



Aporte de los vegetales al abatimiento de gases de efecto invernadero, específicamente de CO₂, en base a la evidencia científica publicada en Chile y en el exterior

Estudio solicitado por Chilealimentos

INFORME FINAL

Santiago, 20 de julio de 2018

Título del Proyecto

Aporte de los vegetales al abatimiento de gases de efecto invernadero, específicamente de CO₂, en base a la evidencia científica publicada en Chile y el exterior

Autores:

Jefe de proyecto: Luis Abdón Cifuentes

Ingeniero de proyecto: José Miguel Valdés, Francisco José Durán, Pablo Manfred Busch

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna N° 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social:
ASOCIACION DE EMPRESAS DE ALIMENTOS DE CHILE A G

RUT : 82.049.600-0

Dirección: Av. Andrés Bello 2777 Of. 1-B

Cuerpo del informe

57 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

20/julio/2018

Información Contractual

Correlativo Contrato: 2243

OC N°: -

Contraparte técnica

Nombre: Carlos Descourvières

Cargo: Gerente Desarrollo

E-mail:
cdescourvieres@Chilealimentos.com

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo estudiar el aporte de los vegetales al abatimiento de gases efecto invernadero en base a evidencia científica publicada en Chile y el exterior

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

NORMAS GENERALES

- El presente informe presenta los resultados finales del estudio Aporte de los vegetales al abatimiento de gases de efecto invernadero, específicamente de CO₂, en base a la evidencia científica publicada en Chile y el exterior desarrollado durante el período abril/2018 a julio/2018
- El presente informe fue preparado por **Dictuc** a solicitud del **Mandante** para caso como antecedente técnico, bajo su responsabilidad exclusiva.
- Los alcances de este estudio están definidos explícitamente en la Sección 2.3 del presente informe. Las conclusiones de este informe se limitan a la información disponible para su ejecución.
- Para el desarrollo de este estudio **Dictuc** utilizó la información individualizada en el Capítulo 3. Dicho capítulo identifica además las fuentes que proporcionaron dichos antecedentes.
- La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de **Dictuc** mediante un Contrato de Uso de Marca.
- El **Mandante** podrá manifestar y dejar constancia verbal y escrita, frente a terceros, sean estas autoridades judiciales o extrajudiciales, que el trabajo fue preparado por **Dictuc**, y si decide entregar el conocimiento del presente informe de **Dictuc**, a cualquier tercero, deberá hacerlo en forma completa e íntegra, y no partes del mismo.
- El presente informe es propiedad del **Mandante** sin embargo si **Dictuc** recibe la solicitud de una instancia judicial hará entrega de una copia de este documento al tribunal que lo requiera, previa comunicación por escrito al **Mandante**.
- El presente informe es resultado de las metodologías desarrolladas por **Dictuc**, del alcance del informe encomendado y de los antecedentes que el **Mandante** puso a disposición de **Dictuc**. El **Mandante** acepta expresamente que los resultados del presente informe pueden en definitiva, no serles favorables a sus intereses particulares.
- El **Mandante** declara conocer y aceptar los términos y condiciones generales para la prestación de servicios, disponibles para todo el público en su sitio web oficial www.dictuc.cl/tyc.

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas.....	II
Lista de Figuras.....	III
Acrónimos y Abreviaturas.....	IV
Resumen Ejecutivo	V
1. Antecedentes.....	10
2. Objetivos y alcances del estudio	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
2.3 Alcance del estudio	13
3. Levantamiento de antecedentes	15
3.1 Metodología de cuantificación de emisiones según el IPCC.....	15
3.1.1 “Pools” de carbono en cultivos	18
3.2 Tasa de absorción de especies en estudio.....	19
3.2.1 <i>Materia orgánica del suelo (SOC)</i>	19
3.2.2 <i>Materia orgánica muerta (DOM)</i>	26
3.2.3 <i>Biomasa (BM)</i>	26
3.3 Caracterización de la actividad: superficie cultivada	27
4. Absorción de CO₂ de especies en estudio.....	30
4.1 Escenario de superficie cultivada ODEPA	30
4.2 Escenario superficie cultivada selección Chilealimentos.....	37
5. Conclusiones y comentarios respecto al impuesto verde	41
6. Bibliografía	44
7. Anexos.....	48
7.1 Anexo 1: Estudios consultados.....	48
7.2 Anexo 2: Campos descriptivos de base de datos de absorción en SOC.....	53

Lista de Tablas

Tabla 0-1 Captura de CO ₂ estimada según <i>pool</i> , escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	VII
Tabla 0-2 Resultados para subconjunto de cultivos relacionados a los socios de Chilealimentos	VIII
Tabla 1-1 Valores de los PCG-100 de algunos GEI (W/m ²)	11
Tabla 3-1 Clasificación de las especies cultivadas	20
Tabla 3-2 Clasificación de técnicas de cultivo según tasa de captura	24
Tabla 3-3 Tasas de secuestro asociado al <i>pool</i> SOC, según cultivo y según grupos de técnicas de manejo [ton C/ha-año]	26
Tabla 3-4 Tasas de secuestro asociado al <i>pool</i> BM, según cultivo, para dos escenarios [ton C/ha-año]	27
Tabla 3-5 Superficie cultivada por especie de cultivo socios Chilealimentos [ha]	29
Tabla 4-1 Captura de CO ₂ estimada en BM según escenarios [ton CO ₂ /año]	30
Tabla 4-2 Captura de CO ₂ estimada en SOC según escenarios [ton CO ₂ /año]	32
Tabla 4-3 Captura de CO ₂ estimada según <i>pool</i> , escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	34
Tabla 4-4 Captura de CO ₂ estimada en Biomasa según escenarios [ton CO ₂ /año]	37
Tabla 4-5 Captura de CO ₂ estimada en SOC según escenarios [ton CO ₂ /año]	37
Tabla 4-6 Captura de CO ₂ estimada según <i>pool</i> , escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	39
Tabla 5-1 Extracto de INGEI respecto a emisiones de actividad agrícola, año 2013 [Gg]	42
Tabla 7-1 Estudios consultados en revisión bibliográfica	48
Tabla 7-2 Diccionario de campos considerados en base de datos	53

Lista de Figuras

Figura 3-1 Ciclo de carbono en tierras de cultivo	17
Figura 3-2 Valores de tasa de captura del <i>pool</i> SOC <i>recopilados</i> , según la clasificación de cultivos [ton C/Ha-año]	21
Figura 3-3 Esquema de proceso de clasificación de estudios.....	22
Figura 3-4 Tasas de captura del <i>pool</i> SOC recopiladas y sus técnicas de manejo asociadas, según la clasificación de cultivos [ton C/Ha-año].....	23
Figura 3-5 Diagramas de caja de los valores de tasa de secuestro del <i>pool</i> SOC, según técnica de manejo y grupos de cultivo [ton C/Ha-año]	25
Figura 3-6 Superficie cultivada por especie de cultivo [ha].....	28
Figura 4-1 Captura de CO ₂ estimada en Biomasa según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	31
Figura 4-2 Captura de CO ₂ estimada en SOC según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	33
Figura 4-3 Captura de CO ₂ estimada según pool, escenario y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	35
Figura 4-4 Captura acumulada de CO ₂ por tipo de cultivo y escenario [tonCO ₂ /año]	36
Figura 4-5 Captura de CO ₂ estimada en SOC según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	38
Figura 4-6 Captura de CO ₂ estimada según pool, escenarios y por tipo de cultivo [ton CO ₂ /año]	40

Acrónimos y Abreviaturas

BM:	Biomasa, siglas en inglés
DOM:	Material Orgánico Muerto, siglas en inglés
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés.
GEI:	Gases de efecto invernadero
Gg:	Giga gramos (10^9 gramos), equivalente a miles de toneladas
GL2006:	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efectos invernadero, acrónimo comúnmente usado.
INGEI:	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC:	Panel Intergubernamental para el cambio climático, siglas en inglés
MMA:	Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile
ODEPA:	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
PCG-100:	Potencial de calentamiento global en 100 años
SOC:	Carbono Orgánico en el Suelo, siglas en inglés

Formato

"." separador decimal

"," separador de miles

Resumen Ejecutivo

El IPCC¹ es el organismo internacional en cambio climático que, desde su creación en el año 1988, ha dado los lineamientos a nivel global sobre cambio climático, basado en el estado del arte del conocimiento científico. Para ello, el organismo analiza y evalúa información científica, técnica y socio-económica que resulte relevante para el entendimiento del cambio climático.

Dentro de los lineamientos entregados por el IPCC, destacan los utilizados para la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales consideran tanto las emisiones como las absorciones de estos gases. Respecto a las absorciones, estas consideran la captura y almacenamiento de carbono en aquellos procesos que, al menos en el mediano plazo, no devuelven el carbono secuestrado a la atmósfera.

En lo que refiere a las especies vegetales, se consideran tres “*pools*” de absorción: biomasa (BM), material orgánico muerto (DOM) y carbono orgánico en el suelo (SOC). Respecto a los cultivos, la captura en biomasa depende de si la especie, y técnica de cultivo utilizada, efectivamente genera biomasa (incluyendo raíces) que permanece vivas en el mediano plazo. El IPCC considera, por defecto, que los cultivos no generan DOM y, por lo tanto, no existiría absorción en este “*pool*”. Al igual que para el DOM, el IPCC considera que el SOC en cultivos sería marginal y, por defecto, considera que la absorción en este “*pool*” es cero. Sin embargo, existe una amplia literatura que, en base a evidencia científica, concluye que existiría una pequeña absorción en comparación con la captura en biomasa.

El objetivo del presente estudio es estudiar el aporte de los vegetales a la absorción de GEI en base a evidencia científica publicada en Chile y el exterior. Cabe destacar que el presente estudio se basa en información bibliográfica, sin realizar levantamiento de información propia. El estudio se limita a estimar la absorción de CO₂ en especies cultivadas definidas por la contraparte, mientras que también se destaca que el estudio no considera emisiones de CO₂ u otros GEI asociados a la actividad agrícola.

Para la estimación de absorción realizada se efectúa una revisión bibliográfica en la que se recopilaron sobre 30 estudios², que permitieron obtener 223 valores de captura diferentes. Estos valores se diferencian en características del objeto de estudio, como especies y técnicas de cultivo, así como en metodología, habiendo estudios que estimaban una tasa relativa a otro par cultivo-técnica, mientras que otros estimaban valores absolutos de captura. Estos valores fueron sistematizados y descritos según 37 campos descriptivos que permitieron realizar un análisis comparativo de los valores.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² Algunos de estos estudios corresponden a meta-análisis que se basan en recopilaciones de múltiples estudios previos

Por medio de un análisis estadístico que considera los valores aplicables a los cultivos de interés, se logró una estimación de dos escenarios de tasas de absorción para cada cultivo, que se diferencian en las técnicas de cultivos utilizadas. Se destaca que las técnicas de manejo de cultivo con menor tasa de absorción (escenario Grupo A) corresponden al arado convencional, rotación de cultivos y adición de fertilizantes sintéticos, mientras que las técnicas con mayores tasas de absorción (escenario Grupo B) serían el uso de compost y el no arado de la tierra de cultivo. Por su parte la captura en forma de biomasa, también se presentan dos escenarios de tasas, una recomendada por el IPCC y otra que se deriva de un estudio específico desarrollado en Murcia, España (Carvajal, 2008). Se destaca que las tasas de captura del IPCC son significativamente más bajas y no distinguen por especie de cultivo.

El equipo consultor no maneja con el detalle de información para realizar supuestos confiables respecto a que proporción de los cultivos por especie utiliza que técnicas, o que tasa de captura de biomasa aplica mejor a las distintas especies. Por esta razón, se opta por presentar los resultados de las estimaciones de captura en dos escenarios, conservador y optimista, que pretenden ilustrar el rango en que se moverían las capturas reales.

En la Tabla 0-1 se presentan los resultados de las estimaciones de la captura para todas las especies de cultivos asociadas a la producción de la Agroindustria de frutas y hortalizas. Se observa que la mayor parte de ella se asocia a la captura en forma de biomasa de las especies arbóreas. Al respecto se destaca que en el escenario conservador, la captura en biomasa es el 89% de la captura total, mientras que en el escenario optimista la biomasa representa el 80% de la captura total.

También se destaca que bajo los supuestos que dan pie a estos resultados, la captura producida en las tres especies con mayor captura (manzano, uva de mesa y ciruelo), representan la mayor fracción de la captura total, alcanzando un 75% de las capturas en el escenario conservador y un 67% en el escenario optimista.

Tabla 0-1 Captura de CO₂ estimada según *pool*, escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]

Especie de Cultivo	Sup. (1)	Escenario conservador (2)			Escenario optimista (3)		
		SOC	Biomasa	Total	SOC	Biomasa	Total
Frutilla	973	131		131	1.999		1.999
Espinaca	588	357		357	1.849		1.849
Acelga	796	483		483	2.507		2.507
Mora	1.597	2.050	12.301	14.351	2.050	22.258	24.308
Remolacha azucarera	16.383	9.938		9.938	51.580		51.580
Alcachofa	1.464	888		888	4.609		4.609
Habas	1.842	1.336		1.336	5.162		5.162
Espárrago	1.766	1.071		1.071	5.557		5.557
Arvejas	1.950	3.111		3.111	3.543		3.543
Frambuesa	3.187	428		428	6.543		6.543
Poroto verde	2.672	4.261		4.261	4.854		4.854
Achicoria azucarera	3.300	2.002		2.002	10.387		10.387
Kiwi	9.303	1.251	71.636	72.887	19.103	75.047	94.150
Peral	8.671	11.128	66.766	77.894	11.128	120.814	131.942
Tomate industrial	12.000	1.613		1.613	24.640		24.640
Durazno conservero	9.429	12.101	72.602	84.703	12.101	193.605	205.706
Arándano	15.707	2.112		2.112	32.253		32.253
Ciruela	17.031	21.856	131.135	152.991	21.856	237.292	259.148
Manzano	33.283	42.713	256.275	298.989	42.713	463.737	506.450
Uva de mesa	48.582	6.532	371.157	377.689	99.755	391.896	491.652
Maíz dulce	4.400	1.438		1.438	13.473		13.473
Total	194.924	126.800	981.873	1.108.673	377.662	1.504.650	1.882.312

Nota 1: Superficies cultivadas obtenidas desde ODEPA para años base 2017. Por su parte, los datos de superficie cultivada de achicoria azucarera y maíz dulce fueron provistos por el cliente.

Nota 2: El escenario conservador considera tasas de captura de SOC asociadas a técnicas como arado convencional, aplicación de fertilizantes sintético y rotación de cultivos tradicionales (grupo A de acuerdo a la nomenclatura del informe), mientras que en biomasa considera las tasas de captura por defecto (tier 1) recomendadas en las GL-2006 del IPCC (2006).

Nota 3: El escenario optimista considera tasas de captura de SOC asociadas a técnicas de cultivo como el no arado o la aplicación de fertilizante orgánico (grupo B de acuerdo a la nomenclatura del informe), mientras que en biomasa se considera tasas de capturas derivadas de la investigación de Carvajal et al. (2008)

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

A partir de la solicitud de la contraparte, se realizó el mismo análisis para un subconjunto de estos cultivos, distinguiendo aquellos que se relacionan más directamente con los socios de Chilealimentos. Esto da paso a estimaciones para un subconjunto de seis cultivos, cuya superficie cultivada correspondería a los socios de Chilealimentos, según la información provista. Los resultados³ de la captura para dichos cultivos según cada escenario se presentan en la Tabla 0-2.

³ Como producto adicional se facilita junto con el presente informe una planilla de cálculo que permite, para cada especie listada en los objetivos del estudio, estimar la captura anual, así como potenciales emisiones de GEI asociadas a la actividad agrícola. La estimación depende de los datos de *input* a proveer por el usuario de la planilla, los cuales caracterizan el proceso agrícola para cada especie.

