



FaIn·UNCo
Facultad de Ingeniería

ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE PERAS EN EL ALTO VALLE DEL RÍO NEGRO (ARGENTINA)

Lic. Gestión Ambiental Sergio Romagnoli

*Tesis para optar al grado académico de
Magister Scientiae en Intervención Ambiental con orientación en Ingeniería*

Director: Ph.D. Rodolfo Bongiovanni
Codirectora: Dra. María del Carmen Tortorelli

2022

INDICE

INTRODUCCIÓN	9
1.2. Emisiones de la agricultura.....	10
1.3. Emisiones de los alimentos	11
1.4. La estructura de la cadena productiva de peras argentinas	12
1.5. El Alto Valle de la cuenca del río Negro.....	13
1.6. Antecedentes.....	17
1.7. Objetivos.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1. Marco metodológico: Análisis de Ciclo de Vida.....	20
2.1.1. Fases del ACV	22
2.1.2. Definición del alcance	23
2.1.3. Definición de las unidades funcionales	24
2.1.4. Pautas generales para la recopilación de datos para el Inventario de Ciclo de vida (ICV)	25
2.1.5. Impacto ambiental evaluado	26
2.1.6. Factores de emisión	26
2.2. Emisiones de las actividades productivas.....	28
2.2.1. Descripción del sistema productivo	28
2.2.2. Preparación del suelo.....	28
2.2.3. Plantación	29
2.2.4. Sistema de riego	30
2.2.5. Manejo del suelo	31
2.2.6. Control de malezas	32
2.2.7. Sistema de conducción	33
2.2.8. Fertilización	35
2.2.9. Emisiones de óxido nitroso (N ₂ O) de los suelos gestionados y emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) derivadas de la aplicación de urea	37
2.2.10 Manejo de plagas. Sanidad.....	39
2.2.11 Emisiones asociadas al transporte de insumos para la producción.....	43
2.2.12 Adversidades climáticas.....	44
2.2.13 Volumen de producción y cosecha.....	48
2.2.14. Maquinaria	50
2.2.15 Inventario de ciclo de vida cultivo de pera 25 años.....	53
2.3 Remociones de carbono en el monte frutal	54

2.3.1. Secuestro de carbono en suelos.....	55
2.3.2. Secuestro de carbono en biomasa de cortinas forestales.....	56
RESULTADOS y DISCUSIÓN	59
3.1. Evaluación Impacto Ambiental: Cambio Climático.....	59
3.1.1. Análisis de las emisiones GEI en Unidad Funcional de superficie ..	59
3.1.2. Análisis de las emisiones GEI en Unidad Funcional de masa.....	61
3.1.3. Análisis de sensibilidad	62
3.1.4. Análisis de Escenarios para estrategias de mitigación.....	64
3.2.a Huella de carbono expresada en Unidad Funcional de superficie	68
3.2.b Huella de carbono expresada en Unidad Funcional de masa.....	70
CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXO 1	79
Planilla de Cálculo de Emisiones GEI con los Factores unitarios de emisión, expresados en kg CO ₂ eq., utilizados en el presente trabajo	79

RESUMEN

La huella de carbono (HC) constituye la suma de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. El objetivo general del trabajo consiste en estimar la huella de carbono de la producción agrícola de peras en montes de alta densidad en el Alto Valle del río Negro para una (1) hectárea de superficie cultivada y para una (1) tonelada de fruta cosechada (t), en base a la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La HC considerando los insumos desde “la cuna” y las actividades productivas hasta la “puerta de la chacra” para una hectárea de peras en 25 años de cultivo, resulta en una remoción neta de 86,64 t CO₂eq ha⁻¹. Las emisiones correspondientes a los insumos de producción, 93,63 t CO₂eq ha⁻¹ son compensadas por las remociones en biomasa de las cortinas forestales (146,62 t CO₂ eq ha⁻¹), y el incremento de carbono en suelos (33,65 t CO₂eq ha⁻¹). La inexistencia de datos locales determinó la no consideración del secuestro de carbono de árboles frutales. Las cortinas forestales resultan una fuente muy significativa de mitigación y remoción de GEI, por lo tanto, es fundamental su inclusión en los ACV agrícolas.

PALABRAS CLAVES: Huella Carbono pera, Análisis Ciclo de Vida frutícola, carbono biogénico

ABSTRACT

The carbon footprint (HC) is the sum of greenhouse gases (GHG) emitted by direct or indirect effect of an individual, organization, event or product. The main objective of this work is estimate the carbon footprint of the agricultural production of pears in high-density orchards in the Alto Valle del Río Negro for one (1) hectare of cultivated area and for one (1) ton of harvested fruit (t), based on the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The HC considering the inputs from "the cradle" and the productive activities to the "gate of the farm" for one hectare of pears in 25 years of cultivation, results in a net removal of 86.64 t CO₂eq ha⁻¹. Emissions corresponding to production inputs, 93.63 t CO₂eq ha⁻¹, are offset by removals in biomass from forest windbreaks (146.62 t CO₂ eq ha⁻¹), and the increase in carbon in soils (33, 65 t CO₂eq ha⁻¹). The lack of local data determined the non-consideration of the carbon sequestration of fruit trees. Forest windbreaks barriers are a very significant source of GHG mitigation and removal, therefore, their inclusion in agricultural LCAs is essential.

KEYWORDS: Pear carbon footprint, fruit Life Cycle Assessment, biogenic carbon

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I : SUPERFICIE (HA) DE LAS VARIETADES IMPLANTADAS EN LA ZONA.	15
TABLA II: EDAD DE LAS PLANTACIONES DE PERAS EN RÍO NEGRO Y NEUQUÉN.	15
TABLA III ANTECEDENTES DE CUANTIFICACIÓN DE HC EN PERAS Y MANZANAS	17
TABLA IV: HUELLA DE CARBONO (GWP100A) PARA 1 T DE PERA (KG CO2EQ).....	18
TABLA V NECESIDADES HÍDRICAS ESTACIONALES DE PLANTAS JÓVENES DE PERAL	31
TABLA VI: FERTILIZANTES APLICADOS POR SUELO.	36
TABLA VII: FERTILIZACIONES FOLIARES.	36
TABLA VIII EMISIONES DE N ₂ O DE LOS SUELOS GESTIONADOS.	38
TABLA IX EMISIONES DE CO ₂ EQ DERIVADAS DE LA APLICACIÓN DE UREA	39
TABLA X TRATAMIENTOS SANITARIOS EN PERALES CON PULVERIZADORA.....	41
TABLA XI. PRINCIPALES PRINCIPIOS ACTIVOS UTILIZADOS EN LA REGIÓN Y PLAGAS CONTROLADAS.	42
TABLA XII: FITOSANITARIOS UTILIZADOS EN EL CONTROL SANITARIO DEL MONTE FRUTAL.....	42
TABLA XIII : PRODUCTOS FITOSANITARIOS Y FERTILIZANTES UTILIZADOS EN TODO EL CICLO PRODUCTIVO	43
TABLA XIV TKM POR INSUMOS DE PRODUCCIÓN DE PERA EN CICLO COMPLETO (25 AÑOS).....	44
TABLA XV: RIESGO DE DAÑO POR HELADAS PRIMAVERALES PARA CV. WILLIAMS.	45
TABLA XVI: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PERAS DEL MONTE FRUTAL A TRAVÉS DE LOS AÑOS.....	49
TABLA XVII: CONSUMO DE COMBUSTIBLE HORARIO DE LA MAQUINARIA.....	50
TABLA XVIII CONSUMO COMBUSTIBLE DE LA MAQUINARIA DURANTE EL CICLO COMPLETO	51
TABLA XIX INVENTARIO PARA UNA HECTÁREA DEL CULTIVO DE PERA CICLO COMPLETO 25 AÑOS	53
TABLA XX: CALCULO DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS.....	55
TABLA XXI EMISIONES GEI CICLO COMPLETO EXPRESADAS	59
TABLA XXII EMISIONES GEI CULTIVO PERAS CICLO COMPLETO, EN UNIDAD FUNCIONAL DE ÁREA Y MASA.	61
TABLA XXIII COMPARACIÓN DE TRABAJOS DE CUANTIFICACIÓN DE HC EN PERA Y MANZANA.....	62
TABLA XXIV SENSIBILIDAD HC ANTE VARIACIONES DE PRODUCTIVIDAD	63
TABLA XXV: RESULTADOS ESCENARIOS INCORPORACIÓN MEZCLAS DE BIODIESEL.....	65
TABLA XXVI ESCENARIO MEJORA DE FERTILIZACIÓN: DISMINUCIÓN DE EMISIONES GEI.....	66
TABLA XXVII: HC COMPARACIÓN ESCENARIO BASE Y MEJOR FERTILIZACIÓN.....	66
TABLA XXVIII HUELLA CARBONO DE UNA HECTÁREA PERA (CICLO COMPLETO 25 AÑOS)	68
TABLA XXIX HUELLA DE CARBONO DE UNA TONELADA DE PERAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: EMISIONES DE GEI ANTROPOGÉNICAS GLOBALES PERÍODO 1990-2019.	9
FIGURA 2: COMPLEJO DE PERA Y MANZANA 2019.	12
FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE DE FRUTALES DE PEPITA EN VALLES DE RÍO NEGRO Y NEUQUÉN)....	14
FIGURA 4: RANGOS DE EDADES DE LAS PLANTACIONES DE PERA.....	15
FIGURA 5: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE (EN HECTÁREAS) DE LAS PRINCIPALES VARIEDADES DE PERA DURANTE EL PERÍODO 2012-2021.	16
FIGURA 6 :PARTICIPACIÓN RELATIVA DE LOS DESTINOS DE LAS EXPORTACIONES DE PERAS.(2021).	16
FIGURA 7: ALCANCE DE UN ACV.	20
FIGURA 8: FASES DE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	22
FIGURA 9: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO	24
FIGURA 10: PLANTACIÓN DE PERALES.	30
FIGURA 11: MONTE DE PERAS CON CONDUCCIÓN EN EJE CENTRAL.....	33
FIGURA 12: TRABAJADORES REALIZANDO LAS TAREAS DE PODA INVERNAL.....	34
FIGURA 13 :IMPLEMENTO TRITURADOR DE PODAS EN OPERACIÓN.	34
FIGURA 14: DIFERENTES MODELOS DE EMISORES DE FEROMONAS EMPLEADOS EN LA TÉCNICA DE CONFUSIÓN SEXUAL PARA CARPOCAPSA	40
FIGURA 15 APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS CON TRACTOR Y PULVERIZADORA	41
FIGURA 16: CARACTERÍSTICAS DE LOS VIENTOS REGIONALES.	47
FIGURA 17: DISPOSICIÓN TÍPICA DE CORTINAS ROMPEVIENTOS EN LOS MONTES FRUTALES DEL ALTO VALLE.....	47
FIGURA 18: CORTINAS ROMPEVIENTOS A NIVEL PREDIAL EN OTOÑO	48
FIGURA 19: ACTIVIDADES DE COSECHA.....	49
FIGURA 20: PARTICIPACIÓN DE CADA ACTIVIDAD EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	51
FIGURA 21 : PLANO ESQUEMÁTICO CORTINAS ROMPEVIENTOS	57
FIGURA 22: ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN: DIAGRAMA DE PARETO.	60
FIGURA 23: COMPOSICIÓN DE LAS EMISIÓN DE GEI ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE PERAS	60
FIGURA 24: SENSIBILIDAD DE HC A CAMBIOS EN LOS NIVELES DE PRODUCCIÓN (UF MASA).....	64
FIGURA 25: SENSIBILIDAD DE LA HC A CAMBIOS EN MEZCLA DE BIODIESEL	65
FIGURA 26 GRÁFICO HUELLA DE CARBONO DE UF: HECTÁREA DE CULTIVO DE PERA CICLO COMPLETO.....	69
FIGURA 27 HUELLA DE CARBONO DE UF: TONELADA DE PERA	70

SIGLAS, SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

ACV	Análisis ciclo de vida
C	carbono
CH ₄	metano
cm	centímetro
CO ₂	dióxido de carbono
COS	carbono orgánico del suelo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	gas de efecto invernadero
g	gramo
ha	hectárea
HC	Huella de Carbono
ICV	Inventario de ciclo de vida
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ISO	Organización Internacional de Normalización
kg	kilogramo
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
N ₂ O	óxido nitroso
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCG	potencial de calentamiento global
SENASA	Servicio Nacional de Calidad y Calidad Alimentaria
t	tonelada

INTRODUCCIÓN

La huella de carbono (HC) constituye la suma de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Las emisiones de GEI contribuyen al cambio climático mediante la aceleración del calentamiento atmosférico global. Los gases de efecto invernadero de relevancia son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFHs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆). Se denomina huella de carbono debido a que los GEI diferentes al del dióxido de carbono son convertidos al valor equivalente del mismo (CO₂eq) multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global a 100 años (PCG100a) (Bongiovanni y Tuninetti, 2021).

El Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), expone una realidad indudable: la acción del ser humano está directamente relacionada con la emergencia climática que vive el planeta y es uno de sus fundamentales promotores. Este grupo de expertos vinculado a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) registra tres décadas estudiando y analizando todos los aspectos del cambio climático y señala a las acciones del ser humano como una de las principales razones que han llevado al calentamiento de la Tierra, los océanos y la atmósfera (IPCC, 2022).

En 2013, este comité de expertos dejó abierta la probabilidad sobre la relación directa del accionar humano con la crisis climática, y desde entonces las evidencias han crecido de manera exponencial. "*Es un hecho inequívoco que la actividad humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. Se han producido cambios rápidos y generalizados en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la biósfera*" sentencia el informe, añadiendo que el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero desde 1750 están "*inequívocamente relacionadas con las actividades humanas*" (Miranda, 2022).

Puede observarse en la Figura 1 el incremento constante en las emisiones de los principales GEI desde 1990 hasta 2019 (IPCC, 2022).

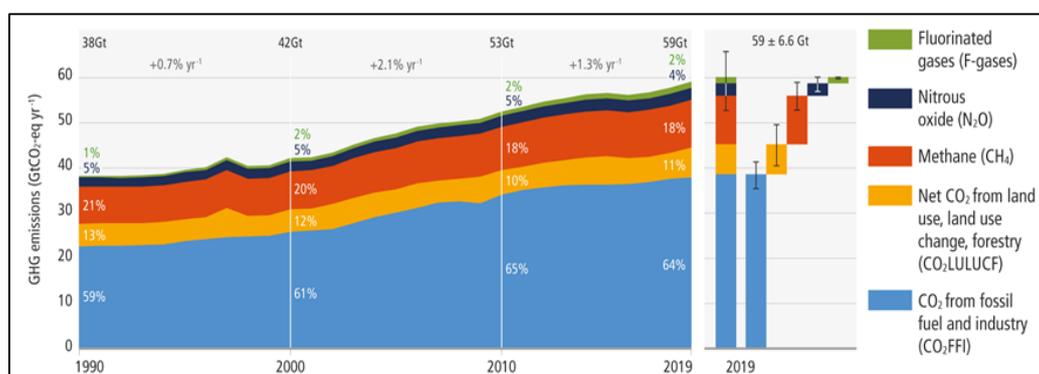


Figura 1: Emisiones de GEI antropogénicas globales período 1990-2019. Fuente IPCC, 2022

Según señala el informe, la temperatura de la superficie global continuará incrementándose al menos hasta mitad de siglo teniendo en cuenta todos los escenarios posibles de emisiones, es decir, incluso si ocurriera el escenario más favorable, la temperatura seguiría aumentando producto de las acciones llevadas a cabo hasta ahora. El futuro no está escrito, dependerá en parte de como actuemos como humanidad, sabiendo que los próximos años serán críticos (IPCC, 2022).

Disponer de políticas, infraestructura y tecnologías adecuadas para realizar cambios en los estilos de vida, desde la actualidad hasta 2050, permitirá reducir entre 40% y 70% de las emisiones GEI (IPCC, 2022).

La información de la huella de carbono de productos genera conciencia entre los productores, industriales, comerciantes y consumidores, ya que promueve tendencias de producción y consumo responsable y sostenible, aportando al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°12: “*Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*” planteado por Naciones Unidas (ONU, 2015).

1.2. Emisiones de la agricultura

En 2018 las emisiones mundiales totales relacionadas con la agricultura y el uso de la tierra alcanzaron los 9.300 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Gt CO₂eq). Las actividades agrícolas y ganaderas dentro de la puerta de la finca generaron más de la mitad de este total (5,3 Gt CO₂eq), siendo las actividades de uso de la tierra y el cambio de uso los responsables de casi 4 Gt CO₂eq. Estos componentes fueron respectivamente 4,6 y 5,0 Gt CO₂eq en el año 2000 (FAO, 2020).

Durante la primera década del 2000 aumentaron las emisiones “dentro de la puerta de la finca” y las del “uso de la tierra”, y luego las tendencias en estos dos componentes comenzaron a divergir. Las emisiones de las actividades agrícolas y ganaderas siguieron creciendo durante todo el período 2000-2018 y fueron un 14 % más altas en 2018 que en 2000.

Por el contrario, las emisiones por el “*uso de la tierra*” y el “*cambio de uso de la tierra*” disminuyeron durante el período de estudio, de manera consistente con las disminuciones observadas en la deforestación. Como resultado, las emisiones combinadas “dentro de la puerta de la finca” y en el “uso o cambio de uso de la tierra” debido a la agricultura fueron aproximadamente un 4 % más bajas en 2018 que en 2000.

En 2018 las emisiones relacionadas con la agricultura y el uso de la tierra representaron el 17 % de las emisiones globales de GEI de todos los sectores, frente al 24 % en la década de 2000. Además de la ligera disminución observada en las emisiones absolutas, esta reducción en 2018 también fue el resultado del

crecimiento de las emisiones de otros sectores económicos a tasas relativamente más rápidas durante 2000–2018 (FAO, 2020).

La agricultura, la silvicultura y la ganadería, pueden reducir las emisiones a gran escala, así como eliminar y almacenar dióxido de carbono a gran escala. Para esto es necesario desarrollar y multiplicar aquellas prácticas y tecnologías que ofrecen mayor sustentabilidad al agroecosistema.

1.3. Emisiones de los alimentos

En el mundo se observa que los consumidores exigen, de forma creciente, información sobre el impacto ambiental de los productos que adquieren para poder realizar una compra responsable (Eurobarometer, 2020). A su vez, son cada vez más las empresas y gobiernos que solicitan una valoración de las emisiones producidas por la actividad empresarial para la compra y contratación.

En este sentido, Poore y Nemecek (2018), analizaron datos de más de 38.000 granjas comerciales en 119 países, constituyendo el mayor metanálisis de los sistemas alimentarios mundiales hasta la fecha.

Uno de los resultados más importantes de este estudio es que existen enormes divergencias en las emisiones de GEI de diferentes alimentos: producir un kilogramo de carne vacuna emite 60 kilogramos de gases de efecto invernadero (CO₂eq), mientras que las legumbres emiten solo 1 kilogramo por kg (Poore y Nemecek, 2018).

En general, los alimentos de origen animal (especialmente los provenientes de rumiantes) tienden a tener una huella más alta que los de origen vegetal. Tanto el cordero como el queso emiten más de 20 kilogramos de equivalentes de CO₂ por kilogramo. Las aves y el cerdo tienen huellas más bajas, pero aún son más altas que la mayoría de los alimentos de origen vegetal, con 6 y 7 kg de equivalentes de CO₂ por kilogramo producido, respectivamente. En este esquema los cultivos perennes (nueces, manzanas, cítricos, etc.) resultan ser aquellos de menor emisión (Poore y Nemecek, 2018).

Consecuentemente, el cálculo de la huella de carbono de un producto resulta de utilidad en la cadena de valor porque: 1) brinda una visión ambiental integral, mostrando qué etapas del ciclo de producción-consumo de un producto son las de mayor impacto (puntos críticos); 2) permite comunicar la imagen ambiental de un producto (marketing, ecoetiquetas); 3) muestra posibles reducciones de costos a través del uso más eficientes de recursos energéticos y materiales (gestión de materias primas y proveedores); 4) propone argumentos y herramientas para la revalorización de subproductos y desechos a través del reciclado o la reutilización; y 5) permite comparaciones entre materias primas, embalajes, tecnologías, métodos de distribución, como así también entre productos y servicios sustitutos.

En este contexto, la huella de carbono reviste importancia para la cadena de valor de la producción de peras porque los productos son comercializados mundialmente y las nuevas generaciones de consumidores comienzan a exigir información sobre métodos de producción sostenible.

1.4. La estructura de la cadena productiva de peras argentinas

La cadena de valor de la pera comprende la producción primaria, el empaque y la conservación en frío para su consumo en fresco y la industrialización de la fruta de menor calidad (descarte en chacras de productores primarios y en empaques) para la elaboración, principalmente de jugo y, en menor medida, de sidra y fruta deshidratada. En términos generales, el empaque para la exportación de fruta en fresco constituye el núcleo organizador de la cadena, así como de otras actividades industriales y de servicios conexos que se desarrollan alrededor de la misma (Storti y Bevilacqua, 2017).

La etapa primaria comienza con la producción de plantas en viveros para la posterior implantación del monte frutal. La producción primaria, involucra un conjunto de labores culturales, entre las que se encuentran la fertilización, el control de plagas, la poda, el raleo y culmina con la cosecha de los frutos. Posteriormente, de acuerdo a su calidad, la fruta puede destinarse al consumo en fresco o a la obtención de productos industrializados.

En el primer caso, la fruta sigue la cadena de empaque-conservación-comercialización hasta alcanzar los mercados de distribución (Figura 2). En tanto, el paso por la industria implica el procesamiento de la fruta para su posterior comercialización.

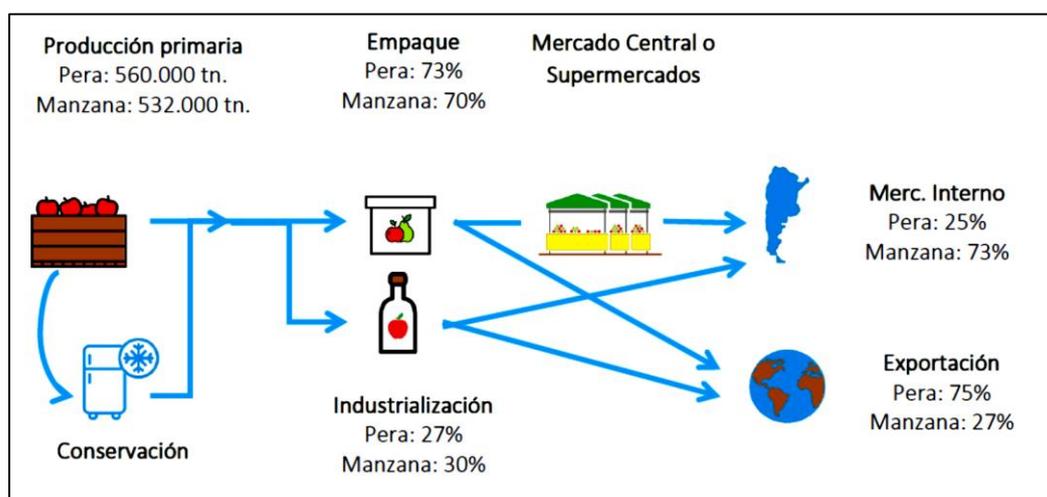


Figura 2: Complejo de pera y manzana 2019. Fuente: (López Barrios, 2020)

En Argentina, las frutas de pepita representan aproximadamente el 30% del total de la producción nacional de fruta. La actividad está concentrada en la región del Alto Valle del río Negro, representando aproximadamente el 93% del total

producido, con Río Negro aportando un 80% y Neuquén un 13%. Finalmente, Mendoza participa con el 7% de la producción restante (SENASA, 2022).

La fruticultura es la principal actividad económica de los valles del norte de la Patagonia, donde mediante una arraigada tradición productiva, contribuye significativamente a la generación de valor agregado, permitiendo a su vez una importante ocupación de mano de obra (Storti y Bevilacqua, 2017).

La actividad es altamente demandante de insumos como agroquímicos y fertilizantes, y presenta requerimientos de maquinaria específica que generan intersecciones con otras cadenas. Se asocian a esta etapa, actividades de investigación y desarrollo, que llevan adelante tanto el sector privado como el público para mejorar rendimientos obtenidos.

Una vez cosechada, la fruta ingresa al empaque donde es clasificada según su calidad, para consumo en fresco -mercado interno y/o exportación- o, en caso de no alcanzar la calidad requerida, para su industrialización.

La mayor o menor participación relativa de cada uno de estos destinos está determinada por las características del sistema productivo en términos de especies, variedades y calidades obtenidas; y por factores coyunturales (las características climáticas de cada temporada determinan una mayor o menor disponibilidad de fruta para el consumo fresco y las cambiantes condiciones de mercado modifican la capacidad de inserción de la fruta con ese destino).

En los últimos años, la participación de cada uno de los destinos se ha mantenido relativamente estable. En el caso de la pera, el 73% se dirige al consumo en fresco (siendo un alto porcentaje destinado a la exportación) y el resto se industrializa (27%) (López Barrios, 2020).

Por otra parte, la existencia de ventajas naturales y las inversiones realizadas en nuevas plantaciones en las que se aplicaron modernas tecnologías con consecuentes aumentos en los niveles de productividad, calidad y uniformidad de los frutos permitieron alcanzar niveles de eficiencia en la producción y una fuerte inserción en el mercado externo (Storti y Bevilacqua, 2017).

