima.pdf>. [Consulta: 17 de enero 2023].

- [182] AM CARGO, “Transporte marítimo a Valparaíso – Sudamérica,” [en línea], <https://www.amcargo.es/transporte-maritimo/sudamerica/valparaiso/>. [Consulta: 17 de enero 2023].
- [183] Marítimas, R., “Rutas Encontradas - Costa Este Sudamerica,” [en línea], <https://rutasmaritimas.promperu.gob.pe/itinerario?prutamaestra=null,4,5>. [Consulta: 5 de noviembre 2022].
- [184] Gil, P. M., Barrera, C., Cea, D., Contreras, S., Díaz, L. G., Adell, A., y Atwill, E. R., “RIEGO EN HORTALIZAS: Tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua,” [en línea], 2018, <https://agronomia.uc.cl/proyectos/307-riego-en-hortalizas-tecnologias-apropiadas-para-mejorar-eficiencia-de-uso-y-calidad-de-agua-para-una-produccion-sostenible-e-inocua/file>. [Consulta: 18 de noviembre 2022].
- [185] López-Olivari, R., 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. No. 340, Centro Regional Carillanca. Km 10 camino Cajón Vilcun: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), [en línea], 2016, [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31618/INIA\\_Libro\\_0085.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31618/INIA_Libro_0085.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [186] Ortega-Farias, S. y Carrasco-Benavides, M., “Sistema de Programación de Riego Usando Estaciones Meteorológicas Automáticas,” pp. 217–232, 2005.
- [187] ACHIPIA, “Recomendaciones para el lavado y desinfección de frutas y verduras,” [en línea], 2020, <https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/Recomendaciones-para-el-lavado-y-desinfeccion-de-frutas-y-verduras.pdf>. [Consulta: 15 de noviembre 2021].
- [188] “Consumo de un lavavajillas: trucos para ahorrar agua en tu hogar,” [en línea], 2021, <https://www.cleanipedia.com/ar/sustentabilidad/cuanto-consume-un-lavavajillas.html#:~:text=Te compartimos algunos datos:,litros de agua por ciclo>. [Consulta: 17 de septiembre 2022].

# Anexos

## Anexo A

### Masa producida por hortaliza en RM

En el presente anexo se resumen los datos utilizados y resultados obtenidos para el cálculo de la masa producida de las hortalizas cultivadas en la RM.

Para llevar a cabo el cálculo de masa producida se utilizaron los datos de superficie de cada especie en ña región, además del rendimiento de cada una de ellas, por lo que en este anexo se presentan los datos utilizados en el cálculo, además del resultado final obtenido.

#### A.1. Superficie sembrada por hortaliza en la región

En la Tabla A.1 presentada a continuación se detalla la superficie sembrada para cada una de las hortalizas producidas en la RM. Estos datos fueron extraídos del Boletín de hortalizas de agosto 2021 de la ODEPA [37].

Hortaliza	Superficie [ha]	% de superficie total
Acelga	530,4	2,0 %
Achicoria industrail	0,0	0,0 %
Ají	72,8	0,3 %
Ajo	803,4	3,1 %
Alcachofa	285,5	1,1 %
Apio	518,5	2,0 %
Arveja	230,2	0,9 %
Betarraga	873,3	3,3 %
Brócoli	1010,4	3,8 %
Cebolla de guarda	2138,1	8,1 %
Cebolla temprana	1571,7	6,0 %
Choclo	3439,5	13,1 %
Coliflor	954,7	3,6 %
Espinaca	755,6	2,9 %
Haba	929,9	3,5 %
Lechuga	2316,8	8,8 %
Melón	910,7	3,5 %
Orégano	149,8	0,6 %
Pepino de ensalada	152,1	0,6 %
Pimiento	158,8	0,6 %
Poroto granado	1428,0	5,4 %
Poroto verde	816,4	3,1 %
Repollo	417,5	1,6 %
Sandía	266,4	1,0 %
Tomate consumo fresco	921,6	3,5 %
Tomate industrial	0,0	0,0 %
Zanahoria	1362,7	5,2 %
Zapallo italiano	522,0	2,0 %
Zapallo temprano y de guarda	1129,9	4,3 %
Otras hortalizas	1674,6	6,4 %

Tabla A.1: Superficie sembrada para cada una de las hortalizas consideradas en la RM. Elaboración propio a partir de datos ODEPA [37]

## A.2. Rendimiento por hortaliza en la RM

En las Tablas A.2 y A.3 se presentan los rendimientos de cada una de las hortalizas producidas en la RM. Los datos se encuentran en diferentes unidades por lo que, para ser comparables, se llevan todos a [kg/ha]. Para realizar esto último, se utilizan los datos de la Tabla A.4.

Los rendimientos fueron extraídos del Diagnóstico Estudio Monitoreo Territorial Hortícola de la Región Metropolitana de Santiago del Centro de Información de Recursos Naturales

(CIREN) del 2022 [58].

<b>Hortaliza</b>	<b>Chacabuco</b>	<b>Cordillera</b>	<b>Maipo</b>	<b>Unidad</b>
Acelga	14.617	8.000	9.600	[atados/ha]
Ajo	12.500	-	-	[kg/ha]
Alcachofa	42.691	46.667	-	[unidad/ha]
Betarraga	187.223	-	-	[unidad/ha]
Brócoli	-	24.000	-	[unidad/ha]
Cebolla de guarda	232.121	233.912	-	[unidad/ha]
Cebolla temprana	195.020	-	-	[unidad/ha]
Choclo	28.875	-	-	[unidad/ha]
Coliflor	30.000	20.000	-	[unidad/ha]
Espinaca	13.308	-	16.000	[kg/ha]
Haba	11.525	-	-	[kg/ha]
Lechuga	46.445	27.500	43.000	[unidad/ha]
Melón	28.778	-	-	[unidad/ha]
Papa	23.673	22.333	30.000	[kg/ha]
Poroto granado	2.823	-	7.800	[kg/ha]
Tomate aire libre	48.618	36.625	45.542	[kg/ha]
Tomate invernadero	125.714	-	129.215	[kg/ha]
Zanahoria	31.390	31.390	31.390	[kg/ha]
Zapallo de guarda	-	-	35.288	[kg/ha]
Zapallo italiano	71.400	86.000	-	[unidad/ha]

Tabla A.2: Rendimiento de las hortalizas en provincias de la RM.

<b>Hortaliza</b>	<b>Melipilla</b>	<b>Talagante</b>	<b>Unidad</b>
Acelga	15.400	16.951	[atados/ha]
Ajo	18.222	13.417	[kg/ha]
Alcachofa	51.875	-	[unidad/ha]
Betarraga	205.293	225.000	[unidad/ha]
Brócoli	27.547	26.215	[unidad/ha]
Cebolla de guarda	289.028	171.627	[unidad/ha]
Cebolla temprana	-	179.667	[unidad/ha]
Choclo	25.689	24.269	[unidad/ha]
Coliflor	21.242	24.804	[unidad/ha]
Espinaca	-	-	[kg/ha]
Haba	10.221	13.215	[kg/ha]
Lechuga	34.042	35.847	[unidad/ha]
Melón	20.000	-	[unidad/ha]
Papa	21.630	19.596	[kg/ha]
Poroto granado	6.250	5.025	[kg/ha]
Tomate aire libre	50.400	40.479	[kg/ha]
Tomate invernadero	200.000	121.270	[kg/ha]
Zanahoria	31.390	31.390	[kg/ha]
Zapallo de guarda	24.990	-	[kg/ha]
Zapallo italiano	83.433	-	[unidad/ha]

Tabla A.3: Continuación de rendimiento de las hortalizas en provincias de la RM.

En la Tabla A.4 a continuación se muestran los datos utilizados para transformar las unidades del rendimiento, de forma que quede en [kg/ha], y permita calcular la masa producida.

<b>Hortaliza</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Acelga	0,80	[kg/atado]	[120]
Alcachofa	0,25	[kg/unidad]	[121]
Betarraga	0,15	[kg/unidad]	[121]
Brócoli	0,40	[kg/unidad]	[121]
Cebolla de guarda	0,30	[kg/unidad]	[121]
Cebolla temprana	0,30	[kg/unidad]	[121]
Choclo	0,35	[kg/unidad]	[121]
Coliflor	0,60	[kg/unidad]	[121]
Lechuga	0,45	[kg/unidad]	[122]
Melón	1,50	[kg/unidad]	[121]
Zapallo italiano	0,25	[kg/unidad]	[121]

Tabla A.4: Valores utilizados para transformar unidades del rendimiento.

A partir de los datos anteriores, se puede obtener un rendimiento en [kg/ha] para cada

uno de las provincias. Considerando que la superficie sembrada se tiene por región, mas no por provincia, se asumirá un rendimiento promedio, calculado como el promedio de los rendimientos de las 5 provincias. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla A.5.

<b>Hortaliza</b>	<b>Rendimiento promedio [kg/ha]</b>
Acelga	10.331
Ajo	14.713
Alcachofa	8.827
Betarraga	30.876
Brócoli	10.368
Cebolla de guarda	69.502
Cebolla temprana	37.469
Choclo	9.197
Coliflor	14.407
Espinaca	7.327
Haba	11.654
Lechuga	16.815
Melón	24.389
Papa	23.446
Poroto granado	5.475
Tomate aire libre	44.333
Tomate invernadero	144.050
Zanahoria	31.390
Zapallo de guarda	20.093
Zapallo italiano	12.042

Tabla A.5: Rendimiento promedio de las hortalizas en la RM.

### **A.3. Masa producida de hortalizas en la RM**

Con los datos presentados en las secciones A.1 y A.2 se puede calcular la masa producida de cada hortaliza en la región. En la Tabla A.6 se detallan los resultados.

<b>Hortaliza</b>	<b>Masa producida [ton]</b>
Acelga	5.479
Ajo	11.820
Alcachofa	2.520
Betarraga	26.965
Brócoli	10.476
Cebolla de guarda	148.599
Cebolla temprana	88.336
Choclo	31.634
Coliflor	13.754
Espinaca	11.072
Haba	10.836
Lechuga	38.957
Melón	33.316
Poroto granado	7.817
Tomate	86.808
Zanahoria	42.774
Zapallo de guarda	34.055
Zapallo italiano	7.857

Tabla A.6: Masa producida de las hortalizas en la RM.

# Anexo B

## Región de origen de hortalizas consumidas en RM

Las hortalizas consumidas en la RM no necesariamente son producidas en este mismo lugar. La RM es la región con mayor superficie productiva de hortalizas, pero esto no implica que se abastezca por sí misma. El lugar de origen depende de las condiciones climáticas, superficie disponible en cada región, entre otros factores.

A raíz de lo anterior, se buscó el lugar de origen de las hortalizas que son comercializadas y consumidas en la región. Para esto, se utilizó el detalle publicado por la ODEPA de las transacciones realizadas en los principales mercados del país, donde se menciona el producto, cantidad comprada, precios y el lugar de origen de la hortaliza.

Entonces, la identificación del origen de las tres hortalizas representativas se realizó mediante la utilización de los datos antes mencionados, de tal forma que se identificó la región en la que la hortaliza consumida en la RM es comúnmente producida. Para esto, se utilizaron datos de diferentes meses entre enero 2018 y septiembre 2022, de forma que el origen represente lo que ocurre en todas las estaciones del año.

El detalle de los datos utilizados se puede encontrar en el excel adjunto “Obj. 2 Huella Ecológica Escenario Actual V2”, en la hoja “Lugar de Origen”, y en las tablas a continuación se presenta el resumen, con el que se concluye las principales regiones desde las que se obtiene cada hortaliza. Los porcentajes presentados en la Tabla B.1 representan la fracción másica que abastece la región a la RM de cada hortaliza.

Tabla B.1: Regiones de origen de las hortalizas más consumidas en la RM.

Hortaliza	Posición	Región	Masa [ton]	Porcentaje del consumo [%]
Tomate	1ra	Arica y Parinacota	350,8	37 %
	2da	Valparaíso	339,6	35 %
Lechuga	1ra	RM	747,2	64 %
	2da	Coquimbo	387,5	33 %
Zanahoria	1ra	RM	153,8	35 %
	2da	Ñuble	101,1	23 %

Teniendo en cuenta la información disponible para cada caso, se decide que para el tomate se considerará la Región de Valparaíso como origen, para la lechuga la RM y para la zanahoria la Región de Ñuble. Es importante notar que, aunque para el tomate y la zanahoria no se eligen las regiones principales, las que tienen el segundo lugar abastecen con una cantidad de hortalizas importantes a la RM, en especial para el caso del tomate, donde la diferencia entre ambas regiones es de un 2%.

# Anexo C

## Proceso productivo

En este anexo se presenta una descripción de las etapas que constituyen el ciclo de vida de las hortalizas en Chile. Las etapas se encuentran agrupadas dependiendo si pertenecen al *foreground*, *upstream* o *downstream* del sistema.

### C.1. Proceso principal - Foreground

- **Preparación de la tierra:** La preparación de la tierra es una de las etapas fundamentales para el rendimiento del cultivo. Se inicia realizando un análisis del suelo, para así conocer el estado en que se encuentra la tierra tanto física como químicamente, lo que permite la posterior elección de agroquímicos necesarios para el alimento a cultivar.

Antes de aplicar los agroquímicos necesarios, se realiza la labranza, que incluye mullir, airear, nivelar y remover el suelo, para así tener un ambiente adecuado para la siembra. Lo anterior se logra mediante el arado, rastraje y melgadura, que buscan remover el suelo, romperlo y crear surcos respectivamente.

La parte final de esta etapa en el cultivo convencional consiste en la aplicación de los agroquímicos necesarios para que la tierra se encuentre en las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo.

- **Trasplante o siembra:** La etapa de trasplante es incluida en las hortalizas de siembra indirecta. Consiste principalmente en plantar el almácigo o plantín en el lugar definitivo donde se desarrollará, luego de haber sido germinado en otro espacio. El trasplante se refiere a la acción de mover el plantín, mas no incluye la producción del mismo.

En el caso de las hortalizas de siembra directa, no se considera el trasplante, sino la siembra de la semilla en el terreno en el que germinará y se desarrollará la hortaliza.

- **Cultivo:** El cultivo es la etapa con mayor duración del proceso, pudiendo tomar de semanas a meses dependiendo de la planta que esté siendo cultivada. Para el caso de la siembra directa, engloba el proceso desde que la semilla fue puesta en la tierra y comienza a germinar hasta que puede ser cosechada, mientras que para la siembra indirecta abarca desde la plantación del plantín hasta que está lista para ser cosechada.

En esta etapa también se pueden agregar agroquímicos, dependiendo del requerimiento que tenga la plantación, y se mantiene un riego frecuente o constante, dependiendo de la tecnología utilizada.

En el presente estudio se consideró que para las tres hortalizas representativas se utilizó riego por surcos y se asumió que todos los agroquímicos necesarios fueron agregados en la preparación de la tierra.

- **Cosecha:** Consiste en la extracción de la hortaliza ya lista para ser consumida o procesada, para el caso en que sea utilizada de forma industrial. La cosecha puede ser manual o tecnificada.
- **Traslado a selección y envasado:** Es la etapa en que las hortalizas ya cosechadas son transportadas hasta el lugar donde se realizará la selección y posterior envasado de las mismas. La selección se considera manual y es realizada para todas las hortalizas, y los criterios utilizados son definidos según el destino que tengan.

La inclusión del traslado a envasado depende de dos factores principales. El primero es la ubicación del sector de envasado, ya que en ocasiones se realiza en el mismo terreno, por lo que el transporte existe, pero puede ser manual o mecanizado en distancias pequeñas que no tengan un efecto en el cálculo de la categoría de impacto elegida.

El segundo factor tiene relación con el destino que tiene la hortaliza, es decir, si es para consumo fresco o industrial. En el primero la hortaliza generalmente va siendo almacenada en sacos o cajas a medida que es cosechada, sin recibir otro tipo de envasado, como envoltura de plástico, etiquetas, u otros, por lo que no es transportada para ser envasada.

- **Selección:** La selección se basa en la revisión de las hortalizas cosechadas para cuidar que cumplan con los estándares requeridos para su posterior uso. Esta etapa es generalmente realizada de forma manual, haciendo una revisión visual de las características físicas de la hortaliza, tales como la forma, color, tamaño, entre otros.
- **Envasado:** El envasado consiste en almacenar las hortalizas en el lugar en que luego serán transportadas y/o entregadas al consumidor/a. Para el caso del consumo fresco, que es vendido en mercados y ferias, el envasado consiste en el llenado de cajas o sacos, mientras que para la venta en supermercados se debe seguir los reglamentos del comprador, que pueden incluir el envasado en bolsas o cajas plásticas.

Tal como se mencionó antes, en este trabajo se cuantifica el impacto de las hortalizas para consumo fresco, por lo que solo se considera el almacenamiento en cajas o sacos según corresponda.

- **Refrigeración en producción:** Cuando el alimento no es transportado inmediatamente a los lugares de venta, se debe incluir la refrigeración en el lugar de producción, de forma que puedan ser conservados en condiciones óptimas en el tiempo entre la cosecha y el transporte a mercados.

Al estar estudiando hortalizas para consumo fresco, esta etapa no será considerada.

- **Traslado al mercado:** El traslado puede ser realizado por medios marítimos, aéreos o terrestres, dependiendo del fin que tenga la hortaliza y el lugar al que será transportado. En general en Chile se prioriza moverlas por tierra directamente a mercados que las vendan para consumo fresco, pero en caso de ser llevadas largas distancias, tanto al extranjero como dentro del país, se puede elegir el traslado marítimo o aéreo.

La elección del medio de transporte depende de la duración que tiene el alimento en buen estado, ya que el traslado marítimo implica un menor costo, pero toma un tiempo mayor al del traslado aéreo.

Para esta etapa se considera el traslado terrestre en camiones, desde la región de origen de cada hortaliza hasta el mercado Lo Valledor.

- **Venta en mercado:** La venta en mercado se da en supermercados, mercados mayoristas, ferias libres, almacenes de barrio u otros. Es común que los mercados mayoristas actúen como un intermediario entre los productores y las ferias libres o almacenes, por lo que en ese caso, la venta incluye la venta a los mercados minoristas y, luego, a quien consume.
- **Traslado a consumo domiciliario:** Las hortalizas vendidas en Lo Valledor son luego transportadas a las ferias libres o directamente al consumo domiciliario. En esta etapa se considera que el transporte se realiza en autos comúnmente utilizados en la ciudad, y se asume que una distancia igual al promedio recorrido entre el mercado y un punto central en cada comuna de la RM.
- **Consumo domiciliario:** En esta etapa el alimento se encuentra en manos del consumidor, comprado en un mercado, ya sea mayorista o minorista. La hortaliza puede ser consumida en el momento, o considerar también una refrigeración por algunos días en los hogares. En este trabajo se considera que es refrigerada.

## C.2. Background: Upstream

- **Producción agroquímicos:** Los agroquímicos engloban todas las sustancias que sean utilizadas para mejorar la fertilidad de la tierra y/o su rendimiento, así como también para evitar y controlar plagas, enfermedades u otros problemas que se puedan presentar en un cultivo. Pueden ser orgánicos o sintéticos, aunque en la forma de cultivo convencional es usual usar principalmente sintéticos.

Para el caso de las hortalizas incluyen: fertilizantes, insecticidas, herbicidas, fungicidas, y bactericidas. De cada uno de ellos existe una amplia variedad, con diferentes objetivos y composiciones, por lo que se debe elegir teniendo en consideración el suelo, el clima y cultivo a realizar [123].

Sabiendo lo anterior, la producción de engloba el proceso general para la obtención del agroquímico a utilizar. Este proceso será considerado sin mayores detalles de cada una de las operaciones unitarias que lo componen, pero contabiliza la HE de la etapa productiva en sí, dejando fuera la extracción y obtención de materias primas e insumos necesarios para la producción de agroquímicos.

En este estudio en particular se considera la producción de los agroquímicos por separado, calculando la huella ecológica asociada a cada uno de ellos con datos los más cercanos posibles a su composición y lugar de fabricación, debido a la diferencia que existe entre sus procesos de obtención.

- **Traslado de agroquímicos:** En Chile existen empresas dedicadas a producir agroquímicos, pero no cuentan con la capacidad suficiente para la cantidad y variedad necesarias

para abastecer a todos los cultivos del país. Es por esto que los agroquímicos utilizados en el país son mayoritariamente importados.

El medio de transporte más utilizado para el traslado de agroquímicos desde el extranjero es el barco, debido a su conveniencia económica. En particular, los agroquímicos utilizados en el sector central del país llegan a San Antonio y, luego, son transportados por tierra.

Aunque la mayor parte de los agroquímicos son importados a Chile, existe un porcentaje que se produce a nivel nacional, principalmente en el sector norte del país. Para trasladarlos a regiones de la zona central y sur de Chile también se utiliza el barco como medio de transporte, yendo de puerto a puerto, y luego son transportados en camiones.