Tabla 0-2 Resultados para subconjunto de cultivos relacionados a los socios de Chilealimentos

Especie Cultivo	Superficie [ha] (1)			Captura Unitaria [ton CO ₂ /ha/año] (2)		Captura Conservador [ton CO ₂ /año]			Captura Optimista [ton CO ₂ /año]		
	Total	Industrial	Fresco	Conservador	Optimista	Total	Industrial	Fresco	Total	Industrial	Fresco
Uva de mesa	48.582	10.205	38.377	7,83	10,12	380.397	79.905	300.492	491.650	103.275	388.375
Manzana	33.283	16.642	16.642	8,98	15,21	298.881	149.445	149.445	506.234	253.125	253.125
Durazno conservero	9.429	9.429		8,98	21,81	84.672	84.672		205.646	205.646	
Tomate industrial	12.000	12.000		0,13	2,05	1.560	1.560		24.600	24.600	
Remolacha	16.383	16.383		0,61	3,15	9.994	9.994		51.606	51.606	
Achicoria	3.300	3.300		0,61	3,15	2.013	2.013		10.395	10.395	
TOTAL	122.977	67.959	55.019			777.517	327.589	449.937	1.290.132	648.647	641.500

Nota 1: Superficies correspondientes al año agrícola 2017-2018 provista por cliente.

Nota 2: Capturas unitarias estimadas a partir de la literatura científica internacional según lo descrito en el cuerpo del informe. Considera captura en suelos (SOC) y biomasa (BM)

Nota 3: El escenario conservador considera tasas de captura de SOC asociadas a técnicas como arado convencional, aplicación de fertilizantes sintético y rotación de cultivos tradicionales (grupo A de acuerdo a la nomenclatura del informe), mientras que en biomasa considera las tasas de captura por defecto (tier 1) recomendadas en las GL-2006 del IPCC (2006).

Nota 4: El escenario optimista considera tasas de captura de SOC asociadas a técnicas de cultivo como el no arado o la aplicación de fertilizante orgánico (grupo B de acuerdo a la nomenclatura del informe), mientras que en biomasa se considera tasas de capturas derivadas de la investigación de Carvajal et al. (2008)

Fuente: Elaboración propia (Dictuc) a partir de superficie cultivada provista por la contraparte

De los resultados presentados en la Tabla 0-2 se observa que la uva de mesa y los manzanos son la principal fuente de captura, lo cual responde a la amplia superficie cultivada, además del hecho de ser una especie con captura en el *pool* de biomasa, pues a diferencia de la remolacha, el proceso de cosecha no implica la remoción de la biomasa (tronco, ramas y raíces). Este mismo hecho se observa en los otros cultivos con árbol, donde la absorción anual de CO₂ supera con creces la captura de los cultivos sin árbol. Al observar el detalle según el *pool*, se observa que, en el escenario conservador, la captura en biomasa es el 85,3% de la captura total, mientras que en el escenario optimista la captura en biomasa corresponde a 78,3%, siendo la fracción restante capturada por el suelo (ver detalle Tabla 4-6, página 39 de este estudio).

De acuerdo a las estimaciones preliminares del Ministerio de Hacienda facilitadas por la contraparte, se esperaba el pago de 1,8 MMUSD/año por emisiones de CO₂ asociadas a la combustión de combustibles fósiles en las calderas de los socios de Chilealimentos. Esto equivaldría a una emisión de 360 mil toneladas de CO₂. Esta magnitud de emisiones es comparable con la absorción estimada para ambos escenarios, siendo de un 10% superior a la estimada en el escenario conservador. Por su parte, la absorción estimada para el escenario optimista, supera de forma significativa dichas emisiones. Ello, sin considerar las captaciones de CO₂ que realizan estos mismos vegetales cuyo destino es el consumo en fresco, los cuales podrían verse afectados indirectamente por el impuesto.

Si solo se consideran las emisiones de las calderas y la absorción estimada en la Tabla 0-2, se puede argumentar que las emisiones netas de CO₂ de los socios de Chilealimentos son bastante menores que las que están siendo gravadas. Sin embargo, esta estimación no considera otras emisiones de CO₂ asociadas a la actividad agrícola, tales como la combustión en maquinaria de combustibles fósiles, el transporte en camiones y el consumo eléctrico. De esta forma la misma línea argumental que considere la absorción de CO₂ como una forma de reducir el impuesto a pagar, puede ser utilizada para argumentar la inclusión de estas emisiones en la estimación del pago final. Por lo demás, es técnicamente compleja la medición y verificación de las emisiones y absorciones que ocurren en múltiples fuentes pequeñas o en superficies extendidas, a diferencia de las emisiones que ocurren en las grandes calderas.

1. Antecedentes

El cambio climático y las emisiones de GEI

El IPCC⁴ es el organismo internacional en cambio climático que, desde su creación en el año 1988, ha dado los lineamientos a nivel global sobre cambio climático, basado en el estado del arte del conocimiento científico. Para ello, el organismo analiza y evalúa información científica, técnica y socio-económica que resulte relevante para el entendimiento del cambio climático.

Dentro de los lineamientos entregados por el IPCC, destacan los utilizados para la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero (GEI), cuya versión más reciente está contenida en la publicación *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efectos invernadero*⁵ (2006). Este documento entrega metodologías para la elaboración de inventarios en base a la estimación tanto de las emisiones como las absorciones antropogénicas de este tipo de gases.

En palabras del IPCC (2014), los gases de efecto invernadero son aquellos que contribuyen al cambio climático. Las guías para la elaboración de inventarios de esta institución cubren los GEI cuyos Potenciales de Calentamiento Global (PCG o GWP, por su sigla en inglés) están identificados en el AR3⁶, entre los que cabe mencionar: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), entre otros⁷. El PCG, es un índice que mide el forzamiento radiativo en comparación con el causado por una sustancia de referencia, en este caso, el dióxido de carbono. El PCG guarda relación con el período de permanencia de los GEI en la atmósfera y de su eficacia relativa como causantes de forzamiento radiativo, donde este último concepto alude a la potencia del cambio en el flujo de energía causado por un elemento impulsor, que se cuantifica en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m²). Ejemplos de los valores de los PCG de los principales GEI se muestran en la Tabla 1-1. En esta es posible observar que, según los valores más recientes reportados por el IPCC, el potencial de calentamiento global del metano es 28 veces el valor del potencial del CO₂, mientras que el del óxido nitroso es 265 veces ese valor.

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁵ Comúnmente denominada GL2006.

⁶ El AR3 corresponde al *Climate Change 2001 - IPCC Third Assessment Report*.

⁷ Del mismo modo, se incluye en las metodologías información sobre el reporte de los siguientes precursores: óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH₃), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (NMCOV), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂).

Tabla 1-1 Valores de los PCG-100 de algunos GEI (W/m²)

GEI	Valor PCG-100 (W/m ²) Según AR2 ⁸ (1996)	Valor PCG-100 (W/m ²) Según AR4 (2007)	Valor PCG-100 (W/m ²) Según AR5 (2013)
Metano (CH ₄)	21	25	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	310	298	265

Nota: Si bien el IPCC ha actualizado progresivamente el valor de los PCG-100, es usual que los inventarios nacionales utilicen los PCG-100 del AR2, para poder comparar con inventarios pasados.

Fuente: Elaboración propia (Dictuc) a reportes desarrollados por el IPCC

En el contexto del cambio climático, se considera como captura y almacenamiento de carbono aquellos procesos que al menos en el mediano plazo no devuelven el carbono secuestrado a la atmósfera, sino que lo conservan en forma de especie vegetal o lo integran al suelo. Tradicionalmente, lo anterior considera el efecto del carbono capturado y almacenado por los árboles, el cual queda contenido en la composición del mismo. En el caso de los cultivos agrícolas, si bien ocurre captura, el almacenamiento es menor, dado que su destino para la alimentación humana y animal implica que gran parte del carbono es devuelto a la atmósfera tras su consumo en el corto plazo. Por esta razón, tradicionalmente la actividad agrícola no es considerada como una fuente relevante de captura.

Sin perjuicio de lo anterior, es argumentable que una fracción del carbono capturado por los cultivos es efectivamente almacenada, ya sea en forma de subproducto (como paja para camas de ganado) o por su incorporación al suelo. En relación a este tema, el IPCC (2006, sec. 5.1-5.2) afirma que la cantidad de carbono emitido o absorbido en las tierras de cultivo permanentes depende del tipo de cultivo, de las prácticas de gestión, de las variables del suelo y del clima. Por ejemplo, ciertos cultivos anuales no implican un almacenamiento de carbono en el largo plazo, debido a que en su manejo la biomasa es removida cada año; este es el caso de varios cereales y legumbres. Mientras que, en el caso de los cultivos leñosos perennes, sí existe una acumulación neta de existencias de carbono en biomasa.

Dadas estas diferencias entre los tipos de cultivo, así como entre las técnicas de cosecha, la estimación del inventario de emisiones de GEI asociadas al sector agrícola, se debe realizar analizando caso a caso, tomando especial atención a los distintos escenarios de emisión que se pueden generar.

El impuesto verde a emisiones de grandes fuentes fijas

El impuesto verde a grandes fuentes fijas aplica a las instalaciones cuyas calderas y turbinas tienen una potencia térmica sumada que supera los 50 MWt. Su origen está en el artículo 8° de la Ley 20.780 “Reforma tributaria que modifica el sistema de tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el sistema tributario” (Ministerio de Hacienda, 2014).

⁸ El AR2 corresponde al IPCC *Second Assessment Report*, del mismo modo que el AR4 y AR5 corresponden al cuarto y quinto Reporte del IPCC, respectivamente.

Se incluyen dos tipos de impuestos a las emisiones: impuesto a contaminantes globales (CO₂) e impuestos a contaminantes locales (MP, SO₂ y NO_x). Estos impuestos operan desde el 1 de enero de 2017. Mientras la tasa de impuesto de las emisiones de CO₂ es fija e igual a 5 USD/ton, la tasa de impuesto para los contaminantes locales es calculado en proporción al costo social de cada uno de los contaminantes, considerando los impactos per cápita de cada contaminante, la población y calidad del aire de la comuna donde se ubica el establecimiento. Se destaca que el impuesto a las emisiones de dióxido de carbono no aplica para fuentes fijas que operen en base a medios de generación renovable no convencional cuya fuente de energía primaria sea la energía biomasa.

A nivel nacional 110 establecimientos están afectos a este impuesto (MMA, 2017b). Dada las tecnologías consideradas y el tamaño del umbral para ser afectas al impuesto, el principal sector afectado es el sector generación eléctrica. Aunque también se esperan que establecimientos de otros sectores se vean afectados: Celulosa/Papel, Agrícola, Refinería, Pesquera, Químico, Siderurgia, Maderero y Cerveceros (MMA, 2017a).

2. Objetivos y alcances del estudio

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos del estudio solicitado.

2.1 Objetivo general

Estudiar el aporte de los vegetales al abatimiento de gases efecto invernadero en base a evidencia científica publicada en Chile y el exterior.

2.2 Objetivos específicos

En términos generales, los objetivos específicos abordados en el presente informe son tres.

1. Realizar una recopilación de información de abatimiento de CO₂ para las especies frutales y hortícolas preferentemente utilizadas por la agroindustria procesadora, en específico; Manzano, Uva de mesa, Ciruela, Kiwi, Durazno conservero, Peral, Tomate Industrial, Remolacha azucarera, Achicoria azucarera, Berries (frambuesa, arándano, mora, frutilla), Maíz dulce, Poroto verde, Habas, Arvejas, Espárrago, Espinaca, Acelga, Alcachofa.
2. Estimar en base a la superficie plantada y/o sembrada de las especies anteriormente señaladas, el abatimiento total de CO₂ que estas especies realizan en Chile.
3. Emitir una opinión sobre el abatimiento de CO₂ de los cultivos anteriores, respecto del cálculo de impuesto verde estimado por el Ministerio de Hacienda, según tabla proporcionada en el ítem Antecedentes de los presentes términos de referencia del Estudio.

2.3 Alcance del estudio

Los objetivos descritos en la sección anterior serán desarrollados basándose en la información existente de la experiencia internacional como también información existente a nivel nacional. Es decir, se utilizará información secundaria no contemplándose en ningún caso un levantamiento de información primaria para el desarrollo de este estudio. Los cultivos de interés corresponden con aquellos mencionados en el primer objetivo específico del estudio.

Las capturas estimadas en el presente estudio se limitan a las capturas de CO₂ por parte de los cultivos de interés, el cual corresponde al principal gas gravado por el impuesto verde definido en el artículo 8 de la ley 20.780 (Ministerio de Hacienda, 2014). De esta forma, el estudio no considera emisiones de CO₂ asociadas a la actividad agrícola, así como tampoco se consideran potenciales emisiones de otros gases de efecto invernadero (GEI). Esto pues el impuesto sólo grava las emisiones de CO₂⁹, y no las emisiones de otros GEI. Al respecto se destaca que el Inventario Nacional de GEI (INGEI) tradicionalmente considera al sector como un emisor de GEI, especialmente de N₂O y CH₄ (MMA, 2016b).

⁹ El impuesto también grava las emisiones de los siguientes contaminantes locales: MP, SO₂ y NO_x

El uso de los resultados que sean generados por este estudio debe ser utilizado de manera responsable, considerando el alcance del estudio y dentro del contexto en que estos son presentados. Cualquier extracción de resultados sin presentar el alcance y contexto asociado debe ser autorizada por el equipo consultor.

3. Levantamiento de antecedentes

Tal como se especifica en los alcances del estudio el levantamiento de antecedentes relevantes se basa en una revisión bibliográfica de estudios científicos nacionales e internacionales que contengan información atinente. No se realizó ningún tipo de muestreo o levantamiento primario de información.

Tal como se menciona en los antecedentes del estudio, el IPCC el organismo líder a nivel global en transferir el conocimiento científico a los distintos aspectos sociales. En específico para la cuantificación de emisiones y absorción de CO₂, destacan las GL2006¹⁰ (IPCC, 2006c). Este documento establece las metodologías y lineamientos utilizados por los distintos expertos sectoriales, coordinados por el Ministerio del Medio Ambiente para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), cuya última versión oficial a la fecha se presenta en el *Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile* (MMA, 2016b). A modo de referencia, dicho inventario estima que las emisiones nacionales alcanzan las 109.909 Gg de CO₂e¹¹.

Siguiendo los lineamientos de las GL2006 en cuanto a la metodología y parámetros necesarios (presentado en la Sección 3.1) se realizó una búsqueda de literatura científica de artículos académicos en diversos portales académicos como “*carbon sequestration in agricultural soils*”, “*soil organic carbon*”, “*crop management for soil carbon sequestration*”, entre otras. Los estudios recopilados, 32 en total, fueron sistematizados en una base de dato. De estos estudios se recopilaron 223 valores de secuestro de carbono de diferentes cultivos. Estos valores se diferencian en características del objeto de estudio, como especies y técnicas de cultivo, así como en metodología, habiendo estudios que estimaban una tasa relativa a otro par cultivo-técnica, mientras que otros estimaban valores absolutos de captura. Esto valores fueron sistematizados y descritos según 37 campos descriptivos que permitieron realizar un análisis comparativo de los valores. Este proceso se presenta en la Sección 3.2.

Finalmente, en la Sección 3.3 se caracterizó la superficie cultivada de cada una de las especies hortícolas, frutales y cereales propuestas por Chilealimentos. Para esto, se utilizaron las bases de datos elaboradas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), asimismo también se realiza una descripción de un subconjunto de los cultivos de los socios de Chilealimentos de acuerdo a la información provista por la contraparte técnica.

3.1 Metodología de cuantificación de emisiones según el IPCC

Según lo que describe el IPCC (2006), el método más comúnmente utilizado para estimar el inventario de emisiones de una actividad humana es la aplicación de la ecuación básica que se presenta a continuación:

$$\text{Emisiones (Absorción)} = \text{Nivel de Actividad} * \text{Factor de Emisión(Absorción)}$$

¹⁰ Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efectos invernadero

¹¹ CO₂e (dióxido de carbono equivalente) es una unidad de medición de emisiones donde las emisiones de GEI son cuantificadas en término de su impacto en el cambio climático en comparación con el GEI más común el CO₂.