1.5. El Alto Valle de la cuenca del río Negro

El área denominada Alto Valle del río Negro abarca la región de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén inferior y Negro superior, está comprendido entre los 38°40' y 39°20' de latitud Sur y entre los 66°50' a 68°20' de longitud Oeste. Forma parte de los departamentos de General Roca y Confluencia de las provincias de Río Negro y Neuquén. Se la denomina "Alto Valle" aun cuando incluye además del valle superior del río Negro, a los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén (De Jong, 2010).

La altitud varía de 400 a 200 metros sobre nivel del mar y las menores alturas se registran hacia el este del valle. Conforme a la latitud, las zonas climáticas se suceden del Polo al Ecuador, y el Alto Valle se encuentra dentro de la denominación clima templado. Se lo clasifica también como clima de tipo

mediterráneo, dado que las lluvias decaen en el verano y predominan en las estaciones más frías. Los índices de Thornthwaite clasifican a la zona como meso termal y semidesértica y, de acuerdo a las regiones climáticas determinadas a nivel global, cuenta con un clima seco desértico –fresco (Bwk) (Rodríguez, 2022).

La producción de manzanas y peras en las provincias de Río Negro y Neuquén comienza en 1910, con los inicios de la colonización y la llegada del ferrocarril.

La necesidad de generar cargas para transportar fomentó el desarrollo de un sistema agrícola basado en la mano de obra familiar. Así, en 1918, Ferrocarril del Sud crea la Estación Agronómica Cinco Saltos para la investigación de tipos de frutales que se adapten al área.

La producción se desarrolló significativamente en la margen norte del Alto Valle del río Negro, y en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén.

El poblamiento del área y el modelo productivo dio lugar al surgimiento de un continuo de localidades, siendo Gral. Roca, Cipolletti y Villa Regina las más importantes. En este sentido, el conjunto de actores se emplaza en un sistema territorial que abarca localidades del Alto Valle y se extiende al Valle Medio del río Negro (Taranda, 2020).

Puede observarse en la Figura 3 que las mayores concentraciones de actividades vinculadas a las distintas fases del proceso productivo se ubican en el Alto Valle. La expansión hacia áreas más nuevas, ha sido fundamentalmente a partir de la localización de empresas líderes en las últimas décadas, dando como resultado un mayor tamaño promedio de los establecimientos en la región del Valle Medio (Storti y Bevilacqua, 2017).

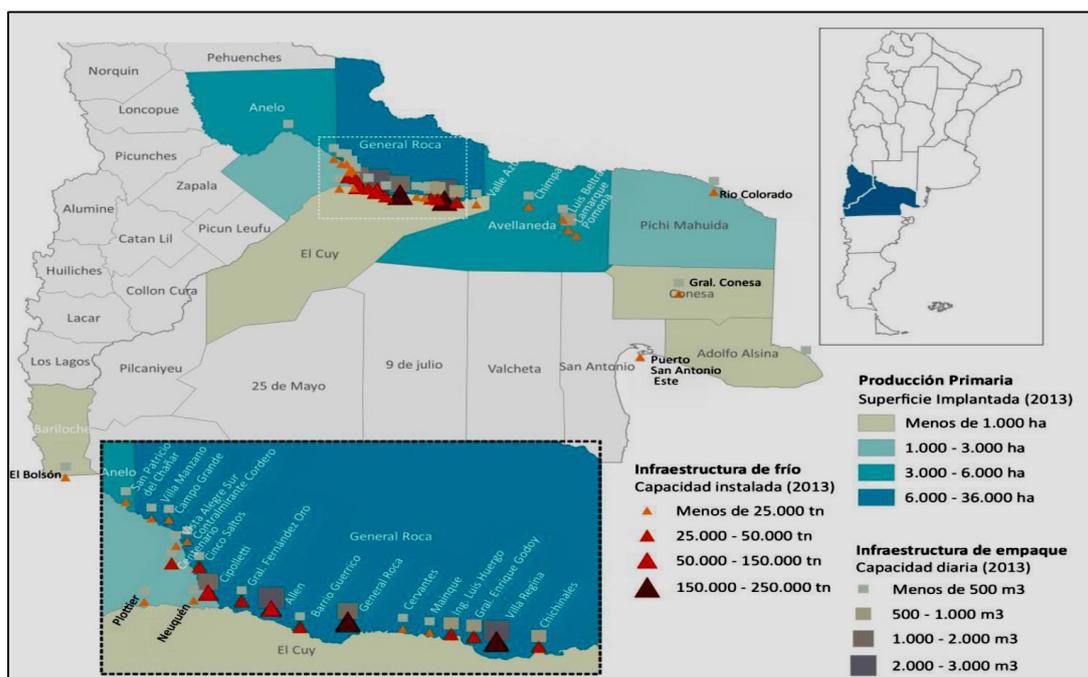


Figura 3: Distribución geográfica de la superficie de frutales de pepita en valles de Río Negro y Neuquén. Fuente: (Storti y Bevilacqua, 2017)

Respecto de las peras, de acuerdo al anuario estadístico 2021 de SENASA, las tres variedades más importantes son Williams, Packhams y Beurre D’anjou, que juntas representan el 84,5% de la superficie implantada con perales (Tabla I).

Variedades	Superficie (ha)	%
Williams	7.404	40,6
Packham’s Triumph	5.341	29.2
Beurre D’anjou	2.683	14.7
Abate Fetel	883	4.8
Red Barlett	835	4.6
Otras	1.120	6.1
Total	18.266	100

Tabla I : Superficie (ha) de las variedades implantadas en la zona.(SENASA, 2022)

En la Tabla II se presentan las edades de los montes de pera de las provincias de Río Negro y Neuquén, superficie y participación relativa de cada rango, agrupados en rangos de décadas.

Rango Edad años	00-09	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	>60
Superficie	1.211	5.158	4.566	3.441	2.514	833	543
%	6,63	28,24	25,00	18,84	13,76	4,56	2,97

Tabla II: Edad de las plantaciones de peras en Río Negro y Neuquén. (SENASA, 2022)

Puede observar la predominancia de los montes de entre 10 y 39 años, que representan el 72,08%. Resulta notable la alta participación relativa de los rangos de edad de 30 a 49 (32,6%). Finalmente, la baja incidencia del primer rango de edades (00-09), evidencia el bajo índice de reconversión o replante que existe en la actualidad.

Resulta importante resaltar que en el presente estudio se asumió un periodo de ciclo de vida del monte frutal de 25 años. Como puede observarse en Tabla II, la importancia relativa de los rangos etarios 30-39 y 40-49 años demuestra que en los Valles de Río Negro y Neuquén los ciclos de vida productivos de las plantaciones son más extensos (Figura 4) (SENASA, 2022).

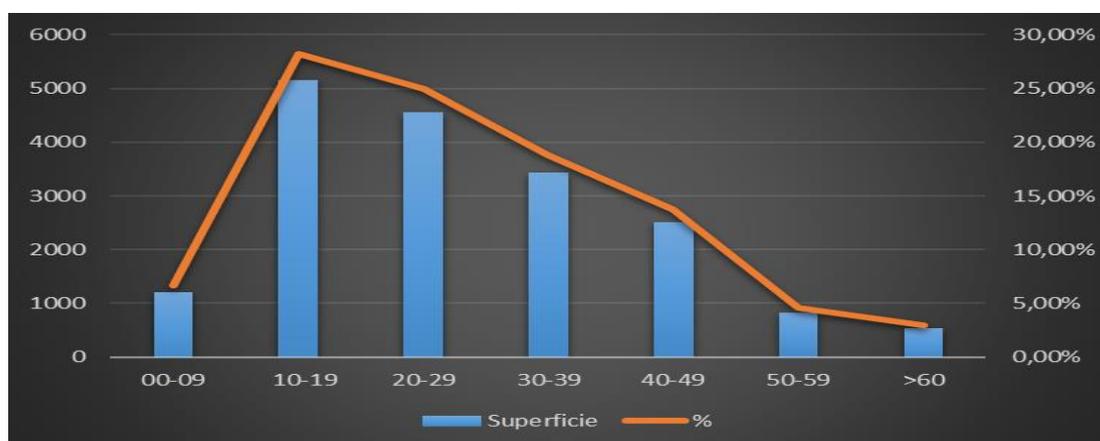


Figura 4: Rangos de edades de las plantaciones de pera. (SENASA, 2022)

Respecto de la evolución en las superficies implantadas de esta especie, en la Figura 5, se observa una marcada tendencia decreciente desde 2012 a 2021, que ocurre para todas las variedades de referencia, pero resulta muy notable en el caso del cultivar *Williams*, donde la pérdida de superficie es del 24% para el periodo relevado (SENASA, 2022).

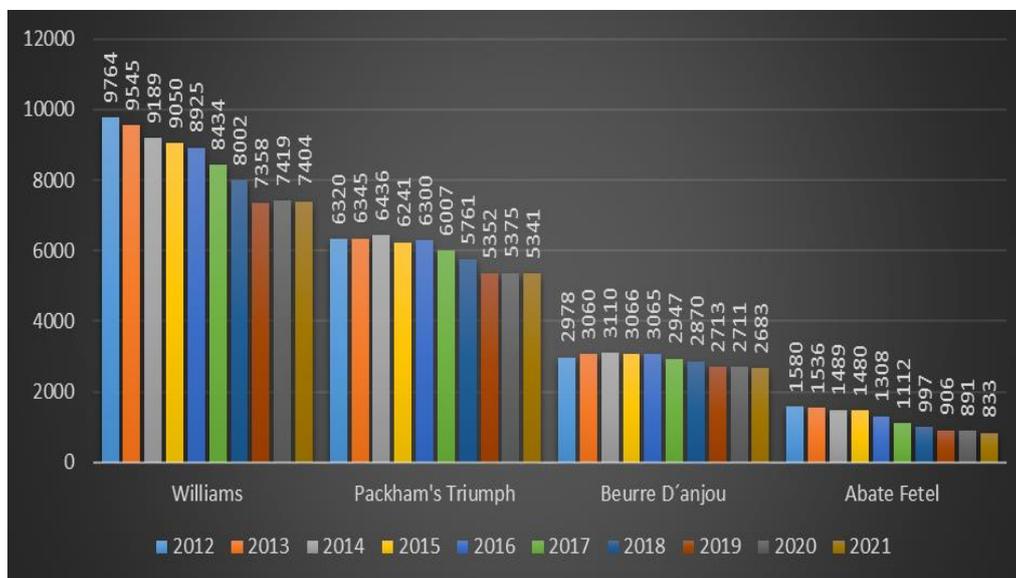


Figura 5: Evolución de la superficie (en hectáreas) de las principales variedades de pera durante el período 2012-2021.(SENASA, 2022)

En cuanto al destino de las exportaciones de peras en fresco, se observa en la Figura 6 que, de acuerdo al anuario estadístico de 2021 del SENASA, el principal destino lo representa Sudamérica (Brasil, Perú, y Bolivia) con 39%, seguido por Europa (Rusia, Italia y Holanda) con 37%, América del Norte y Central (EE.UU., Canadá y México) con 22% y finalmente con muy poca participación, se encuentra Asia (China, Israel y Emiratos Árabes Unidos).

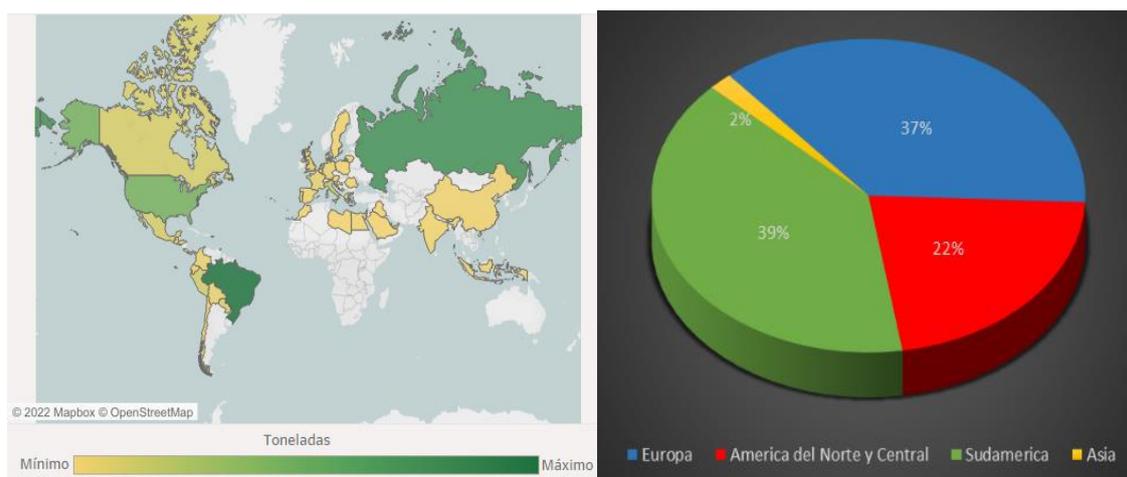


Figura 6 :DER: Participación Relativa de los destinos de las exportaciones de Peras.(2021). IZQ: Mapa de destinos de exportación 2021 (SENASA, 2022)

Las exportaciones de fruta en fresco, son realizadas por un reducido grupo de empresas comercializadoras de mediana y gran escala. Este contexto de concentración comercial resulta evidente observando los embarques a ultramar,

donde los dos principales grupos exportadores (Grupo Prima y Grupo P.A.I.) realizaron el 45,7% de los envíos en la temporada 2021, mientras que las primeras 10 compañías exportadoras de ultramar explican el 82,64% de los envíos (TSPPN, 2022).