En este estudio se considera que los agroquímicos llegan al puerto de San Antonio, descargados y llevados directamente al lugar donde se encuentra el cultivo. Por simplicidad, no se considera que podría haber una venta a través de intermediarios.

- **Producción de bandejas de plantines:** En el caso de las hortalizas de siembra indirecta se tiene una producción de plantines previa al cultivo, que luego son trasplantados al terreno definitivo. Estos plantines son sembrados y germinados en bandejas o contenedores que pueden ser de diferentes materiales y tamaños, dependiendo del presupuesto y tipo de cultivo.

En general para hortalizas en Chile se utilizan de plástico y el tamaño depende de la especie. Esta etapa entonces considera la producción de las bandejas en las que se depositarán las semillas y germinará el plantín.

En Chile estos contenedores son generalmente reutilizados, es decir, al terminar el ciclo de una especie y extraer los plantines, se lavan, usualmente con agua y cloro, para así reutilizarlas en un siguiente cultivo. Las bandejas tienen una vida útil de años, por lo que su producción no será considerada en este trabajo.

- **Producción de cajas y/o sacos de envasado:** Recordando lo explicado en el envasado, se considera que las hortalizas cosechadas van a consumo fresco, que es la forma principal de consumo en la región. Ante esto, se considera que luego de ser cosechadas son envasadas, según el tipo de hortaliza, en cajas o sacos, y esta etapa considera la producción de estos últimos.

Al igual que en los agroquímicos, el proceso se estudia como una caja negra, sin detallar las operaciones unitarias que lo componen.

- **Traslado de cajas y/o sacos:** El traslado involucra el movimiento de las cajas o sacos desde el lugar de producción hasta el cultivo. El transporte de los envases, al igual que en el caso de los agroquímicos, puede ser realizado por tierra o mar.

Según lo encontrado en bibliografía, las cajas comúnmente utilizadas en Chile son producidas en el sur del país y transportadas en camiones a las diferentes regiones, mientras que para el caso de los sacos, los más utilizados para los cultivos de hortalizas son los de propileno, producidos en Perú y transportados en barco hasta los puertos de Chile para luego ser distribuidos en camiones.

Es importante notar que en los traslados asociados a importaciones no se está considerando el traslado dentro del país de fabricación debido a la falta de información respecto a las ubicaciones de las plantas productivas. A raíz de lo anterior, se considera entonces

el transporte marítimo desde el país de fabricación hasta Chile, y el terrestre desde el puerto de llegada hasta el lugar de uso.

- **Producción plantines:** La producción de plantines abarca desde la siembra en las bandejas hasta que la hortaliza está lista para ser trasplantada. En la producción de plantines se tiene aplicación de agroquímicos y riego, generalmente por inmersión o por aspersión. En particular, para los sectores estudiados en este trabajo, se prioriza el riego por microaspersión, que permite agregar el fertilizante junto con el agua.
- **Producción sustrato:** En la producción de plantines se utiliza sustrato como base para el cultivo, por lo que esta etapa considera la producción del mismo. Las bandejas son llenadas con el o los sustratos y luego se ubican las semillas. Los más utilizados en las hortalizas son la turba y perlita, y generalmente se realiza una mezcla entre ambos. Según lo propuesto por el Manual de producción de plantines del INIA, para hortalizas se recomienda la utilización de sustrato con 80 % del volumen con turba y 20 % perlita, por lo que esas serán las proporciones utilizadas para el llenado de las bandejas.
- **Traslado de sustrato:** Esta etapa involucra el traslado de ambos sustratos utilizados para este estudio: turba y perlita. Para el caso de la turba es principalmente importada desde Holanda por vía marítima, para luego ser trasladada por tierra en camiones. Por su lado, la perlita es importada desde Brasil y utiliza los mismos medios de transporte que la turba.
- **Tratamiento de agua potable:** En el presente estudio se considera el agua potable utilizada en tres etapas. La primera es en el consumo domiciliario, donde las hortalizas son lavadas antes de ser utilizadas en preparaciones o consumidas directamente. El segundo es en el lavado de las bandejas de los plantines, que tal como se mencionó antes, son lavadas con agua y cloro para ser reutilizadas. Por último se considera el agua utilizada para la producción de agroquímicos.

Esta etapa considera el impacto del tratamiento de agua potable, que permite la obtención del agua a través del alcantarillado. En este trabajo se considerará la huella ecológica del tratamiento de agua, mas no de su distribución.
- **Obtención de agua de riego:** En Chile la forma de riego principal es por surcos y, en particular en el cultivo de hortalizas en la RM, se realiza con agua de pozo. Para esto, el agua debe ser extraída mediante bombas que eleven el agua y la lleven al nivel del cultivo para ser usada en el riego. Esta etapa considera el impacto de la extracción del agua desde el fondo del pozo hasta la superficie.
- **Producción de cloro:** El cloro es utilizado para el lavado de las bandejas utilizadas para producir plantines, por lo que se incluye su producción en la cuantificación. Al igual que en las otras etapas del *upstream*, se considera su impacto como proceso productivo general, sin detallar cada una de las operaciones unitarias que lo componen.
- **Traslado de cloro:** Según el Instituto de Salud Pública de Chile, el cloro comúnmente utilizado en el país es importado y tiene como principal país de fabricación a Estados Unidos. Al igual que en traslados antes descritos, se considera el transporte marítimo hasta uno de los puertos principales de Chile, en este estudio se supone San Antonio, y luego transportado vía terrestre en camión hasta el lugar donde será utilizado.

- **Lavado de contenedores de plantines:** El lavado de los contenedores se realiza en un sector cercano a donde se producen los plantines, ya que son reutilizados. Esta etapa del *upstream* considera la huella ecológica de lavar el contenedor con agua y cloro.

Según el Manual de producción de plantines del INIA, el lavado se realiza en tambores de plástico. Al igual que en el caso de la producción de contenedores, los tambores utilizados para lavado son reutilizados, por lo que la huella ecológica de su producción resulta poco significativa en comparación a otras etapas del proceso, es por esto que no será considerada en el cálculo.

- **Producción de semillas:** La producción de semillas es necesaria para todas las hortalizas, sin importar el tipo de cultivo. Para obtenerlas se realiza un proceso similar al cultivo de la especie para consumo, solo que la producción se destina a obtener las semillas y no el alimento.

Ante esto, se considera entonces la producción de semillas en la cuantificación y se incluye como huella ecológica del proceso general, buscando factores de caracterización por bibliografía. No se detallan cada una de las etapas ni el impacto de cada una.

- **Traslado de semillas:** Las semillas utilizadas en los cultivos hortícolas de Chile son importadas. El lugar del que provienen depende de la especie, pero en los casos estudiados en este trabajo se los principales proveedores son Holanda y Perú. En ambos casos el traslado se realiza en barco de puerto a puerto, para luego ser transportadas en camión dentro de Chile.

- **Producción de combustibles fósiles:** En los combustibles fósiles se puede encontrar una amplia variedad, entre ellos el diésel, la gasolina, el fuelóleo (o fuel oil en inglés) y el petróleo. En particular, en la producción y distribución de hortalizas se utilizan principalmente el diésel, utilizado en tractores y camiones, el fuel oil, utilizado en barcos cargueros, y la gasolina, utilizada en autos.

En esta etapa se considera el impacto de producir los combustibles fósiles utilizados en el proceso. De la misma forma que en la producción de los otros insumos, se buscan los factores de caracterización por bibliografía para el proceso general, sin detallar y cuantificar la huella ecológica etapa a etapa.

### C.3. Background: Downstream

- **Traslado de residuos a relleno sanitario:** Llegando al fin del ciclo de vida se encuentra el traslado de residuos hacia relleno sanitario. Este traslado considera los residuos de las diferentes etapas del proceso donde se generan residuos de hortalizas, es decir, el traslado de los residuos de cultivo, cosecha, mercados y consumo. Se asume que el transporte es desde el lugar donde se produce el residuo hasta el relleno sanitario Lomas Lo Colorado ubicado en la RM, ya que es el principal relleno utilizada en la región.

Al hacer esta cuantificación se debe tener en cuenta que no todos los residuos orgánicos generados en esta etapa terminan en rellenos sanitarios. Es común que en las etapas de cultivo y cosecha los residuos sean reutilizados en el campo, compostados, usados como alimento para animales o quemado. Estas alternativas son generalmente realizadas en el mismo sector del cultivo o cercanos a él, por lo que no se considera traslado.

En esta etapa se asume el traslado en camiones de basura, como los comúnmente utilizados en la recolección domiciliaria. Se consideró un camión de dos ejes con capacidad de  $19 m^3$  para todos los transportes de residuos.

- **Disposición de residuos de cosecha:** Finalmente, se considera la disposición de los residuos. En esta categoría se engloban todos los tipos de disposición que fueron mencionados en el punto anterior, calculando la huella ecológica para cada uno de ellos.

Los residuos de la producción y cosecha son utilizados para alimentación animal e incorporación al suelo, quemados o llevados a relleno sanitario. En esta etapa se encontraron datos para cada hortaliza, que son presentados en la Tabla C.1.

- **Disposición de residuos de poscosecha:** Los residuos de poscosecha tienen tres destinos principales, que son la alimentación animal, incorporación al suelo y relleno sanitario. Los residuos en esta etapa son utilizados en su mayoría como alimentación animal o incorporados al suelo, y solo un 3 % llega a rellenos sanitarios.

En la Tabla C.2 se presenta el detalle de la forma de disposición de los residuos agrícolas generados en cada uno de las etapas del procesos. Los porcentajes presentados en la tabla representan la fracción másica que llega a cada tipo de disposición.

- **Disposición de residuos de venta en mercado:** Los residuos de mercado se considera que solo van al relleno sanitario. Estos residuos se generan en mercados mayoristas y minoristas, y la mayor parte es llevada a rellenos sanitarios al final de la jornada de venta, por lo que se considera el relleno como único destino de disposición.

- **Disposición de residuos de consumo:** Para terminar, los residuos del consumo tienen un final similar a los de venta en mercado. La mayor parte (98 %) termina en relleno sanitario, y la diferencia es utilizada para alimentación animal o quemada.

Tabla C.1: Distribución de los residuos hortícolas generados en la cosecha. Los valores se presentan como porcentaje másico [124].

Disposición/Hortaliza	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Relleno sanitario	0 %	44 %	0 %
Alimentación animal	32 %	42 %	37 %
Incorporación al suelo	8 %	4 %	9 %
Quema	62 %	10 %	52 %

Tabla C.2: Distribución de los residuos hortícolas generados en las diferentes etapas del proceso. Los valores se presentan como porcentaje másico [124, 125].

Disposición	Poscosecha	Mercados	Consumo
Relleno sanitario	3 %	100 %	96 %
Alimentación animal	56 %	-	2 %
Incorporación al suelo	41 %	-	-
Quema	-	-	2 %

# Anexo D

## Captura de CO<sub>2</sub> por biomasa

En el cálculo de la HE se tiene un término asociado a las emisiones de CO<sub>2</sub> y uno a la electricidad utilizada. En ambos se tiene el factor  $Y_C$ , que representa la tasa de fijación anual de CO<sub>2</sub> por hectárea en bosques, y su valor depende del lugar en el que se realiza el proceso, los tipos de árbol que hay alrededor, entre otros.

En 2019 la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile trabajó en un proyecto que buscaba estimar esta tasa de fijación en bosques de las Regiones de O'Higgins y del Maule, por lo que se utilizó el resultado de ese trabajo.

En la Tabla D.1 se presentan los datos obtenidos en el proyecto, y el valor promedio que es utilizado como  $Y_C$  en el presente estudio.

Tabla D.1: Datos de fijación de carbono en diferentes tipos de árboles en las regiones de O'Higgins y Maule, y promedio obtenido [126].

Especie	Situación de bosque		
	Abierta [tCO <sub>2</sub> /ha]	Semidensa [tCO <sub>2</sub> /ha]	Densa [tCO <sub>2</sub> /ha]
Boldo	1,76	2,69	3,24
Espino	0,44	0,90	0,68
Litre	0,31	1,80	1,83
Quillay	0,18	0,45	0,57
Peumo	0,01	0,03	0,84
Otros	0,39	0,23	0,14
<b>Captación promedio [tCO<sub>2</sub>/ha]</b>	<b>0,92</b>		

# Anexo E

## Cálculo de superficies

### E.1. Superficie de preparación de la tierra

La cuantificación de la superficie efectivamente utilizada en la preparación de la tierra se realizó con el rendimiento de cada cultivo por hectárea. Los valores usados son para la región en la que se produce la hortaliza estudiada, que fueron presentados en la Tabla 4.7. Así, utilizando el rendimiento en [kg/ha] se puede calcular la superficie directamente usada por kg de hortaliza de la forma:

$$A_{cultivo} = \frac{1}{R_{cultivo}}$$

Donde  $A_{cultivo}$  es el área utilizada por kg de hortaliza en esta etapa en [ $ha/kg$  hortaliza], y  $R_{cultivo}$  es el rendimiento del cultivo expresado en [ $kg$  hortaliza/ $ha$ ]. Luego, siguiendo el formato de la ecuación general para la huella ecológica directa, este valor debe ser multiplicado por el  $EQF_i$  correspondiente para obtener la huella ecológica en  $hag$ .

En este caso, teniendo en cuenta que es la superficie en la que se cultivan hortalizas, se asigna el factor de caracterización de las principales tierras agrícolas que se puede encontrar en la Tabla 4.1, es decir, 2,21. A continuación se deja el ejemplo de cálculo para el caso del tomate:

$$A_{cultivo} = \frac{1}{40.000 \left[ \frac{ha}{kg \text{ tomate}} \right]} = 2,50 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{ha}{kg \text{ tomate}} \right] \quad (E.1)$$

Luego, la HE directa para esta etapa queda expresada de la siguiente forma:

$$HE_{Directa,cultivo} = 2,50 \cdot 10^{-5} \cdot 2,21 = 5,53 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{hag}{kg \text{ tomate}} \right] \quad (E.2)$$

Finalmente, este valor debe ser normalizado para llevarlo a la unidad funcional, igual a 1 kg de hortaliza consumida.

### E.2. Superficie en venta en mercado

Para la venta en mercado se asume que las hortalizas son apiladas en cajas. El cálculo se realiza considerando la masa de hortaliza que cabe en una caja de cartón comúnmente

utilizada para trasladar alimentos y en ferias libres.

La superficie utilizada por la caja es dividida en la masa de hortalizas que puede contener, obteniendo así el área efectivamente usada por kg de hortaliza. En la Tabla E.1 se presentan las dimensiones de las cajas para hortalizas.

Tabla E.1: Dimensiones de caja utilizada para traslado y venta de hortalizas en ferias libres [127].

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	0,3	[m]
Ancho	0,6	[m]
Profundidad	0,4	[m]

Teniendo la información presentada en la tabla, se puede realizar el cálculo según lo antes descrito. A continuación se presenta un ejemplo para el caso del tomate.

$$A_{Tomate,Mercado} = \frac{A_{caja}}{M_{Caja}}$$

Donde  $A_{Tomate,Mercado}$  representa el área que utiliza un kg de tomate en la venta en mercado,  $A_{caja}$  la superficie utilizada por la caja, y  $M_{Caja}$  la masa de tomates que la caja puede contener. Este último valor se calcula con el volumen de la caja y el volumen de 1 kg de tomate de la siguiente manera:

$$M_{Caja} = \frac{V_{Caja}}{M_{Tomate}} = \frac{0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,3 [m^3]}{0,004 \left[ \frac{m^3}{kg \text{ tomate}} \right]} = 18 [kg \text{ tomate}]$$

$$A_{Tomate,mercado} = \frac{0,6 * 0,4 [m^2]}{18 [kg \text{ tomate}]} = 0,013 \left[ \frac{m^2}{kg \text{ tomate}} \right] \quad (E.3)$$

Para llevar este cálculo a huella ecológica directa debe ser normalizado y, luego, multiplicado por el factor de caracterización asociado al tipo de suelo. En este caso se asume asentamientos humanos, que tiene un  $EQF_i$  igual a 2,21.

### E.3. Superficie en consumo

En el consumo se considera la superficie utilizada por el almacenamiento de la hortaliza en el refrigerador. Este tipo de alimentos es comúnmente conservado a bajas temperaturas, por lo que se calcula la superficie que utiliza en el refrigerador. Para la estimación se usa el área promedio de una hortaliza y de un refrigerador, calculada con base en los datos de la Tabla E.2 [128].

Tabla E.2: Dimensiones de un refrigerador usado a nivel domiciliario.

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad	321	[L]
Alto	1,75	[m]
Ancho	0,8	[m]
Profundidad	0,7	[m]
Volumen	0,98	[m <sup>3</sup> ]

Por otro lado, se tienen las dimensiones de una hortaliza. Considerando que los tipos de hortalizas tienen diferentes formas y tamaños, se utilizan las dimensiones promedio para cada una de ellas. En la Tabla E.3 presentada a continuación se dejan las dimensiones promedio consideradas para cada una de las hortalizas estudiadas, dependiendo de la forma que se supone para ellas.

Tabla E.3: Dimensiones de las hortalizas estudiadas.

Parámetro	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad	Referencia
Forma	Esfera	Esfera	Cilindro	[-]	Supuesto
Alto	-	-	0,145	[m]	[129]
Diámetro	0,12	0,19	0,03	[m]	[129]
Volumen	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,110^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	[m <sup>3</sup> ]	Calculado

Sabiendo que lo que se quiere calcular es una superficie, parece lógico calcular el área utilizada por la hortaliza o la proporción que utiliza de la superficie del refrigerador, sin embargo, como este último tiene niveles y los alimentos se encuentran apilados, la superficie que efectivamente corresponde a la hortaliza se estimará como una proporción entre el volumen de la hortaliza y la capacidad del refrigerador.

Para conocer la superficie que es efectivamente utilizada por 1 kg de hortaliza en el refrigerador se calcula la masa de hortaliza que cabe en él considerando que estuviera al tope de su capacidad solo con esa especie. Luego, de esto, se puede dividir la superficie del refrigerador en la masa de hortaliza que hay dentro de él, para así saber el área utilizada por cada kg de la especie. Se presenta el ejemplo para el tomate.

$$M_{Tomate} = \frac{Cap_{Refrigerador}}{V_{Tomate}} = \frac{0,321[m^3]}{1,0 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{kg \text{ tomate}} \right]} = 321 [kg \text{ tomate}] \quad (E.4)$$

Donde  $M_{Tomate}$  es la masa de tomate que cabe en un refrigerador, y  $V_{Tomate}$  representan el volumen de 1 kg de tomate, y  $Cap_{Refrigerador}$  la capacidad del refrigerador. Con esto se asume que el refrigerador utiliza toda su capacidad en tomates. Finalmente, sabiendo lo anterior se puede calcular el área proporcional usada.

$$A_{Tomate} = \frac{A_{Refrigerador}}{M_{Tomate}} = \frac{0,8 \cdot 0,7[m^2]}{321 [kg \text{ tomate}]} = 1,74 \cdot 10^{-3}[m^2] \quad (E.5)$$

Donde  $A_{Tomate}$  es el área proporcional que utiliza el tomate, y  $A_{Refrigerador}$  el área que utiliza el refrigerador según las medidas expuestas en la Tabla E.2.

Teniendo el área efectivamente utilizada se debe normalizar según la unidad funcional del estudio, y transformar a las unidades de huella ecológica mediante el factor de equivalencia relacionado con el tipo de suelo utilizado, que en este caso se considera como asentamientos humanos, por lo que le corresponde un  $EQF_i$  de 2,21.

La HE asociada a esta etapa es tres órdenes de magnitud más pequeña que para la preparación de la tierra, por lo que podría no ser calculada.

## E.4. Superficie de quema agrícola

La información respecto a la quema de rastrojos agrícolas en Chile es escasa y no detalla la composición de los residuos que terminan ahí, por lo que para el cálculo de la superficie de quema de rastrojos de cultivos agrícolas se realizan estimaciones respecto a la superficie de quema actual en Chile y el porcentaje que representan los cultivos hortícolas entre las tierras cultivables hoy en día.

A partir de lo anterior, en la Tabla E.4 se presentan los datos de quema de rastrojos para el período comprendido entre julio del 2013 y junio del 2014 según los registros de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Tabla E.4: Datos de superficie de quema en Chile según la CONAF [130].

Parámetro	Valor	Unidad
Superficie total de quema	253.366	[ha]
Superficie de quema agrícola	243.788	[ha]
Superficie de quema forestal	9.578	[ha]

Además, en la Tabla E.5 se muestra la superficie silvoagropecuaria a nivel nacional y, en particular, la de las hortalizas representativas.

Tabla E.5: Superficies destinadas productivas a nivel nacional en 2018. [73]

Superficie	Valor	Unidad
Silvoagropecuaria	31.635.041	[ha]
Tomate	5.294,2	[ha]
Lechuga	7.135,8	[ha]
Zanahoria	3.626,6	[ha]

A partir de los datos presentados en la Tabla E.5 se calcula el porcentaje que representa cada una de las especies respecto a la superficie silvoagropecuaria.