Donde el Nivel de Actividad corresponde a la magnitud que caracteriza a la fuente emisora (o sumidero) y se puede manejar en diferentes índices¹², según cuál sea la fuente de origen. Mientras que el Factor de Emisión, corresponde a la cantidad de toneladas de emisión asociadas a cada unidad del nivel de actividad.

Según la estructura en que se presentan las GL2006, la agroindustria se incluye dentro del Volumen 4, correspondiente a *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*, dentro del que se encuentran apartados referentes a las tierras de cultivo (*Chapter 5: Cropland*). Para cada uno de los cálculos basados en la ecuación general (Ecuación 1), se puede trabajar con diferente nivel de detalle, de acuerdo, a la caracterización de los datos. En un esfuerzo por sistematizar la metodología de cálculo, el IPCC estandariza los niveles de detalles en tres niveles:

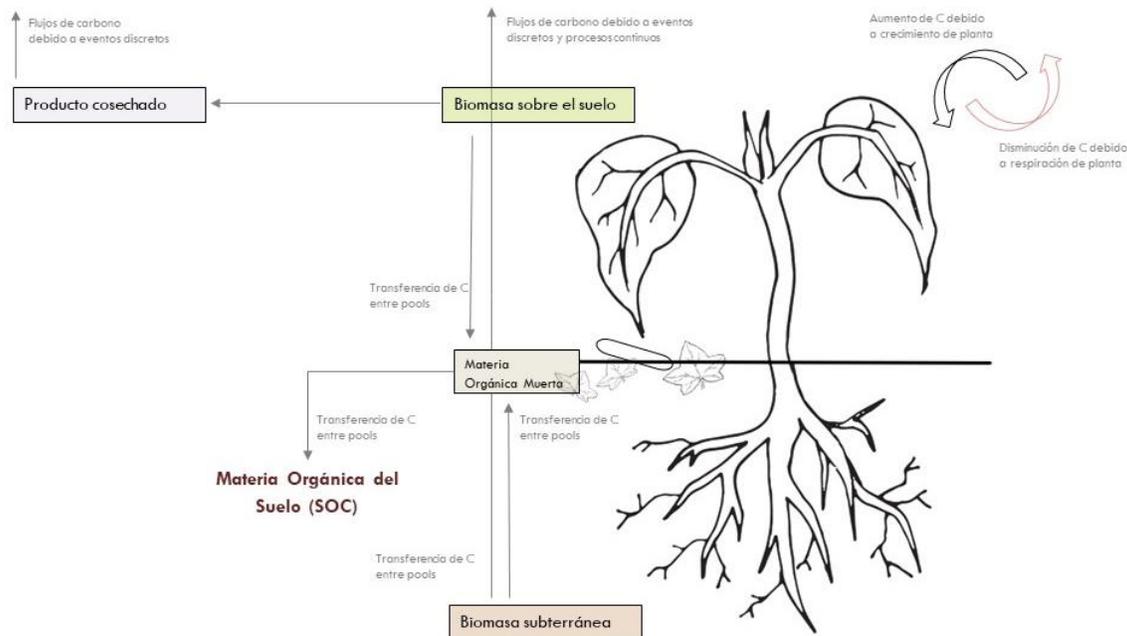
- **Nivel 1 (Tier 1):** Nivel más general, donde ecuaciones y parámetros (factores de emisión y cambio de stock) son proporcionados por el IPCC (valores recomendados) u otras fuentes de información (literatura internacional). Este método requiere los niveles de actividad del sitio-país de estudio, sin embargo, existen fuentes de información que pueden proveer estos datos, por ejemplo, la FAO¹³.
- **Nivel 2 (Tier 2):** Mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero aplica factores y tasas de emisión basados en el sitio-país específico. Estos se encuentran relacionados al clima, uso de suelo, cambios de stock, por lo que su uso es más preciso y apropiado. Además, requiere el uso de información más detallada tanto temporal como espacialmente, de niveles de actividad.
- **Nivel 3 (Tier 3):** La metodología incluye el uso de modelos e inventarios que permiten caracterizar el sitio-país, complementado con información de “alta resolución” y desagregada de los niveles de actividad de las fuentes emisoras. El uso de este método de alto orden permite realizar estimaciones más certeras.

La recomendación del IPCC es utilizar el nivel de detalle más alto que se pueda con la disponibilidad de datos e información local, y que en los casos en que no haya la información requerida usar los valores por defectos recomendados en el primer nivel.

¹² Tales como masa, energía, superficie, producción, etc.

¹³ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés.

Figura 3-1 Ciclo de carbono en tierras de cultivo



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

En la Figura 3-1, se presenta el Ciclo de Carbono en tierras de cultivo es el ciclo biogeoquímico en el cual Carbono se transfiere entre el atmosfera, biosfera y litósfera, mayormente dirigido por los procesos de fotosíntesis y respiración (da Rocha et al., 2005). En este proceso puede ocurrir que el carbono se acumule por periodos de tiempos medianos y largos en algún reservorio o “*pool*”. Según el IPCC (2006a), los reservorios principales de acumulación de carbono por los diferentes cultivos son principalmente tres, los cuales se encuentran representados en la Figura 3-1:

1. Biomasa (BM): Esta corresponde a la biomasa del cultivo propiamente tal, en la cual el carbono es almacenado tanto en su parte superior (biomasa sobre el suelo) como en su parte inferior (biomasa subterránea).
2. Materia orgánica muerta (DOM¹⁴): Conformada principalmente por el rastrojo de la cosecha o bien, residuos leñosos provenientes de procesos como la poda de árboles.
3. Carbono orgánico en el suelo (SOC¹⁵): Finalmente, la materia orgánica del suelo, la cual corresponde al carbono fijado y almacenado en este por microorganismos que descomponen la materia orgánica.

Estos tres *pools* están conectados a través de flujos de carbono, definidos como los movimientos e intercambios de carbono impulsados por los procesos biológicos, geológicos y químicos (IGBP Terrestrial Carbon working group, 1998). El flujo de carbono se inicia mediante la captación del dióxido de carbono de la atmosfera por la biomasa sobre el suelo, lo cual ocurre durante el

¹⁴ Dead Organic Matter

¹⁵ Soil Organic Carbon

crecimiento de la planta a través de su fotosíntesis. Este es almacenado en forma de carbono tanto en la parte superior de la planta como en su parte subterránea (raíces). Durante este mismo proceso, una proporción de carbono es devuelto a la atmósfera en forma de dióxido de carbono.

Luego, una parte del carbono almacenado en la planta es transferido al *pool* de materia orgánica muerta a través de la caída de hojas, ramas, madera o bien, a través de las raíces muertas (van Veen et al., 2018) . La materia orgánica muerta es descompuesta por la actividad de bacterias y hongos, lo cual genera un depósito de carbono de materia orgánica en suelo. Adicionalmente, el ecosistema experimenta diversos eventos discretos que permiten el intercambio de carbono entre los tres reservorios mencionados anteriormente.

Finalmente, durante el proceso de cosecha, el carbono almacenado en la biomasa superior e inferior (raíces) de la planta, es retirado junto con la materia del producto para su posterior producción. Existen otros eventos tales como el cambio de uso de la tierra, incendios o brotes de insectos que generan en ciertos escenarios un aumento de la materia orgánica muerta, materia orgánica del suelo o bien, emisiones desde la biosfera a la atmósfera (CO₂ principalmente). Todos estos escenarios pueden generar una variación en el contenido de carbono en los tres reservorios en estudio.

3.1.1 “Pools” de carbono en cultivos

Para cada uno de los *pools* de carbono en cultivos definidos por el IPCC, este organismo define la metodología de cuantificación del inventario de emisiones que se debe utilizar. Estos se detallan a continuación.

3.1.1.1 Biomasa (BM)

La ecuación presentada por el IPCC (2006) para estimar el inventario de emisiones correspondiente al *pool* de biomasa se presenta a continuación:

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

Donde los términos de la ecuación son:

- ΔC_B : Cambio anual en stock de carbono en biomasa (suma de biomasa sobre suelo y biomasa subterránea) [ton C/año]
- ΔC_G : Incremento anual en stock de carbono debido al crecimiento de biomasa [ton C/año]
- ΔC_L : Decrecimiento anual en stock de carbono debido a la pérdida de biomasa (cosecha, remoción de leña, otras pérdidas de biomasa) [ton C/año]
-

3.1.1.2 Materia orgánica muerta (DOM)

La ecuación presentada por el IPCC (2006) para estimar el inventario de emisiones correspondiente al *pool* de materia orgánica muerta se presenta a continuación:

$$\Delta C_{DOM} = \Delta C_{DW} + \Delta C_{LT}$$

Donde los términos de la ecuación son:

- ΔC_{DOM} : Cambio anual en el stock de carbono en la materia orgánica muerta (incluye residuos leñosos y rastrojo) [ton C/año]
- ΔC_{DW} : Cambio anual en el stock de carbono en residuos leñosos [ton C/año]
- ΔC_{LT} : Cambio anual en stock de carbono en el rastrojo [ton C/año]
-

3.1.1.3 Carbono orgánico en el suelo (SOC)

La ecuación presentada por el IPCC (2006) para estimar el inventario de emisiones correspondiente al *pool* de carbono orgánico en el suelo se presenta a continuación:

$$\Delta C_{soil} = \Delta C_{Mineral} - L_{organic} + \Delta C_{inorganic}$$

Donde los términos de la ecuación son:

- ΔC_{soil} : Cambio anual en stock de carbono en suelo [ton C/año]
- $\Delta C_{Mineral}$: Cambio anual en stock de carbono en suelo mineral [ton C/año]
- $L_{organic}$: Pérdida anual de carbono debido al drenaje de suelos orgánicos [ton C/año]
- $\Delta C_{inorganic}$: Cambio anual en stock de carbono en suelo inorgánico [ton C/año]

3.2 Tasa de absorción de especies en estudio

En esta sección se describen las tasas de absorción a utilizar en el análisis, junto con el método mediante el cual se definen sus valores. Lo anterior se presenta de forma diferenciada por cada *pool*: para la materia orgánica del suelo (Sección 3.2.1), la materia orgánica muerta (Sección 3.2.3) y la biomasa (Sección 3.2.1).

3.2.1 Materia orgánica del suelo (SOC)

En el levantamiento de información relativa a la materia orgánica del suelo, se identifican 223 valores de tasas de captura de carbono, presentadas en más de 30 estudios diferentes¹⁶, los cuales se presentan en el anexo 1, y que se pueden describir como:

- Casos de estudio temporales: donde se presentan resultados de estudios temporales, que permiten estimar la tasa de captura absoluta, la cuales se pueden caracterizar según especies y técnicas de cultivo. Son los principales resultados a utilizar en el presente estudio para estimar las tasas de absorción.

¹⁶ Algunos de estos estudios corresponden a meta-análisis que se basan en recopilaciones de múltiples estudios previos

- Estudios de comparación de técnicas y cultivos: los cuales presentan resultados comparativos entre diferentes técnicas o cultivos para ello se comparan muestras distintas, sin considerar valores absolutos, sino que relativos. Son resultados complementarios a los resultados de los casos de estudio temporales, pues al ser relativos no presentan información necesariamente útil.
- Conversión de uso de suelo: estudios enfocados en el impacto del cambio de uso de suelo. Estos resultados no son utilizados en el presente estudio.

Todos los valores recopilados se sistematizan en una base de datos, donde se incluyen campos descriptivos rescatados son la tasa de captura de carbono, el país y el periodo de estudio, la técnica de cultivo y las especies analizadas, entre otros.

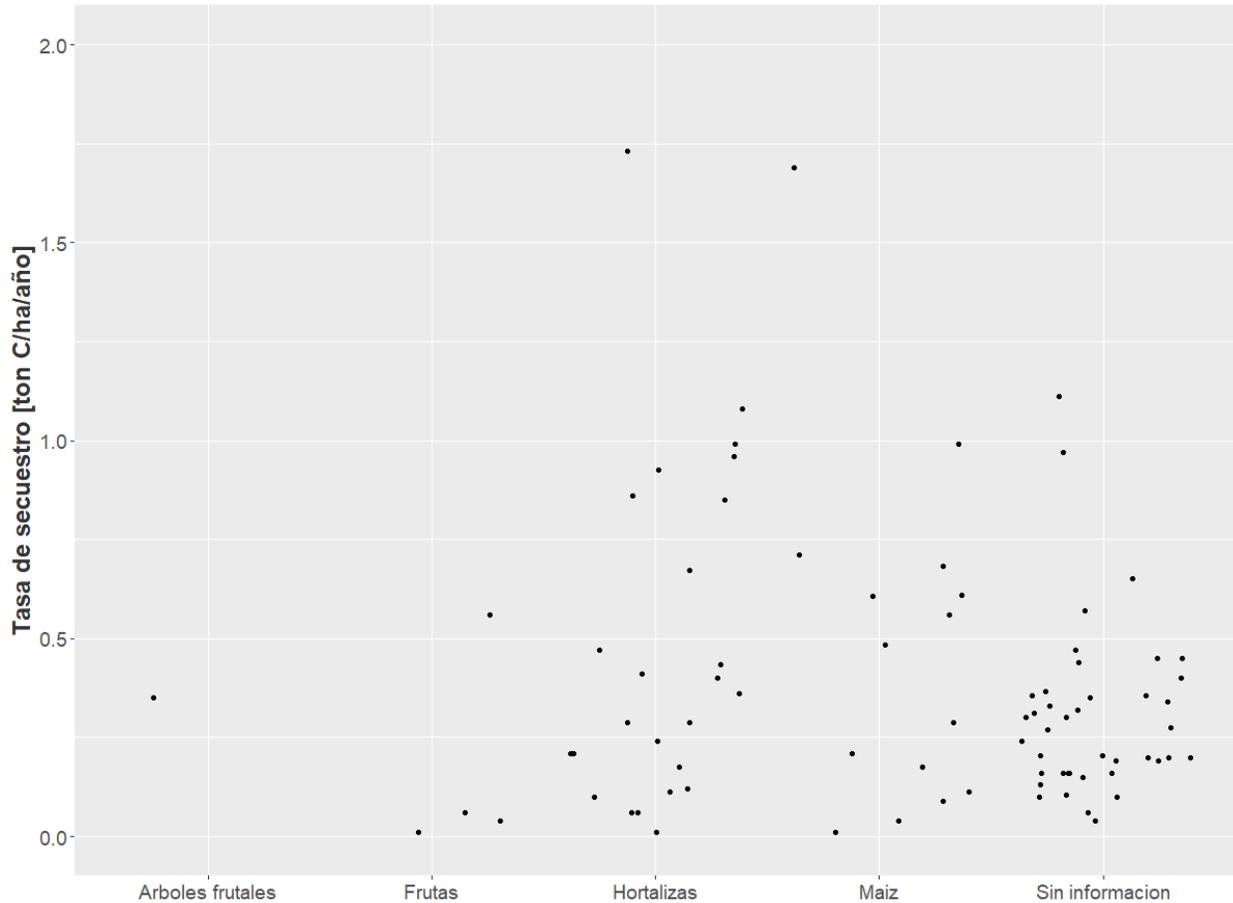
Debido a que en los estudios revisados existen diferencias en la categorización de las especies cultivadas analizadas, se hace necesario agrupar las alternativas de especies para permitir un buen manejo de la información contenida en cada uno de ellos. De modo que se define la clasificación de cultivos de interés de acuerdo a los definidos en los objetivos del estudio, que se presentan en la Tabla 3-1. De la misma manera las especies estudiadas en cada uno de los estudios bibliográficos son catalogadas en las mismas clasificaciones de cultivos, los resultados de este último ejercicio se presenta en la Figura 3-2.