Las últimas dos temporadas han sido marcadamente desfavorables para la actividad, afectadas respectivamente por la pandemia de COVID-19 durante los años 2020 y 2021, y luego, a partir de 2022 por la situación bélica entre Rusia y Ucrania, que interrumpió severamente los envíos hacia este importante destino.

Contrastando con esta realidad de pérdida de las superficies productivas, un estudio sobre la potencialidad productiva de la provincia de Río Negro presentado en 2015 por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el gobierno de Río Negro y el Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) de la Unidad de Cambio Rural, determinó que en base a la disponibilidad de sus recursos hídricos, de los suelos, y de los factores agroclimáticos con que cuenta la provincia, es factible alcanzar una mejora sustentable de los sistemas actuales de riego y una ampliación de los mismos de hasta 430.000 hectáreas en las zonas de valles, considerando los distintos efectos del cambio climático (incremento de las necesidades de riego de los cultivos y eventos de escasez de las fuentes hídricas) (FAO, 2015).

1.6. Antecedentes

A nivel internacional existen numerosos antecedentes de estimación de huella de carbono (HC) en cultivos frutícolas perennes, principalmente en manzanas y en menor medida en peras. En los últimos 10 años se han incrementado notablemente las publicaciones referidas a esta temática y en particular respecto de productos agrícolas.

En la Tabla III, se recopilan los antecedentes de cuantificación de HC en peras y manzanas para distintos países, que resultan relevantes para permitir posteriores comparaciones.

Fuente	Valor kgCO ₂ eq/ t producto	Observaciones
Mendia et al. 2017 Argentina, Río Negro	40,00	manzana y pera
Vinyes et al. 2018 España Cataluña	206,70	manzana eje central
Vinyes et al. 2018 España Cataluña	195,30	manzana fuiting Wall
Alaphilippe et al. 2016 Francia	89,79	manzana intensivo
Alaphilippe et al. 2016 Francia	75,28	manzana semi intensivo
Mila I Canals, 2005 Nueva Zelanda	40,00	manzana mínimo
Mila I Canals, 2005 Nueva Zelanda	100,00	manzana máximo
Wang et at. 2021 China, L. Plateau	225,00	Pera asiática, riego surco, fertilización adulto 831N, producción adulto 72,4 t
Wang et at. 2021 China, L. Plateau	130,00	Pera asiática, riego goteo, fertilización adulto 362N, producción adulto 67,5 t
Bartzas et al. 2017 Grecia, Agia	89,00	Manzana Granny Smith, 850 plantas por ha, producción 32,4 t, 80 t N año, riego por goteo, periodo anual

Tabla III Antecedentes de cuantificación de HC en peras y manzanas

Como puede observarse en la Tabla III, los valores de HC varían significativamente de acuerdo a los esquemas de fertilización, sistemas de riego y la productividad del monte frutal. Asimismo, existen notables diferencias según sea el límite temporal elegido para cada trabajo. Los casos de la Tabla III consideran diferentes periodos de cultivo, lo cual dificulta la comparación de resultados. En la sección de resultados (punto 3.2.1.) se analiza con más profundidad este aspecto.

Adicionalmente, en Ecoinvent v3.7, la reconocida base de referencia internacional para el análisis del ciclo de vida (ACV), se encuentran disponibles los inventarios de ciclo de vida de la producción de peras argentinas, sudafricanas, belgas y chinas, realizados en el marco del proyecto World Food LCA Data Base (WFLDB) por el Instituto Federal Suizo Agroscope.

Este proyecto se inició en 2012, con el objetivo de desarrollar una base de datos con inventarios de ciclo de vida (LCI) de productos básicos (frutas, verduras, café, cacao, aceites comestibles, carne, leche y sus insumos). La fase 1 del WFLDB constó de casi 400 conjuntos de datos Inventario de Ciclo de Vida (LCI) representativos de más de 40 países que abarcaron 100 productos de origen animal, 100 frutas, verduras y bayas, 50 productos de cereales, 25 productos lácteos, 20 alimentos procesados, 30 aceites y 8 fertilizantes (Nemecek, 2019).

En 2016, la consultora internacional Quantis lanzó la Fase 2 de WFLDB, donde se regionalizaron los perfiles ambientales de cada uno de los productos (Nemecek, 2019).

De acuerdo a esta fuente, dadas las características propias de un cultivo perenne, y en concordancia con el método de evaluación utilizado, IPCC 2013 GWP100a con inclusión del CO₂ secuestrado por biomasa, considerando 20 años de cultivo, en todos casos las huellas de carbono presentan valores numéricos negativos (Tabla IV), es decir, representan secuestros o fijación neta de carbono. La producción de una tonelada de pera argentina ocasiona un potencial secuestro de 63,99 kg CO₂eq t⁻¹ (Romagnoli y Thomas, 2021).

Como puede observarse en la Tabla IV, el valor estimado para la producción de peras en argentina duplica al del “resto del mundo”, pero representa solamente un 25% del valor de Bélgica, y es 13 veces menor que el de Sudáfrica (Romagnoli y Thomas, 2021).

Pera (1 t)	Unidad	Resto del mundo	Argentina	Sudáfrica	Bélgica
Huella de Carbono	kg CO ₂ eq	-30,91	-63,99	-856,76	-284,85

Tabla IV: Huella de Carbono (GWP100a) para 1 t de pera (kg CO₂eq) (Romagnoli y Thomas, 2021)

Una revisión crítica del modelo, permite visualizar que se incluye un proceso de conversión de tierras (cambio de uso de suelos), que no refleja adecuadamente las características ambientales de la principal región productora de peras del país y seguidamente considera sistemas de riego que utilizan energía eléctrica para su función. Por estos motivos, el valor de huella de carbono que surge a partir

de los ICV actuales de Ecoinvent, es para el caso argentino, calculado erróneamente y de manera deficiente (Romagnoli y Thomas, 2021).

Por este motivo resulta necesario ajustar el ICV de la producción de peras argentinas, para poder evaluar con mayor precisión el perfil ambiental de la misma respecto de su potencial impacto en el cambio climático, evitando así un potencial perjuicio para las exportaciones futuras.

En la sección de resultados se comparan los valores obtenidos en el presente trabajo con los antecedentes identificados en la Tabla III.

1.7. Objetivos

El objetivo general del trabajo consiste en estimar la huella de carbono de la producción agrícola de peras en montes de alta densidad en el Alto Valle del río Negro para una (1) hectárea de superficie cultivada y para una (1) tonelada de fruta cosechada (t), en base a la metodología de Análisis de Ciclo de Vida. Asimismo, se buscan identificar los puntos críticos o hotspots de mayor impacto, de modo de enfocar las iniciativas de mejora continua de los procesos productivos hacia la sustentabilidad.

Los objetivos específicos son:

- 1) Estimar la huella de carbono de la producción agrícola de peras en montes de alta densidad en el Alto Valle del río Negro utilizando un paquete tecnológico de referencia, en función de una (1) hectárea de superficie cultivada (ha.) y en función de una (1) tonelada de fruta cosechada (t)
 - i) Cuantificar las emisiones de GEI por las actividades primarias, para una (1) hectárea de superficie cultivada y para (1) tonelada de fruta cosechada (t).
 - ii) Cuantificar las remociones de GEI en la biomasa vegetal y en el suelo para una (1) hectárea de superficie cultivada y para (1) tonelada de fruta cosechada (t).
- 2) Generar conocimiento sobre el funcionamiento ambiental de unidades de producción seleccionadas.
- 3) Identificar puntos críticos de emisión y remoción de gases GEI
- 4) Detectar oportunidades de mejora en las actividades productivas, desde el punto de vista de la sostenibilidad y ecoeficiencia. Considerando las prácticas y tecnologías que permiten minimizar la emisión y maximizar la remoción de GEI.

La región se caracteriza por presentar en cada parcela productiva, una alta diversidad y variabilidad tecnológica (variedades de peras, densidad de plantas por superficie, sistemas de conducción, etc.). Por este motivo el valor de la huella de carbono obtenido en este trabajo no pretende ser representativo de toda la producción frutícola de la región, sino constituir un valor de referencia que permita comparar a futuro las situaciones particulares de cada monte frutal.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se exponen los criterios y métodos utilizados para alcanzar los resultados del presente trabajo. En primer lugar, se presenta el marco metodológico que implica el Análisis de Ciclo de Vida, posteriormente se exponen todos los datos de actividad productiva y criterios utilizados para la identificación y cuantificación de los flujos materiales de entradas y salidas relacionadas con la emisión y remoción de GEI del sistema de producción agrícola de peras del Alto Valle del río Negro.

2.1. Marco metodológico: Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es el método más difundido para identificar, cuantificar y evaluar el potencial impacto ambiental de los procesos o productos, desde la adquisición de materias primas (denominada la “cuna”), hasta la producción y utilización (denominadas las “puertas”) y su disposición final (denominada la “tumba”), así como para determinar formas de minimizar o mitigar los daños al medio ambiente. El método ACV se encuentra descrito específicamente en las normas ISO 14040 y 14044.

Este trabajo utiliza como documento base para la cuantificación de la Huella de carbono los preceptos de la norma *Gases de Efecto Invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación: ISO 14067: 2018*, la cual está basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El punto 3.1. de la norma ISO 14044:2006 define el ciclo de vida como las “*etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta el tratamiento al final de la vida útil*” (Figura 7).

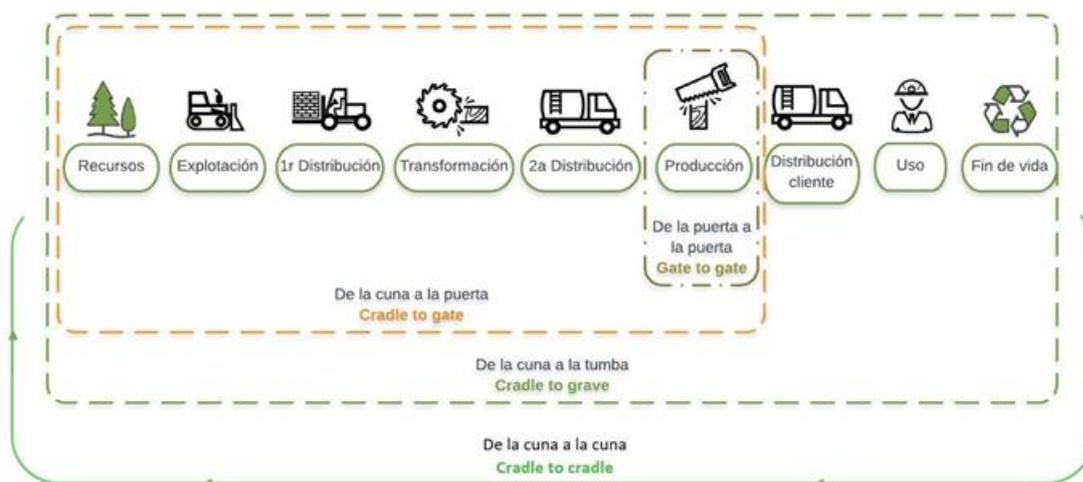


Figura 7: Alcance de un ACV. Fuente www.zeroconsulting.com/es

El punto 3.2. de la misma norma detalla el análisis del ciclo de vida (ACV) como la “*recopilación, y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto (3.28) a través de su ciclo de vida (3.1.)*”.

La norma ISO 14067 es la que describe la huella de carbono de producto (HCP), que constituye una evaluación de ACV, específicamente para un solo impacto: cambio climático o potencial de calentamiento global (GWP).

A los efectos de la definición formal de huella de carbono, se considera el punto 3.1.1.1. de la mencionada norma “*Huella de carbono de producto (HCP) es la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (3.1.2.5) y remociones de GEI (3.1.2.6) en un sistema producto (3.1.3.2) expresadas como CO₂ equivalente (3.1.2.2) y basadas en una evaluación del ciclo de vida (3.1.4.3) utilizando la categoría de impacto (3.1.4.8) única de cambio climático.*” (ISO, 2018).