Tal como se explicó anteriormente, la información respecto a la disposición de los residuos de cada especie en Chile es escasa, por lo que para estimar la superficie utilizada en quema agrícola, se asumirá que el porcentaje que representa la superficie cultivable respecto al total nacional es igual al porcentaje que representa la superficie de quema respecto a la utilizada a nivel nacional.

Con base en los datos expuestos en las Tablas E.4 y E.5 se calcula entonces la superficie de quema que correspondería a cada una de las hortalizas. Se deja el ejemplo de cálculo para el caso del tomate. Para las otras especies el procedimiento es análogo.

$$A_{Quema, Tomate} = 253.366 [ha] \cdot \frac{5.294,2}{31.635.041}$$

$$A_{Quema, Tomate} = 42,4 [ha]$$

Donde  $A_{Quema, Tomate}$  representa la superficie a nivel nacional que es usada para la quema de rastrojos de tomate. Luego, para obtener lo que corresponde a cada kg de rastrojo que va a la quema, se calcula la masa producida a nivel nacional utilizando la superficie destinada y rendimiento promedio de cada una, para después obtener la masa de rastrojo que va a quema a nivel nacional.

La Tabla E.6 presenta la producción nacional obtenida para cada hortaliza y la masa de rastrojo obtenida, considerando que en la producción se pierde el 15,4 % de la masa y que el 10 % de la pérdida es quemada.

Tabla E.6: Masa producida de cada hortaliza a nivel nacional en 2018 y masa de pérdida que es quemada.

Hortaliza	Producción en Chile [ton]	Rastrojo a quema [ton]
Tomate	304.416,5	4.688,0
Lechuga	149.140,0	2.296,8
Zanahoria	146.913,6	2.262,5

Así, finalmente, se puede estimar que la superficie requerida por kg de rastrojo está dada por la superficie de quema que utilizaron en el año dividida en la masa perdida que terminó siendo quemada. La superficie de quema por kg de rastrojo para cada especie es presentada en la Tabla E.7.

Tabla E.7: Superficie utilizada para quemar 1 kg de rastrojo para cada hortaliza estudiada.

Hortaliza	Superficie de quema	Unidad
Tomate	0,09	$[m^2/kg \text{ rastrojo tomate}]$
Lechuga	0,25	$[m^2/kg \text{ rastrojo lechuga}]$
Zanahoria	0,13	$[m^2/kg \text{ rastrojo zanahoria}]$

Es importante notar que esta estimación permite obtener la  $HE_{Directa}$ , pero tiene un alto nivel de incertidumbre, ya que considera la fracción de superficie que representa cada hortaliza respecto a la superficie productiva total, sin tener en cuenta que no todos los cultivos envían residuos a quema y que cada especie tiene una diferente distribución de sus residuos.

## E.5. Superficie de producción de plantines y semillas

La superficie de producción de plantines y de semillas se calcula de la misma forma que la superficie de preparación de la tierra. Se basa en el rendimiento de los cultivos, por lo que en esta sección se presentan la Tabla E.8, donde se dejan los datos utilizados.

Tabla E.8: Rendimientos en la producción de plantines y semillas.

Etapa	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad	Referencia
Producción plantines	3	3,5	-	[ <i>g semilla/m<sup>2</sup></i> ]	[76]
Producción semillas	570	533	1.000	[ <i>kg semilla/ha</i> ]	[131]

Los plantines generalmente se producen en invernadero o espacios controlados que permitan la correcta germinación de las semillas. Por su lado, la producción de semillas se realiza en cultivos similares al de las hortalizas, pero que son destinados solo para la extracción de las semillas. En ambos casos se utilizó el factor de equivalencia asociado a principales cultivos agrícolas, que es igual a 2,21.

# Anexo F

## Factores de emisión de CO<sub>2</sub>

En este anexo se presentan los factores de emisión de CO<sub>2</sub> para las diferentes etapas del proceso. En la mayoría de los casos los factores fueron encontrados en unidades que permitían su uso directo, mientras que en otros hubo que transformar las unidades para este caso en particular. En la Tabla F.1 se presentan los valores que finalmente fueron utilizados para el cálculo.

Tabla F.1: Factores de emisión de CO<sub>2</sub> utilizados para el cálculo de la huella ecológica asociada a emisiones.

Factor de emisión (FE)	Valor	Unidad	Referencia
FE de uso de tractor	595	[gCO <sub>2</sub> /hp · h]	[132]
FE de urea en el suelo	0,73	[kgCO <sub>2</sub> /kg urea]	[133]
FE por fitosanitarios en suelo	4,37	[kgCO <sub>2</sub> /ha]	[134]
FE por uso de diesel	598	[gCO <sub>2</sub> /km]	[135]
FE por uso de fuel oil	3,32	[kgCO <sub>2</sub> /L]	[135]
FE por uso de gasolina	187	[gCO <sub>2</sub> /km]	[135]
FE producción Zero 5 EC (I)	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[136]
FE producción Puzzle 2 SC (I)	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[136]
FE producción MTD 600 (I)	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[136]
FE producción Karate Zeon (I)	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[136]
FE producción Neres 50 % SP	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[136]
FE producción Cypress 100 EC (I)	23,70	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[136]
FE producción Vertimec (I)	25,90	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[136]
FE producción Cercobin M (F)	5,54	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[137]
FE producción de Mancozeb 80 WP (F)	2,46	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[137]
FE producción Manzate 200 (F)	2,46	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[137]
FE producción Ridomil Gold MZ 68 WP (F)	3,26	[kgCO <sub>2</sub> /kg i.a]	[137]
FE producción mezcla NPK 5:25:20 (Fr)	0,0042	[kgCO <sub>2</sub> /kg mezcla]	[138]
FE producción urea (Fr)	0,98	[kgCO <sub>2</sub> /kg urea]	[138]
FE producción salitre potásico (Fr)	0,0036	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[138]
FE producción ultrasol (Fr)	0,0042	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[138]
FE producción mezcla NPK 0:15:15 (Fr)	0,0042	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	[139]
FE producción nitrato de potasio (Fr)	0,012	[kgCO <sub>2</sub> /kg producto]	<i>Ecoinvent</i>

Tabla F.1: Continuación de la Tabla F.1

<b>Factor de emisión (FE)</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
FE producción nitrato de calcio (Fr)	1,34	[ $kgCO_2/kg$ producto]	<i>Ecoinvent</i>
FE producción mezcla NPK 21:3:10 (Fr)	0,62	[ $kgCO_2/kg$ producto]	[139]
FE producción mezcla NPK 0:22:22 (Fr)	0,20	[ $kgCO_2/kg$ producto]	[140]
FE producción Fosfimax 40 20 (Fr)	0,67	[ $kgCO_2/kg$ producto]	[138]
FE producción Kelpak (Fr)	0,12	[ $kgCO_2/L$ producto]	[141]
FE producción Terrasorb Foliar (Fr)	10,12	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[142]
FE producción Frutaliv (Fr)	10,12	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[142]
FE producción Herbadox 45 SC (He)	3,59	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[143]
FE producción Sencor 480 SC (He)	8,33	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[137]
FE producción Afalon 50WP (He)	8,33	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[137]
FE producción Verdict 1400 (He)	8,33	[ $kgCO_2/kg$ <i>i.a</i> ]	[137]
FE tratamiento de agua potable	0,50	[ $kgCO_2/m^3$ ]	[144]
FE producción cajas de cartón	0,50	[ $kgCO_2/caja$ ]	[145]
FE producción sacos de PP	0,23	[ $kgCO_2/saco$ ]	[146]
FE extracción de turba	0,49	[ $kgCO_2/kg$ turba]	[147]
FE extracción de perlita	0,50	[ $kgCO_2/kg$ perlita]	[148]
FE producción cloro	0,0026	[ $tCO_2/kg$ cloro]	[149]
FE producción de fuel oil	0,60	[ $kgCO_2/L$ ]	[150]
FE producción diésel	0,61	[ $kgCO_2/L$ ]	[150]
FE producción gasolina	0,59	[ $kgCO_2/L$ ]	[150]
FE uso de gasolina	2,29	[ $kgCO_2/L$ ]	[135]
FE uso de diésel	2,65	[ $kgCO_2/L$ ]	[135]
FE por traslado en camión de 2 ejes	1,30	[ $kgCO_2/km$ ]	[151]
FE de rellenos sanitarios	0,21	[ $kgCO_2/kg$ residuo]	[152]
FE por quema de residuos	1,06	[ $kgCO_2/kg$ residuo]	[153]

En la tabla anterior la sigla *i.a* representa ingrediente activo. Se utiliza porque se encontraron factores de emisión para los agroquímicos según la composición que tienen.

# Anexo G

## Balance de masa del proceso principal

En el presente anexo se detalla el balance de masa realizado para el proceso principal. Este balance se realiza para la hortaliza, por lo que no considera entradas y salidas de insumos en cada etapa, como por ejemplo, la entrada de agua o agroquímicos.

El procedimiento para el balance es similar entre las hortalizas, solo cambian las etapas a considerar y/o los porcentajes de pérdida o desperdicio. En todos los casos se considera como base de cálculo 1 kg de hortaliza consumida.

### G.1. Caso Siembra Indirecta

Mediante los datos presentados en la Tabla 4.5, el diagrama de bloques de la Figura G.1 y la base de cálculo, se puede expresar el balance de masa que permita obtener todos los flujos de entrada y salida de hortalizas en cada etapa.

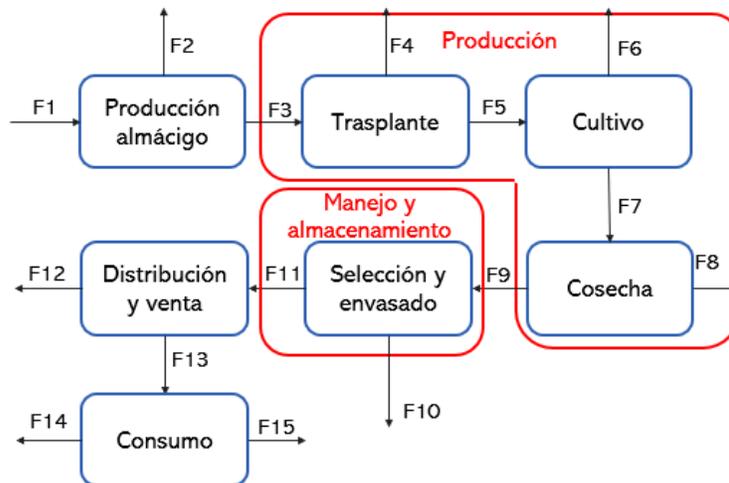


Figura G.1: Proceso utilizado para el BM.

Se debe tener en cuenta que el flujo  $F_{15}$  será considerado como la base de cálculo, igual a 1 kg de hortaliza consumida, por lo que el flujo  $F_{14}$  representa los residuos generados en el consumo y el flujo  $F_{13}$  es la entrada general a esta etapa del proceso. La misma lógica se

puede aplicar en las otras etapas.

Como la base de cálculo se encuentra en la última etapa, se inicia realizando un balance global que permita identificar el flujo  $F_1$  y la salida de residuos a nivel global. Este último flujo será la suma de todas las salidas de residuos y se denominará  $F_R$ . El balance se presenta a continuación:

$$F_1 = F_R + F_{15} ; F_R = 0,55 \cdot F_1$$

$$F_{15} = 1 \text{ [kg hortaliza]}$$

Teniendo 2 ecuaciones y 2 incógnitas el sistema puede ser resuelto y se obtiene:

$$F_1 = 2,22 \text{ [kg hortaliza]} \wedge F_R = 1,22 \text{ [kg hortaliza]}$$

Teniendo lo anterior, se entiende que la masa de hortaliza que termina como residuo o desperdicio en la producción de 1 [kg de hortaliza consumida] es de 1,22 [kg].

El valor anterior considera la pérdida de un 55% antes mencionada, que tiene asociada la etapa de procesamiento en ella, y que en este estudio no es considerada debido a que los alimentos son para consumo fresco.

Ante esto, se calcula el porcentaje de pérdida de alimentos en cada etapa, eliminando la etapa de procesamiento. Teniendo en cuenta que el procesamiento tenía un 6% de pérdida y el proceso total un 55%, se calcula el nuevo porcentaje considerando una base de cálculo de 1 kg al inicio del proceso.

Según lo anterior, de 1 kg al inicio del proceso se pierde un 55%, es decir, 0,55 kg, y de esa pérdida el 6% corresponde a la etapa de procesamiento, es decir, el 6% de 0,55, que equivale a 0,033 kg. Se asume entonces que la pérdida sin esa etapa sería de 0,517 [kg], que sobre la base de cálculo de 1 kg un 51,7%. Así, se tiene entonces el nuevo porcentaje de pérdida y desperdicio general y de la misma forma se calculan también las pérdidas por etapa. El resultado se presenta en la Tabla G.1.

Tabla G.1: Porcentaje de pérdida y desperdicio de hortalizas en cada etapa del proceso principal para caso de estudio.

<b>Etapas</b>	<b>Porcentaje de residuos por etapa [%]</b>	<b>Porcentaje de residuos respecto al flujo inicial [%]</b>
Producción	29,8 %	15,4 %
Manejo y almacenamiento	23,4 %	12,1 %
Procesamiento	-	-
Distribución	18,1 %	9,4 %
Consumo	28,7 %	14,9 %

Se puede notar que la porcentaje de pérdida por etapa es el mismo, pero el porcentaje respecto al flujo inicial cambia. Después de este razonamiento, se puede entonces realizar el cálculo de  $F_R$  nuevamente:

$$F_1 = F_R + F_{15}$$

$$F_1 = 0,517 \cdot F_1 + F_{15}$$

$$0,483 \cdot F_1 = F_{15} ; F_{15} = 1 [kg]$$

$$F_1 = 2,07 [kg]$$

$$F_R = F_1 - F_{15} = 2,07 - 1 = 1,07 [kg]$$

Luego se calculan los flujos intermedios. Para esto, es necesario recordar que, según lo que se muestra en la Figura G.1 en la producción se consideran 3 etapas agrupadas. Así, se asumirá que los flujos  $F_3$ ,  $F_5$  y  $F_7$  son iguales, por lo que  $F_4$ ,  $F_6$  son 0. Se supone entonces que la pérdida de producción se da en la cosecha y no en el cultivo en sí.

A partir de la Tabla 4.5 el desperdicio de alimentos en el consumo es de un 28,7% del total perdido. Ante esto, se puede calcular:

$$F_{14} = F_R \cdot 0,287$$

$$F_{14} = 0,31 [kg]$$

$$\Rightarrow F_{13} = F_{14} + F_{15} = 1,31 [kg]$$

El cálculo para los otros flujos es análogo. La Tabla G.2 presenta los valores obtenidos para cada uno.

Tabla G.2: Flujos máxicos para hortalizas de siembra indirecta. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por  $F_{15}$ .

$F_7$	2,07	[kg]
$F_8$	0,32	[kg]
$F_9$	1,75	[kg]
$F_{10}$	0,25	[kg]
$F_{11}$	1,50	[kg]
$F_{12}$	0,19	[kg]
$F_{13}$	1,31	[kg]
$F_{14}$	0,31	[kg]
$F_{15}$	1,00	[kg]

Se debe notar que en las etapa de producción de almácigos y de trasplante lo que está entrando y saliendo, representado por los flujos  $F_1$  a  $F_5$ , en realidad no es masa de hortaliza, ya que aún no se tiene la hortaliza en sí. Para el caso de la producción de almácigo se calcula la entrada de semillas y en la salida los plantines, mientras que para el trasplante la entrada y salida son los plantines.

Para el cálculo de cantidad de plantines que entran al cultivo luego del trasplante, se utiliza la masa de hortaliza que sale en  $F_7$ . Se asume que 1 plantín que entra al trasplante produce 1 planta de hortaliza, es decir, que no hay pérdida en esa etapa. Luego, se calcula la cantidad de hortalizas que hay en 2,07 kg, con el fin de calcular entonces la cantidad de plantines requeridos. Para esto se requiere de la masa de la hortaliza en particular, por lo que a continuación se presenta un ejemplo de cálculo con el caso del tomate:

$$1 [\text{tomate}] \Leftrightarrow 0,25 [\text{kg de hortaliza}]$$

$$N_{F_7} = \frac{2,07[\text{kg}] \cdot 1[\text{tomate}]}{0,25[\text{kg}]}$$

$$N_{F_7} = 8,28 [\text{tomates}]$$

Considerando que en el trasplante y el cultivo no hay pérdida de plantines, entonces  $F_3$  y  $F_5$  tiene el mismo valor.

Del mismo modo se realiza la transformación en la etapa de producción de almácigos, que en la entrada tiene semillas. Se debe tener en consideración si en esta etapa hay pérdida o no y, a partir de esto, calcular la cantidad de semillas requerida para producir los plantines de  $F_3$ .

A diferencia de la etapa de trasplante, que tiene una tasa de logro cercana al 100 % y, por lo tanto, no considera pérdida de plantines en ella, la producción de almácigos sí tiene una pérdida asociada que se debe a dos razones: el porcentaje de semillas que germinan y la pérdida en la producción de plantines en sí misma. Los datos antes mencionados se presentaron en la Tabla 4.6.

A partir de esto, se debe calcular entonces la cantidad de semillas que es requerida al inicio tal que se logre obtener  $F_3$  a la salida de la producción de almácigo. Siguiendo con el ejemplo para el caso del tomate, se muestra el cálculo realizado para este.

Primero, recordar que la pérdida en la producción de plantines en general es de un 5 % y la germinación de las semillas de tomate es de un 85 %. Sin embargo, la salida  $F_2$  como residuo solo representa la pérdida de plantines, mas no semillas. Esto se debe a que las semillas que no germinan se quedan en el sustrato, y no son eliminadas como residuo, por lo que no se consideran como una salida.

Sabiendo lo anterior,  $F_2$  es cuantificado como plantines perdidos en la producción, pero  $F_1$  será cuantificado como la cantidad de semillas que entraron considerando que hay un 20 % que no germina. Continuando con el ejemplo de cálculo para el caso del tomate, la cuantificación de los  $F_1$  y  $F_2$  se realiza de la siguiente forma:

$$F_2 = \frac{F_3}{(1 - 0,05)}$$

$$F_1 = \frac{F_3}{(1 - 0,05) \cdot (1 - 0,2)}$$

El cálculo de  $F_2$  refleja la pérdida considerando que la producción de almácigo tiene dos subetapas: germinación y crecimiento de plantines. la producción de almácigo Se asume que el 20 % de las semillas no germinan y, de las que germinaron, se pierde un 5 % durante su etapa de crecimiento.

En estas últimas ecuaciones se considera que cada semilla que germina genera un plantín, por lo que la cantidad de semillas que se debe añadir debe ser un 15 % más de lo que se requiere, para así considerar la pérdida asociada a las semillas que no germinan.

Con lo anterior, se llega al resultado final para cada uno de los flujos presentados en la Figura G.1 utilizando 1 kg de hortaliza consumida como base de cálculo. El cálculo para el caso de la lechuga es análogo al del tomate, y los valores finales de los flujos de las hortalizas de siembra indirecta estudiadas se presentan en la Tabla G.3.

Tabla G.3: Flujos máxicos para hortalizas de siembra indirecta. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por  $F_{15}$ .

Flujo	Tomate	Lechuga	Unidad
$F_1$	10,80	5,70	[semillas]
$F_2$	0,46	0,24	[plantines]
$F_3$	8,72	4,60	[plantines]
$F_4$	0	0	[plantines]
$F_5$	8,72	4,60	[plantines]
$F_6$	0	0	[kg]
$F_7$	2,07	2,07	[kg]
$F_8$	0,32	0,32	[kg]
$F_9$	1,75	1,75	[kg]
$F_{10}$	0,25	0,25	[kg]
$F_{11}$	1,50	1,50	[kg]
$F_{12}$	0,19	0,19	[kg]
$F_{13}$	1,31	1,31	[kg]
$F_{14}$	0,31	0,31	[kg]
$F_{15}$	1,00	1,00	[kg]

## G.2. Caso Siembra Directa

Tal como se explicó anteriormente, el cambio principal entre el proceso de siembra indirecta y siembra directa se encuentra en sus primeras etapas. En el caso de siembra indirecta la germinación de las semillas ocurre en el espacio definitivo en el que la hortaliza va a desarrollarse, con lo que el diagrama queda como el presentado en la Figura G.2. En él se puede notar que en vez de una etapa de producción de almácigos, que involucraba la germinación de la semilla y desarrollo de plantines, se tiene directamente la germinación de la semilla.

En realidad, esta etapa puede ser considerada como parte del cultivo, pero se expresa como una distinta para dejar en claro la diferencia con el proceso de una hortaliza de siembra indirecta, además, presentarlo así permite contabilizar la pérdida de semillas y, por lo tanto,

la cantidad real requerida de este insumo.

El cálculo para la siembra directa es análogo al presentado en la sección anterior, por lo que en la Tabla G.4 se dejan los resultados asociados a la zanahoria. La Figura G.2 muestra los flujos correspondientes.