Tabla 3-1 Clasificación de las especies cultivadas

Clasificación	Especies de interés
Árboles frutales	Ciruela
	Durazno conservero
	Manzano
	Mora
	Peral
Maíz	Maíz dulce
Frutas	Arándano
	Frambuesa
	Frutilla
	Kiwi
	Tomate industrial
	Uva de mesa
Hortalizas	Achicoria azucarera
	Acelga
	Alcachofa
	Arvejas
	Espárrago
	Espinaca
	Habas
	Poroto verde
Remolacha azucarera	

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Figura 3-2 Valores de tasa de captura del *pool* SOC recopilados, según la clasificación de cultivos [ton C/Ha-año]

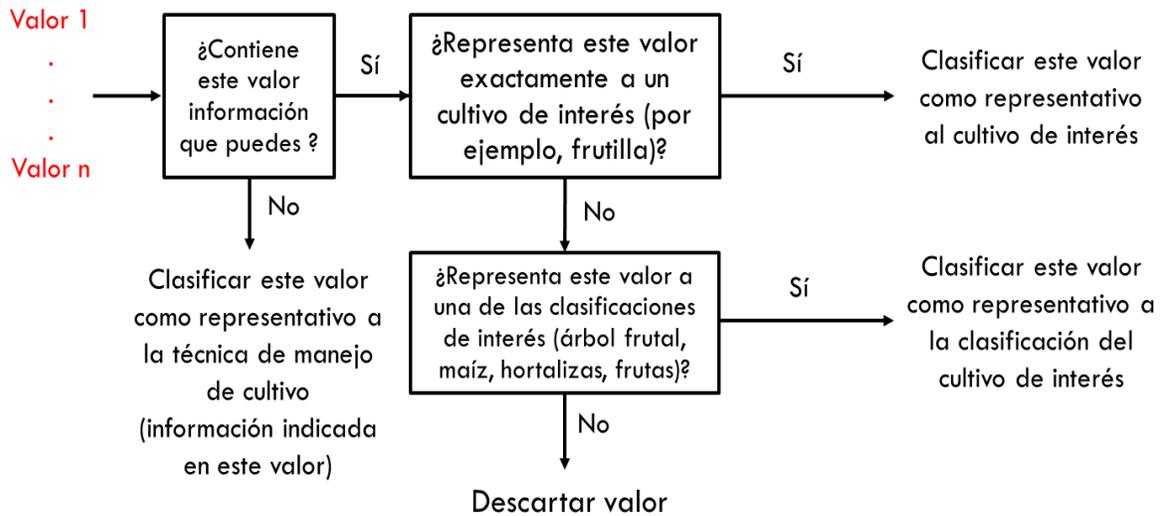


Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Es posible observar que los grupos de cultivos con más valores identificados son las hortalizas y el maíz, con la mayoría de los valores inferiores a una tonelada de C secuestrado por hectárea al año. Dos valores del grupo de hortalizas corresponden a las mayores tasas de secuestro identificadas entre los valores recopilados. Mientras que solamente se obtienen cuatro valores pertenecientes al grupo de frutas y un valor del grupo de árboles frutales. En la Figura 3-2, la categoría “Sin información” representa a aquellos valores con información únicamente relativa a la técnica de manejo empleada, pero sin datos del cultivos específico, que pueden ser utilizados como valores de referencia para el resto de las técnicas de manejo.

A partir de esta clasificación, es posible agrupar los valores representativos a utilizar en el análisis, a la vez que es posible descartar aquellos valores que no correspondan a un cultivo de interés. Para realizar este proceso de descarte, se sigue el flujo presentado en la Figura 3-3.

Figura 3-3 Esquema de proceso de clasificación de estudios

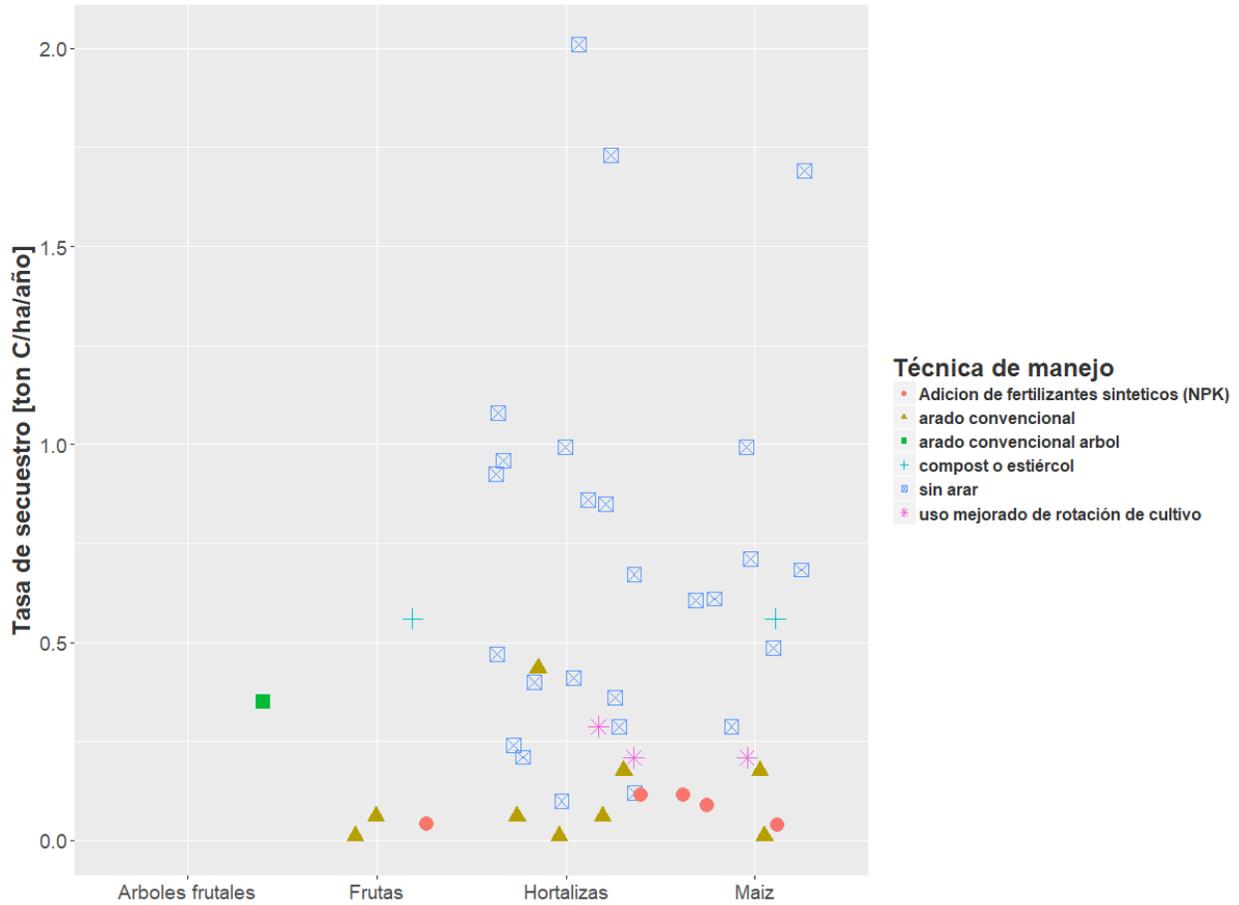


Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

De este modo, una vez que los valores de los cultivos de interés se han clasificado, es posible analizar las tasas de captura presentadas en los estudios correspondientes a cada uno de los grupos definidos.

En la Figura 3-4 se presentan los valores recopilados según los grupos de cultivos definidos, diferenciados según la técnica de manejo analizada dentro del estudio y a la que corresponde el valor obtenido. En ella es posible observar que hay dos técnicas, el manejo sin arado y el uso de compost o estiércol, cuyas tasas de captura superan a las otras técnicas.

Figura 3-4 Tasas de captura del *pool* SOC recopiladas y sus técnicas de manejo asociadas, según la clasificación de cultivos [ton C/Ha-año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Dado que las técnicas de manejo no son excluyentes entre ellas, se opta por realizar un análisis estadístico que permita distinguir agrupaciones de estas cuyos valores sean estadísticamente diferentes. En el análisis estadístico se verifica que la diferencia observada entre las dos técnicas mencionadas (sin arado y el uso de compost o estiércol) y las otras técnicas, es significativa. Por este motivo, se decide agrupar las técnicas según sus tasas de secuestro, como se muestra en la Tabla 3-2.

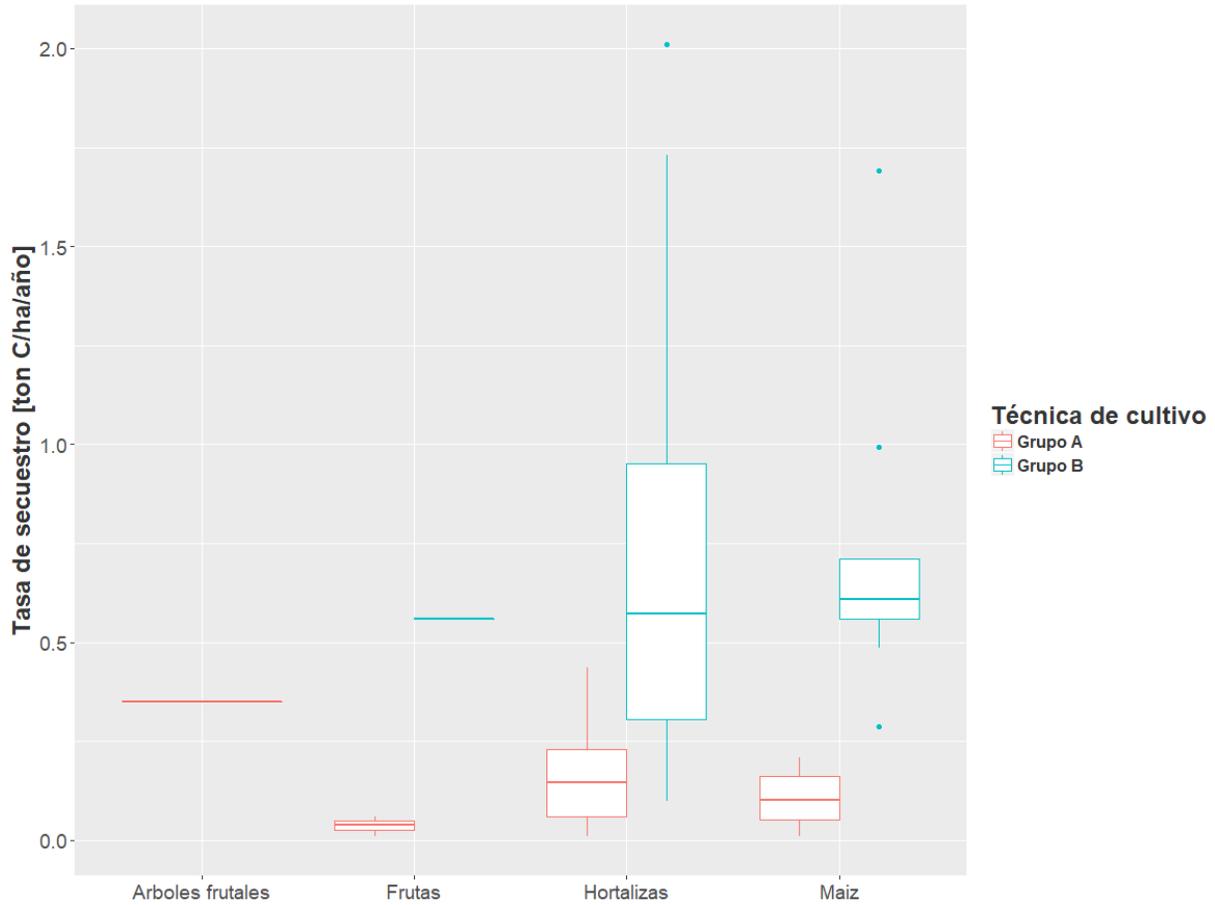
Tabla 3-2 Clasificación de técnicas de cultivo según tasa de captura

	Grupo A	Grupo B
Característica	Mayores tasas de captura.	Menores tasas de captura.
Técnicas de manejo	<ul style="list-style-type: none"> - Sin arado. - Uso de compost o estiércol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arado convencional. - Uso mejorado de rotación de cultivo. - Adición de fertilizantes sintéticos (NPK). - Arado convencional árbol.

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

A partir de esta clasificación de las técnicas de manejo de cultivo, se analizan los valores de las tasas de absorción recopiladas para los cuatro grupos de cultivos, según técnica. El resultado se presenta en la Figura 3-5, mediante *boxplots*, donde se presenta la media (línea central de la caja) y los cuartiles 25 (límite inferior de la caja) y 75 (límite superior de la caja), según grupo de cultivo y según las clasificaciones de técnicas de manejo previamente descritas. En esta figura se observa la diferencia de las tasas de absorción correspondientes a cada grupo de técnicas de manejo, de forma clara para los grupos de frutas, hortalizas y maíz.

Figura 3-5 Diagramas de caja de los valores de tasa de secuestro del *pool* SOC, según técnica de manejo y grupos de cultivo [ton C/Ha-año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

A partir de esto, se definen los valores de tasa de captura a utilizar de forma definitiva para las estimaciones asociadas con el “pool” SOC corresponden a los valores promedios del análisis estadístico que se muestra en la Figura 3-5, los cuales se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Tasas de secuestro asociado al *pool* SOC, según cultivo y según grupos de técnicas de manejo [ton C/ha-año]

Cultivos	Grupo A	Grupo B
Árboles frutales	0,350	0,350
Frutas	0,037	0,560
Hortalizas	0,165	0,858
Maíz	0,089	0,835

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

3.2.2 Materia orgánica muerta (DOM)

En el caso del *pool* de materia orgánica muerta, para todos los cultivos se asume que el valor de secuestro de carbono es cero. Esto se basa en lo que establece el IPCC en relación al método de nivel 1, en que se toma el supuesto de los residuos leñosos y de hojarasca no están presentes en las tierras de cultivo, o que se encuentran en equilibrio como en el sistema agroforestal y los huertos. En la revisión bibliográfica no se encontró evidencia consistente de que los cultivos capturaran y retuvieran el carbono en este *pool*, en un plazo mediano.

3.2.3 Biomasa (BM)

En el caso del *pool* de biomasa, solo se considera la tasa de secuestro correspondiente al grupo de cultivos árboles frutales (ver Tabla 3-1). Esto se debe a que en las especies correspondientes a los grupos hortalizas, maíz, y frutas, el almacenamiento de carbono es un ciclo. Esto significa que lo que se almacena durante el crecimiento vuelve a la atmósfera al momento del consumo o durante la cosecha, por lo tanto, no existe una captura en el *pool* de biomasa en estos grupos.

En la Tabla 3-4 se presentan los valores encontrados en dos fuentes, los valores de referencias recomendados por el IPCC en las GL2006, y los resultados de “*Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos*” (Carvajal, 2008). Estos valores buscan dar una muestra del espectro, al respecto es relevante destacar que el estudio de Carvajal, representa los resultados de una sola investigación, mientras que el valor recomendado por el GL2006 son las estimaciones realizadas en base a la revisión cruzada de múltiple evidencia científica generada al respecto.