Como se mencionó en el capítulo introductorio, la huella de carbono constituye la suma de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Las emisiones de GEI contribuyen al cambio climático mediante la aceleración del calentamiento atmosférico global. Los gases de efecto invernadero de relevancia son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFHs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Se denomina huella de carbono debido a que los gases de efecto invernadero distintos al dióxido de carbono son convertidos a su valor equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global a 100 años (PCG100a).

Dado el carácter general de la norma ISO 14040, en el requisito 6.2 de la ISO 14067, se indica que cuando exista una Regla de Categoría de Producto o “Product Category Rules” (PCR) que resulte pertinente se debe adoptar esta regla siempre que se ajuste a los requisitos de alcance y objetivos del estudio. Las PCR, son un conjunto de requisitos y pautas para desarrollar las Declaraciones Ambientales de Producto o “Environmental Product Declarations” (EPD) para una o más categorías de productos.

La norma ISO 14025 define las PCR como “un conjunto de reglas específicas, requisitos y guías para el desarrollo de declaraciones ambientales tipo III para una o más categorías de producto”. Las PCR constituyen una guía específica para generar una EPD y se ajustan a la norma ISO 14025. En el caso de este trabajo se tomó en cuenta la PCR *UN CPC 013 de frutas y nueces, versión 2019:01*.

Un estudio de Huella de carbono de Producto (HCP) de acuerdo con la norma ISO 14067 debe incluir las cuatro fases de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es decir, a) definición de objetivo y alcance, b) inventario de ciclo de vida, c) evaluación de impactos del ciclo de vida y d) interpretación del ciclo de vida para la huella de carbono de producto. Los procesos unitarios que comprenden el

sistema producto se deben agrupar en etapas del ciclo de vida, por ejemplo, adquisición de materias primas, diseño, producción, transporte/entrega, uso y fin de vida. Las emisiones y remociones de GEI del ciclo de vida del producto se deben asignar a la etapa del ciclo de vida en las que se producen.

2.1.1. Fases del ACV

De acuerdo a lo propuesto por la norma ISO 14040, para desarrollar un ACV para un proceso, producto, servicio o actividad, se deben suceder las siguientes fases o partes fundamentales, que son (Figura 8):

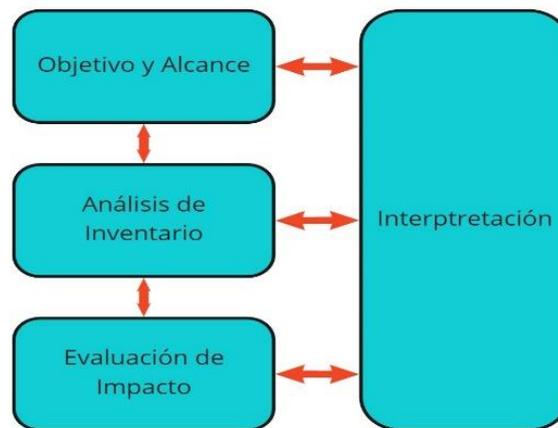


Figura 8: Fases de un Análisis de Ciclo de Vida

La definición del objetivo y alcance es la fase donde se establecen la finalidad del estudio, los límites del sistema, los datos necesarios, las hipótesis y los límites del análisis.

La segunda fase consiste en la confección del inventario, donde se realiza una cuantificación rigurosa de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante todo su ciclo de vida, los cuales son extraídos del ambiente natural, o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos.

Posteriormente es en la fase de evaluación de impacto donde se traducen los resultados del inventario en impactos potenciales a través de la utilización de factores de emisión unitarios.

De forma paralela y permanente, todas las instancias mencionadas del proceso, se someten a una etapa de interpretación /valoración crítica que permite articular la iteración de la secuencia de las etapas para asegurar el cumplimiento de los objetivos iniciales.

Dependiendo de los objetivos del estudio, y en función de las conclusiones o recomendaciones se puede continuar con una etapa de mejoramiento, un análisis que conduce a la elaboración de propuestas que mejoren el sistema estudiado para reducir los impactos calculados.

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas, por lo que a medida que se obtienen resultados se

pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo que exige la revisión de los cálculos. Este hecho, más la gran cantidad de datos históricos que se deben utilizar para realizar un ACV, presentan la necesidad de contar con un instrumento informático para facilitar la realización de un ACV, estos pueden ser de tipo específico con aplicaciones expertas (SIMAPRO, OPENLCA, GaBi, Umberto LCA+) o genérico con calculadoras realizadas en planillas de cálculo.

2.1.2. Definición del alcance

El alcance del presente estudio abarca desde la cuna de los insumos hasta la cosecha del producto en la puerta del establecimiento productor (“chacra”) (from cradle to the farm gate).

Se seleccionó un nivel o paquete tecnológico medio/alto, que corresponde a una producción convencional, con alta densidad de árboles (1.250 árboles/ha), y conducción en espaldera con eje central. Este sistema es ampliamente recomendado para realizar nuevas plantaciones (INTA, 2004). El sistema de riego considerado es gravitacional por surcos.

La representatividad regional del sistema evaluado, respecto de la conducción en espalderas, corresponde al 73,5% de la superficie y respecto al sistema de riego, superior al 90% (CAR, 2005).

En cuanto al alcance temporal de los inventarios, la información del sistema productivo corresponde a 25 años del ciclo productivo completo de un monte frutícola, considerando como referencia el paquete tecnológico establecido en el documento denominado *Pautas tecnológicas para frutales de pepita*, realizado en 2004 y actualizado en la *publicación Pera Williams Manual para el productor y el empacador en el año 2010*, ambos coordinados por INTA con participación de los principales referentes técnicos regionales de la actividad.

Se incluye la extracción de materias primas, producción y transporte de los insumos (plantas de vivero, semillas, agroquímicos, fertilizantes, combustibles, entre otros), la producción de sus envases, todas las labores del campo, las emisiones derivadas de la quema de combustibles y de la aplicación de fertilizantes.

La actividad se inicia con la producción de la planta frutal en el vivero, es decir, árboles jóvenes injertados para ser plantados. El conjunto de datos incluye todas las actividades de año a año en la fase productiva del huerto incluyendo la fase de establecimiento por año de vida (25 años, 1250 árboles/ha plantados).

Las plantaciones arbóreas poseen la capacidad de capturar el CO₂ de la atmósfera, almacenándolo de forma estable en los órganos estructurales de los árboles (troncos, raíces y ramas). A diferencia de los ICV de Ecoinvent, en este trabajo no fueron consideradas las variaciones en el stock de carbono de la biomasa de los frutales. Motivaron esta decisión, la inexistencia de antecedentes

locales que permitan disponer de datos sólidos acerca de la magnitud de la biomasa arbórea en perales, y la fuerte controversia que existe respecto de los criterios para su cómputo.

Se examinaron publicaciones de referencia para la cuantificación del secuestro de carbono en árboles frutales (Wu et al., 2012; Ledo et al., 2018; Zanottelli et al., 2018). En todos los casos, los modelos no resultaron representativos de las características del monte frutal analizado en este trabajo. Por lo tanto, este factor no fue considerado.

Por el contrario, la existencia de relevamientos y modelos publicados de secuestro de carbono en suelos para la región (Mendía et al., 2015), permitió computar la variación de stocks de carbono en suelos en la estimación de la huella de carbono de la pera.

En el mismo sentido, debido a la disponibilidad de datos representativos y modelos consistentes, se consideró para la determinación de la huella de carbono, la remoción de CO₂ ocasionada por el desarrollo de la biomasa forestal de las barreras rompevientos utilizadas en los sistemas frutícolas locales.

En la Figura 9 se presentan esquemáticamente las entradas y salidas del sistema bajo estudio y los límites considerados.

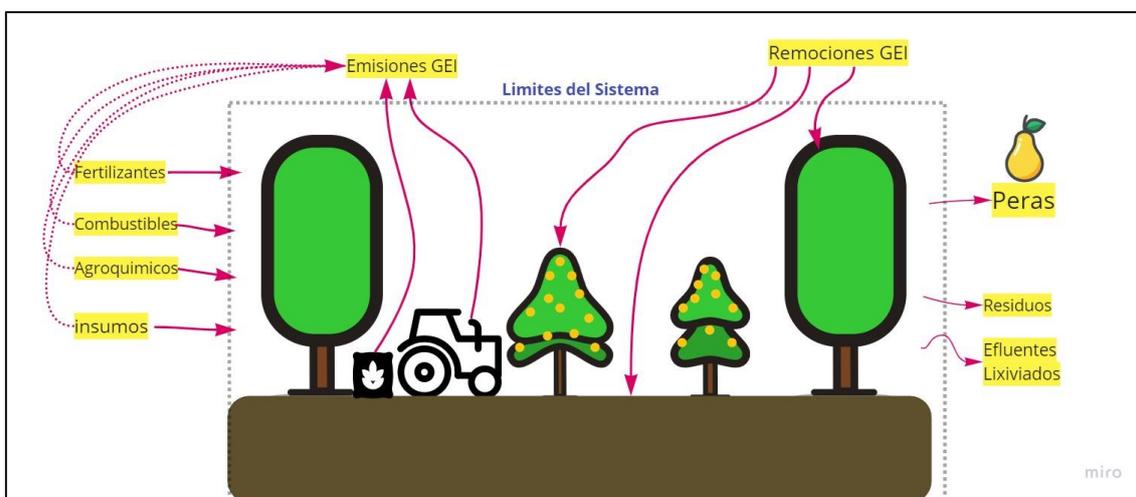


Figura 9: Esquema simplificado de entradas y salidas del sistema bajo estudio

2.1.3. Definición de las unidades funcionales

La norma ISO 14067 define la unidad funcional o declarada, como la base de cálculo sobre la cual se efectuarán los balances de materia y energía de un sistema producto. Un análisis de huella de carbono de producto (HCP) debe especificar claramente la unidad funcional o declarada del sistema en estudio y debe ser coherente con el objetivo y el alcance del estudio. El propósito principal de una unidad funcional o declarada es proporcionar una referencia cuantificada a la cual las entradas y salidas están relacionadas. Por lo tanto, debe estar claramente definida y ser medible. La unidad declarada sólo se debe utilizar en

una HCP parcial, como es el caso del presente trabajo, donde se analiza la etapa agrícola de la producción de peras.

Para los AVC de cultivos perennes frutícolas, Cerutti et al. (2013) y Alaphilippe et al. (2016) recomiendan trabajar complementariamente con unidades funcionales de masa y de superficie, a fines de evitar un resultado parcial que presente ecoeficiencias que no se correspondan con la realidad¹.

Por este motivo, este estudio utiliza dos unidades funcionales (UF):

- en unidades de masa: una (1) tonelada de fruta cosechada, en la tranquera del campo,
- en unidades de superficie: una (1) hectárea de cultivo de peras durante 25 años.

2.1.4. Pautas generales para la recopilación de datos para el Inventario de Ciclo de vida (ICV)

Los datos cualitativos y cuantitativos para su inclusión en el ICV se deben recopilar para todos los procesos unitarios incluidos en el sistema en estudio, en la unidad que corresponda. Los datos recopilados, ya sean medidos, calculados o estimados, se utilizan para cuantificar las entradas y salidas de un sistema o un proceso.

Se incluyeron los insumos requeridos para la producción de peras, bajo el sistema de análisis de ciclo de vida. Asimismo, se consideraron las emisiones directas e indirectas derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, calculadas de acuerdo a las *Guías del Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC) volumen 4, capítulo 11 (IPCC, 2019)* y de acuerdo a la Guía Pautas metodológicas para el inventario del ciclo de vida de los productos agrícolas (World Food LCA Database Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products) (Nemecek et al., 2019).

Se incluyeron en el cálculo los siguientes elementos:

- Variación del stock de carbono en suelos debido a la gestión agrícola,
- La captura y liberación de carbono por parte de las cortinas forestales
- Traslado y disposición final de los envases de agroquímicos usados para la producción de los cultivos, debido a que se informó que son almacenados y reciclados.

No se incluyeron en el cálculo los siguientes elementos:

¹ Por ejemplo, un sistema productivo con mayor requerimiento de insumos y mayor rendimiento comparado con otro de menores insumos, puede presentar resultados contradictorios, presentando un impacto ambiental mayor si se mide en unidades de superficie (ha) y menor si es expresado en unidades de producto (kg). Por ese motivo se recomienda trabajar con ambas unidades funcionales.

- Impacto por la construcción y fabricación de infraestructura, máquinas, edificios, vehículos y espacios de usos comunes ya que, por su extensa vida útil, la participación es poco significativa con respecto al volumen de producción.
- Consumos de energía para el alumbrado de oficinas, talleres o viviendas y limpieza de instalaciones. Tampoco se consideraron las emisiones generadas por el transporte de los empleados.

La asignación de cargas ambientales es un paso obligatorio en los estudios de Análisis de Ciclo de Vida de un producto, siempre que existen otros subproductos además del objeto de estudio. No obstante, para el proceso analizado en el presente trabajo no se identifican subproductos, por lo cual no se realizan asignaciones de carga.