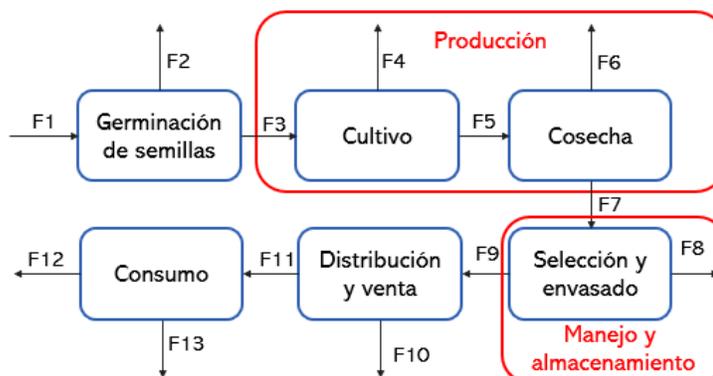


Figura G.2: Diagrama del proceso principal de las hortalizas de siembra directa.

Tabla G.4: Flujos máxicos para hortalizas de siembra directa. El cálculo toma como base el consumo de 1 kg de hortaliza, representado por  $F_{13}$ .

Flujo	Zanahoria	Unidad
$F_1$	16,94	[semillas]
$F_2$	3,13	[semillas]
$F_3$	13,80	[plantas]
$F_4$	0	[kg]
$F_5$	2,07	[kg]
$F_6$	0,32	[kg]
$F_7$	1,75	[kg]
$F_8$	0,25	[kg]
$F_9$	1,50	[kg]
$F_{10}$	0,19	[kg]
$F_{11}$	1,31	[kg]
$F_{12}$	0,31	[kg]
$F_{13}$	1,00	[kg]

Es necesario mencionar que la disposición de la pérdida de semillas no es considerada en la huella ecológica en ninguno de los dos tipos de siembra debido a dos razones. La primera es que las semillas tienen una masa mucho menor a la de las hortalizas, por lo que su disposición termina siendo poco significativa, y la segunda es que esta pérdida se da porque no germinan, pero las semillas son depositadas en la tierra igualmente y dejadas ahí, por lo que no tiene otra disposición más que la incorporación a la tierra.

# Anexo H

## Uso de electricidad

En este anexo se detalla el procedimiento utilizado para el cálculo de electricidad en diferentes etapas del proceso. En él se describe la metodología para aquellas etapas en las que no se encontró un factor que entregara el uso de forma directa.

Además, la Tabla H.10 contiene el resumen de los factores de caracterización utilizados para el cálculo de electricidad en las etapas en las que este impacto es considerado.

### H.1. Electricidad en consumo

En el consumo se consideró que las hortalizas se mantienen refrigeradas, es entonces necesario calcular la electricidad que se utiliza durante ese proceso. Para realizar la estimación se usan los datos presentados en la Tabla H.1.

En esta etapa se considera que el consumo no es inmediato, sino que la hortaliza podría estar refrigerada por varios días. El tiempo de refrigeración se asume como el tiempo promedio que dura la hortaliza refrigerada.

Tabla H.1: Datos para cálculo de la electricidad utilizada en consumo domiciliario.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Uso eléctrico refrigerador	$E_{anual}$	403	[kWh/año]	[154]
Capacidad de un refrigerador	$C_{refr}$	321	[L]	[155]
Tiempo medio duración tomate	$t_{tomate}$	7	[días]	[156]
Tiempo medio duración lechuga	$t_{lechuga}$	4	[días]	[156]
Tiempo medio duración zanahoria	$t_{zanah}$	12	[días]	[156]

Al igual que en casos anteriores, se presenta el ejemplo de cálculo para el caso del tomate, ya que para las otras hortalizas es análogo. Entonces, el uso de electricidad para el tomate se estima de la siguiente forma:

$$EE_{Consumo,T} = E_{anual} \cdot \frac{t_{tomate}}{365} \cdot \frac{V_{Tomate}}{C_{refr}}$$

Con  $EE_{Consumo,T}$  la electricidad correspondiente a la refrigeración del tomate, y se obtiene:

$$EE_{Consumo,T} = 403 \frac{kWh}{año} \cdot \frac{7[días]}{365 \frac{[días]}{[año]}} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \frac{[m^3]}{[kg \text{ tomate}]}}{0,321 [m^3]}$$

$$EE_{Consumo,T} = 0,024 \left[ \frac{kWh}{kg \text{ tomate}} \right]$$

$$EE_{Consumo,T} = 0,097 \left[ \frac{MJ}{kg \text{ tomate}} \right]$$

Luego este valor debe ser normalizado respecto a la unidad funcional y, finalmente, se calcula la huella ecológica del uso de electricidad según la fórmula:

$$HE_{EE} = E_{Eléctrica} \cdot I_{CO_2} \cdot \frac{1 - F_{CO_2}}{S_{CO_2}} \cdot EQF_f$$

Recordando lo descrito en la metodología,  $I_{CO_2}$ ,  $F_{CO_2}$ ,  $S_{CO_2}$  y  $EQF_f$  son parámetros conocidos, y  $E_{Eléctrica}$  representa la electricidad que es utilizada en cada etapa, y que para el caso del consumo domiciliario de tomate sería el valor de  $EE_{Consumo,T}$ .

## H.2. Electricidad en incorporación de residuos a la tierra

Una de las formas de disposición de los residuos orgánicos que se generan es incorporarlos nuevamente a la tierra. Para esto, es común realizar previamente una trituration de los residuos, con maquinaria que requiere de electricidad. Se calcula entonces la energía utilizada para triturar un kg de residuos, utilizando los datos en la Tabla H.2 de una trituradora eléctrica para residuos orgánicos.

Tabla H.2: Información técnica de trituradora eléctrica comercializada en Chile [157].

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Potencia	$P_{Trituradora}$	2500	[W]
Capacidad de trabajo	$Q_{Triturador}$	125	[kg/h]

A partir de estos datos se calcula el consumo eléctrico de la trituradora por kg de residuos. A continuación se detalla el cálculo.

$$EE_{Incorporación} = \frac{P_{Trituradora}}{Q_{Trituradora}}$$

$$EE_{Incorporación} = \frac{2500 \frac{[J]}{[s]}}{125 \frac{[kg]}{[h]} \cdot \frac{1[h]}{3600[s]}} = 0,072 \left[ \frac{MJ}{kg \text{ residuo}} \right]$$

Luego, de la misma forma que en el consumo, este resultado debe ser normalizado y transformado a huella ecológica con la fórmula y parámetros antes descritos.

### H.3. Electricidad en producción cajas de cartón

Las cajas de cartón son utilizadas para el envasado de dos de las hortalizas representativas: la lechuga y el tomate. Se realiza el cálculo con los datos en la Tabla H.3

Tabla H.3: Datos para el cálculo de electricidad utilizada en la producción de cajas de cartón para envasado [145].

Parámetro	Valor	Unidad
Electricidad en extracción de materia prima	1,57	[kWh/kg cartón]
Electricidad en procesar materia prima	0,015	[kWh/kg cartón]
Electricidad en producir caja cartón	0,41	[kWh/kg cartón]
Electricidad total por kg de cartón	1,997	[kWh/kg cartón]
Masa caja de cartón	0,22	[kg/ caja de cartón]
Electricidad total por caja	0,44	[kWh/caja]
Electricidad total por caja	1,58	[MJ/caja]

Mediante los datos presentados se puede concluir el último dato presentado en la tabla, que es la electricidad utilizada en la producción de cajas de cartón igual a 1,58 [MJ] por caja.

Este valor debe ser normalizado utilizando la masa de hortaliza que es envasada en cada caja, por lo que siguiendo con el ejemplo del tomate, se asume, según la ficha de costos de la ODEPA para el tomate, en una caja se pueden almacenar 18 [kg de tomate], por lo que se asume que la electricidad requerida para la etapa de producción de cajas de cartón es de 0,088 [MJ/kg tomate].

Para la lechuga se toman 20 [kg] por caja, extraído de la ficha de costos para la lechuga producida en la RM, con lo que se tiene 0,079 [MJ/kg lechuga].

### H.4. Electricidad en riego por aspersión

El riego por aspersión es utilizado en la producción de plantines para las hortalizas de siembra indirecta. Se utiliza este tipo de riego debido a que las gotas son más pequeñas, lo que evita que el sustrato y la semilla se muevan o caigan del almácigo. Para calcular el consumo energético se buscaron las bombas utilizadas generalmente para este tipo de riego, dejando su información técnica en la Tabla H.4.

Tabla H.4: Información técnica de bomba de agua sumergible utilizada para el riego por aspersión [158].

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Potencia	$P_{Bomba}$	1	[hp]
Potencia	$P_{Bomba}$	745,7	[W]
Caudal máximo	$Q_{Bomba}$	100	[L/min]

Los datos utilizados son de una bomba sumergible debido a que se asume que el agua utilizada para riego viene desde pozos. Teniendo la información anterior, el uso de electrici-

dad puede ser calculado con el requerimiento de agua de los plantines, detallado en el Anexo L.

Para el caso del tomate, el uso de agua en la producción de plantines es de 28,97 [L/g semilla] y para producir 1 kg de tomate consumido se requieren 0,033 [g semilla]. Entonces, se calcula el tiempo de uso de la bomba para cumplir con el requerimiento de agua.

$$t_{Bomba} = \frac{28,97 \left[ \frac{L}{g \text{ semilla}} \right] \cdot 0,033 \left[ \frac{g \text{ semilla}}{kg \text{ tomate consumido}} \right]}{100 \left[ \frac{L}{min} \right]} = 0,010 \left[ \frac{min}{kg \text{ tomate consumido}} \right]$$

$$t_{Bomba} = 1,57 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{h}{kg \text{ tomate consumido}} \right]$$

$$EE_{Plantin,T} = P_{bomba} \cdot t_{Bomba} = 745,7[W] \cdot 1,57 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{h}{kg \text{ tomate consumido}} \right]$$

$$EE_{Plantin,T} = 1,17 \cdot 10^{-1} \left[ \frac{Wh}{kg \text{ tomate consumido}} \right]$$

Este valor debe ser normalizado según los datos presentados en la Tabla G.3.

## H.5. Electricidad en extracción de turba

La turba es un sustrato utilizado para la producción de plantines. Para el cálculo de la electricidad consumida en su extracción se utilizan datos del estudio de Pakere y Blumberga (2017), donde midieron la cantidad extraída y la electricidad consumida en seis turberas. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla H.6 a continuación.

Tabla H.6: Datos de extracción de turba en seis turberas en Europa [159].

<b>Caso</b>	<b>Cantidad extraída</b> [m <sup>3</sup> turba/año]	<b>Consumo eléctrico</b> [kWh/año]	<b>Consumo eléctrico</b> [kWh/m <sup>3</sup> turba]
Turbera 1	62.700	50.900	0,81
Turbera 2	48.300	18.400	0,38
Turbera 3	105.800	37.100	0,35
Turbera 4	165.400	47.500	0,29
Turbera 5	142.300	51.400	0,36
Turbera 6	315.800	140.700	0,45

Teniendo los datos explicitados en la tabla, se calculó entonces un consumo eléctrico promedio y este valor fue utilizado para el cálculo de la huella ecológica. El consumo de electricidad promedio por m<sup>3</sup> de turba fue de 0,41 [kWh/m<sup>3</sup> de turba].

## H.6. Electricidad en producción de herbicidas

El uso de herbicidas es común en los cultivos como una forma de prevenir la aparición de hierbas o plantas que no son deseables para el desarrollo de la hortaliza. Hay diferentes tipos de herbicidas y el consumo eléctrico en su producción depende de la composición del mismo.

En el presente trabajo se calculó el uso de electricidad en la producción con factores asociados a los agroquímicos específicamente utilizados en cada hortaliza, sin embargo, para los casos en que no se encontró el consumo eléctrico para un herbicida en particular, se utilizó un valor promedio calculado con los datos en la Tabla H.8, que contienen la energía consumida según el ingrediente activo y, finalmente, un promedio.

Tabla H.8: Electricidad utilizada en la producción de herbicidas según el ingrediente activo que contienen [143].

<b>Ingrediente activo en herbicida</b>	<b>Electricidad [MJ/kg a.i]</b>	<b>Energía total [MJ/kg a.i]</b>
MCPA	27,5	127,7
2,4-D	23,0	87,0
2,4,5-T	42,0	135,0
Dicamba	96,0	295,0
Chloramben	44,0	170,0
Fluazifop-butyl	183,4	518,0
Propanil	64,0	220,0
Alachlor	86,4	277,5
Propachlor	84,0	290,0
Chlorsulfuron	112,2	365,4
Butylate	31,0	140,8
Diuron	85,6	274,5
Fluometuron	98,5	354,6
Atrazine	37,2	188,3
Dinoseb	3,0	80,0
Trifluralin	57,7	150,9
Diquat	100,0	400,0
Paraquat	141,6	459,4
Glyphosate	227,0	454,0
Linuron	88,4	289,7
Cyanazine	38,6	201,0
Bentazon	118,5	433,6
EPTC	66,7	159,8
Metolachlor	78,2	275,8
<b>Promedio</b>	<b>80,6</b>	<b>264,5</b>

La energía total representa la suma de la energía total inherente y la energía total del proceso. La energía total inherente es aquella que se conserva en la estructura química del

herbicida, mientras que la energía total del proceso es la que fue utilizada en la producción para calentamiento, enfriamiento u otras operaciones unitarias.

Los datos presentados en la Tabla H.8 representan la electricidad en la producción del herbicida, es decir, una parte de la energía total del proceso, y de la energía total, que es la suma de la inherente y la del proceso. Entonces, para los casos en que no se pudo encontrar información específica para un herbicida se utilizó el promedio de 80,60 [ $MJ/kg a.i$ ] como consumo de electricidad por kg de ingrediente activo contenido en el herbicida.

## **H.7. Factores de caracterización de consumo eléctrico**

Finalmente, se presentan los factores de consumo eléctrico considerados para todas las etapas en que la HE de electricidad es relevante en el cálculo. La Tabla H.10 contiene los valores utilizados, indicando la etapa, el uso de la energía en esa etapa, y unidad de medida en que se encuentra el factor.

Tabla H.10: Factores de caracterización para el cálculo de la electricidad utilizada en cada etapa del ciclo de vida.

Etapa	Detalle	Factor	Unidad	Referencia
Consumo	Refrigeración	403	[kWh/año]	[154]
Producción cajas	Proceso general	1,58	[MJ/caja]	Calculado
Producción sacos	Proceso general	0,14	[kWh/saco]	[146]
Producción plantines	Riego por aspersión	0,12	[Wh/L]	[158]
Producción sustrato	Turba	0,41	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[159]
	Perlita	16,38	[kWh/ton]	[160]
Producción insecticida	MTD 600	79,1	[MJ/kg a.i]	[143]
	Karate Zeon	529	[MJ/kg a.i]	[143]
	Zero 5 EC	580	[MJ/kg]	[161]
	Neres 50% SP	79,1	[MJ/ kg a.i]	[143]
	Puzzle 200 SC	330,3	[MJ/kg]	[136]
	Cypress 100 EC	324	[MJ/kg a.i]	[143]
	Vertimec 018 EC	79,1	[MJ/kg a.i]	[143]
Producción fungicida	Ridomil 68 WP	280	[MJ/kg i.a.]	[137]
	Manzate 200	280	[MJ/kg i.a.]	[137]
	Cercobin M	423	[MJ/kg i.a.]	[143]
	Mancozeb 80 WP	280	[MJ/kg i.a.]	[143]
	Bravo 720	55	[MJ/kg i.a.]	[143]
Producción fertilizante	Mezcla NPK 0:15:15	7,59	[MJ/kg]	[140]
	Urea	23,45	[MJ/kg]	[162]
	Nitrato de potasio	1,55	[MJ/kg]	[163]
	Nitrato de calcio	7,23	[MJ/kg]	[162]
	Ultrasol	7,59	[MJ/kg]	[139]
	Mezcla NPK 5:25:20	7,59	[MJ/kg]	[139]
	Salitre potásico	10,35	[MJ/kg]	[139]
	Mezcla NPK 21:3:10	0,203	[MJ/kg]	[140]
	Mezcla NPK 0:22:22	0,877	[MJ/kg]	[140]
Producción fertilizante foliar	Fosfimax 40 20	4,36	[MJ/kg]	[164]
	Terrasorb foliar	7,97	[MJ/kg i.a.]	[142]
	Kelpak	0,069	[MJ/L]	[141]
	Frutaliv	7,97	[MJ/kg i.a.]	[141]
Producción herbicida	Sencor 480 SC	80,60	[MJ/kg a.i]	[143]
	Herbadox 45 SC	110,73	[MJ/kg i.a.]	[143]
	Afalón 50WP	310,00	[MJ/kg i.a.]	[143]
	Verdict 1400	80,60	[MJ/kg i.a.]	[143]
Potabilización	Proceso general	0,196	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[165]
Obtención agua riego	Elevación desde pozo	0,082	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[165]
Producción cloro	Proceso general	4.380	[kWh/ton cloro]	[149]
Producción semillas	Proceso general	1,00	[MJ/kg semilla]	[166]

# Anexo I

## Dosis de agroquímicos

La cantidad de fertilizantes utilizada en el cultivo de hortalizas debe ser definida según la especie a producir y el suelo en que esto va a ser realizado.

Las requerimientos principales son de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), por lo que en la Tabla I.1 presentada a continuación se detalla la masa estimada que se necesita de cada uno por hectárea de hortaliza cultivada.

Tabla I.1: Requerimiento de NPK para cada hortaliza estudiada.

<b>Hortaliza</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Unidad</b>
Lechuga	95,0	15,9	150	[kg/ha]
Tomate	120,8	14,4	300	
Zanahoria	86,3	52,5	106,3	

Es importante notar que aunque se presentan valores nutrientes requeridos, estas cantidades cambian dependiendo del suelo y condiciones en que la hortaliza es cultivada, por lo que sirven como una estimación, mas no son la regla general y absoluta para todos los cultivos de lechuga, tomate y hortaliza.

Por otro lado, el aporte del fertilizante depende de la composición del mismo, por lo que para definir la cantidad requerida es necesario identificar el agroquímico en particular que está siendo utilizado, o al menos su composición. En esta etapa se decide utilizar los fertilizantes mencionados en las fichas de costos asociadas a cada una de las hortalizas.

Las Tablas I.2, I.3 y I.4 detallan los agroquímicos utilizados para el tomate, lechuga y zanahoria respectivamente, acompañados del nombre comercial de cada uno, principio activo y país de origen.

Agroquímico	Nombre comercial	Principio activo	País origen
Fertilizante	Mezcla NPK 0:15:15	Nitrógeno, fósforo y potasio	EE.UU.
	Nitrato de potasio	Nitrógeno y potasio	Chile
	Nitrato de calcio	Nitrógeno	Colombia
	Urea	Nitrógeno	Venezuela
	Ultrasol	-	Chile
Insecticida	MTD 600	Metamidofós	China
	Karate Zeon	Lambda-cihalotrina	China
	Zero 5 EC	Lambda-cihalotrina	China
	Neres 50 % SP	Monocloridrato de cartap	China
Fungicida	Manzate 200	Mancozeb	Colombia
	Ridomil MZ 68 WP	Mancozeb	Francia
	Cercobin M	Tiofanato-metilo	China
Acaricida	Vertimec	Abamectina	China
Fertilizante foliar	Fosfimax 40 20	Fósforo y potasio	España
	Terrasorb foliar	e L- $\alpha$ -aminoácidos	España
	Frutaliv	L-aminoácidos libres	España

Tabla I.2: Agroquímicos para el cultivo de tomate en el escenario actual.

Agroquímico	Nombre comercial	Principio activo	País de origen
Fertilizantes	Mezcla NPK 5:25:20	Nitrógeno, fósforo y potasio	EE.UU.
	Urea	Nitrógeno	Venezuela
	Salitre potásico	Nitrógeno	EE.UU.
	Ultrasol	-	Chile
Insecticidas	Zero EC	Lambda-cihalotrina	China
	Puzzle 200 SC	Imidacloprid	China
Fungicidas	Cercobin M	Tiofanato de metilo	China
	Mancozeb 80 WP	Mancozeb	China
Herbicidas	Herbadox 45 SC	Pendimetalina	China
Fertilizante foliar	Fosfimax 40 20	Fósforo y potasio	España
	Kelpak	Alga Ecklonia máxima	España

Tabla I.3: Agroquímicos para el cultivo de lechuga en el escenario actual.

Agroquímico	Nombre comercial	Principio activo	País de origen
Fertilizantes	Mezcla NPK 21:3:10	Nitrógeno, fósforo y potasio	EE.UU.
	Nitrato de potasio	Nitrógeno y potasio	Chile
	Mezcla NPK 0:22:22	Nitrógeno, fósforo y potasio	EE.UU.
Fungicidas	Bravo 720	Clorotalonilo	EE.UU.
Insecticidas	Cypress 100 EC	Clorpirifos	China
Herbicidas	Afalon 50WP	Linuron	China
	Verdict 1400	Haloxifop -R - metilo	China
Fertilizante foliar	Terratorb foliar	e L- $\alpha$ -aminoácidos	España

Tabla I.4: Agroquímicos para el cultivo de zanahoria en el escenario actual.