Tabla 3-4 Tasas de secuestro asociado al *pool* BM, según cultivo, para dos escenarios [ton C/ha-año]

	GL2006 (escenario conservador)	(Carvajal, 2008) (escenario optimista)
Ciruela	2,1	3,8
Durazno conservero	2,1	5,6
Manzano	2,1	3,8
Mora	2,1	3,8
Peral	2,1	3,8
Uva de mesa	2,1	2,2
Kiwi	2,1	2,2

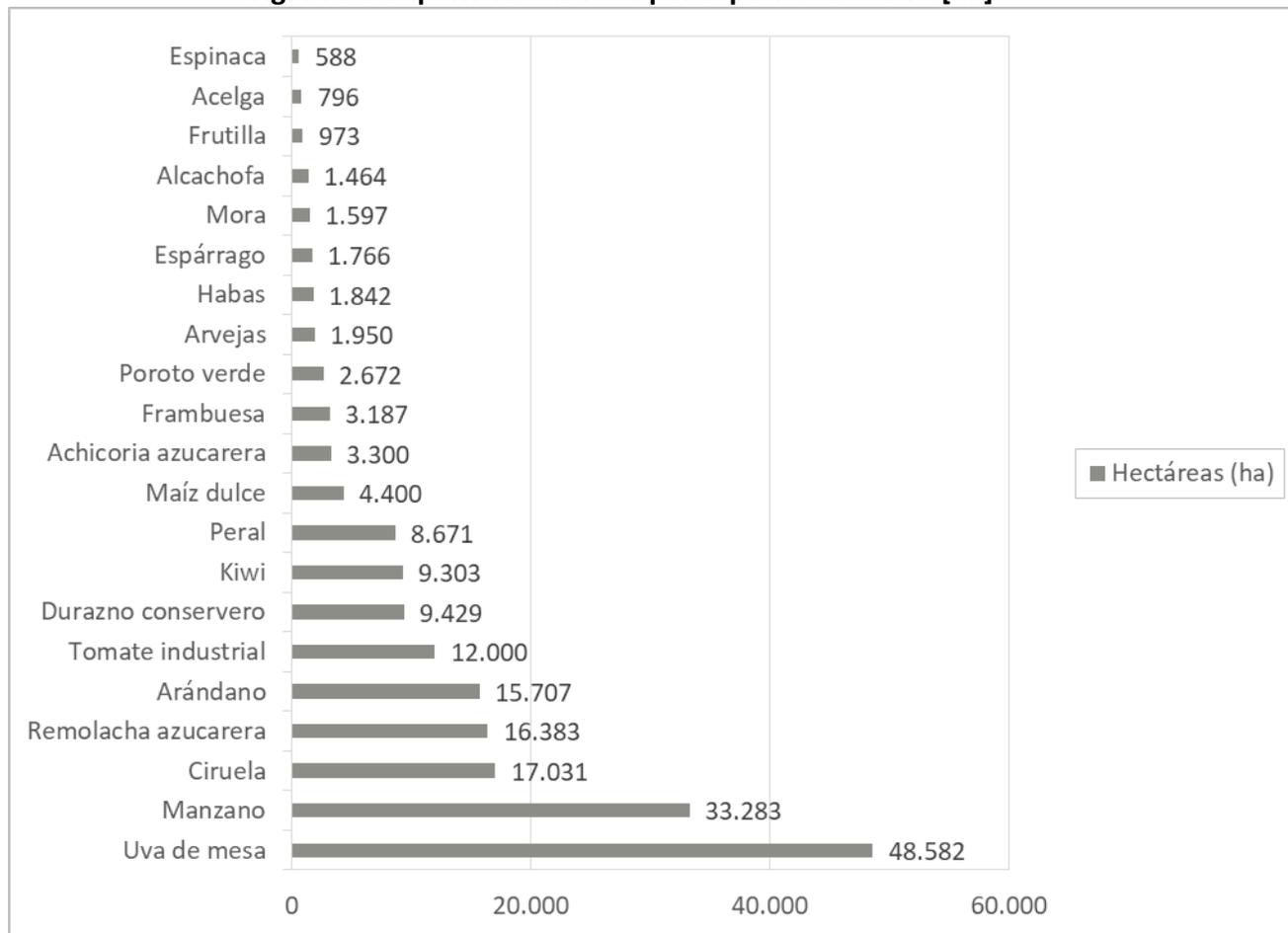
Fuente: Elaboración propia (Dictuc) en base a referencias identificadas

3.3 Caracterización de la actividad: superficie cultivada

A partir de los últimos¹⁷ datos presentados por la ODEPA para cada cultivo, es posible obtener una caracterización de la actividad agrícola a nivel nacional para las especies de interés. En la Figura 3-6 se presenta la superficie cultivada total detallado para cada una de las especies de interés. La superficie total cultivada de estas especies en el país es cercana a 195 mil hectáreas, donde las especies más representativas según área son la uva de mesa (24,9%) y el manzano (17,1%).

¹⁷ Los datos presentados por ODEPA varían en el año de información de acuerdo a la región, aunque todos se encuentra entre el período 2015-2017, se considera que sería representativo de la situación actual

Figura 3-6 Superficie cultivada por especie de cultivo [ha]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc) en base a datos de ODEPA, datos 2015-2017, salvo de achicoria azucarera y maíz dulce donde los datos fueron provistos vía email (18 mayo 2018 y 10 julio 2018) por la contraparte técnica, corresponderían a superficie cultivada en el año agrícola 2017-2018.

Según la información provista por la contraparte, la superficie agrícola correspondiente a los socios de Chilealimentos se puede representar por solo seis especies cultivadas, cada una de ellas con su terreno cultivado asociado, tal como se muestra en la Tabla 3-5. En esta se puede observar que, de un total de 67,9 mil hectáreas industriales, las principales especies corresponden a la remolacha azucarera y el manzano, donde cada una de ellas corresponden a cerca de un cuarto de la superficie total.

Tabla 3-5 Superficie cultivada por especie de cultivo socios Chilealimentos [ha]

Cultivos	Total	Industrial	Fresco
Uva de mesa	48.582	10.205	38.377
Manzana	33.283	16.642	16.642
Durazno conservero	9.429	9.429	
Tomate industrial	12.000	12.000	
Remolacha	16.383	16.383	
Achicoria	3.300	3.300	
Total	122.977	67.959	55.019

Fuente: Datos correspondientes a superficie agrícola 2017-2018, provistos por contraparte técnica, vía email (12 de junio 2018)

4. Absorción de CO₂ de especies en estudio

Siguiendo la metodología descrita en la Sección 3.1, y considerando las tasas de absorción recogidas de la literatura de acuerdo a lo descrito en la Sección 3.2 se desarrolla un modelo que permite la estimación de la absorción anual de CO₂ por los cultivos de las especies de interés. Los niveles de actividad, es decir, la superficie cultivada considerada, es explicitada en la Sección 3.3.

Se consideran dos escenarios de tasa de captura: conservador y optimista. Mientras el escenario conservador corresponde a las tasas promedio de capturas más bajas¹⁸ para cada *pool*, el escenario optimista considera las tasas promedio de capturas más altas¹⁹.

4.1 Escenario de superficie cultivada ODEPA

Captura en *pool* BM

La Tabla 4-1 presenta la captura total estimada de CO₂ en la biomasa de cada uno de los cultivos. De acuerdo a los lineamientos establecidos en las GL2006 (IPCC, 2006b), es necesario que la captura se mantenga al menos en el mediano plazo, situación que ocurre solamente en los cultivos asociados a árboles, típicamente frutales. Se observa que el escenario optimista estima un 53% más de captura que el escenario conservador, estando el valor de captura anual de CO₂ entre un millón y un millón y medio de toneladas.

Tabla 4-1 Captura de CO₂ estimada en BM según escenarios [ton CO₂/año]

Cultivo	Escenario conservador	Escenario optimista
Ciruela	131.135	237.292
Durazno conservero	72.602	193.605
Manzano	256.275	463.737
Mora	12.301	22.258
Peral	66.766	120.814
Kiwi	71.636	75.047
Uva de mesa	371.157	391.896
Total	981.873	1.504.650

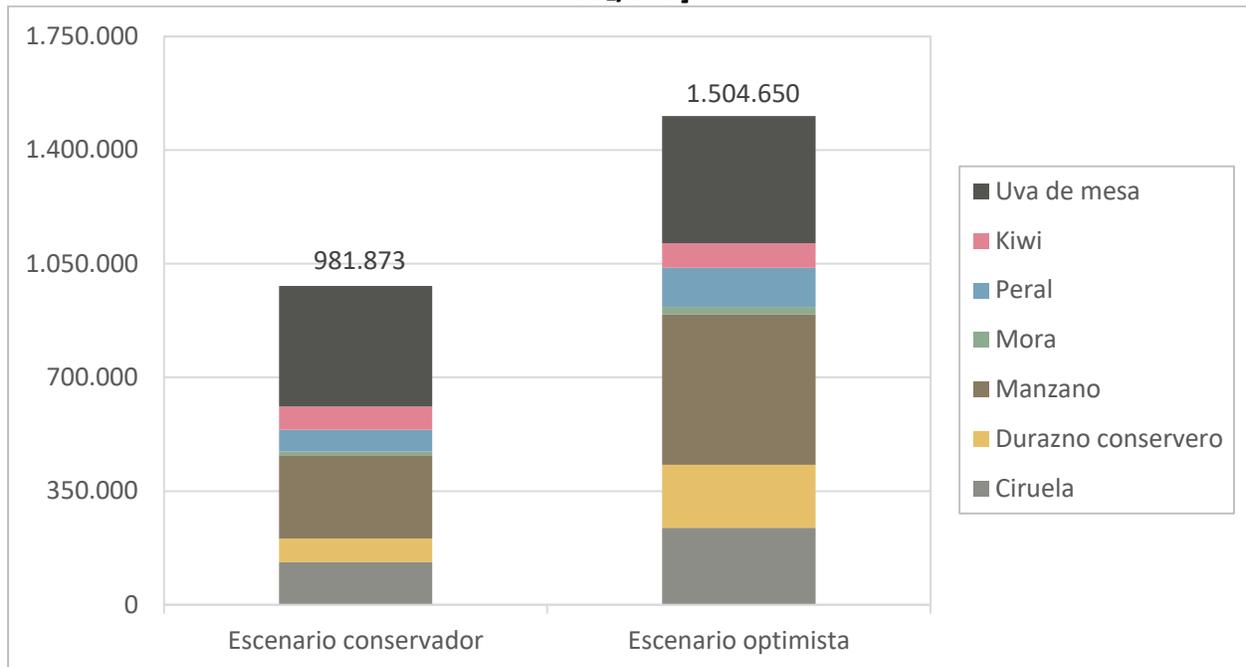
Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

La Figura 4-1 presenta gráficamente esta comparación. Se destaca el manzano y la uva de mesa como los cultivos con mayor captura en biomasa, lo cual se asocia al alto número de hectáreas consideradas. Cabe destacar que en el escenario optimista, a pesar de que la uva de mesa tiene mayor superficie cultivada que los manzanos, tiene menor captura pues su tasa de absorción es menor.

¹⁸ Es decir, las tasas de captura del grupo A de técnicas para la captura en SOC y las tasas de captura por defecto de las GL2006 para biomasa.

¹⁹ Es decir, las tasas de captura del grupo B de técnicas para la captura en SOC y las tasas de captura en biomasa obtenidas desde la investigación de (Carvajal, 2008)

Figura 4-1 Captura de CO₂ estimada en Biomasa según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Captura en *pool* SOC

La Tabla 4-2 presenta la captura anual de CO₂ estimada en SOC por tipo de cultivo. El escenario optimista estima una captura 300% mayor que el escenario conservador. La captura total estimada de CO₂ está dentro del rango de 126 a 377 mil toneladas por año.

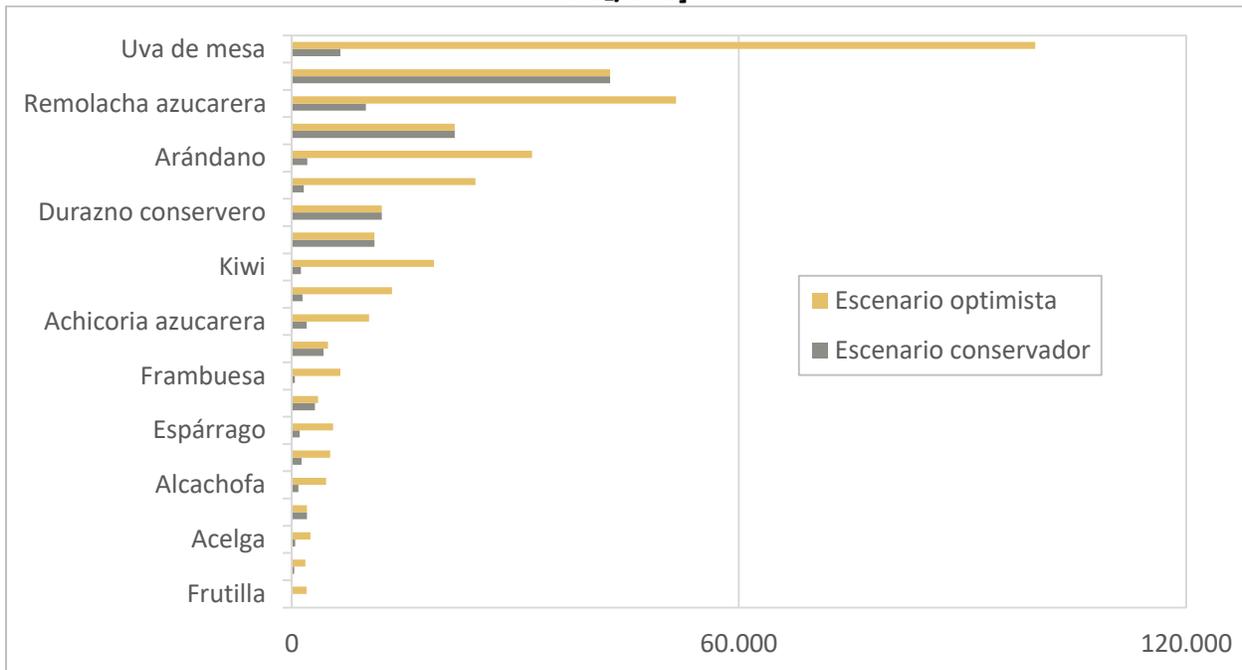
Tabla 4-2 Captura de CO₂ estimada en SOC según escenarios [ton CO₂/año]

Cultivo	Escenario conservador	Escenario optimista
Frutilla	131	1.999
Espinaca	357	1.849
Acelga	483	2.507
Mora	2.050	2.050
Alcachofa	888	4.609
Habas	1.336	5.162
Espárrago	1.071	5.557
Arvejas	3.111	3.543
Frambuesa	428	6.543
Poroto verde	4.261	4.854
Achicoria azucarera	2.002	10.387
Maíz dulce	1.438	13.473
Kiwi	1.251	19.103
Peral	11.128	11.128
Durazno conservero	12.101	12.101
Tomate industrial	1.613	24.640
Arándano	2.112	32.253
Ciruela	21.856	21.856
Remolacha azucarera	9.938	51.580
Manzano	42.713	42.713
Uva de mesa	6.532	99.755
Total	126.800	377.662

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Las diferencias entre escenarios son mayores en el maíz dulce, uva de mesa, arándano y tomate industrial, siendo estos los cultivos que conllevan la mayor cantidad de carbono capturado (ver Figura 4-2).

Figura 4-2 Captura de CO₂ estimada en SOC según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Captura total

La Tabla 4-3 presenta la captura total de CO₂ estimada tanto en biomasa como en SOC. El escenario optimista estima una captura un 85% mayor que el escenario conservador. La captura total estimada se encuentra en un rango entre 1,1 millones a 1,9 millones toneladas anuales de CO₂.