2.1.5. Impacto ambiental evaluado

En este estudio se evalúa exclusivamente el impacto ambiental relacionado al Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential, GWP), que representa una medida relativa del calor que puede ser atrapado por determinados gases de efecto invernadero (GEI) acumulados en la atmósfera. Los GEI absorben radiación en determinadas longitudes de onda del espectro (radiación infrarroja) emitidas por la superficie de la Tierra y por las nubes. Los gases, a su vez, emiten radiación infrarroja desde un nivel en que la temperatura es más baja que en la superficie.

Los GEI considerados, se expresan en unidades de masa de CO₂ equivalentes, de acuerdo sus potenciales de calentamiento global (PCG) en un horizonte temporal de 100 años en relación con el CO₂. Se utilizaron los factores de caracterización del Quinto informe de evaluación (AR5) del IPCC (IPCC, 2014). Para su determinación se utiliza la norma ISO 14.067 que describe los principios, requisitos y directrices para la determinación de Huella de carbono.

2.1.6. Factores de emisión

Un factor de emisión es el valor expresado en CO₂eq que le corresponde a cada unidad material o de energía para cuantificar el impacto ambiental de su producción y/o uso.

Una vez confeccionado el inventario de entradas y salidas de cada proceso productivo, se obtuvieron en bases de datos de referencia internacional (Agri-footprint v5.0, Ecoinvent v3.7) las emisiones unitarias asociadas a cada una de esas entradas: insumos, materias primas, energía, etc., expresadas en kg, litros, MJ o la unidad correspondiente. Los agroquímicos se contabilizaron por su contenido de principio activo y si no estaban disponibles de ese modo, se incluyeron por su grupo de pertenencia según su acción (herbicida, fungicida, insecticida). Posteriormente, se multiplicó la cantidad usada de cada “entrada” por sus emisiones unitarias, obteniéndose el impacto para dichas cantidades.

Los perfiles ambientales de generación de energía eléctrica de Argentina, producción y quema de combustibles, producción de otros insumos y transportes fueron tomados de bases de datos internacionales Ecoinvent y Agri-footprint.

En el Anexo 1 se exponen los factores unitarios de emisión, expresados en CO₂ eq., utilizados para el cálculo de cada uno de los insumos/actividades consideradas en el presente trabajo.

2.2. Emisiones de las actividades productivas

A los fines de establecer los requerimientos de insumos, mano de obra y labores realizadas con maquinaria para una (1) hectárea de monte frutal de pera, se consideró un horizonte temporal de 25 años, y los mismos fueron extraídos a partir de las recomendaciones del libro *Pautas tecnológicas: frutales de pepita. Manejo y análisis económico financiero* publicado por el INTA Alto Valle en 2004.

La mencionada publicación tuvo como objetivo orientar a los productores hacia la correcta reconversión de su establecimiento productivo. Fue realizada por un nutrido grupo de referentes de organismos de investigación pública (universidades, INTA), profesionales independientes y responsables de producción de las principales empresas de la región. Estableciéndose pautas y recomendaciones de manejo consensuadas para los montes frutales de pepita de la región.

Posteriormente se realizó una actualización mediante la publicación *Pera Williams Manual para el productor y el empacador* de INTA Alto Valle en 2010.

2.2.1. Descripción del sistema productivo

Para este trabajo se toma como referencia una hectárea de monte frutal de pera Williams en alta densidad, con un marco de plantación de 4 metros entre filas y 2 metros entre plantas (1.250 plantas/ha). La plantación es conducida en eje central y apoyada en estructura de espaldera.

El sistema de riego considerado es gravitacional por surcos, dado que representa la técnica más utilizada en el sistema productivo frutícola de los valles irrigados del río Negro, con 97,18% de la superficie (CAR, 2005).

A continuación, se especifican las actividades y los insumos que fueron considerados para el inventario de ciclo de vida, de modo que el lector pueda conocer con nitidez los supuestos utilizados para realizar las estimaciones necesarias para obtener la Huella de Carbono de este sistema productivo.

2.2.2. Preparación del suelo

Previamente a la plantación, se nivela adecuadamente el terreno para la utilización de sistemas de riego por surco o manto, donde la pendiente en el sentido del riego no debe superar el 0,15% (15 cm en 100 m) en suelos arenosos y 0,04% (4 cm en 100 m) en suelos franco limosos. La nivelación se realiza de modo transversal al sentido del riego, debe ser cero dentro de la unidad de riego (INTA, 2004).

Posteriormente se realiza la roturación de las capas compactadas del suelo mediante la actividad de subsolado a 90 cm de profundidad en forma reticulada. Este trabajo generalmente se debe realizar con maquinaria pesada, estimando 8 horas de trabajo por hectárea.

2.2.3 Plantación

El marco de plantación en perales es de 4 metros entre filas y 2 metros entre plantas, lo que demanda 1.250 plantas en una hectárea neta. Asimismo, se considera un replante de fallas del 10% (+125 plantas) para el segundo año.

La plantación se realiza en los meses de junio, julio o agosto, para permitir un correcto enraizamiento de las plantas al momento de la brotación. Inmediatamente después de la plantación se realiza un riego (5-10 litros por planta) (Figura 10) para mejorar la condición del sistema radicular.

La construcción de las espalderas puede realizarse con anterioridad o posterioridad a la plantación, siempre se recomienda realizarlo con anterioridad dado que facilita la operación de plantación porque las filas ya se encuentran perfectamente demarcadas. No obstante, la importante inversión que demanda la construcción de la estructura puede llevar a diferir su construcción hasta el segundo o tercer año.

Las espalderas son construidas con postes sulfatados de álamos de 5 metros, que poseen un tratamiento de impermeabilización para la sección que es insertada en el suelo. Se instalan asimismo postes cabeceros en los extremos de las filas, que soportan la tensión de los 3 alambres que conectan los postes. Se requieren 216 postes y 7.500 m de alambre galvanizado de alta resistencia 17/15 por hectárea (INTA, 2004).

De acuerdo a la información disponible en los catálogos técnicos del fabricante (ArcelorMittal©), cada rollo de alambre contiene 1.000 m y pesa 43 kg. Considerando los desperdicios y el atado de los cabeceros, se computan 8 rollos, por lo tanto, son necesarios 344 kg de alambre /ha para la construcción de la espaldera.

Luego de la plantación se coloca un tubo protector de polietileno de baja densidad (LDPE) en cada planta para evitar daños por liebres o roedores. Se considera un peso de 50 g por unidad.

Como se indicó en el capítulo introductorio, las variedades de mayor difusión en la región, cuya importancia relativa depende del canal de comercialización utilizado por el productor, son las siguientes:

- Williams
- Beurré D`Anjou
- Packham´s Triumph
- Abate Fetel

Para este trabajo se consideró el cultivo de la variedad Williams dado que posee la mayor superficie productiva de la región y mejor recepción en los mercados de ultramar (Europa y USA).

Dada la escasa importancia que presenta la planta de vivero en el cómputo general de la HC de la producción frutícola (Cerutti, 2013; Alaphilippe, 2014), no se realizó un inventario específico de la etapa de vivero para su cómputo. En su lugar se optó por utilizar el perfil disponible en la base de datos Ecoinvent, denominado "Fruit tree seedling, for planting (RoW) / Cut-off", utilizando IPCC GPW100a con inclusión de CO₂ removido por biomasa (CO₂ uptake)".



Figura 10: Plantación de perales. Véase que en este caso se ha optado por realizar la plantación y con posterioridad construir su estructura de apoyo

2.2.4 Sistema de riego

Las necesidades hídricas de los perales son determinadas por factores biológicos y climáticos. Para la zona, se encuentran comprendidas entre 800 y 1.000 mm anuales. Enero es el mes de mayor requerimiento de agua de riego, con un pico de evapotranspiración del orden de 7 mm diarios. En la mayor parte

del Alto Valle la precipitación efectiva es poco importante, y por este motivo suele no ser tenida en cuenta en el cálculo de las necesidades de riego (INTA, 2004).

La Tabla V Necesidades hídricas estacionales de plantas jóvenes de peral, expresadas en litros por planta y por día, en relación al diámetro y área seccional de tronco (AST), en sus primeros años de crecimiento, utilizando un lisímetro volumétrico (Requena, 2016). Puede observarse como se incrementa el consumo de agua de la planta a medida que aumenta su diámetro y área seccional del tronco.

Temporadas de Crecimiento	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Diam. (cm)	AST (cm)
Primera Hoja	2	4	7	9	7	5	3	1.7	2.2
Segunda Hoja	4	7	12	18	15	11	6	2.7	5.5
Tercera Hoja	5	11	15	22	19	13	5	4.0	12.3

Tabla V Necesidades hídricas estacionales de plantas jóvenes de peral, expresadas en litros por planta y por día, en relación al diámetro y área seccional de tronco (AST)

Cuando se realiza un riego, no toda el agua es retenida en la zona de las raíces del cultivo. Existen pérdidas inevitables por percolación profunda, distribución, escorrentía superficial. Para contrarrestar estas pérdidas se agrega una cantidad mayor de agua al suelo de acuerdo con la eficiencia de aplicación estimada (Requena, 2016).

La eficiencia de aplicación (Efa) es la relación entre la cantidad de agua retenida en la zona de las raíces del cultivo y el total de agua aplicada al terreno. Para el sistema de riego por surco, la eficiencia de aplicación es de 50-70% (INTA, 2010).

El surco puede definirse como una melga de dimensión reducida. Esta modalidad de riego no cubre toda la superficie del terreno. En montes frutales, entre 1/4 y 2/3 de la superficie regada pueden no ser cubiertos por el agua y producir acumulación de sales en el perfil del suelo. Para evitar la acumulación de sales dos o tres veces en el año se debe realizar un riego por inundación (Requena, 2016).

2.2.5 Manejo del suelo

El cultivo de peras necesita suelos con texturas medias a medias finas, aunque si el riego se efectúa por sistemas presurizados soporta las texturas franco arenosas a arenosas. El contenido de fragmentos gruesos (piedras) al 20% del volumen del perfil del suelo comienza a limitar el desarrollo del cultivo (INTA, 2010).

La labranza es uno de los factores que mayor incidencia ejerce sobre la distribución de las raíces. Estudios locales han demostrado el efecto nocivo de la rastra de discos al cortar las raíces superficiales como así también en crear

condiciones de compactación severas que afectan tanto el crecimiento de las raíces como la aireación del suelo (INTA, 2010).

No solo la labranza influye en la distribución radicular de los frutales. Otro factor es el paso reiterado de la maquinaria agrícola (pulverizadoras, cosechadoras, etc.) por el mismo sector del terreno. Esto ocasiona un gran deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo, con aumento en la densidad aparente, compactación y disminución en la porosidad, lo cual afecta el crecimiento y la distribución de las raíces del frutal (INTA, 2010).

Cuando el suelo no se encuentra en el estado óptimo de humedad para llevar a cabo estas tareas, su realización ocasiona compactación, con mayor gravedad en suelos de texturas finas y libres de cubierta vegetal que en aquellos de texturas más gruesas y con vegetación (INTA, 2010).

Se sabe que las coberturas verdes, ayudan a conservar el suelo (minimizan la compactación, incrementan los nutrientes y mejoran la estructura) y benefician el desarrollo de los frutales. Por ese motivo se considera la siembra de semillas de mijo *Panicum miliaceum* (75 kg/ha en años 1 y 2) y cebada *Hordeum vulgare* (35 kg/ha en los años 3 y 4) durante los primeros años del cultivo.

2.2.6 Control de malezas

La eliminación de toda posible competencia por agua y nutrientes en los primeros años de vida del frutal es crítica para permitir el desarrollo rápido de la estructura de la planta.

El control de malezas se puede realizar mediante laboreo mecánico o herbicidas. Los herbicidas más usados son el glifosato o similares de acción sistémica cuando se quiere controlar malezas perennes como la gramilla (*Cynodon dactylon*) o el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*). La aparición de malezas anuales en la primavera o el verano se controla con herbicidas de contacto como el Paraquat o graminicidas selectivos, en caso de ser necesarios.

Posteriormente a la plantación se aplica un herbicida pre emergente con mochila a razón de 1 litro por hectárea plantada (aplicado sobre las filas). Luego se realizan 3 aplicaciones de un herbicida pos emergente en similares condiciones. Esta operación se repite en el segundo y tercer año. Dado que la superficie efectiva de aplicación es 0,33 ha, se utilizan 5,28 litros por año.

En el primer y segundo año se realiza, además, la limpieza manual del bordo de plantación, erradicando aquellas malezas que puedan competir con los frutales.

A partir del cuarto año y en adelante, el control de malezas se realiza con glifosato a razón de 3,3 litros por hectárea neta plantada. Considerando los 22 años de aplicación, totaliza 72,6 litros por hectárea para el ciclo completo.