Además, la Tabla I.5 lista los fertilizantes utilizados y su composición, y la Tabla I.6 la masa necesaria para cumplir con el requerimiento mencionado antes. Es importante notar que la suma de los aportes de nutrientes de los fertilizantes no da exactamente el mismo valor expresado en la Tabla I.1, sino un valor cercano que permita estar en un rango aceptable.

Tabla I.5: Composición de los fertilizantes utilizados en cada hortaliza estudiada.

Hortaliza	Fertilizante	N [%]	P [%]	K [%]	Referencia
Lechuga	Mezcla hortalicera 5:25:20	5	25	20	[138]
	Urea	46	0	0	[82]
	Salitre potásico	13	0	44	[80]
	Fosfimax 40-20	0	40	20	[92]
	Kelpak	0,04	0,3	0,61	[98]
Tomate	Mezcla hortalicera 0:15:15	0	15	15	[138]
	Nitrato de potasio	13	0	44	[80]
	Nitrato de calcio	15,5	0	0	[81]
	Urea	46	0	0	[82]
	Fosfimax 40 20	0	40	20	[92]
	Terratorb foliar	4,2	20	0	[93]
Zanahoria	Mezcla hortalicera 21:3:10	21	3	10	[138]
	Nitrato de potasio	13	0	44	[80]
	Mezcla hortalicera 0:22:22	0	22	22	[138]
	Terratorb foliar	4,2	0	0	[93]

Tabla I.6: Cantidad de cada fertilizante utilizada para los cultivos estudiados.

Hortaliza	Fertilizante	Dosis	Unidad
Lechuga	Mezcla hortalicera 5:25:20	50	[kg/ha]
	Urea	100	[kg/ha]
	Salitre potásico	350	[kg/ha]
	Fosfimax 40-20	5	[L/ha]
	Kelpak	5	[L/ha]
Tomate	Mezcla hortalicera 0:15:15	60	[kg/ha]
	Nitrato de potasio	650	[kg/ha]
	Nitrato de calcio	60	[kg/ha]
	Urea	70	[kg/ha]
	Fosfimax 40 20	15	[L/ha]
	Terrasorb foliar	5	[L/ha]
Zanahoria	Mezcla hortalicera 21:3:10	350	[kg/ha]
	Nitrato de potasio	80	[kg/ha]
	Mezcla hortalicera 0:22:22	180	[kg/ha]
	Terrasorb foliar	7,5	[L/ha]

Finalmente, se debe tener en cuenta que los fertilizantes utilizados también son referenciales y se seleccionan estos en particular por la información disponible y efectos del cálculo, sin embargo, el fertilizante y requerimiento de nutrientes puede cambiar caso a caso, provocando un cambio en la cantidad utilizada.

# Anexo J

## Cálculo e información para uso de combustibles

En el presente anexo se detallan los datos utilizados y cálculos realizados para obtener el volumen utilizado de combustibles fósiles, donde los usos principales están dado por el uso del tractor y el transporte de insumos, productos, residuos, entre otros.

### J.1. Uso de tractor

En el presente anexo se dejan los datos utilizadas para calcular el tiempo de uso de tractor por ha. Primero, en la Tabla J.1 se presenta la información de cada hortaliza según la ficha de costos.

Tarea	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad
Aradura	1	1	1	[ha]
Rastraje	3	2	2	
Melgadura	1	1	-	
Acequiadora	2	2	1	
Sembradora	-	-	1	
Aplicación agroquímicos	5	3	3	

Tabla J.1: Información para cada uno de los usos de maquinaria en las hortalizas.

La información en esta tabla se obtiene estimando la cantidad de veces por las que el tractor tiene que recorrer una hectárea de cultivo para completar la actividad.

Cada vez que el tractor es utilizado recorre 1 [ha] de cultivo, por lo que se asume que si una tarea requiere recorrer la hectárea más de una vez, o la tarea es realizada en diferentes ocasiones sobre la misma superficie, entonces se contabiliza una hectárea cada vez que se hace el recorrido. Así, si la aplicación de agroquímicos se hace 3 veces durante el tiempo de cultivo, se considera que el tractor debe recorrer 3 [ha], ya que abarca una cada vez que aplica agroquímicos.

Para el caso de las tareas asociadas a preparación de la tierra, que son las primeras cinco presentadas en la tabla, se usan los datos entregados por las fichas de costos. Mientras que para la aplicación de agroquímicos se complementa la información de la ficha de costos con las fichas técnicas de cada agrouquímico, donde se indica la cantidad de veces que deben ser aplicados sobre el cultivo. El detalle de los datos se puede encontrar en el excel adjunto.

Luego se buscó la eficiencia de la maquinaria, en términos de cantidad de horas que se demoran en cumplir la tarea sobre 1 [ha]. Por bibliografía se encontraron los valores presentados en la Tabla J.2 [167].

Tarea	Eficiencia de maquinaria	Unidad
Aradura	0,31	[JM/ha]
Rastraje	0,31	
Melgadura	0,16	
Acequiadora	0,31	
Sembradora	1	
Pulverizadora	0,31	

Tabla J.2: Eficiencia de la maquinaria para que cada una de las tareas

En la tabla anterior, [JM] es la abreviación para jornadas de maquinaria por hectárea. Una [JM] es considerada equivalente a la jornada laboral de un día, que en este caso se asume como 8 horas de funcionamiento. Así, con los datos de la Tabla J.2 se calcula el tiempo de maquinaria requerido para cada una de las etapas de preparación de la tierra. A continuación se presentan un ejemplo de cálculo para el caso del rastraje de la tierra para el tomate:

$$t_{maq} = 3[ha] \cdot 0,31 \left[ \frac{JM}{ha} \right] \cdot 8 \left[ \frac{h}{JM} \right]$$

$$t_{maq} = 7,44[h]$$

Donde  $t_{maq}$  representa el tiempo de uso de la maquinaria en horas. Los resultados de tiempo para los otros casos se presentan en la Tabla J.3.

La principal maquinaria utilizada en el cultivo de hortalizas es el tractor. Con el tractor se realiza la labranza, que incluye la aradura, rastraje y melgadura, la aplicación de agroquímicos, y la siembra en los casos de siembra directa. Considerando que los tractores tienen emisiones en su uso, y requieren de combustibles para su funcionamiento, se vuelve necesario identificar el tiempo que es utilizado en cada una de las actividades. En la tabla J.3 se presentan los datos para las tres hortalizas estudiadas, según corresponda.

Tabla J.3: Tiempo de uso de tractor en cultivo de las hortalizas en el escenario actual.

Tarea	Tomate	Lechuga	Zanahoria	Unidad
Aradura	2,5	2,5	2,5	[h/ha]
Rastraje	7,4	4,9	4,9	
Acequiadora	2,6	1,3	1,3	
Melgadura	2,5	4,9	-	
Aplicación agroquímicos	12,4	7,4	7,4	
Sembradora	-	-	8,0	

Los datos presentados en la tabla fueron estimados utilizando el rendimiento de la maquinaria agrícola para cada una de estas tareas y la superficie en la que es utilizada. El detalle de este cálculo puede ser encontrado al inicio de este anexo, y en la Tabla J.4 se presentan los datos técnicos del tractor y el factor de emisión de  $CO_2$  del mismo.

Parámetro	Valor	Unidad
Caballos de fuerza del tractor	75	[hp]
Consumo diésel del tractor	0,1	[L/CV]
Factor de emisión de $CO_2$	595	[gCO <sub>2</sub> /hp · h]

Tabla J.4: Parámetros técnicos de tractor para cultivos hortícolas en Chile.

## J.2. Traslados y medios de transporte

En esta sección se detallan los traslados considerados en el estudio y los medios de transporte que utilizan en cada uno de ellos. Según bibliografía se tiene la siguiente información:

- Traslado de agroquímicos: En las tablas I.2, I.3 y I.4 se puede ver que la mayor parte de los agroquímicos vienen desde el extranjero. En la importación de estos se considera que llegan por mar hasta el puerto de San Antonio, puerto principal en Chile, para luego ser transportados en camiones hasta el lugar de producción de las hortalizas.

Los datos asociadas al traslado marítimo se presenta en la Tabla K.3 en el Anexo K.3, mientras que la información asociada a los camiones que se utilizan se presenta en la Tabla J.5.

Tabla J.5: Datos técnicos de los camiones utilizados para el transporte de agroquímicos.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Capacidad de carga	23.500	[ton]	[168]
Uso de combustible	0,38	[km/L diésel]	[168]
FE de $CO_2$	2,65	[kgCO <sub>2</sub> /L]	[135]

- Traslado desde producción a venta: El estudio cuantifica la HE de las hortalizas para consumo fresco, por lo que se asume que al finalizar la cosecha y selección, las horta-

lizas se mueven en camiones desde la región donde son producidas hasta los mercados mayoristas. El mercado Lo Valledor es el principal destino y las normativas del lugar mencionan que el transporte debe ser en camiones 3/4, que tienen una capacidad media, o más grandes. Se asume entonces el uso de camiones 3/4 y su información técnica se presenta en la Tabla J.6.

Tabla J.6: Datos técnicos de los camiones 3/4 utilizados para el transporte desde el lugar de producción a los mercados mayoristas.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Capacidad de carga	1.355	[ton]	[169]
Uso de combustible	11,4	[km/L diésel]	[169]
FE de $CO_2$	598	[g $CO_2$ /km]	[170]

- Traslado desde venta a consumo: En esta etapa se considera el traslado desde el mercado mayorista hasta las ferias libres o consumo domiciliario, es decir, habla del traslado que hacen las personas para obtener la hortaliza, por lo que se considera que el viaje se realiza en autos.

En caso que el destino sea ferias libres, se asume que al llegar ahí ya se llegó al consumido. Las ferias se encuentran en todas las comunas de la RM y los consumidores tienden a ir a las que se encuentren cerca de sus hogares, por lo que se supone que el recorrido entre la feria y los hogares se realiza a pie, o es lo suficientemente corto para no tener un impacto relevante para el estudio. Las distancias utilizadas se encuentran el Anexo K.1 y la información técnica del auto considerado se presenta en la Tabla J.7.

Tabla J.7: Datos técnicos de los autos comúnmente utilizados para mover desde el mercado a los hogares.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Capacidad	489	[kg]	[171]
Uso de combustible	10,4	[km/L gasolina]	[172]
FE de $CO_2$	187	[g $CO_2$ /km]	[172]

- Traslado de residuos desde consumo a relleno sanitario: Se asume que la parte de las hortalizas que no es consumida por las personas en sus hogares termina la basura, que es transportada en camiones hasta el relleno sanitario. Los datos técnicos de estos camiones se presentan en J.8, y para estimar las emisiones y el uso de combustible se asume una distancia promedio entre las comunas de la RM y la ubicación del relleno sanitario. Para mayor detalle, revisar Anexo K.2.

Tabla J.8: Datos técnicos de los camiones que mueven residuos desde el consumo domiciliario hasta el relleno sanitario.

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Capacidad	11.400	[kg]	[173]
Uso de combustible	0,35	[L diésel/km]	[168]
FE de $CO_2$	1,30	[kg $CO_2$ /km]	[174]

# Anexo K

## Distancias recorridas

### K.1. Venta en mercado a consumo domiciliario

Para la estimación de la distancia recorrida entre el mercado y el consumo domiciliario se mide la distancia entre Lo Valledor, el principal mercado mayorista de las hortalizas consumidas en la RM, hasta las diferentes comunas de la RM.

Se calcula un promedio ponderado de la distancia con respecto al porcentaje de la población que representa cada comuna en la región y se asume que ese promedio es la distancia que se recorre entre el mercado y el consumo. Los datos son presentados en la Tabla K.1.

Tabla K.1: Distancias promedio entre mercado Lo Valledor y las comunas de la RM. Las distancias fueron medidas usando Google Maps y la población se extrae del CENSO 2017 [57].

Inicio	Fin	Población comuna [hab]	Distancia [km]
Lo Valledor	Cerrillos	80.832	6,9
	Cerro Navia	132.622	18
	Conchalí	126.955	12,9
	El Bosque	162.505	15,2
	Estación Central	147.041	3,5
	Huechuraba	98.671	17,3
	Independencia	100.281	10,2
	La Cisterna	90.119	5
	La Florida	366.916	23,6
	La Granja	116.571	15,1
	La Pintana	177.335	21,1
	La Reina	92.787	24,4
	Las Condes	294.838	22,1
	Lo Barnechea	105.833	29,5
	Lo Espejo	98.804	4,6
	Lo Prado	96.249	7,8
	Macul	116.534	9,0
	Maipú	521.627	8

Tabla K.1: Continuación de la Tabla K.1

<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Población comuna [hab]</b>	<b>Distancia [km]</b>
Lo Valledor	Ñuñoa	208.237	11
	PAC	101.174	1,9
	Padre Hurtado	63.250	21,0
	Peñalolén	241.599	26,0
	Providencia	142.079	14,5
	Pudahuel	230.293	8,8
	Puente Alto	568.106	22,9
	Quilicura	210.410	17
	Quinta Normal	110.026	6,8
	Recoleta	157.851	13,9
	Renca	147.151	15,1
	San Bernardo	301.313	20,3
	San Joaquín	94.492	6,7
	San Miguel	107.954	5,4
	San Ramón	82.900	8,3
	Santiago	404.495	5,1
	Vitacura	85.384	22,1
	Talagante	74.237	37,8
	El Monte	35.923	45,4
	Isla de Maipo	36.219	46,5
	Padre Hurtado	63.250	22,6
	Peñaflor	90.201	29,2
	San Bernardo	301.313	15,5
	Buin	96.614	31
	Calera de Tango	25.392	23,4
	Paine	72.759	40,1
	Melipilla	123.627	66,9
	Alhué	6.444	131
	Curacaví	32.579	48,7
	María Pinto	13.590	56,1
	San Pedro	9.726	104,0
	Pirque	26.521	35,6
	San José de Maipo	18.189	54,5
Colina	146.207	36,1	
Lampa	102.034	35,4	
Tiltil	19.312	63,8	
<b>Promedio ponderado [km]</b>		<b>17,84</b>	

## K.2. Consumo domiciliario a relleno sanitario

Para la estimación de la distancia desde el consumo domiciliario al relleno sanitario el procedimiento es análogo al descrito para el recorrido entre la venta en mercado y el consumo, por lo que en la Tabla K.2 se presentan los datos utilizados para el cálculo de la distancia.

Tabla K.2: Distancias promedio entre las comunas de la RM y el Relleno Sanitario Lomas Los Colorados. Las distancias fueron medidas usando Google Maps y la población se extrae del CENSO 2017 [57].

<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Población comuna [hab]</b>	<b>Distancia [km]</b>
Cerrillos	Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	80.832	100
Cerro Navia		132.622	98,1
Conchalí		126.955	85,7
El Bosque		162.505	106
Estación Central		147.041	95,7
Huechuraba		98.671	89,1
Independencia		100.281	89,4
La Cisterna		90.119	102
La Florida		366.916	104
La Granja		116.571	105
La Pintana		177.335	109
La Reina		92.787	103
Las Condes		294.838	99,4
Lo Barnechea		105.833	98,5
Lo Espejo		98.804	102
Lo Prado		96.249	94,4
Macul		116.534	101,0
Maipú		521.627	109
Ñuñoa		208.237	98,2
PAC		101.174	99,1
Padre Hurtado		63.250	118,0
Peñalolén		241.599	102,0
Providencia		142.079	95,6
Pudahuel		230.293	95,8
Puente Alto		568.106	115
Quilicura		210.410	83,1
Quinta Normal		110.026	91,9
Recoleta		157.851	90,8
Renca		147.151	91
San Bernardo		301.313	110,0
San Joaquín	94.492	99,7	
San Miguel	107.954	98,5	
San Ramón	82.900	106	
Santiago	404.495	92,4	

Tabla K.2: Continuación de la Tabla K.2

Inicio	Fin	Población comuna [hab]	Distancia [km]
Vitacura	Relleno Sanitario Lomas Los Colorados	85.384	98,2
Talagante		74.237	106
El Monte		35.923	113
Isla de Maipo		36.219	114
Padre Hurtado		63.250	89
Peñaflor		90.201	96,8
San Bernardo		301.313	83
Buín		96.614	97,5
Calera de Tango		25.392	90,1
Paine		72.759	106
Melipilla		123.627	134
Alhué		6.444	197
Curacaví		32.579	105
María Pinto		13.590	112
San Pedro		9.726	171
Pirque		26.521	102
San José de Maipo		18.189	117
Colina		146.207	50,3
Lampa		102.034	50,9
Tiltil	19.312	23,6	

### K.3. Importación

Finalmente, en el cálculo de distancias se tiene el recorrido de los insumos importados a Chile.

El país desde el que se realiza la importación depende del insumo que se requiere, sin embargo, el medio de transporte es el mismo en la mayoría de los casos, siendo el marítimo el preferido para los productos que no se necesitan de forma inmediata debido al bajo costo de trasladar en barcos cargueros.

El transporte se realiza puerto a puerto y en Chile el puerto principal es el de San Antonio, ubicado en la Región de Valparaíso. Así, en el presente trabajo se asume que los productos llegan a Chile por el puerto de San Antonio, para luego ser transportados en camiones hasta el lugar en que son requeridos.

Para la primera parte del viaje realizada en barcos, se debe tener en consideración que los buques cargueros recorren diversos países dejando lo correspondiente en cada puerto. Debido a esto es que la distancia recorrida se calculará según el tiempo de tránsito del barco desde un país a otro, y asumiendo una velocidad promedio para el mismo.

La Tabla K.3 presenta la velocidad promedio considerada, distancias recorridas y tiempos

de tránsito entre diversas ciudades o países y Chile. Mediante esta información se calcula el uso de combustible en cada una de ellas y las emisiones directas.

Tabla K.3: Datos para el cálculo de emisiones y uso de combustible en transporte de insumos importados a Chile.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Velocidad promedio barco	35	[km/h]	[175]
Uso de fuel oil en barco	225	[L/h]	[176]
Distancia Antofagasta-San Antonio	1.551	[km]	<i>GoogleMaps</i>
Distancia Francia-Chile	11.185	[km]	[177]
Tiempo de tránsito China-Chile	35	[días]	[178]
Tiempo de tránsito EE.UU-Chile	22,5	[días]	[179]
Tiempo de tránsito Venezuela-Chile	14	[días]	[180]
Tiempo de tránsito Colombia-Chile	10	[días]	[181]
Tiempo de tránsito Holanda-Chile	25	[días]	[182]
Tiempo de tránsito Brasil-Chile	17	[días]	[181]
Tiempo de tránsito España-Chile	25	[días]	[182]
Tiempo de tránsito Perú-Chile	4	[días]	[183]

Con los datos presentados en la tabla se puede obtener la distancia recorrida por los barcos al trasladar los insumos necesarios para el proceso general.

# Anexo L

## Requerimientos de agua

En el ciclo de vida de las hortalizas se utiliza agua en diferentes etapas del proceso. En este trabajo en particular se considerará el consumo de agua para:

1. Producción de agroquímicos.
2. Riego en producción de plantines.
3. Riego del cultivo
4. Aplicación de agroquímicos.
5. Lavado en consumo domiciliario.

En las etapas antes mencionadas, los requerimientos de agua principales se dan por el riego, el lavado en el consumo domiciliario y consumo de agua para producir y aplicar agroquímicos. El uso de agua para riego en la siembra indirecta involucra la producción de los plantines, el riego del cultivo y la aplicación de agroquímicos.

Para el caso de la siembra directa se considera solo el riego del cultivo y la aplicación de agroquímicos, dejando fuera la producción de plantines. En ambos se considera un lavado previo al consumo domiciliario y la producción de agroquímicos.

### L.1. Agua para riego

La estimación para el agua de riego se basa en la cuantificación del requerimiento de agua que tienen las plantas estudiadas en el lugar en el que son producidas. Se debe tener en cuenta que la cantidad de agua cambia según el tipo de hortaliza y el lugar en que se produce, ya que estos se ven afectados por las condiciones en las que se encuentra el suelo y las climáticas a las que está expuesto el cultivo.

En esta sección se describe la metodología general para el cálculo de uso de agua, y en la Tabla L.2 se presentan los datos para cada hortaliza.

El requerimiento de agua en la producción de plantines y en el cultivo se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$NRD = \frac{(ET_C - P_{ef}) \cdot AU}{E_a}$$

Donde  $NRD$  representa la necesidad bruta de riego diario [ $L/planta \cdot día$ ],  $ET_C$  la evapotranspiración del cultivo en la zona estudiada [ $mm/día$ ],  $P_{ef}$  es la precipitación efectiva en el lugar de estudio,  $AU$  es el área unitario de cultivo en [ $m^2$ ] y  $E_a$  es la eficiencia del método de riego utilizado, que para el caso del riego por surco es en promedio un 50 % y para el riego por microaspersión es de 85 % [184, 185].