Tabla 4-3 Captura de CO₂ estimada según *pool*, escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]

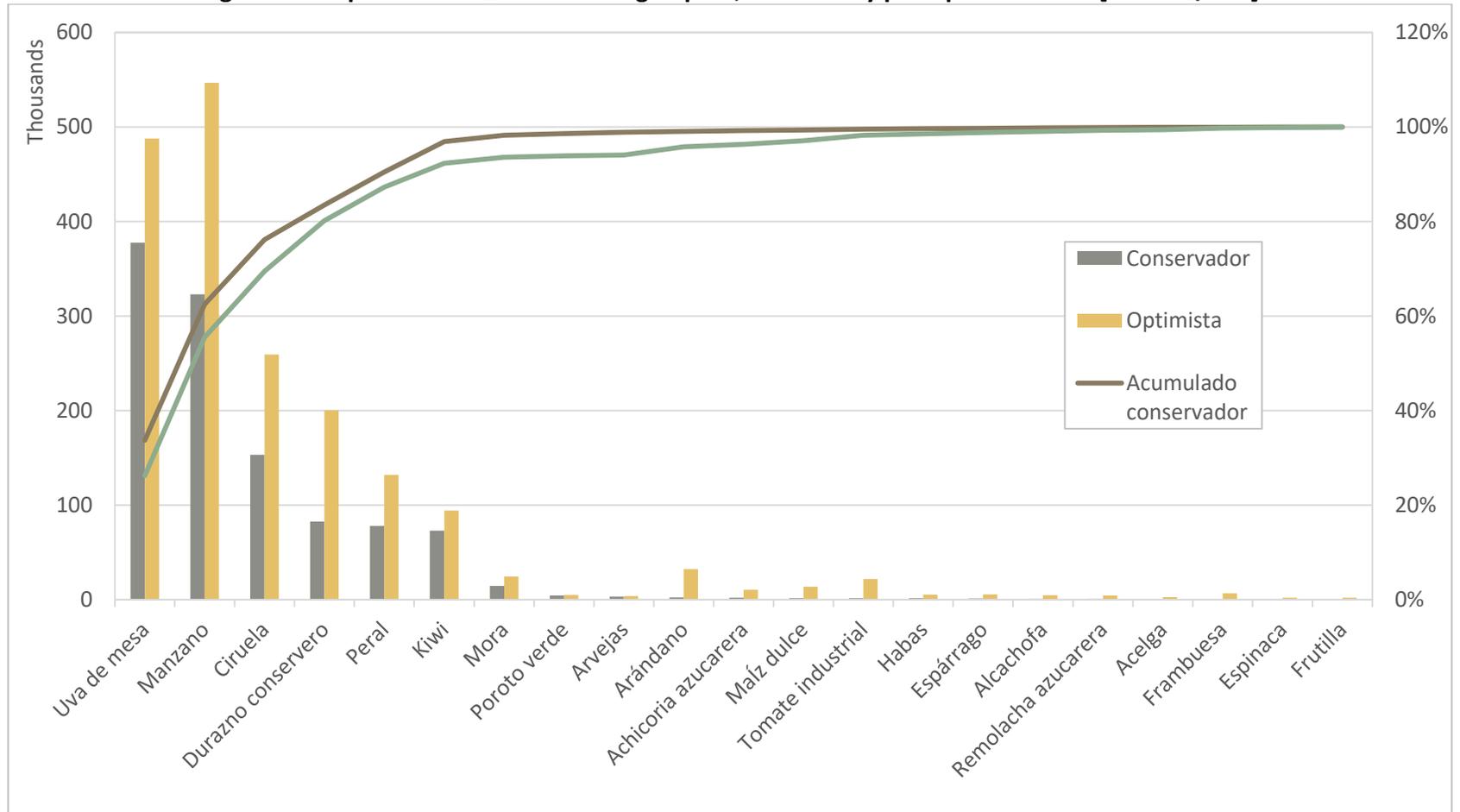
Cultivo	Escenario conservador			Escenario optimista		
	SOC	Biomasa	Total	SOC	Biomasa	Total
Frutilla	131		131	1.999		1.999
Espinaca	357		357	1.849		1.849
Acelga	483		483	2.507		2.507
Mora	2.050	12.301	14.351	2.050	22.258	24.308
Remolacha azucarera	9.938		9.938	51.580		51.580
Alcachofa	888		888	4.609		4.609
Habas	1.336		1.336	5.162		5.162
Espárrago	1.071		1.071	5.557		5.557
Arvejas	3.111		3.111	3.543		3.543
Frambuesa	428		428	6.543		6.543
Poroto verde	4.261		4.261	4.854		4.854
Achicoria azucarera	2.002		2.002	10.387		10.387
Kiwi	1.251	71.636	72.887	19.103	75.047	94.150
Peral	11.128	66.766	77.894	11.128	120.814	131.942
Tomate industrial	1.613		1.613	24.640		24.640
Durazno conservero	12.101	72.602	84.703	12.101	193.605	205.706
Arándano	2.112		2.112	32.253		32.253
Ciruela	21.856	131.135	152.991	21.856	237.292	259.148
Manzano	42.713	256.275	298.989	42.713	463.737	506.450
Uva de mesa	6.532	371.157	377.689	99.755	391.896	491.652
Maíz dulce	1.438		1.438	13.473		13.473
Total	126.800	981.873	1.108.673	377.662	1.504.650	1.882.312

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

La Figura 4-3 presenta simultáneamente la captura en cada tipo de cultivo, diferenciando por SOC y biomasa y por tipo de escenario. Se observa que los principales cultivos que capturan CO₂ corresponden a la uva de mesa, manzano, ciruela, durazno conservero, peral y kiwi; y mayoritariamente la captura ocurre en la biomasa.

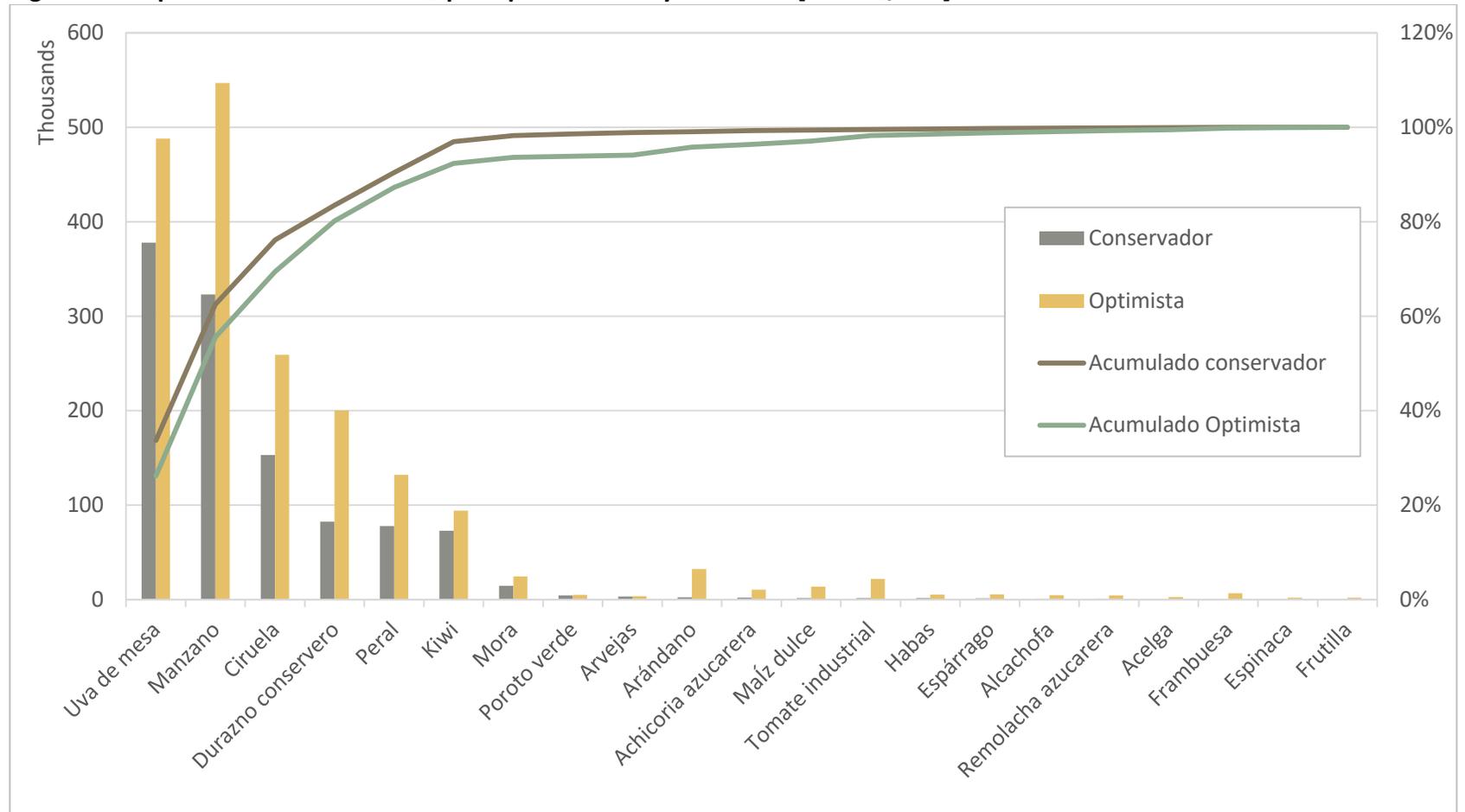
Otro análisis interesante se presenta en la Figura 4-4, donde se entrega la curva acumulada. Por ejemplo, esta figura permite observar que, en el escenario conservador, cinco especies de cultivos (Uva de mesa, manzano, ciruelo, durazno conservero y peral) representan el 90% de la captura total de los cultivos de interés. Esto responde en gran medida puesto que son especies con árbol, y luego con captura en biomasa. Al respecto se destaca que en el escenario conservador, la captura en biomasa es el 89% de la captura total, mientras que en el escenario optimista la biomasa representa el 80% de la captura total.

Figura 4-3 Captura de CO₂ estimada según pool, escenario y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Figura 4-4 Captura acumulada de CO₂ por tipo de cultivo y escenario [tonCO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

4.2 Escenario superficie cultivada selección Chilealimentos

A continuación, se presentan los resultados para la superficie cultivada para un subconjunto de especies de cultivo entregado por Chilealimentos, el detalle de esto se puede observar en la Sección 3.3.

Captura en *pool* BM

La Tabla 4-4 presenta la captura total estimada de CO₂ para la biomasa. Esta captura sucede solamente en cultivos con árbol, típicamente frutales. En el caso del subconjunto de especies considerados por Chilealimentos, estos son solo tres especies: Durazno Conservero, Manzanos, y Uva de Mesa. Se observa que el escenario optimista estima un 82% más de captura que el escenario conservador, estando el valor de captura anual de CO₂ entre 280 y 507 mil toneladas. Destaca que los manzanos representan casi la mitad de la capturas en ambos escenarios.

Tabla 4-4 Captura de CO₂ estimada en Biomasa según escenarios [ton CO₂/año]

Cultivo	Escenario conservador	Escenario optimista
Durazno conservero	72.603	193.577
Manzano	128.143	231.823
Uva de mesa	78.579	82.354
Total	279.325	507.755

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Captura en *pool* SOC

La Tabla 4-2 presenta la captura anual de CO₂ estimada en SOC por cada uno de las seis especies de cultivos del subconjunto seleccionado por Chilealimentos. El escenario optimista estima una captura 192% mayor que el escenario conservador. La captura total estimada de CO₂ está dentro del rango de 50 a 140 mil toneladas por año.

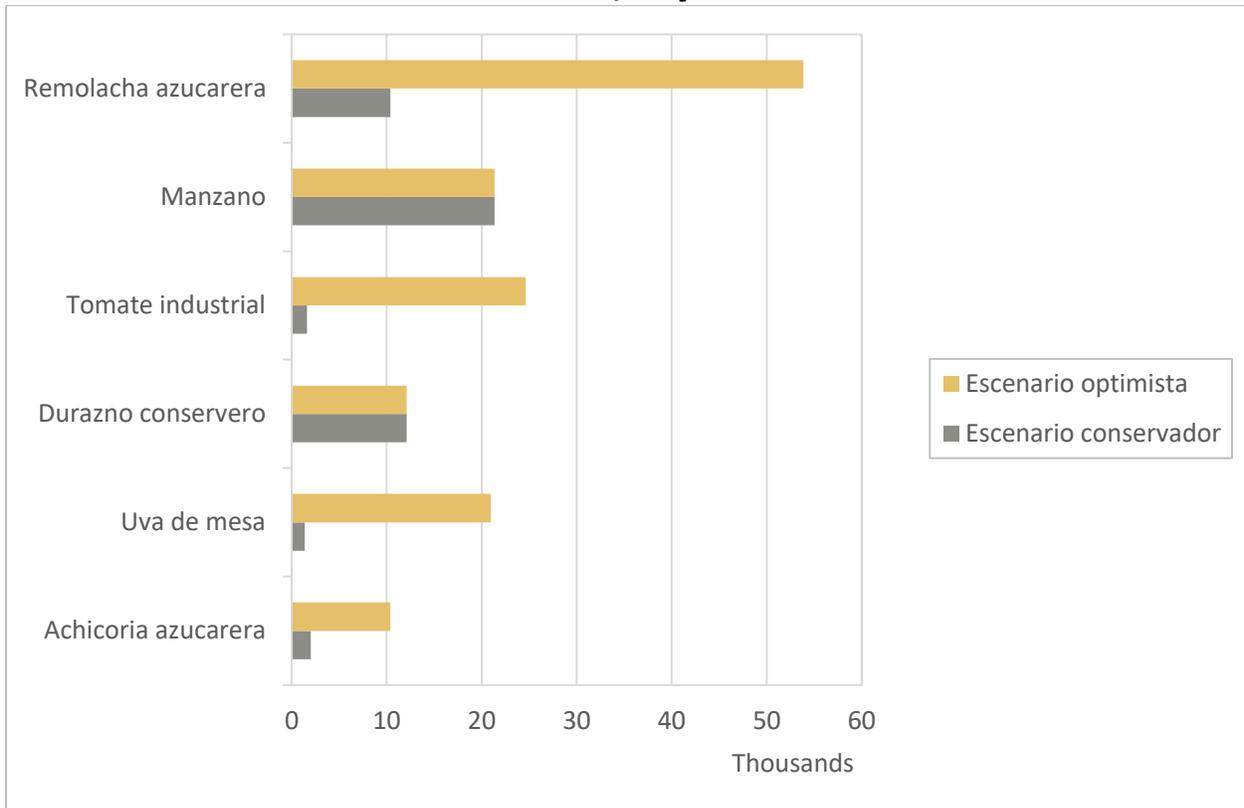
Tabla 4-5 Captura de CO₂ estimada en SOC según escenarios [ton CO₂/año]

Cultivo	Escenario conservador	Escenario optimista
Achicoria azucarera	2.013	10.395
Uva de mesa	1.327	20.920
Durazno conservero	12.069	12.069
Tomate industrial	1.560	24.600
Manzano	21.302	21.302
Remolacha azucarera	9.994	51.606
Total	48.264	140.893

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Las diferencias entre escenarios son mayores en la remolacha azucarera, uva de mesa y tomate industrial, siendo estos los cultivos que conllevan la mayor cantidad de carbono capturado (ver Figura 4-5). Se destaca que el escenario optimista corresponde a aquellas técnicas de cultivo en las que no se considera arado y/o se considera el uso de fertilizantes orgánicos, en lugar de sintéticos, ver Sección 3.2.1.

Figura 4-5 Captura de CO₂ estimada en SOC según escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

Captura total

La Tabla 4-6 presenta la captura total de CO₂ estimada tanto en biomasa como en SOC. El escenario optimista estima una captura un 98% mayor que el escenario conservador. La captura total estimada se encuentra en un rango entre 330 a 650 mil toneladas anuales de CO₂.