2.2.7 Sistema de conducción

El sistema de conducción utilizado en el presente trabajo se denomina de “eje central” (Figura 11), y se basa en un eje dominante (tronco) con 16 a 18 cargadores (ramas) distribuidos radialmente a lo largo del eje con una relación de al menos 3 a 1 (eje a cargadores). La carga de frutas se encuentra en los cargadores. Requiere un marco de plantación de 4 metros entre filas y 2 metros entre plantas, con una densidad de 1.250 plantas por hectárea. La altura final de la planta es 4 a 4,5 m (INTA, 2004).



Figura 11: Monte de peras con conducción en eje central

Se realizan operaciones de poda invernales y estivales del monte. Asimismo, el trabajo de conducción de la planta implica el atado de ramas para lograr una arquitectura de las plantas que les permita aprovechar mejor la luz solar y mejores producciones. Ambas tareas (poda y atado de ramas) se realizan en forma manual utilizando tijeras, serruchos y escaleras de madera (Figura 12).



Figura 12: Trabajadores realizando las tareas de poda invernal

Luego de las podas, el material vegetal es triturado e incorporado en el suelo para aportar materia orgánica al mismo. Para realizar esta actividad se utiliza la trituradora de ramas, con esta herramienta se logra de una pasada la reducción del tamaño de los residuos y su incorporación en los primeros centímetros de suelo (Figura 13).



Figura 13 :Implemento triturador de podas en operación. Fuente (INTA)

Para el atado de las ramas, se utiliza hilo biodegradable de algodón, que se comercializa en ovillos o rollos de 0,5 kg cada uno. En base al esquema técnico de (INTA, 2004) se consideró el consumo de 15 rollos para los años 1 y 2, 30 rollos para los años 3 y 4 y finalmente 5 rollos por año, para los años subsiguientes. Por lo tanto, se consideran 195 rollos, es decir 97,5 kilos por hectárea para todo el ciclo productivo.

El hilo de algodón utilizado actualmente en fruticultura, era hasta hace pocos años atrás, un residuo del proceso de teñido de géneros de la industria textil. A partir de descubrir la conveniencia de su utilización para las tareas de conducción de los árboles, ha sido ha revalorizado como subproducto.

2.2.8 Fertilización

La fertilización es una práctica cultural fundamental en la producción intensiva de frutales. A pesar de que los suelos de la región presentan en general buena fertilidad natural, la elevada demanda nutricional hace que sea necesario recurrir al uso de fertilizantes principalmente nitrogenados (INTA, 2004).

Como se ha señalado anteriormente, los suelos de los valles irrigados de la Norpatagonia son de bajo contenido de materia orgánica y en consecuencia no pueden aportar la cantidad de macronutrientes requerida por los frutales en un manejo intensivo.

Las enmiendas orgánicas mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los estiércoles o guanos mayormente empleados en la región son de cabras y gallinas. Nutricionalmente importa el contenido de nitrógeno total de los mismos, que no suele superar el 1-2% sobre base seca (INTA, 2010).

Al momento de la plantación del monte frutal, se incorpora materia orgánica al suelo, principalmente utilizando guano de cabra o gallina en una dosis de 1.562 kg. por hectárea para el primer año, y 156 kg para el replante del año 2 (INTA, 2004).

Para corregir acumulaciones o excesos de sales de sodio habitualmente se realiza el agregado de yeso (CaSO_4). Para este trabajo se considera la recomendación de una aplicación inicial de 781 kilos por hectárea para el primer año y 78 kg para el replante del segundo año (INTA, 2004).

Asimismo, se realiza una fertilización de base con Fosfato Monoamónico MAP (10% N – 48% P_2O_5) en el pozo de plantación, a razón de 156 kg por hectárea para el primer año y 16 kg para replante del segundo año.

Las aplicaciones en el suelo durante el primer año, desde octubre hasta febrero se realizan en 8 repeticiones, con frecuencia semanal utilizando nitrato de amonio (33% N). Para el segundo año se realizan en 4 repeticiones con el mismo producto con frecuencia mensual. A partir del tercer año se realizan 3 aplicaciones: 2 con nitrato de amonio y 1 con Triple 15 (15%N–7%P–12%K) (INTA, 2004).

Aunque en el libro Pautas tecnológicas de Frutales de Pepita (INTA 2004) se recomienda la aplicación de nitrato de amonio, para la fertilización nitrogenada, razones de seguridad, disponibilidad local y alto costo, han motivado su reemplazo por la urea, principalmente de origen nacional (Curetti M., comunicación personal).

Por lo tanto, en este estudio, en reemplazo del nitrato de amonio, será considerada la urea como fertilizante nitrogenado, respetando siempre las unidades de nitrógeno recomendadas en la publicación de referencia mencionada.

En la Tabla VI se presentan las magnitudes de fertilizantes aplicados por suelo por hectárea, para cada uno de los años del cultivo. Se puede observar en la

última fila las unidades de nitrógeno totalizadas en función del aporte de cada uno de los productos aplicados.

Aplicaciones por suelo Producto (kilos /ha ⁻¹)	Años				
	1	2	3	4	adulto
Yeso (CaSO ₄)	781	78			
Fosfato Monoamónico (10%N)	156	16			
Guano pollo (1,8-1-1,5) ⁽¹⁾	1.562	156			
Urea (46%N)	176	176	118	118	118
Triple 15 (15%N)			300	300	300
Total Nitrógeno elemental	125	86	99	99	99

Tabla VI: Fertilizantes aplicados por suelo. Adaptado de INTA,2004 – nota: ⁽¹⁾ Maisonnave et al, 2015

Para ejecutar las aplicaciones, se utiliza el tractor con acoplado en función de agilizar la distribución y transporte de los productos. La eficiencia de aplicación de los fertilizantes nitrogenados cuando se emplea riego por surcos suele ser muy baja, del orden del 40% (Sánchez y Curetti, 2021).

Considerando el ciclo total del cultivo, de la Tabla VI puede deducirse que son aplicados 2.488 kilos de nitrógeno, en función de lo mencionado en el párrafo anterior, resulta muy significativo lograr mayores eficiencias en la aplicación de los fertilizantes. Por esta razón más adelante será analizado este punto en particular mediante un análisis de escenario para estrategias de mitigación.

Como complemento de la fertilización por suelo se realizan también aplicaciones foliares. En relación al crecimiento del cultivo, se utilizan crecientes volúmenes de solución por tratamiento aprovechando el mismo equipo pulverizador de los tratamientos sanitarios (tractor con pulverizador de 2.000 litros), con 120 litros para el primer año, 800 litros para el segundo y 1.500 litros del tercero en adelante. Utilizando micronutrientes, urea (46%N) y ácido bórico (INTA, 2004).

Los micronutrientes (cobre, manganeso, hierro, cinc y cloro) son demandados en pequeñas cantidades, no obstante, resultan fundamentales por estar asociados al funcionamiento de enzimas que regulan diversos procesos metabólicos relacionados a la fotosíntesis y a la transferencia de energía. (Sánchez y Curetti, 2021).

La Tabla VII presenta la información respecto de las cantidades de los productos utilizados en una hectárea para cada uno de los años.

Aplicaciones foliares Producto (kilos /ha ⁻¹)	Años				
	1	2	3	4	adulto
Urea (46% N)	1.75	2.80	21.00	7.00	7.00
Ácido Bórico			5.00	5.00	5.00
Micronutrientes	1.10	1.60	6.00	6.00	6.00
Total Nitrógeno elemental	0.80	1.30	9.70	3.20	3.20

Tabla VII: Fertilizaciones foliares. Adaptado de INTA, 2014

Como puede observarse, si bien las fertilizaciones foliares resultan estratégicas para la productividad del cultivo, no resultan de gran impacto en cuanto al volumen de los productos aplicados.

Para computar las emisiones de GEI provenientes de la producción de cada de fertilizante, se utilizaron factores de emisión unitarios publicados por empresas proveedoras argentinas para urea (Profértil) y triple 15 (Yara). En el caso de yeso y ácido bórico se tomaron los factores de emisión disponibles en la base de datos ecoinvent v3.7.

2.2.9. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) de los suelos gestionados y emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivadas de la aplicación de urea

El óxido nitroso se produce naturalmente en los suelos a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es la oxidación microbiana aeróbica del amonio en nitrato y la desnitrificación es la reducción microbiana anaeróbica del nitrato en gas de nitrógeno (N₂). El óxido nitroso es un producto gaseoso intermedio en la secuencia de reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas al suelo y, finalmente, a la atmósfera (Subbarao et al., 2006).

A continuación, se presentan los métodos y las ecuaciones utilizados para estimar las emisiones de N₂O (directas e indirectas) de suelos gestionados. Los mismos están basados en los procedimientos del *Volumen 4, Capítulo 11, del IPCC 2006*, con el refinamiento del 2019 en cuanto corresponda (IPCC, 2019).

Uno de los principales factores de control de estas reacciones químicas es la disponibilidad de N inorgánico en el suelo. Por lo tanto, mediante esta metodología se estiman las emisiones de N₂O utilizando agregados netos de N a los suelos (p. ej., fertilizantes sintéticos u orgánicos) (IPCC, 2006).

Las emisiones de N₂O producidas por agregados antropogénicos de N o por mineralización del N se producen tanto por vía directa (es decir, directamente de los suelos a los que se agrega o libera el N) y a través de dos vías indirectas: (i) a partir de la volatilización de NH₃ y NO_x de suelos gestionados y de la combustión de combustible fósil y quemado de biomasa, y la subsiguiente redeposición de estos gases y sus productos NH₄⁺ y NO₃⁻ en suelos y aguas; y (ii) después de la lixiviación y el escurrimiento del N, principalmente como NO₃⁻-N, de suelos gestionados (IPCC, 2006).

Las emisiones directas de N₂O de suelos gestionados se estiman por separado, a partir de las emisiones indirectas, aunque empleando un conjunto común de datos de la actividad.

En la Tabla VIII se presenta el resumen de las ecuaciones, factores de emisión y datos de actividad considerados para estimar las emisiones directas e indirectas como resultado de las fertilizaciones.

Conceptos		Ciclo completo	Anual Adulto
F_{SN} = Cantidad de Fertilizante N aplicado durante el periodo (kg N/año) (Datos extraídos de Tabla VI y Tabla VII del presente trabajo)		2.570,2	102,0
A. Emisiones Directas	$N_2O_{(Directas)} = N_2O_{(Directas)} - N \times 44/28$	40,39	1,60
<i>Ecuación 11.2</i>	$N_2O_{(Directas)} - N = (F_{SN}) \times EF_1$	25,70	1,020
<i>EF₁ = factor de emisión desarrollado para emisiones de provenientes de fertilizantes orgánicos y sintéticos aplicados (kg N₂O-N/kg N input).(Cuadro 11.1)</i>		0,01	0,01
B. Emisiones indirectas por lixiviación y escorrentía	$N_2O_{(L)} = N_2O_{(L)} - N \times 44/28$	13,33	0,53
<i>Ecuación 11.10</i>	$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN}) \times Frac_{lixiviado} \times EF_5$	8,48	0,34
<i>Frac_{lixiviado} = fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento, kg N (kg de agregados de N) (Cuadro 11.3)</i>		0,30	0,30
<i>EF₅ = factor de emisión para emisiones de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N, kg N₂O-N (kg N por lixiviación y escurrido)-1 (Cuadro 11.3)</i>		0,011	0,011
C.Emisiones Indirectas: volatilización	$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N \times 44/28$	4,44	0,18
<i>Ecuación 11.11</i>	$N_2O_{(ATD)} - N = (F_{SN} \times Frac_{GASF}) \times EF_4$	2,83	0,11
<i>Frac_{GASF} = [Volatilización de fertilizante sintético], (kg NH₃-N + NO_x-N) (kg N aplicado)(Cuadro 11.3)</i>		0,11	0,11
<i>EF₄ = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N₂O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [kg N-N₂O (kg NH₃-N + NO_x-N volatilizado) (Cuadro 11.3)</i>		0,010	0,010
Emisiones totales N₂O (A)+(B)+(C) convertidos a CO₂eq (N₂O x 265 = CO₂) Expresado en kg CO₂ equivalente		15.412,4	611,7

Tabla VIII Emisiones de N₂O de los suelos gestionados. Nota: las referencias de ecuaciones y cuadros responden a su nomenclatura en Volumen 4, Capítulo 11, IPCC 2006, con el refinamiento del 2019

Considerando la aplicación de fertilizantes nitrogenados durante el ciclo completo del cultivo (25 años), **son emitidos de forma directa e indirecta, 15.412,4 kg CO₂eq ha⁻¹**. Las emisiones anuales para el estado adulto del monte, ascienden a 611.7 kg CO₂eq ha⁻¹ año. Se evidencia que este rubro tiene una importancia significativa en el total de las emisiones del cultivo.