En esta estimación se puede ver que la demanda bruta de riego incluye una pérdida de agua según el tipo de riego utilizado. Además, considera la evapotranspiración en los cultivos, que aborda la evaporación de agua desde el suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración habla entonces de una pérdida de agua que tendrá el suelo y la planta, y que debe ser abastecida por el riego.

Sin embargo, es importante también tener en cuenta que así como el cultivo pierde agua, también podría obtenerla a través de las precipitaciones, por lo que se incluye el término  $P_{ef}$  que habla de la cantidad de agua que llega al cultivo por la lluvia.

Luego se debe obtener  $ET_C$  y  $P_{ef}$ , y estos valores pueden ser calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$ET_C = ET_0 \cdot K_C$$

Donde  $ET_0$  es la evapotranspiración de referencia del cultivo en [ $mm/día$ ] y  $K_C$  es el coeficiente de cultivo, un adimensional que describe el cambio que tiene la evapotranspiración dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentra el cultivo. Este último entonces es un número que será definido según la hortaliza y la etapa en la que esta se encuentra. Para  $P_{ef}$  se utiliza:

$$P_{ef} = (P - 10) \cdot 0,8 ; P > 75 [mm]$$

$$P_{ef} = (P - 10) \cdot 0,6 ; P < 75 [mm]$$

Donde  $P$  es la precipitación bruta o real medida en mm.

Los datos de  $ET_0$  y  $P$  se miden para cada zona y se pueden encontrar en la Red Agrometeorológica del INIA. En ella se extraen los datos del 2020 y 2021 de los meses en que se realiza el cultivo, y la información se extrae para cinco estaciones ubicadas en las regiones en la que se produce cada hortaliza estudiada. Con esta información se calcula el valor de  $ET_C$  y  $K_C$  asociados a cada etapa fenológica de los cultivos.

El detalle de los valores se puede encontrar en el excel adjunto en la hoja “Uso agua”. En este anexo se presentan los valores finales obtenidos para cada hortaliza en su región correspondiente.

Por otro lado, también se debe definir el valor del coeficiente de cultivo  $K_C$ , por lo que en la Tabla L.1 se entregan valores referenciales para el coeficiente,

Tabla L.1: Valores referenciales para el coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) según la fase de cultivo [186].

Hortaliza	Etapa fenológica del cultivo				
	Parámetro	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Lechuga	$K_C$	0,45	0,60	1,00	0,90
	Duración [días]	27	40	25	10
Tomate	$K_C$	0,45	0,75	1,15	0,80
	Duración [días]	40	27	31	20
Zanahoria	$K_C$	0,45	0,75	1,05	0,90
	Duración [días]	13	31	58	36

Tabla L.2: Datos para el cálculo de uso de agua de riego para cada hortaliza. Información extraída de las fichas de costos referenciales de la ODEPA.

Hortaliza	Región origen	Mes siembra	Mes cosecha
Tomate	Región de Valparaíso	Octubre	Enero - Febrero
Lechuga	Región Metropolitana	Abril	Junio-Julio
Zanahoria	Región de Ñuble	Septiembre	Enero - Febrero

La Tabla L.3 muestra los datos de  $ET_0$  y  $P$  utilizados para el cálculo de requerimiento de agua en cada etapa, así como el resultado obtenido para  $ET_C$ ,  $P_{ef}$  y  $NRD$  en cada caso.

Tabla L.3: Datos para el cálculo de uso de agua de riego para cada hortaliza. Datos extraídos de la Red Agrometeorológica del INIA.

Hortaliza	Etapa	Mes	$ET_0$ [mm/mes]	$P$ [mm/mes]
Lechuga	Inicial	Abril	74,12	12,87
	Desarrollo	Mayo	41,97	6,08
	Media	Junio	25,45	24,07
	Maduración	Julio	32,25	42,63
Tomate	Inicial	Octubre	109,59	0,43
	Desarrollo	Noviembre	128,70	0,74
	Media	Diciembre	158,00	0,16
	Maduración	Enero	156,97	7,19
Zanahoria	Inicial	Septiembre	66,57	41,17
	Desarrollo	Octubre	98,84	16,98
	Media	Noviembre - Diciembre	141,88	4,54
	Maduración	Enero	167,76	33,10

Finalmente,  $AU$ , que representa la unidad de área que utiliza la planta, se calcula como la inversa del rendimiento del cultivo. Con esto se tienen todos los datos necesarios para la obtención del requerimiento de agua en ambas etapas. La Tabla L.4 resume los resultados obtenidos para cada hortaliza en las etapas correspondientes.

Tabla L.4: Requerimiento de agua para riego para cada hortaliza.

Hortaliza	Etapas	$ET_C$ [mm/mes]	$P_{ef}$ [mm/mes]	NDR	Unidad
Lechuga	Inicial	33,35	1,72	12,87	[L/g semilla]
	Desarrollo	25,18	-2,35	6,08	[L/lechuga]
	Media	25,45	8,44	24,07	[L/lechuga]
	Maduración	29,02	19,58	42,63	[L/lechuga]
Tomate	Inicial	49,31	-5,75	28,79	[L/g semilla]
	Desarrollo	96,53	-5,56	11,48	[L/tomate]
	Media	181,69	-5,90	24,23	[L/tomate]
	Maduración	125,58	-1,69	10,61	[L/tomate]
Zanahoria	Inicial	29,96	18,70	0,35	[L/zanahoria]
	Desarrollo	74,13	4,19	5,35	[L/zanahoria]
	Media	148,97	-3,27	21,80	[L/zanahoria]
	Maduración	150,98	13,86	12,19	[L/zanahoria]

El uso de agua para riego utilizado será la suma de los requerimientos en cada etapa fenológica del cultivo. Este valor debe ser normalizado.

## L.2. Agua para lavado domiciliario

Para el lavado domiciliario se asume que se utiliza agua potable y que el consumo se asume igual a la recomendación de la Agencia Chilena para la Calidad e Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA) realizada en 2020. Según esa información, se tienen los datos presentados en la Tabla L.5.

Tabla L.5: Datos para de lavado de hortalizas en consumo domiciliario [187].

Hortaliza	Parámetro	Valor	Unidad
Lechuga	Volumen de agua	3	[L/lechuga]
Tomate	Tiempo de lavado	20	[s/tomate]
Zanahoria	Tiempo de lavado	20	[s/zanahoria]

Con esta información ya se tiene el volumen utilizado para el lavado de lechuga, pero para el tomate y la zanahoria se puede notar que el valor obtenido es el tiempo que debe estar bajo la llave de agua, pero para calcular el consumo es necesario saber el flujo de una llave de agua potable. En este estudio se asume un flujo de 8 [L/min] [188].

Finalmente, se puede obtener el consumo de agua utilizado en esta etapa del proceso para cada hortaliza. Los valores se presentan en la Tabla L.6.

Tabla L.6: Volumen de agua utilizado para lavado de hortalizas en consumo domiciliario.

Hortaliza	Valor	Unidad
Lechuga	3,00	[L/lechuga]
Tomate	2,67	[L/tomate]
Zanahoria	2,67	[L/zanahoria]

### L.3. Agua para aplicación de agroquímicos

En la aplicación de agroquímicos es común que estos tengan que ser diluidos en agua para luego ser aplicados. Cuando el cultivo es regado con tecnologías como el riego por goteo o aspersión, la aplicación se realiza agregando el agroquímico en los estanques desde los que se extrae el agua de riego, pero cuando se utilizan sistemas de riego por gravedad, como es el de surcos usado en las tres hortalizas estudiadas, la aplicación se separa del riego y se realiza diluyendo los agroquímicos y aplicándolos sobre el cultivo con pulverizadores.

Esta sección presenta un resumen del agua utilizada en la aplicación de los agroquímicos utilizados, según la información entregada por la ficha técnica de los compuestos. Las tablas L.7, L.7 y L.7 presentan los volúmenes de agua utilizados para cada hortaliza.

Tabla L.7: Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de tomate.

Agroquímico	Agua por aplicación [L/ha]	Aplicaciones	Agua total [L/ha]
Manzate 200	900	5	5.928,6
Ridomil Gold MZ 68 WP	714,3	2	
Neres 50 % SP	500	2	
Karate con Tecnología Zeon	80	4	
Vertimec 018 EC	600	1	
Fosfimax 40-20	3.333,3	5	
Frutaliv	1.000	1	

Tabla L.8: Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de lechuga.

Agroquímico	Agua por aplicación [L/ha]	Aplicaciones	Agua total [L/ha]
Puzzle 200 SC	400	1	6,376,2
Mancozeb 80 WP	500	3	
Fosfimax 40-20	1.111,1	3	
Kelpak	571,4	2	

Tabla L.9: Agua utilizada en la aplicación de agroquímicos del cultivo de zanahoria.

Agroquímico	Agua por aplicación [L/ha]	Aplicaciones	Agua total [L/ha]
Afalon 50WP	225	1	2.075
Cypress R 100 EC	700	2	
Bravo 720	150	3	

Los datos presentados en las tablas anteriores muestran el agroquímico, la cantidad de agua que requiere en una aplicación y la cantidad de veces que es aplicado, por lo que las últimas dos columnas se muestra el agua total que utiliza cada agroquímico, es decir, la suma de los volúmenes de agua en cada aplicación, y, finalmente, se presenta el agua total asociada a aplicar agroquímicos.

## L.4. Agua para producción de agroquímicos

Para finalizar el consumo de agua, teniendo en cuenta que los agroquímicos son uno de los principales insumos en el cultivo de hortalizas, se contabiliza el uso de agua que hay en su producción. Para esto se utiliza la base de datos Ecoinvent mediante OpenLCA. En ella se encontró el consumo de agua en la producción de diversos agroquímicos, mas no todos los considerados en el estudio.

Ante esto, los agroquímicos que no se encontraban en la base de datos se calcularon utilizando el uso de agua de sus principales componentes y su composición, y para los que esta aproximación no fue posible por falta de información, se utilizó el uso de agua promedio para pesticidas presentado por la misma base de datos.

Las tablas L.10, L.11 y L.12 presentan los datos utilizados para el uso de agua por kilogramo de producto y la dosis utilizada por hectárea. La categoría “Otros pesticidas” representa aquellos insecticidas, herbicidas o fungicidas, para los que la base de datos no tenía información en particular, por lo que se utilizó el consumo agua promedio para pesticidas. La dosis para esa categoría representa la suma de las dosis de estos pesticidas.

Tabla L.10: Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de tomate.

<b>Agroquímico</b>	<b>Uso de agua</b> [ $m^3/kg$ producto ]	<b>Dosis aplicada</b> [ $kg/ha$ ]	<b>Agua total</b> [ $m^3/ha$ ]
Mezcla hortalicera 0:15:15	1,83	60	3.634,2
Nitrato de potasio	1,98	650	
Nitrato de calcio	2,55	60	
Urea	5,32	70	
Ultrasol	5,13	180	
Manzate 200	29,08	10	
Fosfimax 40-20	4,75	22,4	
Terrasorb foliar	0,072	5,5	
Frutaliv	1,49	3,3	
Otros pesticidas	42,57	11,7	

Tabla L.11: Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de lechuga.

<b>Agroquímico</b>	<b>Uso de agua</b> [ $m^3/kg$ producto ]	<b>Dosis aplicada</b> [ $kg/ha$ ]	<b>Agua total</b> [ $m^3/ha$ ]
Mezcla hortalicera 5:25:20	3,54	50	2.238,3
Urea	5,32	100	
Salitre potásico	1,98	350	
Ultrasol	5,13	123,7	
Mancozeb 80 WP	29,08	3,2	
Herbadox 45 SC	7,09	2,8	
Fosfimax 40-20	4,75	7,5	
Kelpak	0,12	5,3	
Otros pesticidas	42,57	1,1	

Tabla L.12: Agua utilizada en la producción de agroquímicos utilizados en el cultivo de zanahoria.

<b>Agroquímico</b>	<b>Uso de agua</b> [ $m^3/kg$ producto ]	<b>Dosis aplicada</b> [ $kg/ha$ ]	<b>Agua total</b> [ $m^3/ha$ ]
Mezcla hortalicera 21:3:10	2,61	350	2.007,5
Nitrato de potasio	1,98	80	
Mezcla hortalicera 0:22:22	2,68	180	
Terrasorb foliar	72,00	0,008	
Otros pesticidas	42,57	10,6	

# Anexo M

## Resultados obtenidos en escenario actual

En este anexo se presenta el detalle de los resultados obtenidos para cada etapa del ciclo de vida. Los datos se presentan por hortaliza y en cada una se incluyen tres tablas, que representan los tres niveles del sistema: *foreground*, *upstream* y *downstream*.

### M.1. Tomate

En las Tablas M.1, M.2 y M.3 se detallan los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de tomate en el escenario actual.

Tabla M.1: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
<b>Etapa</b>	<b>[m<sup>2</sup>/kg tomate consumido]</b>			
Preparación de la tierra	1,14 E+0	2,03 E-1	-	1,35 E+0
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	6,96 E-4	-	6,96 E-4
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Envasado	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	2,61 E-1	-	2,61 E-1
Venta en mercado	4,42 E-2	-	-	4,42 E-2
Traslado a consumo	-	2,82 E-2	-	2,82 E-2
Consumo domiciliario	2,02 E-2	-	4,18 E-2	6,20 E-2
<b>Total</b>	<b>1,21 E+0</b>	<b>4,92 E-2</b>	<b>4,18 E-2</b>	<b>1,74 E+0</b>

Tabla M.2: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg tomate consumido]			
Producción insecticidas	-	2,37 E-2	2,95 E-2	5,32 E-2
Traslado insecticidas	-	2,22 E-5	-	2,22 E-5
Producción estaca	-	-	-	-
Producción bandejas plantines	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	4,91 E-3	6,1 E-2	6,54 E-2
Traslado fungicidas	-	3,43 E-5	-	3,43 E-5
Producción fertilizantes	-	2,50 E-2	6,8 E-2	9,31 E-2
Traslado fertilizantes	-	1,43 E-3	-	1,43 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción cajas envasado	-	1,50 E-1	5,7 E-2	2,07 E-1
Traslado cajas	-	2,21 E-3	-	2,21 E-3
Producción de plantines	2,41 E-2	-	1,6 E-4	2,43 E-2
Producción sustrato plantines	-	3,17 E-1	1,8 E-4	3,18 E-1
Traslado de sustrato plantines	-	1,35 E-2	-	1,35 E-2
Producción fertilizantes foliares	-	3,41 E-3	2,1 E-3	5,55 E-3
Traslado fertilizantes foliares	-	2,67 E-5	-	2,67 E-5
Producción acaricidas	-	3,46 E-5	1,4 E-5	4,85 E-5
Traslado acaricidas	-	1,18 E-6	-	1,18 E-6
Tratamiento de agua potable	-	3,19 E-1	5,4 E-2	3,74 E-1
Obtención de agua para riego	-	-	4,2 E-2	4,20 E-2
Producción de cloro	-	6,00 E-5	4,4 E-5	1,04 E-4
Traslado de cloro	-	4,26 E-7	-	4,26 E-7
Lavado de contenedores almácigos	3,83 E-5	-	-	3,83 E-5
Producción de semillas	4,25 E-3	-	1,2 E-5	4,26 E-3
Traslado de semillas	-	7,44 E-7	-	7,44 E-7
Producción combustibles fósiles	-	4,87 E-2	-	4,87 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>2,84 E-2</b>	<b>9,1 E-1</b>	<b>3,1 E-1</b>	<b>1,2 E+0</b>

Tabla M.3: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de tomate consumido en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg tomate consumido]			
Traslado a relleno sanitario	-	1,50 E-2	-	1,50 E-2
Disposición cosecha	9,86 E-3	6,19 E-1	6,78 E-4	6,29 E-1
Disposición poscosecha	3,36 E-3	5,23 E-3	2,74 E-3	1,13 E-2
Disposición venta mercado	1,47 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	2,87 E-3	2,15 E-1	-	2,18 E-1
<b>Total</b>	<b>1,61 E-2</b>	<b>9,82 E-1</b>	<b>3,42 E-3</b>	<b>1,00 E+0</b>

## M.2. Lechuga

En las Tablas M.4, M.5 y M.6 se detallan los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de lechuga en el escenario actual.

Tabla M.4: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Preparación de la tierra	2,19 E+0	3,09 E-1	-	2,50 E+0
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	6,12 E-3	-	6,12 E-3
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Envasado	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	4,31 E-2	-	4,31 E-2
Venta en mercado	8,85 E-2	-	-	8,85 E-2
Traslado al consumo	-	2,82 E-2	-	2,82 E-2
Consumo domiciliario	4,03 E-2	-	1,79 · 10 <sup>-1</sup>	2,20 E-1
<b>Total</b>	<b>2,32 E+0</b>	<b>3,87 E-2</b>	<b>1,79 E-1</b>	<b>2,88 E+0</b>

Tabla M.5: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Producción insecticidas	-	1,59 E-3	5,25 E-3	6,84 E-2
Traslado insecticidas	-	2,86 E-6	-	2,86 E-6
Producción estaca	-	-	-	-
Producción bandejas plantines	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	2,77 E-3	2,52 E-2	2,79 E-2
Traslado fungicidas	-	3,30 E-5	-	3,30 E-5
Producción fertilizantes	-	3,02 E-2	2,18 E-1	2,48 E-1
Traslado fertilizantes	-	1,06 E-3	-	1,06 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción cajas envasado	-	2,99 E-1	1,07 E-1	4,06 E-1
Traslado cajas	-	5,52 E-3	-	5,52 E-3
Producción de plantines	4,50 E-3	-	1,82 E-5	4,52 E-3
Producción sustrato plantines	-	1,06 E-1	5,13 E-5	1,06 E-1
Traslado de sustrato plantines	-	3,17 E-3	-	3,17 E-3
Producción fertilizantes foliares	-	1,70 E-3	1,13 E-3	2,83 E-3
Traslado fertilizantes foliares	-	2,71 E-5	-	2,71 E-5
Producción herbicidas	-	1,60 E-3	6,56 E-3	8,16 E-3
Traslado herbicidas	-	3,24 E-5	-	3,24 E-5
Tratamiento de agua potable	-	1,22 E-1	5,63 E-3	1,78 E-2
Obtención de agua para riego	-	-	1,10 E-2	1,10 E-2
Producción de cloro	-	1,15 E-4	7,86 E-5	1,93 E-4
Traslado de cloro	-	9,00 E-7	-	9,00 E-7
Lavado de contenedores almácigos	7,33 E-5	-	-	7,33 E-5
Producción de semillas	4,50 E-3	-	2,47 E-6	4,50 E-3
Traslado de semillas	-	4,78 E-7	-	4,78 E-7
Producción combustibles fósiles	-	4,35 E-2	-	4,35 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>9,07 E-3</b>	<b>6,19 E-1</b>	<b>4,30 E-1</b>	<b>1,06 E+0</b>

Tabla M.6: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de lechuga consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Traslado a relleno sanitario	-	1,70 E-2	-	1,70 E-2
Disposición cosecha	2,06 E-2	5,10 E-2	3,18 E-4	7,20 E-2
Disposición poscosecha	9,53 E-8	8,08 E-4	2,58 E-3	3,38 E-3
Disposición venta mercado	2,80 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	3,01 E-3	1,88 E-1	-	1,91 E-1
<b>Total</b>	<b>2,36 E-2</b>	<b>3,85 E-1</b>	<b>2,89 E-3</b>	<b>4,11 E-1</b>

### M.3. Zanahoria

En las Tablas M.7, M.8 y M.9 se detallan los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de zanahoria en el escenario actual.