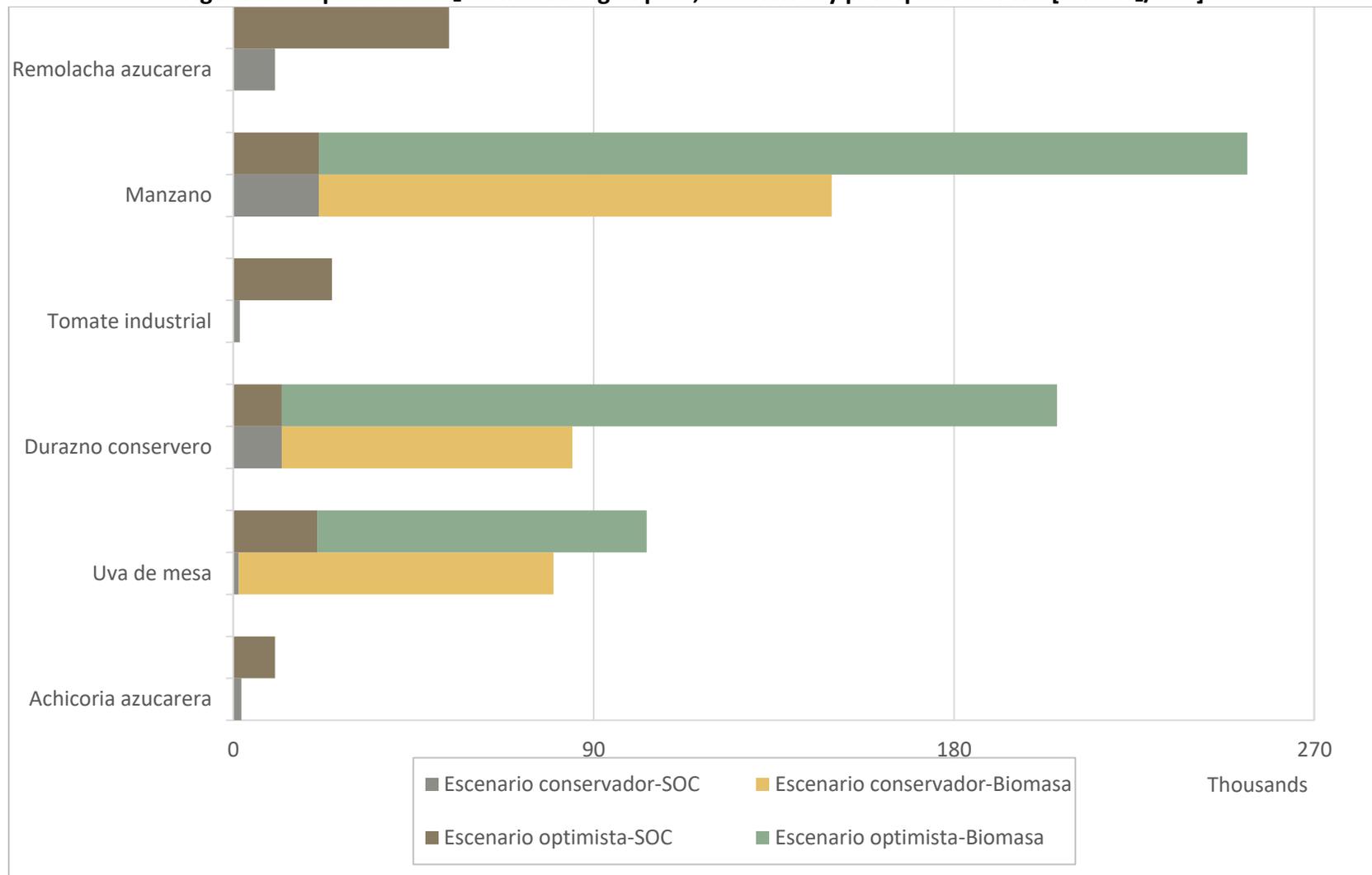
Tabla 4-6 Captura de CO₂ estimada según *pool*, escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]

Cultivo	Escenario conservador			Escenario optimista		
	SOC	Biomasa	Total	SOC	Biomasa	Total
Achicoria azucarera	2.013	0	2.013	10.395	0	10.395
Uva de mesa	1.327	78578,5	79.905	20.920	82354,35	103.275
Durazno conservero	12.069	72603,3	84.672	12.069	193577,37	205.646
Tomate industrial	1.560	0	1.560	24.600	0	24.600
Manzano	21.302	128143,4	149.445	21.302	231823,06	253.125
Remolacha azucarera	9.994	0	9.994	51.606	0	51.606
Total	48.264	279.325	327.589	140.893	507.755	648.647

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

La Figura 4-6 presenta simultáneamente la captura en cada tipo de cultivo, diferenciando por *pool*, por especie y por escenario de captura. Se observa que los principales cultivos que capturan CO₂ corresponden al manzano, durazno conservero y uva de mesa; y mayoritariamente la captura ocurre en la biomasa.

Figura 4-6 Captura de CO₂ estimada según pool, escenarios y por tipo de cultivo [ton CO₂/año]



Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

5. Conclusiones y comentarios respecto al impuesto verde

Si bien, el impuesto a las emisiones de fuentes fijas es catalogable como un impuesto verde pues grava directamente las emisiones de contaminantes, este se enmarca en una reforma tributaria mayor la cual cuenta con cuatro objetivos explicitados en el mensaje presidencial al presentar la reforma tributaria al congreso (Presidencia de la República, 2014):

- Aumentar la carga tributaria para financiar, con ingresos permanentes, los gastos permanentes de la reforma educacional, otras políticas de ámbito de la protección social y el déficit estructural en las cuentas fiscales
- Avanzar en equidad tributaria, mejorando la distribución del ingreso
- Introducir nuevos y más eficientes mecanismos de incentivos al ahorro e inversión
- Avanzar en medidas que disminuyan la evasión y la elusión.

Como se observa el objetivo de la reforma no se relaciona con temas medioambientales, aun así en el mismo mensaje presidencial (2014) se plantea que para aumentar la recaudación, se debe *“subir la carga tributaria a las rentas del capital y aumentar los impuestos ligados al cuidado del medio ambiente”*. En específico, respecto a las fuentes fijas se establece que este impuesto *“operará como una forma de estimular el cambio hacia tecnologías limpias”*.

De acuerdo a las estimaciones preliminares del Ministerio de Hacienda facilitadas por la contraparte, se esperaba el pago de 1,8 MMUSD/año por emisiones de CO₂ asociadas a la combustión de combustibles fósiles en las calderas de los socios de Chilealimentos. Esto equivaldría a una emisión de 360 mil toneladas de CO₂. Esta magnitud de emisiones es comparable con la absorción estimada para ambos escenarios (ver Sección 4.2), siendo de un 10% superior a la estimada en el escenario conservador. Por su parte, la absorción estimada para el escenario con tasas de captura optimistas, supera de forma significativa dichas emisiones.

Si solo se consideran las emisiones de las calderas y la absorción estimada en la Sección 4.2, se puede argumentar que las emisiones netas de CO₂ de los socios de Chilealimentos son bastante menores que las que están siendo gravadas. Sin embargo, esta estimación no considera otras emisiones de CO₂ asociadas a la actividad agrícola, tales como la combustión en maquinaria de combustibles fósiles, el transporte en camiones y el consumo eléctrico. De esta forma, la misma línea argumental que considere la absorción de CO₂ como una forma de reducir el impuesto a pagar, puede ser utilizada para argumentar la inclusión de estas emisiones en la estimación del pago final.

Por lo demás, es técnicamente compleja la medición y verificación de las emisiones y absorciones que ocurren en múltiples fuentes pequeñas o en superficies extendidas, a diferencia de las emisiones que ocurren en las grandes calderas. Hasta la fecha, en el contexto de los impuestos verdes los costos de medición han corrido por parte de las fuentes emisoras, y presumiblemente

lo mismo ocurriría con nuevas fuentes de emisión y/o absorción, implicando costos adicionales asociados a la ampliación del alcance del impuesto verde.

Desde el punto de vista de los esfuerzos para mitigar las emisiones GEI para cumplir con los compromisos internacionales, el INGEI de Chile reporta las siguientes emisiones para el sector agrícola:

Tabla 5-1 Extracto de INGEI respecto a emisiones de actividad agrícola, año 2013 [Gg]

Categoría de Fuente/Sumidero	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e (1)
3.C.1 Emisiones no CO₂ por quema de biomasa		2,7	0,1	87,7
2.C.2 Encalado	12,8			12,8
2.C.3 Aplicación de Urea	40,9			40,9
3.C.4 Emisiones directas de N₂O de suelos gestionados			19,3	5.983,0
3.C.5 Emisiones indirectas de N₂O de suelos gestionados			5,3	1.643,0
3.C.6 Emisiones indirectas de N₂O de la gestión del estiércol			0,5	155,0
3.C.7 Cultivo de arroz		4,2		88,2
Total 3.C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra	533,8	6,9	25,3	8.521,7

(1) Estimado usando los PCG-100 del AR2, ver capítulo 1 de Antecedentes

Fuente: Extracto de (MMA, 2016b)

Adicionalmente existen emisiones adicionales por cambio en el uso de suelos para cultivos, con una magnitud de 188,2 Gg de CO₂. De esta forma, actualmente el inventario considera al sector agrícola como un emisor neto de GEI, con emisiones en torno a los 8.700 Gg de CO₂e. Al respecto es interesante considerar un par de puntos:

- Estas emisiones corresponden sólo al 7,9% del total de emisiones en términos de CO₂e (109.909 Gg de CO₂e). En contraste el sector generación, el principal afectado por el impuesto verde, genera el 35,0%²⁰ de las emisiones de acuerdo con los valores publicados por el INGEI (MMA, 2016b).
- Si se consideran sólo las emisiones de CO₂, las únicas emisiones de GEI gravadas por el impuesto, aun cuando se sumen otras emisiones de CO₂ por la combustión de maquinaria, camiones y calderas, el aporte del sector agrícola es bastante menor.
- En ambos casos, ya sea en términos de CO₂ o de CO₂e, la fracción correspondiente a los socios de Chilealimentos es aún menor.
- Si a esto se le descuenta el aporte por absorción de los cultivos asociados a Chilealimentos, que de acuerdo a los resultados presentados en el presente estudio estarían entre los 330 y 650 Gg, los aportes del sector son relativamente pequeños en comparación con otros sectores productivos del país.

El INGEI reconoce como las subcategorías principales de generación las industrias de la energía, la industria manufactureras y de la construcción y el transporte, las cuales tienen emisiones de 38.518 Gg, 14.282 Gg y 24.545 Gg de CO₂e. Las emisiones de las calderas de los socios de Chilealimentos estarían contabilizadas en las emisiones de la subcategoría industria

²⁰ De acuerdo al INGEI, las emisiones de la industria de la energía alcanzan las 38.518 Gg de CO₂e

manufactureras y de la construcción. Los 360 Gg estimados preliminarmente por el Ministerio de Hacienda, corresponden a un 2,5% de esta subcategoría, y tan sólo un 0,32% del total de emisiones inventariadas.

Este bajo aporte a las emisiones de CO₂ se explica en gran parte por la estacionalidad propia de la actividad, que se traduce en grandes establecimiento en términos de potencia térmica de sus calderas, pero con un uso acotado en el tiempo.

El impuesto verde grava las emisiones atmosféricas de establecimientos que tengan una potencia térmica mayor o igual a 50 MWt en calderas y/o turbinas (excluyendo otros modos de combustión), de modo que para el año 2017 a nivel nacional son 85 los establecimientos afectos a este instrumento (MMA, 2016a), mientras que para el año 2018 el número de establecimientos identificados aumentó a 110 (MMA, 2017b).

Los establecimientos asociados de Chilealimentos, que de forma conjunta tienen emisiones equivalentes al 0,32% de las emisiones totales están incluidas dentro del subconjunto de establecimientos gravados. Esto es algo que al menos debe ser analizado desde el punto de vista de la eficiencia del instrumento y respecto a lo planteado originalmente en el mensaje presidencial de la reforma tributaria, en el que se plantea este impuesto *“operará como una forma de estimular el cambio hacia tecnologías limpias”* (Presidencia de la República, 2014). Cabe destacar que a diferencia de lo que ocurre en el sector generación eléctrica, donde existen variadas alternativas para reemplazar la combustión de combustibles fósiles, la actividad industrial tiene menos alternativas.

6. Bibliografía

- Aguilera, E., Guzman, G., & Alonso, A. (2015). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 713–724. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0267-9>
- Aguilera, E., Guzmán, G., & Alonso, A. (2015). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 725–737. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0265-y>
- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 168, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., López, M. V., & Arrúe, J. L. (2007). Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 96(1–2), 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.003>
- Autret, B., Mary, B., Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., ... Beaudoin, N. (2016). Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008>
- Batjes, N. (1999). Management options for reducing CO₂-concentration in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil, Report 410-200-031. *Options*, (952282). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Management+options+for+reducing+CO+2-concentration+in+the+atmosphere+by+increasing+carbon+sequestration+in+the+soil,+Report+410-200-031#0>
- Carvajal, M. (2008). Investigación sobre la absorción de CO₂, por los cultivos más representativos de la región de Murcia.
- da Rocha, H. R., de Freitas, H. C., Rosolem, R., Tannus, R. N., Robinson, N., Ligo, M. V., & Cabral, O. M. R. (2005). AS RELAÇÕES ENTRE A VEGETAÇÃO E O MEIO FÍSICO NO CERRADO PÉ-DE-GIGANTE Ciclo do Carbono. In *Ciclo de Carbono*. Retrieved from <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1024705/1/2005CL003.pdf>
- Espada, J. L. (2013). Los árboles frutales como sumideros de CO₂ desempeñan un importante servicio ambiental. *Informaciones Técnicas*, (248), 12.
- Eve, M. D., Sperow, M., Paustian, K., & Follett, R. F. (2002). National-scale estimation of changes in soil carbon stocks on agricultural lands. *Environmental Pollution*, 116(3), 431–438. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00220-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00220-2)
- González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., & Gil-Ribes, J. A. (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 122, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.001>
- Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J., & Dendooven, L.

- (2009). Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3), 97–122. <https://doi.org/10.1080/07352680902776358>
- Halvorson, A. D., Wienhold, B. J., & Black, A. L. (2002). Tillage, Nitrogen, and Cropping System Effects on Soil Carbon Sequestration. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 906–912. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.0906>
- Hester, R. E., & Harrison, R. M. (2010). *Carbon Capture Sequestration and Storage*. Chemistry & ... Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2–4), 288–302. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.030>
- IGBP Terrestrial Carbon working group. (1998). The Terrestrial Carbon Cycle: Implications for the Kyoto Protocol. *Science*, 280(5368), 1393–1394. Retrieved from <http://science.sciencemag.org/content/280/5368/1393.full>
- IPCC. (2006a). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. *Energy*, 20.
- IPCC. (2006b). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI.
- IPCC. (2006c). *Directrices para la elaboración de inventarios*.
- IPCC. (2014). *Anexo II: Glosario. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- IPCC, Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. *Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan*.
- Jarecki, M. K., & Lal, R. (2003). Crop management for soil carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(6), 471–502. <https://doi.org/10.1080/713608318>
- Johnson, J. M. F., Franzluebbers, A. J., Weyers, S. L., & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, 150(1), 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.030>
- Kane, D. (2015). Carbon sequestration potential on agricultural lands: A review of current science and available practices, (November), 34.
- Kell, D. B. (2012). Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1595), 1589–1597. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0244>
- Kong, A. Y. Y., Six, J., Bryant, D. C., Denison, R. F., & van Kessel, C. (2005). The Relationship between Carbon Input, Aggregation, and Soil Organic Carbon Stabilization in Sustainable Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4), 1078. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0215>
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *American Association for the Advancement of Science*, 304(5677), 1623–7. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lasco, R. D., Ogle, S., Raison, J., Verchot, L., Wassmann, R., Yagi, K., ... Smith., P. (2006). IPCC - Tierras de cultivo. *Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 1–74.

- Lokupitiya, E., & Paustian, K. (2006). Agricultural Soil Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Environment Quality*, 35(4), 1413. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0157>
- Mathew, I., Shimelis, H., Mutema, M., & Chaplot, V. (2017). What crop type for atmospheric carbon sequestration: Results from a global data analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 243(April), 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.008>
- Matsuura, E., Komatsuzaki, M., & Hashimi, R. (2018). Assessment of Soil Organic Carbon Storage in Vegetable Farms Using Different Farming Practices in the Kanto Region of Japan. *Sustainability*, 10(1), 152. <https://doi.org/10.3390/su10010152>
- Merante, P., Dibari, C., Ferrise, R., Sánchez, B., Iglesias, A., Lesschen, J. P., ... Bindi, M. (2017). Adopting soil organic carbon management practices in soils of varying quality: Implications and perspectives in Europe. *Soil and Tillage Research*, 165, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.001>
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., ... Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, E. (2018). Iniciativa 4 por mil: El Carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España.
- Ministerio de Hacienda. (2014). Ley 20.780 - Reforma tributaria que modifica el sistema de tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el sistema tributario.
- MMA. (2016a). RE 1333 - Fija listado de establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas pueden encontrarse en la situación del inciso primero del artículo 8° de la ley 20.780 y de las comunas que han sido declaradas como saturadas o latentes p.
- MMA. (2016b). *Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático*.
- MMA. (2017a). *Impuestos Verdes En Chile : Implementación y seguimiento*. Presentación en Talleres SMA -MMA Septiembre 2017.
- MMA. (2017b). Res. 1380 - FIJA LISTADO DE ESTABLECIMIENTOS QUE SE ENCUENTRAN EN LA SITUACIÓN DEL INCISO PRIMERO DEL ARTICULO 8° DE LA LYE N° 20.780 Y DE LAS COMUNAS QUE HAN SIDO DECLARADAS COMO SATURADAS O LATANTES PARA EFECTOS DEL IMPUESTO ESTABLECIDO EN ESTA LEY.
- Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H. H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., ... Woomer, P. L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management*, 13(4 SUPPL.), 230–244. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1997.tb00594.x>
- Presidencia de la República. (2014). MENSAJE DE S.E. LA PRESIDENTA DE LA REPUBLICA CON EL QUE INICIA UN PROYECTO DE LEY DE REFORMA TRIBUTARIA QUE MODIFICA EL SISTEMA DE TRIBUTACIÓN DE LA RENTA E INTRODUCE DIVERSOS AJUSTES EN EL SISTEMA TRIBUTARIO.
- Smith, P. (2004). Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.002>
- Smith, P., Powlson, D., Glendining, M., & Smith, J. (1997). Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*, (1997), 67–79. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00055.x>

- van Veen, J. ., Liljeroth, E., Lekkerkerk, A., & van de Geijn, S. C. (2018). Carbon Fluxes in Plant-Soil Systems at Elevated Atmospheric CO₂ Levels. *JSTOR*, *1*(2), 175–181. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1941810>
- VLEESHOUWERS, L. M., & VERHAGEN, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*, *8*, 519–530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
- West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *91*(1–3), 217–232. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00233-X)
- West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation : A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, *66*(6), 1930–1946. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930>

7. Anexos

7.1 Anexo 1: Estudios consultados

Tabla 7-1 Estudios consultados en revisión bibliográfica

Referencia	Título	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Paustian et al., 1997)	Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions	"To discuss the controls on soil C in agricultura soils, how they are influenced by management, and to review and synthesize field data and recent assessments pertaining to managing soil as asink for CO2"	Mundial - Division por climas	Todo tipo (agricola, forraje, perennial)
(Tristram O. West & Post, 2002)	Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis	"This analysis was intended to provide increased accuracy over past estimates of potential C sequestration by increasing the number of experiments (sample size) and stratifying the analysis by croppin practice"	Multiple	All, Corn, Soybena, wheat
(Pete Smith, 2004)	Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context	"We review how croplands might be used to help meet Kyoto emission reduction targets and the role of carbon sequestration in the longer term!"	Europa	Todos
(Aguilera, Lassaletta, Gattinger, & Gimeno, 2013)	Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in mediterranean cropping systems a meta-analysys	"We compared SOC change and C sequestration under a number of recommended management practices (RMPs) with neighboring conventional plots under Mediterranean climate (174 data sets from 79 references)"	Europa	Todos
(González-Sánchez, Ordóñez-Fernández, Carbonell-Bojollo, Veroz-González, & Gil-Ribes, 2012)	Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture	"According to 2010 CA uptake, the results demonstrated that conservation practices have the potential to promote the fixation in soil of about 2 Gg year more than traditional tillage (TT) systems"	Zona mediterránea	Maize, barley, vetch, wheat, cereal, legume, sunflower

Referencia	Título	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Johnson, Franzluebbers, Weyers, & Reicosky, 2007)	Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions	"We summarized the literature on GHG emissions and C sequestration, providing a perspective on how agriculture can reduce its GHG burden and how it can help to mitigate GHG emissions through conservation measures."	Multiple	Varios
(Carvajal, 2008)	Investigación sobre la absorción de CO ₂ por los cultivos más representativos	"Las plantas tienen la capacidad de captar el CO ₂ atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital"	España	Plantas herbáceas, cereales, árboles frutales, cítricos
(Batjes, 1999)	Management options for reducing CO ₂ -concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil	"Best management practices to build-up carbon stocks in the soil, basically are those that increase the input of organic matter to the soil, and/or decrease the rate of soil organic matter decomposition. According to this review, the most appropriate management practices to increase soil C reserves are site specific"	Multiple	Todos
(Merante et al., 2017)	Adopting soil organic carbon management practices in soils of varying quality: implications and perspectives in Europe	"This study defines an indicator of soil potential stability (n-potential) allowing the most effective practices in terms of soil stability and capacity to store organic carbon to be selected. By relating the clay content to SOC content, the n-potential indicates the "potential" presence of non-complexed clay (NCC) in soils, enabling the soil stability and its capacity to store carbon (C) to be inferred."	Multiple	Varios
(Álvaro-Fuentes, Cantero-Martínez, López, & Arrúe, 2007)	Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems	"we evaluated the viability of conservation tillage: RT, reduced tillage (chisel and cultivator ploughing) and, especially, NT (no-tillage) to reduce short-term (from 0 to 48 h after a tillage operation) and mid-term (from 0 h to several days since tillage operation) tillage-induced CO ₂ emissions"	Zona mediterránea	wheat, barley, rapeseed
(Aguilera, Guzman, & Alonso, 2015)	Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops	" we used LCA to calculate the global warming potential of 38 pairs of organic and conventional herbaceous cropping systems and products in Spain. Crop products included rainfed cereals and pulses, rice, open-air vegetables, and greenhouse vegetables. We used data from farmer interviews and published conversion factors."	Spain	Herbaceous crops

Referencia	Titulo	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Aguilera, Guzmán, & Alonso, 2015)	Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards	"we analyzed the greenhouse gas contribution of 42 pairs of organic and conventional perennial cropping systems, including citrus, subtropical trees, other fruit trees, treenuts, vineyards, and olives, using life-cycle assessment (LCA). The assessment was based on management information from interviews and involved the estimation of soil carbon sequestration, specific Mediterranean N ₂ O emission factors, and the consideration of coproducts"	Spain	Fruit tree orchards
(Mathew, Shimelis, Mutema, & Chaplot, 2017)	What crop type for atmospheric carbon sequestration: Results from a global data analysis	"The objectives of this study were to elucidate the impact of crop type on the allocation of atmospheric C to shoots and roots, and ultimately to the soils and to determine its association with soil carbon stocks. Three hundred and eighty-nine field trials were compared to determine allocation of biomass and C in plants and SOC _s under fields of different crop types"	Multiple	Varios
(Lokupitiya & Paustian, 2006)	Agricultural Soil Greenhouse Gas Emissions	"This review summarizes and evaluates the methods used by Annex 1 countries in estimating CO ₂ and N ₂ O emissions in agricultural soils."	Multiple	Todos
(Eve, Sperow, Paustian, & Follett, 2002)	National-scale estimation of changes in soil carbon stocks on agricultural lands	"We estimated net soil C stock changes for US agricultural soils during the period from 1982 to 1997 using the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) method for greenhouse gas inventories."	Estados Unidos	Todos
(Jarecki & Lal, 2003)	Crop management for Soil carbon sequestration	"This article collates, reviews, and synthesizes the available information on SOC sequestration by RMPs (recommended management practices), with specific references to crop rotations and tillage practices, cover crops, ley farming and agroforestry, use of manure and biosolids, N-fertilization, and precision farming and irrigation"	Multiple	Varios
(Minasny et al., 2017)	Soil carbon 4 per mille	"This paper surveyed the soil organic carbon (SOC) stock estimates and sequestration potentials from 20 regions in the world (New Zealand, Chile, South Africa, Australia, Tanzania, Indonesia, Kenya, Nigeria, India, China Taiwan, South Korea, China Mainland, United States of America, France, Canada, Belgium, England & Wales, Ireland, Scotland, and Russia). We asked whether the 4 per mille initiative is feasible for the region. The outcomes highlight region specific efforts and scopes for soil carbon sequestration. Reported soil C sequestration rates globally show that under best management practices, 4 per mille or even higher sequestration rates can be accomplished"	Multiple	Varios

Referencia	Titulo	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Autret et al., 2016)	Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment	"We studied soil organic carbon (SOC) dynamics in the long-term (16 years) field experiment "La Cage" (France) which compares four arable cropping systems, free from manure application, under conventional (CON), low input (LI), conservation agriculture (CA) and organic (ORG) management. Bulk densities and SOC concentrations were measured at different dates between 1998 and 2014. SOC stocks were calculated at equivalent soil mass taking into account bulk density variations and SOC redistribution across the different soil layers."	Francia	Varios
(Govaerts et al., 2009)	Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality	"We studied soil organic carbon (SOC) dynamics in the long-term (16 years) field experiment "La Cage" (France) which compares four arable cropping systems, free from manure application, under conventional (CON), low input (LI), conservation agriculture (CA) and organic (ORG) management. Bulk densities and SOC concentrations were measured at different dates between 1998 and 2014. SOC stocks were calculated at equivalent soil mass taking into account bulk density variations and SOC redistribution across the different soil layers."	Múltiple	Varios
(P Smith, Powlson, Glendining, & Smith, 1997)	Potential for carbon sequestration in Europe soils: preliminary estimated for five scenarios using results from long-term experiments	"Use statistical relationships derived from European long-term experiments to explore the potential for carbon sequestration in soils in the European Union"	Unión Europea	Todos
(Espada, 2013)	Los árboles frutales como sumideros de CO2 desempeñan un importante servicio ambiental	Examinar los procesos del ciclo de carbono y su interacción con la vegetación	Aragón	Frutícolas
(Hutchinson, Campbell, & Desjardins, 2007)	Some perspectives on carbon sequestration in agriculture	"Use data from selected regions to explore the global potential for carbon sequestration in arable soils"	Canadá, Praderas y Trópicos	Todos

Referencia	Título	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Lal, 2004)	Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security	Discuss Soil C sequestration as strategy to achieve food security	General	Todos
(Kell, 2012)	Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how	Discuss potential of breeding crops and other agronomic practices to optimise carbon deposition in soils	General	Todos
(Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2018)	Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España	Elaborate study of soil carbon deposition in Spain	España	Todos
(Hester & Harrison, 2010)	Carbon Capture - Sequestration and Storage	This book reports on progress in field of global warming and provides a context within the range of natural absorption processes in the oceans and forests and in soil, and of methane emissions from melting permafrost and hydrates	General	Todos
(Kane, 2015)	Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A review of current science and available practices	Explores how soil carbon is sequestered, the state of soil carbon research, and the debate on the extent of its potential	General	Todos
(Matsuura, Komatsuzaki, & Hashimi, 2018)	Assessment of Soil Organic Carbon Storage in Vegetable Farms Using Different Farming Practices in the Kento Region Japan		Japón	Todos
(Kong, Six, Bryant, Denison, & van Kessel, 2005)	The Relationship between Carbon Input, Aggregation, and soil Organic Carbonj Stabilization in Sustainable Cropping Systems	“Evaluate the 10yr role of C input in SOC sequestration and indentify underlying mechanisms of C stabilization in soils”	Mediterranean	Todos

Referencia	Titulo	Objetivo	Nivel Geográfico	Tipo Cultivo
(Halvorson, Wienhold, & Black, 2002)	Tillage, Nitrogen and Cropping System Effects on Soil Carbon Sequestration	“Evaluate the 12yr effects of tillage systems and N fertilization on crop residue production and SOC sequestration	North Dakota	Dryland cropping
(VLEESHOUWERS & VERHAGEN, 2002)	Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe	Ocupy developed model for calculating carbon fluxes from agricultural soils with factors; crop, climate and soil	Europa	Arable crops & grasslands
(Tristram O. West & Marland, 2002)	A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the US	Full C cycle analysis has been completed for agricultural inputs, resulting in estimates of net C flux for three crop types across three tillage intensities	Estados Unidos	Corn Crops, Soybean Crops, Winter wheat crops

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)

7.2 Anexo 2: Campos descriptivos de base de datos de absorción en SOC

Tabla 7-2 Diccionario de campos considerados en base de datos

Campo	Descripción	Tipo Valor
Estudio observado	Referencia del autor y año del estudio.	Texto
Fuente original	Si corresponde, la referencia de fuente en que se encontró el estudio.	Texto
Clasificacion_dato	Categorías según el origen de los datos: Meta análisis, Experimento, Recopilado.	Texto
Observacion estudio	Si corresponde, se observa la completitud de los datos.	Texto
Pais_estudio	País en que se desarrolla el estudio, cuando se cuenta con tal información.	Texto
Zona_estudio	Zona o región específica en que se realiza el estudio, si se cuenta con tal información.	Texto
Clima/ecosistema	Tipo de clima o ecosistema al que corresponde el estudio.	Texto
Periodo_de_estudio_[año]	Duración en años del periodo estudiado.	Numérico
Soil_depth_samplng [cms]	Profundidad a la que se toma la muestra de suelo.	Numérico
Tipo_suelo	Tipo de suelo estudiado, si se cuenta con tal información.	Texto
Tipo_estudio	Categorías de tipo de estudio según el método utilizado.	Texto

Campo	Descripción	Tipo Valor
Management practice	Técnica(s) de manejo de cultivo analizada(s) en el estudio.	Texto
Etapa intervencion	En qué etapa se realiza la intervención que genera la captura de CO2.	Texto
Tipo_de_manejo	Tipo de manejo del cultivo: adición de nutrientes, uso de fertilizantes, arado, entre otros.	Texto
Situacion base	Escenario de manejo inicial, previo a la intervención.	Texto
Intervencion	Acción de intervención que genera la captura o emisión de CO2.	Texto
Intervencion nivel	Magnitud o nivel de la intervención realizada.	Texto
Tecnica_final	Técnica de manejo de cultivo posterior a la acción realizada.	Texto
tecnica_util	Asigna con "Sí" a aquellas técnicas útiles.	Texto
crop	Cultivo original de la referencia.	Texto
cultivos_estudio	Cultivo asignado para este estudio.	Texto
Tipo_valor	Si el valor corresponde a una tasa de captura anual de CO2 o una variación en el <i>pool</i> de CO2	Texto
Value	Valor estimado en el estudio.	Numérico
Unit	Unidad de medición.	Texto
Valor_medio	Valor medio estimado en el estudio, normalizado por la unidad normalizada.	Texto
Bajo	Rango inferior del valor estimado.	Numérico
Alto	Rango superior del valor estimado.	Numérico
Unidad	Unidad normalizada a toneladas por hectárea por año.	Texto
Comentario2	Observación adicional al valor estimado en el estudio.	Texto
id	Id único para identificar el estudio.	Numérico
Arboles frutales	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo se clasifica como árbol frutal.	Binaria
Frutas	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo se clasifica como fruta.	Binaria
Hortalizas	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo se clasifica como hortaliza.	Binaria
Maiz	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo se clasifica como maíz.	Binaria
Sin informacon	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo no se pudo clasificar.	Binaria
Aux	Variable binaria auxiliar de los cálculos.	Binaria
Util_chilali	Variable binaria auxiliar para determinar si el cultivo es de utilidad para el presente estudio Chile Alimentos.	Binaria

Fuente: Elaboración propia (Dictuc)