Tabla M.7: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Preparación de la tierra	1,13 E+0	1,87 E-1	-	1,32 E+0
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	6,87 E-4	-	6,87 E-4
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Envasado	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	8,11 E-1	-	8,11 E-1
Venta en mercado	7,56 E-3	-	-	7,56 E-3
Traslado a consumo	-	3,32 E-2	-	3,23 E-2
Consumo domiciliario	3,44 E-3	-	4,90 E-2	5,24 E-2
<b>Total</b>	<b>1,14 E+0</b>	<b>1,03 E+0</b>	<b>4,90 E-2</b>	<b>2,22 E+0</b>

Tabla M.8: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Producción insecticidas	-	2,79 E-4	4,58 E-4	7,38 E-4
Traslado insecticidas	-	4,35 E-6	-	4,35 E-6
Producción estaca	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	2,21 E-3	4,48 E-3	6,69 E-3
Traslado fungicidas	-	9,88 E-5	-	9,88 E-5
Producción fertilizantes	-	4,01 E-2	6,65 E-3	4,67 E-2
Traslado fertilizantes	-	3,05 E-3	-	3,05 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción sacos envasado	-	3,46 E-2	9,11 E-3	4,37 E-2
Traslado sacos	-	2,97 E-4	-	2,97 E-4
Producción fertilizantes foliares	-	1,21 E-3	4,11 E-4	1,62 E-3
Traslado fertilizantes foliares	-	6,66 E-5	-	6,66 E-5
Producción herbicidas	-	1,87 E-4	2,29 E-4	4,16 E-4
Traslado herbicidas	-	7,38 E-6	-	7,38 E-6
Tratamiento de agua potable	-	1,90 E-1	3,21 E-2	2,22 E-1
Obtención de agua para riego	-	-	5,93 E-2	5,97 E-2
Producción de semillas	1,67 E-1	-	9,06 E-6	1,67 E-1
Traslado de semillas	-	4,09 E-6	-	4,09 E-6
Producción combustibles fósiles	-	9,65 E-2	-	9,65 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>1,67 E-1</b>	<b>3,68 E-1</b>	<b>1,13 E-1</b>	<b>6,48 E-1</b>

Tabla M.9: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de zanahoria consumida en la RM en el escenario actual.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>EE</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Traslado a relleno sanitario	-	1,50 E-2	-	1,50 E-2
Disposición cosecha	7,81 E-3	5,37 E-1	7,62 E-4	5,45 E-1
Disposición poscosecha	5,73 E-4	6,15 E-3	2,74 E-3	9,46 E-3
Disposición venta mercado	3,05 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	2,97 E-4	2,15 E-1	-	2,15 E-1
<b>Total</b>	<b>8,68 E-3</b>	<b>9,01 E-1</b>	<b>3,51 E-3</b>	<b>9,13 E-1</b>

## M.4. Resumen resultados caso base

Nivel	Etapa	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Foreground	Preparación de tierra	1,35 E+0	2,50 E+0	1,32 E+0
	Trasplante	-	-	-
	Cultivo	6,96 E-4	6,12 E-3	6,87 E-4
	Cosecha	-	-	-
	Selección	-	-	-
	Envasado	-	-	-
	Traslado al mercado	2,61 E-1	4,31 E-2	8,11 E-1
	Venta en mercado	4,42 E-2	8,85 E-2	7,56 E-3
	Traslado a consumo	2,82 E-2	2,82 E-2	3,23 E-2
	Consumo domiciliario	6,20 E-2	2,20 E-1	5,24 E-2
Upstream	Producción insecticidas	6,11 E-2	7,91 E-3	7,38 E-4
	Traslado insecticidas	2,22 E-5	2,86 E-6	4,35 E-6
	Producción fungicidas	6,54 E-2	2,79 E-2	6,69 E-3
	Traslado fungicidas	3,43 E-5	3,30 E-5	9,88 E-5
	Producción fertilizantes	9,31 E-2	2,48 E-1	4,67 E-2
	Traslado fertilizantes	1,43 E-3	1,06 E-3	3,05 E-3
	Producción cajas envasado	2,07 E-1	4,06 E-1	4,37 E-2
	Traslado cajas	2,97 E-3	5,52 E-3	2,97 E-4
	Producción refrigerador	-	-	-
	Producción plántula	2,43 E-2	4,52 E-3	-
	Producción sustrato de plántula	3,18 E-1	1,06 E-1	-
	Traslado de sustrato de plántula	1,35 E-2	3,17 E-3	-
	Producción fertilizantes foliares	5,55 E-3	2,83 E-3	1,62 E-3
	Traslado fertilizantes foliares	2,67 E-5	2,71 E-5	6,66 E-5
	Producción herbicidas	4,85 E-5	8,16 E-3	4,16 E-4
	Traslado herbicidas	1,18 E-6	3,24 E-5	7,38 E-6
	Tratamiento de agua potable	3,74 E-1	1,78 E-1	2,22 E-1
	Obtención de agua para riego	1,67 E-1	2,44 E-2	3,98 E-1
	Producción de cloro	1,04 E-4	1,93 E-4	-
	Traslado de cloro	4,26 E-7	9,00 E-7	0-
Lavado de contenedores plántulas	3,83 E-5	7,33 E-5	-	
Producción de semillas	4,26 E-3	2,98 E-4	5,52 E-4	
Traslado de semillas	7,44 E-7	4,78 E-7	4,09 E-6	
Producción de combustibles fósiles	4,89 E-2	4,35 E-2	9,65 E-2	
Downstream	Traslado restos lechuga a relleno	1,50 E-2	1,70 E-2	1,50 E-2
	Disposición cosecha	6,29 E-1	2,17 E-1	5,45 E-1
	Disposición poscosecha	1,13 E-2	8,61 E-3	9,46 E-3
	Disposición de venta en mercado	1,28 E-1	1,28 E-1	1,28 E-1
	Disposición residuos domiciliarios	2,18 E-1	2,18 E-1	2,15 E-1

# Anexo N

## Balance de masa producción orgánica

El balance de masa en la producción orgánica es realizado de forma análoga a la producción convencional. La diferencia se encuentra en los porcentajes de pérdida considerados en las etapas de cosecha y selección, donde aumenta la merma principalmente por la falta de herramientas y productos permitidos para el control de plagas y enfermedades.

Para el caso convencional la pérdida era de un 15,4 % para la cosecha y un 14,3 % para la selección y, según bibliografía, al pasar a un cultivo orgánica se debería tener un aumento de cerca de un 4 % y 8 % respectivamente, por lo que en el escenario orgánico se considera una pérdida de 19,4 % para la cosecha y 22,3 % para la selección.

Las Tablas N.1 y N.2 presentan los resultados del balance de masa realizado para el caso orgánico de cada especie. Los flujos corresponden a los mismos presentados en las Figuras G.2 y G.1.

Tabla N.1: Flujos para la producción orgánica de las hortalizas de siembra indirecta.

<b>Flujo</b>	<b>Tomate</b>	<b>Lechuga</b>	<b>Unidad</b>
$F_1$	14,36	5,61	[semillas]
$F_2$	0,53	0,28	[plantines]
$F_3$	10,09	5,33	[plantines]
$F_4$	0	0	[plantines]
$F_5$	10,09	2,40	[kg hortaliza]
$F_6$	0	0	[kg hortaliza]
$F_7$	2,40	2,40	[kg hortaliza]
$F_8$	0,46	0,46	[kg hortaliza]
$F_9$	1,93	1,93	[kg hortaliza]
$F_{10}$	0,43	0,43	[kg hortaliza]
$F_{11}$	1,50	1,50	[kg hortaliza]
$F_{12}$	0,19	0,19	[kg hortaliza]
$F_{13}$	1,31	1,31	[kg hortaliza]
$F_{14}$	0,31	0,31	[kg hortaliza]
$F_{15}$	1,00	1,00	[kg hortaliza]

Tabla N.2: Flujos para la producción orgánica de las hortalizas de siembra directa.

<b>Flujo</b>	<b>Zanahoria</b>	<b>Unidad</b>
$F_1$	19,61	[semillas]
$F_2$	3,63	[semillas]
$F_3$	2,40	[kg zanahoria]
$F_4$	0	[kg zanahoria]
$F_5$	2,40	[kg zanahoria]
$F_6$	0,46	[kg zanahoria]
$F_7$	1,93	[kg zanahoria]
$F_8$	0,43	[kg zanahoria]
$F_9$	1,50	[kg zanahoria]
$F_{10}$	0,19	[kg zanahoria]
$F_{11}$	1,31	[kg zanahoria]
$F_{12}$	0,31	[kg zanahoria]
$F_{13}$	1,00	[kg zanahoria]

# Anexo Ñ

## Cambios en la producción orgánica

### Ñ.1. Requerimiento de agua en producción orgánica

El requerimiento de agua se calcula según lo expresado en el Anexo L. Su valor depende de la evapotranspiración (ET), las precipitaciones del lugar en que se realiza el cultivo, el tipo de alimento, la densidad de plantación, entre otros.

En particular, para calcular la ET de un cultivo en un lugar en específico, se utiliza un coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) y la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ). Estos factores buscan representar las características específicas del alimento, el suelo en el que se produce y las condiciones meteorológicas a las que se expone el cultivo.

El valor de ambos parámetros puede ser obtenido por fuentes bibliográficas. La evapotranspiración de referencia en Chile puede ser encontrada en detalle en formato diario, mensual o anual para diferentes lugares del país, mientras que el coeficiente de cultivo está generalmente estandarizado para el tipo de cultivo y la etapa fenológica en el que este se encuentra. Es en este último donde se pondrá el foco en la producción orgánica.

Aunque los valores antes mencionados se encuentran estandarizados, no toman en consideración que en los cultivos orgánicos el suelo tiene mayor capacidad de almacenamiento de agua y, en general, es cubierto con residuos vegetales para disminuir la evaporación desde el suelo. Ante esto, nace la necesidad de modificar el valor de  $K_C$ .

Para esto, es importante entender cómo se obtiene el coeficiente de cultivo y, en definitiva, este expresa la relación entre la evapotranspiración real y la de referencia, siendo entonces:

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0}$$

Donde  $ET_C$  es la evapotranspiración real para el cultivo estudiado.

Tal como se mencionó, la evapotranspiración de referencia es un parámetro que depende del lugar en el que se realiza el cultivo, mientras que la real puede ser medida o calculada mediante el siguiente balance de masa:

$$P + I = E + P_e + \Delta S + ET$$

Donde  $P$  son las precipitaciones,  $I$  es el agua de riego,  $E$  el escurrimiento superficial,  $P_e$  la percolación,  $\Delta S$  el almacenaje de agua en el suelo y, finalmente,  $ET$  la evapotranspiración. Todos los valores son en [mm/día].

Para el caso del cultivo orgánico el valor de  $ET_C$  cambia ya que este tipo de agricultura permite que el suelo tenga una mayor capacidad de almacenar el agua y percolación, y un menor escurrimiento superficial por la utilización de materia orgánica para cubrirlo. Entonces, según lo descrito, el  $ET_C$  cambia y, por lo tanto,  $K_C$ .

Luego, para estimar este cambio, la FAO plantea que si se usa cobertura orgánica en el cultivo, el valor del coeficiente de cultivo,  $K_C$  puede ser disminuido en un 5 % por cada 10 % de superficie que queda cubierta. Esto se debe a que cubrir el suelo disminuye la evaporación del agua desde el suelo.

Para hacer el cálculo anterior se debe tener en cuenta que el coeficiente de cultivo está compuesto por dos fenómenos que ocurren en paralelo: la transpiración de las plantas y la evaporación desde el suelo. Lo anterior se debe tener en cuenta porque la cobertura orgánica disminuye la evaporación desde el suelo, pero no la transpiración de la planta.

Recordando que las hortalizas pasan por cuatro etapas fenológicas principales: inicial, desarrollo, media y maduración, se debe tener en cuenta que en las primeras el porcentaje de agua que se pierde por transpiración de la planta es bajo, y aumenta a medida que la hortaliza va creciendo.

Entonces, se debe considerar que el cálculo de  $K_C$  en realidad está compuesto por dos términos:  $K_{CB}$  y  $K_E$ , que en la literatura son llamados coeficiente de cultivo basal, asociado a la pérdida por transpiración de la planta, y coeficiente de evaporación, que es el agua que pierde el suelo, respectivamente. La suma de estos dos coeficientes entrega  $K_C$ .

Volviendo a lo antes mencionado, la disminución del coeficiente de cultivo se debe a que  $K_E$  baja, por lo que el porcentaje de disminución sugerido por la FAO debe ser aplicado sobre ese término. Para obtenerlo se requiere  $K_{CB}$ , coeficiente para el que la FAO tiene valores asociados para distintos cultivos, y que se asumirá que no cambia.

Teniendo lo antes descrito, solo faltaría determinar la disminución que tendría el valor de  $K_{CB}$  en función de la cubierta vegetal que se utilice.

El laboreo conservacionista, que engloba aspectos como la labranza mínima a la que se asocia la agricultura orgánica, considera que se debe tener un mínimo de un 30 % de cobertura vegetal. Para este estudio se considera este porcentaje mínimo para estimar el valor de  $K_C$  en la producción orgánica.

El cambio en  $K_C$  busca mostrar la diferencia entre el suelo con el tratamiento orgánico y el convencional, lo que, en teoría, debería provocar un requerimiento de agua más bajo que en el caso base. Sin embargo, esto último es en teoría porque el requerimiento de agua es también indirectamente proporcional al área unitaria del cultivo, es decir, la superficie que usa cada planta, valor que cambia con el rendimiento. Por lo tanto, como el cultivo orgáni-

co tiene menor rendimiento que el convencional, podría provocar que el uso de agua aumente.

En la Tabla 6.2 se presentan los datos de  $K_C$  que se utilizan para cada etapa del cultivo en las tres hortalizas representativas. Este  $K_C$  es ajustado para que refleje los cambios en el suelo al pasar de agricultura convencional a orgánica. Por su lado, la Tabla 6.3 presenta el volumen de agua para cada hortaliza en el caso de producción orgánica, además del convencional para facilitar la comparación.

## Ñ.2. Fertilización en cultivo orgánico

En la fertilización de cultivos orgánicos se utiliza generalmente compost, guano y roca fosfórica, que son tres de los fertilizantes aprobados por el Sistema Nacional de Certificación de Producción de Orgánicos.

Para definir la adición de nutrientes en los cultivos se considera que las hortalizas tienen el mismo requerimiento que en el caso base, con cultivo convencional, por lo que se añaden fertilizantes de forma que se logren los aportes necesarios de nitrógeno, fósforo y potasio.

En Chile la cantidad de cultivos orgánicos es baja respecto a las de cultivo convencional, y lo mismo ocurre con la información disponible. Actualmente se tienen las bases técnicas para los cultivos orgánicos, pero no se tiene claridad de los detalles de cómo se realiza cada cultivo.

Ante esto, y para efectos del cálculo, se estima la dosis de fertilizantes utilizados basándose en los que son comúnmente mencionados en estudios y que son aceptados por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG).

Se propone entonces el uso de ciertos fertilizantes y se calcula las dosis de cada uno según los requerimientos de nutrientes de los cultivos, pero se debe tener en cuenta que los fertilizantes utilizados y sus dosis son solo referenciales y para efectos del cálculo de la HE en este trabajo. La Tabla 6.4 presenta las composiciones de los fertilizantes que se decidió utilizar.

Teniendo los valores presentados en la tabla antes mencionada, y los requerimientos de nutrientes del caso base en la Tabla I.1, se calcula entonces la dosis de fertilizantes tal que se cubra este requerimiento. La masa de cada uno se presenta en la Tabla 6.5.

En la Tabla 6.5 también se define el lugar de origen para cada uno de los fertilizantes y pesticidas orgánicos, según bibliografía. Para el caso del estiércol compostado y guano rojo, no se tiene un mercado claro y detallado, ya que gran parte de lo utilizado lo producen los mismos agricultores que tienen animales en el lugar. En caso de no tenerlos, se asume que se compran en alrededores, por lo que en ambos casos no se va a considerar un traslado.

Para el caso de la fertilización de la producción de plantines se considera el uso de estiércol estabilizado. Para calcular la dosis requerida de esto se consideran los lineamientos para la certificación, que limitan la adición de nitrógeno en el cultivo a 170 kg/ha anuales.

### Ñ.3. Plaguicidas en cultivos orgánicos

En la agricultura convencional es usual la utilización de agroquímicos que permitan combatir y manejar las enfermedades o plagas que puedan aparecer, mediante insecticidas, herbicidas, fungicidas, entre otros. Sin embargo, con el tiempo las especies han aumentado su resistencia a estas sustancias, teniendo que aumentar las dosis o crear nuevos agroquímicos que permitan eliminarlas.

La agricultura orgánica reconoce que estas plagas y enfermedades son en realidad especies que viven en la naturaleza cumpliendo un rol en ella y, por lo tanto, no tienen que ser eliminadas, sino que se deben manejar para que no provoquen un daño en los cultivos, o dificultar su acceso a ellos.

Para esto, el SAG en el documento “Agricultura Orgánica Nacional: Bases técnicas y situación actual” plantea los principales cuidados que se deben tener para prevenir la aparición de estas especies dañinas para los cultivos. Los cuidados que plantea son:

- Mantener diversidad de cultivos en los alrededores.
- Cuidar y plantar otras especies permanentes, como árboles y arbustos, alrededor.
- Rotación de cultivos
- Sembrar en fechas donde la plaga no esté en aumento.
- Mantener los cultivos con la fertilización necesario, ya que esto permite que tengan mayor capacidad para resistir las plagas y enfermedades.
- Preparar el suelo antes de la siembra, teniendo en cuenta si en él hubo plagas y enfermedades antes y encargarse de eliminarlas previamente.
- Plantar hortalizas más resistentes. Para cada hortaliza se tiene una variedad, por lo que se recomienda elegir la alternativa menos propensa a plagas y enfermedades.
- Cuidar que las semillas no tengan plagas y enfermedades.
- Revisar las plantas constantemente y eliminar aquellas que se encuentren enfermas, de forma que la propagación de la plaga se detenga.

Aunque los cuidados mencionados deberían disminuir y evitar plagas y enfermedades, estas igualmente se pueden presentar, por lo que se plantea el uso de extractos naturales, que pueden ser de base oleosa, productos inorgánicos o biopesticidas a base de los ingredientes activos autorizados.

El SAG también entrega una lista de productos comerciales que pueden ser utilizados para manejar las plagas y enfermedades, y que son autorizados para uso en cultivos orgánicos. Sin embargo, la agricultura orgánica llama a disminuir este tipo de productos, ya que en muchas ocasiones eliminan la plaga, pero también a los enemigos naturales que tiene, provocando que puedan proliferar de forma más fácil en el futuro.

Debido a lo anterior, se recomienda mantener la diversidad alrededor de los cultivos e incluso incluir plantas que puedan actuar como trampa, de forma que las plagas y enfermedades lleguen a ellas y no al cultivo en sí, y permitir que los enemigos naturales se hagan cargo de controlarlas. Para esto también se sugiere la plantación de flores alrededor, que permiten que las especies se alimenten del polen y néctar de ellas.

Los puntos anteriores funcionan para los cultivos orgánicos en marcha, pero la transición de un terreno utilizado para agricultura convencional a orgánica puede provocar que las primeras plantaciones estén más propensas a plagas y enfermedades, ya que la acción humana cambió las dinámicas de auto-regulación de los ecosistemas.

Debido a esto, y considerando que en la actualidad los cultivos son tratados principalmente con técnicas convencionales, en el presente estudio se asumirá el uso de productos comerciales aceptados por la SAG, donde uno de los más comunes es el jabón potásico. Entonces, se utilizará este último como único insecticida en el cultivo y con la misma dosis para las tres hortalizas representativas, igual a 6 [kg/ha].

## **Ñ.4. Preparación de suelo en cultivos orgánicos**

Además de eliminar el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, uno de los principales cambios que tiene la agricultura orgánica respecto a la convencional tiene relación con el cambio en la planificación y preparación del suelo.

Los cultivos orgánicos buscan minimizar la intervención humana en el suelo, cuidando su estructura y composición, por lo que entre sus lineamientos se encuentra la priorización de la rotación de cultivos, que se enfoca en el cambio de la especie a cultivar en un mismo terreno con el fin de aportar diferentes nutrientes a la tierra, y en caso de necesitar aún más, utilizar fertilizantes orgánicos.

Así mismo, en la agricultura orgánica se busca también minimizar la labranza. Esto ya que la forma en que se realiza actualmente termina provocando erosión y pérdida de nutriente en el suelo, por lo que para el escenario de producción orgánica se minimiza la labranza y se priorizan las técnicas menos invasivas. Además se incluye la incorporación de los residuos que se generan en el cultivo anterior como una forma de abono y de cubierta vegetal, que permite nutrir el suelo y disminuir la pérdida de agua por evaporación, la escorrentía, erosión entre otros.

Teniendo los antecedentes descritos, entonces los tiempos de uso del tractor cambian, al igual que la eficiencia de las tareas a realizar, por lo que en la Tabla 6.7 se dejan los datos asociados a la utilización del tractor en este caso, y en la Tabla 6.8 se dejan los datos de eficiencia asociados a cada actividad de preparación del suelo.

Se aconseja no utilizar arado de discos para los cultivos orgánicos, en caso que haya que retirar maleza u otras plantas de la superficie se sugiere priorizar el arado de vertedera.

El cultivo orgánico utiliza la labranza mínima, que en general busca que la maquinaria recorra la menor cantidad de veces la tierra y así evitar la erosión del suelo. Para lograrlo,

se reduce la cantidad de actividades que se realizan para la labranza y/o se realizan en simultáneo ubicando los implementos uno detrás del otro, así la máquina recorre el sector y disminuye la cantidad de veces que se debe pasar por un mismo lugar.

En este escenario se consideran 5 trayectos de la maquinaria en el cultivo. Se hacen dos pasadas por la superficie que realizan el arado y rastraje en simultáneo. Luego un trayecto para la acequiadora, que realiza los surcos por los que se moverá el agua y, finalmente, dos aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas a lo largo del ciclo del cultivo.

En general, con los métodos de arados convencionales, como el arado de discos y vertederas, se produce un desnivel en el suelo que se soluciona con una pasada que se enfoque en nivelar. El arado con cincel no produce desnivel, por lo que se considera que realiza el recorrido solo dos veces, sin considerar nivelación.

En el caso de la zanahoria se considera que junto a la primera fertilización se realiza también el sembrado, por lo que así se disminuye la cantidad de aplicaciones a lo largo del cultivo y, por lo tanto, la cantidad de veces que la maquinaria recorre el terreno, disminuyendo el uso de combustibles y las emisiones asociadas.

## **Ñ.5. Disposición de residuos en cultivos orgánicos**

Para la obtención de la certificación de producto orgánico en Chile se debe eliminar la quema de rastrojos en los cultivos. Es por esto que se redistribuye la disposición de residuos respecto al caso convencional.

Los lineamientos expresados por el SAG mencionan el compostaje como una buena alternativa, además de la incorporación al suelo. Esta última en el caso convencional es considerada, pero el compostaje no, por lo que en el caso de los residuos de cosecha se asumirá que ahora son compostados.

Para los residuos de poscosecha en el escenario actual se considera la incorporación al suelo y la alimentación animal principalmente, y un 3% va a relleno sanitario. No hay quema en esta etapa, por lo que se va a considerar que la mitad del porcentaje asociado a la alimentación animal ahora es compostado.

## **Ñ.6. Merma en producción orgánica**

El manejo de plagas y enfermedades en los cultivos orgánicos en Chile aún tiene complicaciones, debido a las limitaciones en oferta de productos que pueden ser utilizados de forma que puedan ser certificados como orgánicos. Debido a esto, se tiene una pérdida de alimentos mayor a la convencional en la producción y manejo de los cultivos.

Según un estudio realizado para la lechuga en el año 2019 en Costa Rica, la pérdida másica en la producción aumenta en un 4% y en la poscosecha aumenta un 8%, por lo que se debe realizar el balance de masa nuevamente en estas etapas. Los resultados para estos cambios se presentan en el Anexo N.

## Ñ.7. Resumen características producción orgánica

En esta sección se presentan las Tablas Ñ.1 y Ñ.2, que resumen los cambios a realizar al pasar del cultivo convencional al orgánico para la lechuga y la zanahoria respectivamente.

Tabla Ñ.1: Resumen de cambios para el cultivo de lechuga al pasar de la agricultura convencional a orgánica.

<b>Etapa</b>	<b>Detalle</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Preparación de suelo</b>	Uso de maquinaria	9	5	[ha]
	Uso de diésel	0,01	0,003	[L/kg lechuga consumida]
<b>Cultivo</b>	Rendimiento del cultivo	20.900	17.974	[kg/ha]
	Uso agua de riego	0,052	0,049	[m <sup>3</sup> /kg lechuga]
	Masa de agroquímicos	510	4.756	[kg/ha]
<b>Producción de plantines</b>	Masa semillas requerida	3,50	3,46	[g/m <sup>2</sup> ]
	Uso de agua de riego	9,75	9,05	[L/g semilla]
	Uso de sustrato	0,07	0,04	[kg/kg lechuga consumida]
	Uso de fertilizante	123,7	170	[kg/ha]
<b>Producción de semillas</b>	Rendimiento de semillas	533	200	[kg/ha]
<b>Disposición de residuos</b>	Para la cosecha:			
	- Relleno sanitario	44	44	[%]
	- Compost	-	10	[%]
	- Incorporar al suelo	4	4	[%]
	- Alimentación animal	42	42	[%]
	- Quema	10	-	[%]
	Para la selección:			
	- Relleno sanitario	3	3	[%]
	- Compost	-	28	[%]
	- Incorporar al suelo	41	41	[%]
	- Alimentación animal	56	28	[%]
	- Quema	-	-	[%]
<b>Merma producción</b>	Merma cultivo	15,4	19,4	[%]
	Merma selección	14,3	22,3	[%]

Tabla Ñ.2: Resumen de cambios para el cultivo de zanahoria al pasar de la agricultura convencional a orgánica.

<b>Etapa</b>	<b>Detalle</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Preparación de suelo</b>	Uso de maquinaria	8	5	[ha]
	Uso de diésel	0,006	0,002	[L/kg zanahoria consumida]
<b>Cultivo</b>	Rendimiento del cultivo	40.510	36.054	[kg/ha]
	Uso agua de riego	0,26	0,25	[m <sup>3</sup> /kg zanahoria]
	Masa de agroquímicos	617	1.557	[kg/ha]
	Masa semillas requerida	0,025	0,020	[g/kg zanahoria consumida]
<b>Producción de semillas</b>	Rendimiento de semillas	1000	700	[kg/ha]
<b>Disposición de residuos</b>	Para la cosecha:			
	- Relleno sanitario	-	-	[%]
	- Compost	-	52	[%]
	- Incorporar al suelo	9	9	[%]
	- Alimentación animal	37	37	[%]
	- Quema	52	-	[%]
	Para la selección:			
	- Relleno sanitario	3	3	[%]
	- Compost	-	28	[%]
	- Incorporar al suelo	41	41	[%]
- Alimentación animal	56	28	[%]	
- Quema	-	-	[%]	
<b>Merma producción</b>	Merma cultivo	15,4	19,4	[%]
	Merma selección	14,3	22,3	[%]

# Anexo O

## Resultados obtenidos para producción orgánica

En este anexo se presenta el detalle de los resultados obtenidos para cada etapa del ciclo de vida en la producción orgánica de las tres hortalizas estudiadas. Los datos se presentan por hortaliza y en cada una se incluyen tres tablas, que representan los tres niveles del sistema: *foreground*, *upstream* y *downstream*.

### O.1. Tomate

Las Tablas O.1, O.2 y O.3 contienen el detalle de los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de tomate orgánico.

Tabla O.1: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
<b>Etapa</b>	<b>[m<sup>2</sup>/kg tomate consumido]</b>			
Preparación de la tierra	1,63 E+0	8,45 E-2	-	1,72E+00
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	-	-	-
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	2,61 E-1	-	2,61 E-1
Venta en mercado	4,42 E-2	-	-	4,42 E-2
Traslado a consumo	-	2,82 E-2	-	2,82 E-2
Consumo domiciliario	2,02 E-2	-	4,18 E-2	6,20 E-2
<b>Total</b>	<b>1,70 E+0</b>	<b>3,73 E-1</b>	<b>4,18 E-2</b>	<b>2,11 E+0</b>

Tabla O.2: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg tomate consumido]			
Producción insecticidas	-	6,87 E-3	-	6,87 E-3
Traslado insecticidas	-	8,14 E-5	-	8,14 E-5
Producción estaca	-	-	-	-
Producción bandejas plantines	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	-	-	-
Traslado fungicidas	-	-	-	-
Producción fertilizantes	-	5,27 E-2	8,80 E-2	1,41 E-1
Traslado fertilizantes	-	3,84 E-3	-	3,84 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción cajas envasado	-	1,65 E-1	6,26 E-2	2,28 E-1
Traslado cajas	-	3,28 E-3	-	3,28 E-3
Producción de plantines	2,86 E-2	-	1,72 E-4	2,88 E-2
Producción sustrato plantines	-	1,90 E-1	2,15 E-4	1,90 E-1
Traslado de sustrato plantines	-	6,83 E-3	-	6,83 E-3
Producción fertilizantes foliares	-	-	-	-
Traslado fertilizantes foliares	-	-	-	-
Producción acaricidas	-	-	-	-
Traslado acaricidas	-	-	-	-
Tratamiento de agua potable	-	8,41 E-2	1,42 E-2	9,83 E-2
Obtención de agua para riego	-	-	5,74 E-2	5,74 E-2
Producción de cloro	-	7,41 E-5	5,40 E-5	1,28 E-4
Traslado de cloro	-	8,65 E-7	-	8,65 E-7
Lavado de contenedores almácigos	4,73 E-5	-	-	4,73 E-5
Producción de semillas	3,73 E-3	-	1,25 E-5	3,74 E-3
Traslado de semillas	-	5,71 E-4	-	5,71 E-4
Producción combustibles fósiles	-	4,12 E-2	-	4,12 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>5,55 E-1</b>	<b>2,23 E-1</b>	<b>8,10 E-01</b>	<b>1,05,E+00</b>

Tabla O.3: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de tomate orgánico consumido en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg tomate consumido]			
Traslado a relleno sanitario	-	2,49 E-2	-	2,49 E-2
Disposición cosecha	1,02 E-2	3,81 E-2	9,88 E-4	4,93 E-2
Disposición poscosecha	5,77 E-3	2,54 E-2	4,72 E-3	3,59 E-2
Disposición venta mercado	1,29 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	4,29 E-4	2,15 E-1	-	2,15 E-1
<b>Total</b>	<b>1,64 E-2</b>	<b>4,31 E-1</b>	<b>5,71 E-3</b>	<b>4,53 E-1</b>

## O.2. Lechuga

En las Tablas O.4, O.5 y O.6 se detallan los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de lechuga en el escenario actual.

Tabla O.4: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Preparación de la tierra	2,95 E+0	1,52 E-1	-	3,10 E+0
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	-	-	-
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Envasado	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	4,31E -2	-	4,31 E-2
Venta en mercado	8,85 E-2	-	-	8,85 E-2
Traslado al consumo	-	2,82 E-2	-	2,82 E-2
Consumo domiciliario	4,03 E-2	-	1,79 E-1	2,20 E-1
<b>Total</b>	<b>3,08 E+0</b>	<b>2,24 E-1</b>	<b>1,79 E-1</b>	<b>3,48 E+0</b>

Tabla O.5: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Producción insecticidas	-	1,24 E-2	-	1,24 E-2
Traslado insecticidas	-	1,62 E-04	-	1,62 E-4
Producción estaca	-	-	-	-
Producción bandejas plantines	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	-	-	-
Traslado fungicidas	-	-	-	-
Producción fertilizantes	-	5,14 E-2	5,87 E-2	1,10 E-1
Traslado fertilizantes	-	7,84 E-3	-	7,84 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción cajas envasado	-	3,30 E-1	1,18 E-1	4,48 E-1
Traslado cajas	-	6,08 E-3	-	6,08 E-3
Producción de plantines	4,43 E-3	-	1,91 E-5	4,45 E-3
Producción sustrato plantines	-	4,02 E-2	8,61 E-4	4,10 E-1
Traslado de sustrato plantines	-	1,75 E-3	-	1,75 E-3
Producción fertilizantes foliares	-	-	-	-
Traslado fertilizantes foliares	-	-	-	-
Producción herbicidas	-	-	-	-
Traslado herbicidas	-	-	-	-
Tratamiento de agua potable	-	6,49 E-2	1,97 E-2	8,46 E-2
Obtención de agua para riego	-	-	1,56 E-2	2,56 E-2
Producción de cloro	-	1,34 E-4	9,14 E-5	2,25 E-4
Traslado de cloro	-	1,05 E-6	-	1,05 E-6
Lavado de contenedores almácigos	8,52 E-5	-	-	8,52 E-5
Producción de semillas	7,66 E-4	-	2,40 E-6	7,69VE-4
Traslado de semillas	-	4,68 E-7	-	4,68 E-7
Producción combustibles fósiles	-	3,13 E-2	-	3,13 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>5,28 E-3</b>	<b>5,46 E-1</b>	<b>2,13 E-1</b>	<b>7,64 E-1</b>

Tabla O.6: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de lechuga orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg lechuga consumida]			
Traslado a relleno sanitario	-	1,79 E-2	-	1,79 E-2
Disposición cosecha	1,15 E-2	6,00 E-2	4,64 E-4	7,20 E-2
Disposición poscosecha	1,15 E-2	2,67 E-2	4,43 E-3	4,26 E-2
Disposición venta mercado	1,29 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	3,45 E-3	2,15 E-1	-	2,18 E-1
<b>Total</b>	<b>2,65 E-2</b>	<b>4,47 E-1</b>	<b>4,90 E-3</b>	<b>4,79 E-1</b>

### O.3. Zanahoria

En las Tablas O.7, O.8 y O.9 se detallan los resultados obtenidos para cada etapa del foreground, upstream y downstream respectivamente, del cálculo de la huella ecológica para el cultivo de zanahoria producida en cultivos orgánicos.

Tabla O.7: Resultados por etapa del foreground del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E.E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Preparación de la tierra	1,47 E+0	7,59 E-2	-	1,55 E+0
Trasplante	-	-	-	-
Cultivo	-	-	-	-
Cosecha	-	-	-	-
Traslado a envasado	-	-	-	-
Selección	-	-	-	-
Envasado	-	-	-	-
Traslado a mercado	-	8,11 E-1	-	8,11 E-1
Venta en mercado	7,56 E-3	-	-	7,56 E-3
Traslado a consumo	-	3,32 E-2	-	3,23 E-2
Consumo domiciliario	3,44 E-3	-	4,90 E-2	5,24 E-2
<b>Total</b>	<b>1,48 E+0</b>	<b>9,19 E-1</b>	<b>4,90 E-2</b>	<b>2,45 E+0</b>

Tabla O.8: Resultados por etapa del upstream del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E,E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Producción insecticidas	-	6,18 E-03	-	6,18 E-3
Traslado insecticidas	-	1,27 E-6	-	1,27 E-4
Producción estaca	-	-	-	-
Producción fungicidas	-	-	-	-
Traslado fungicidas	-	-	-	-
Producción fertilizantes	-	1,24 E-2	2,08 E-2	3,33 E-2
Traslado fertilizantes	-	6,37 E-3	-	6,37 E-3
Producción plástico	-	-	-	-
Producción sacos envasado	-	3,82 E-2	1,00 E-2	4,82 E-2
Traslado sacos	-	3,28 E-4	-	3,28 E-4
Producción fertilizantes foliares	-	-	-	-
Traslado fertilizantes foliares	-	-	-	-
Producción herbicidas	-	-	-	-
Traslado herbicidas	-	-	-	-
Tratamiento de agua potable	-	8,43 E-2	1,43 E-2	9,86 E-2
Obtención de agua para riego	-	-	6,67 E-1	6,67 E-2
Producción de semillas	6,47 E-04	-	7,56 E-6	6,54 E-4
Traslado de semillas	-	1,39 E-6	-	1,39 E-6
Producción combustibles fósiles	-	8,84 E-2	-	8,84 E-2
<b>Total Upstream</b>	<b>6,47 E-4</b>	<b>2,36 E-1</b>	<b>1,12 E-1</b>	<b>3,49 E-1</b>

Tabla O.9: Resultados por etapa del downstream del ACV para 1 kg de zanahoria orgánica consumida en la RM.

Huella Ecológica	HE <sub>Directa</sub>	HE <sub>CO<sub>2</sub></sub>	HE <sub>E,E</sub>	HE <sub>Total</sub>
Etapa	[m <sup>2</sup> /kg zanahoria consumida]			
Traslado a relleno sanitario	-	1,54 E-2	-	1,54 E-2
Disposición cosecha	1,69 E-3	3,35 E-2	1,11 E-3	3,63 E-2
Disposición poscosecha	4,93 E-4	2,72 E-2	4,72 E-3	3,24 E-3
Disposición venta mercado	1,29 E-6	1,28 E-1	-	1,28 E-1
Disposición en consumo	3,30 E-4	2,15 E-1	-	2,15 E-1
<b>Total</b>	<b>2,51 E-3</b>	<b>4,19 E-3</b>	<b>5,83 E-3</b>	<b>4,27 E-1</b>

## O.4. Resumen resultados producción orgánica

En esta sección se presenta la Tabla O.10 que resume la HE por etapa para las tres hortalizas representativas del estudio.

Tabla O.10: HE por etapa para cada hortaliza con producción orgánica.

Nivel	Etapa	Tomate	Lechuga	Zanahoria
Foreground	Preparación de tierra	1,72 E+0	3,10 E+0	1,55 E+0
	Trasplante	0,00 E+0	0,00 E+0	-
	Cultivo	0,00 E+0	0,00 E+0	0,00 E+0
	Cosecha	0,00 E+0	0,00 E+0	0,00 E+0
	Traslado a envasado	0,00 E+0	0,00 E+0	0,00 E+0
	Selección	0,00 E+0	0,00 E+0	0,00 E+0
	Traslado al mercado	2,61 E-1	4,31 E-2	8,11 E-1
	Venta en mercado	4,42 E-2	8,85 E-2	7,56 E-3
	Traslado a consumo	2,82 E-2	2,82 E-2	3,23 E-2
	Consumo domiciliario	6,20 E-2	2,20 E-1	5,24 E-2
Upstream	Producción insecticidas	6,87 E-3	1,24 E-2	6,18 E-3
	Traslado insecticidas	8,14 E-5	1,62 E-4	1,27 E-4
	Producción fungicidas	0,00 E+0	0,00 E+0	-
	Traslado fungicidas	0,00 E+0	0,00 E+0	-
	Producción fertilizantes	1,41 E-1	1,10 E-1	3,33 E-2
	Traslado fertilizantes	3,84 E-3	7,84 E-3	6,37 E-3
	Producción cajas envasado	2,28 E-1	4,48 E-1	4,82 E-2
	Traslado cajas	3,28 E-3	6,08 E-3	3,28 E-4
	Producción plántula	2,88 E-2	4,45 E-3	-
	Producción sustrato de plántula	1,90 E-1	4,10 E-2	-
	Traslado sustrato de plántula	6,83 E-3	1,75 E-3	-
	Producción herbicidas	0,00 E+0	0,00 E+0	-
	Traslado herbicidas	0,00 E+0	0,00 E+0	-
	Tratamiento de agua potable	1,86 E-1	1,19 E-1	1,13 E-1
	Obtención de agua para riego	2,10 E-1	2,65 E-2	4,39 E-1
	Producción de cloro	1,28 E-4	2,25 E-4	0,00 E+0
	Traslado de cloro	8,65 E-7	1,05 E-6	0,00 E+0
	Lavado de contenedores plántulas	4,73 E-5	8,52 E-5	0,00 E+0
	Producción de semillas	3,74 E-3	7,69 E-4	6,42 E-4
	Traslado de semillas	5,71 E-4	4,68 E-7	1,37 E-6
Producción combustibles fósiles	4,12 E-2	3,13 E-2	8,83 E-2	
Downstream	Traslado restos lechuga a relleno	1,50 E-2	1,79 E-2	1,50 E-2
	Disposición cosecha	4,26 E-2	7,20 E-2	4,73 E-2
	Disposición poscosecha	3,59 E-2	4,26 E-2	3,24 E-2
	Disposición de venta en mercado	1,28 E-1	1,28 E-1	1,28 E-1
	Disposición residuos domiciliarios	2,15 E-1	2,18 E-1	2,15 E-1

# Anexo P

## Resultados de implementación de Medida 1: Aumento en rendimiento

En el presente anexo se pueden encontrar las Tablas P.1 y P.2, que detallan los resultados obtenidos para diferentes aumentos porcentuales en el rendimiento para el caso convencional y orgánico respectivamente.

Tabla P.1: Resultados obtenidos en la aplicación de la medida 1.

Hortaliza	Aumento rendimiento [%]	Resultados frente al cambio		
		HE <sub>Total</sub>	Rendimiento en [kg/ha]	Disminución de HE <sub>Total</sub> [%]
Tomate	0 %	4,00	40.000	0 %
	30 %	3,54	52.000	11,4 %
	60 %	3,26	64.000	18,7 %
	100 %	3,01	80.000	24,7 %
	150 %	2,81	100.000	29,6 %
	250 %	2,59	140.000	35,3 %
Lechuga	0 %	4,53	20.900	0 %
	30 %	3,83	27.170	15,4 %
	60 %	3,40	33.440	25,0 %
	100 %	3,02	41.801	33,3 %
	150 %	2,72	52.251	39,9 %
	250 %	2,37	73.151	47,5 %
Zanahoria	0 %	3,62	40.510	0 %
	30 %	3,24	52.663	10,5 %
	60 %	3,00	64.816	17,0 %
	100 %	2,80	81020	22,7 %
	150 %	2,63	101275	27,2 %
	250 %	2,44	141785	32,4 %

Tabla P.2: Resultados obtenidos en la implementación de la medida 1 en caso orgánico.

Hortaliza	Aumento rendimiento [%]	Resultados frente al cambio		
		HE <sub>Total</sub>	Rendimiento en [kg/ha]	Disminución de HE <sub>Total</sub> [%]
Tomate	0 %	3,38	32.400	0 %
	30 %	2,91	42.120	13,9 %
	60 %	2,62	51.840	22,5 %
	100 %	2,37	64.800	29,9 %
	150 %	2,17	81.000	25,8 %
	250 %	1,94	113.400	42,6 %
Lechuga	0 %	4,72	17.974	0 %
	30 %	3,96	23.366	16,2 %
	60 %	3,48	28.759	26,4 %
	100 %	3,06	35.948	35,2 %
	150 %	2,73	44.936	42,2 %
	250 %	2,35	62.910	50,3 %
Zanahoria	0 %	3,22	36.054	0 %
	30 %	2,83	46.870	12,1 %
	60 %	2,58	57.686	19,8 %
	100 %	2,37	72.108	26,6 %
	150 %	2,19	90.135	32,0 %
	250 %	2,00	126.189	38,1 %