En el apartado 3.1.2 Análisis de las emisiones GEI en Unidad Funcional de masa, se analiza el alto peso relativo de este rubro y posteriormente, en el apartado 3.1.4.2 Mejoras en eficiencia de aplicación de fertilizantes, se estudia el impacto de las opciones de mejoras en su aplicación.

Emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de urea

El agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂ que se había fijado previamente en el proceso de producción industrial. La urea (CO(NH₂)₂) en presencia de agua y de enzimas de ureasa se convierte en amonio (NH₄⁺), ión hidroxilo (OH⁻), y bicarbonato (HCO₃⁻). De manera similar

a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se forma se convierte en CO₂ y agua (IPCC, 2006).

	Ciclo Completo	Anual Adulto
UREA kg / ha	3.246	125
<i>Ecuación 11.13</i> $CO_2 - C \text{ Emisión} = M \times EF$		
<i>M= Cantidad de fertilización con urea kg /ha ,</i>		
<i>EF= factor de emisión kg C = 0.2 - Conversión de C a CO₂ = 44/12</i>		
kg CO ₂ eq / ha	2.380,4	91,7

Tabla IX emisiones de CO₂eq derivadas de la aplicación de urea

De acuerdo al esquema de fertilización propuesto, en Tabla VI y Tabla VII, se utilizan 3.246 kg de urea por hectárea durante los 25 años de ciclo de cultivo, considerando la aplicación de 125 kg ha⁻¹ año⁻¹ a partir del quinto año de edad.

Como se observa en la Tabla IX, en el proceso de aplicación de la urea se originan emisiones de CO₂eq en todo el ciclo productivo (25 años) por 2.380,4 kg CO₂eq ha⁻¹. Para el monte adulto, asciende a 91,7 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹.

Es importante destacar que, en caso de optar por la aplicación de algún fertilizante distinto a la urea para el aporte de nitrógeno al cultivo, estas emisiones pueden ser evitadas.

2.2.10 Manejo de plagas. Sanidad.

Las actuales exigencias de los mercados y las legislaciones nacionales e internacionales respecto de la presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos, han incentivado a adoptar técnicas de manejo de plagas más amigables con el ambiente, como el uso de feromonas de confusión sexual, insecticidas de mayor especificidad, insecticidas orgánicos y utilización de enemigos naturales (INTA, 2010).

La carpocapsa (*Cydia pomonella*) es una plaga exótica originaria de Eurasia. Posee gran capacidad de colonizar plantaciones vecinas, y su falta de control provoca la pérdida de aproximadamente un 80% de los frutos. Por esta razón, su control resulta fundamental para la producción de frutas de calidad (INTA, 2010).

El manejo de plagas de los frutales de pepita, y de perales en particular, tiene como foco el control de esta plaga clave y sobre esa base se diseña el plan de manejo que corresponde a las plagas secundarias (Cichón, 2004).

En la actualidad, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, la técnica de confusión sexual (TCS) se ha transformado en la herramienta base del control. Consiste en distribuir la feromona artificial de una especie, en dosis altas y en forma homogénea en el cultivo, de manera de modificar el comportamiento de los adultos y bajar la probabilidad de encuentro entre ambos sexos (Cichón, 2004).

Las feromonas se distribuyen en el monte frutal a través de emisores (Figura 14) que son colocados en las partes superiores de las plantas. Los emisores o difusores más comúnmente empleados son fabricados con materiales variados, tales como, fibra, plástico o caucho. Específicamente para carpocapsa, estos difusores están impregnados con el constituyente principal de la feromona sexual de *Cydia pomonella* (INTA, 2010).



Figura 14: Diferentes modelos de emisores de feromonas empleados en la técnica de confusión sexual para carpocapsa (Isomate C plus LL ring©-Rak CP plus©-Isomate C plus LL©)

Para las estimaciones de las emisiones en el marco de este trabajo se utilizó como referencia el emisor *Isomate C plus LL*©. El mismo se compone de un cuerpo de polietileno con una mezcla de 165 mg/emisor compuesta por: 52,9% E,E-8,10—dodecadien1- 01 (codlemone), 29,7% dodecanol, 6,0% tetradecanol y 11,4% de inerte (Cichón, 2004). El peso unitario de cada emisor es de 1,65 gramos. Considerando una dosis de 1.150 emisores por hectárea a partir del tercer año, son utilizados 25.300 unidades por hectárea durante el ciclo del cultivo (INTA, 2004).

En las bases de datos de referencia para el sector agrícola (Ecoinvent, Agri-footprint, Agribalyse), no se encuentra disponible el factor de emisión para los emisores de feromonas. Por este motivo, se procedió a estimar este valor, utilizando un antecedente (Mila I Canals, 2003), y considerando la masa de cada componente con sus cargas por transporte correspondientes, dado que el producto es fabricado en Japón, de acuerdo a la información provista por el fabricante. El factor de emisión establecido para cada emisor fue 0,00621 kg CO₂eq por unidad.

Complementariamente a la TCS, se realizan aplicaciones de productos fitosanitarios mediante la utilización de un tractor (Figura 15) de 65 HP, con pulverizadora de arrastre de ventilador con una bomba de 33HP que se conecta a la toma de fuerza del tractor, con una capacidad de 2000 litros y ancho de trabajo de 10 metros (PAZIMA, 2022).

El esquema de aplicaciones para el control sanitario durante cada año de la evolución del cultivo, se presenta en la Tabla X.

Conceptos	Años				
	1	2	3	4	Adulto
Eventos de aplicación	5	4	6	8	8
Volumen de pulverización por aplicación (litros/ ha.)	500	800	2.000	2.000	2.000

Tabla X Tratamientos sanitarios en perales con pulverizadora

Puede observarse el incremento de la frecuencia y volumen de cada aplicación en la medida que aumenta el volumen de biomasa del monte frutal. Es importante destacar que este esquema podrá variar en función de las características climáticas de cada temporada. Se estima 1 hora de trabajo de maquinaria para la pulverización de una hectárea. Los consumos de combustible considerados oscilan entre 8,09 y 9,11 litros/hora, para suelo desnudo o cubierto respectivamente (según se presentan en la Tabla XVII), y en función de la época del año en que se realiza cada pulverización se consideró si el suelo presenta o no coberturas verdes.



Figura 15 Aplicación de agroquímicos con tractor y pulverizadora

En la Tabla XI, se presentan los principales principios activos utilizados en la región de los valles irrigados de Río Negro y Neuquén y el listado de plagas controladas por estos. Existe una manifiesta dinámica en la disponibilidad y las restricciones de uso de los agroquímicos para el control sanitario. Por ejemplo, algunos productos recomendados en el momento de la publicación de referencia (INTA, 2004), han sido limitados o prohibidos para su uso en la actualidad, como por ejemplo el fosforado metilazinfos². Por esta razón, fue necesario adaptar el paquete tecnológico original a los efectos de cumplir los requisitos de la legislación y/o preferencias del mercado (Garrido., comunicación personal).

² El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa) dispuso a través de su Resolución 149/2016 prohibir la elaboración, importación y fraccionamiento de formulaciones de insecticidas realizadas con Metil Azinfos y Metamidofos a partir del 1 de julio de 2016.

Principios Activos	Grupo Químico (*)	Plaga para la que muestra la máxima eficacia
metil azinfos clorpirifos	1	carpocapsa, grafolita, bicho de cesto
fosmet metidation		carpocapsa, grafolita
malatión		carpocapsa, grafolita, psílido
acetamiprid		carpocapsa, grafolita
thiacloprid	4	chicharrita, pulgones, carpocapsa
novaluron	15	carpocapsa, grafolita, otros lepidópteros
metoxifebencide	18	carpocapsa, grafolita, otros lepidópteros
spinosad	5	babosita del peral, carpocapsa, grafolita, psílido
lambdacihalotrina bifentrin	3	psílido, bicho de cesto, carpocapsa, grafolita (**)
cloramtraniliprole	28	carpocapsa, grafolita
abamectina	6	ácaros fitófagos
aceite mineral	--	ácaros fitófagos, cochinillas
polisulfuro de Ca	--	ácaros fitófagos, cochinillas
virus de la granulosis de carpocapsa	--	carpocapsa. <i>Empleado básicamente en producción orgánica</i>
jabón potásico	--	psílido, ácaros fitófagos

Grupos Químicos: 1.organosfosforados, 3.piretroides, 4.neonicotinoides, 5.spinosyns, 6.avermectinas, 15.benzoylureas, 18.diacylhidrazine, 28.diamidas,

Tabla XI. Principales principios activos utilizados en la región y plagas controladas.
Fuente . Manual Pera Williams (INTA, 2010)

En base a fichas técnicas y marbetes de cada producto se estimó el volumen de principio activo aplicado (ppa) y se utilizaron los factores de emisión genéricos publicados por Ecoinvent v3.7 y Agri-footprint v5.0 para herbicidas, insecticidas, aceites y productos con contenido de azufre. En la Tabla XII: Fitosanitarios utilizados en el control sanitario del monte frutal, se resume esta información desagregada en cada tipo de producto.

Producto	unidad	Ciclo completo
Insecticidas	kg ppio. activo ha ⁻¹	111,64
Aceite de Invierno	kg ppio. activo ha ⁻¹	957.83
Polisulfuro de Calcio	kg ppio. activo ha ⁻¹	480,24
Azufre Micronizado	kg ppio. activo ha ⁻¹	152,96

Tabla XII: Fitosanitarios utilizados en el control sanitario del monte frutal

Entre los productos representados como insecticidas, se agruparon: endosulfan, clorpirifos, acetamiprid, fosmet, abamectina, spinosad, metoxifenocide y carbaryl (raleador).

Para el cómputo del impacto asociado a los envases de los fitosanitarios y fertilizantes, se utilizaron los factores de emisión indicados en perfiles de la base Agri-footprint para envases de fertilizantes o fitosanitarios.

Los factores de emisión, abarcan todos los materiales y actividades necesarios para el packing de los productos, y permiten diferenciar los empaques de productos sólidos, de aquellos líquidos. Para utilizar estos factores de emisión, fue necesario determinar la cantidad en valores de masa de productos agroquímicos que son utilizados en la plantación. Se presentan en la Tabla XIII, los resultados de la compilación correspondiente.

Producto (kg)	Sólido	Líquido
Fertilizantes	10.573	-
Fitosanitarios	308	2.708
Totales	10.881	2.708

Tabla XIII : Productos fitosanitarios y fertilizantes utilizados en todo el ciclo productivo, según su estado de agregación expresado en kilos de producto.

Puede observarse que la totalidad de los fertilizantes son adquiridos en estado sólido, mientras que en el caso de los fitosanitarios ocurre lo contrario, con un 90% de productos adquiridos en estado líquido.

Estos valores de masa de agroquímicos, son multiplicados por los factores de emisión de cada envase según sea líquido o sólido, para obtener el impacto de emisión de GEI asociado a los envases utilizados,

Realizados los cálculos mencionados, se determinó que la emisión GEI de los envases utilizados asciende a 809,59 CO₂eq ha⁻¹ para todo el ciclo (25 años).

2.2.11 Emisiones asociadas al transporte de insumos para la producción.

De acuerdo al alcance del presente trabajo de ACV (cuna-puerta de chacra), es necesario estimar las emisiones asociadas con el transporte de los insumos que serán utilizados en la producción.

Los factores de emisión relativos al transporte, disponibles en las bases de datos, requieren el uso de expresión “tonelada kilómetro” (tkm). Esta expresión corresponde al producto de la masa de carga transportada, medida en toneladas por la distancia recorrida entre su origen y su destino. Representa las emisiones generadas en ocasión de trasladar una tonelada, durante un trayecto de un kilómetro.

Según sea al origen de los insumos, se definieron las distancias recorridas por los insumos en función de 4 categorías: “origen local” (0 km) para postes, plantas de vivero y tubos protectores; “origen cercano” (200 km) para insumos obtenidos en la zona, como yeso y guano; “origen Bahía Blanca” (500 km) para insumos de fertilización nitrogenada; y finalmente “origen Buenos Aires” (1.000 km) para insumos fitosanitarios, alambre, y demás fertilizantes.

En la Tabla XIV, se presentan las toneladas kilómetro (tkm) de los insumos utilizados en el ciclo completo del cultivo (25 años), tabulada de acuerdo a las principales actividades de producción que motivan su adquisición.

Actividad	tkm	%
Implantación	1.031	10,38%
Fertilización	5.310	53,44%
Manejo del suelo y planta	668	6,73%
Sanidad	2.927	29,46%
Total	9.937	100,00%

Tabla XIV TKM por insumos de producción de pera en ciclo completo (25 años)

Dada la gran extensión geográfica de nuestro país y la distante localización del Alto Valle del río Negro respecto de los centros industriales, el valor de tkm total asciende a 9.937. Puede observarse la gran importancia relativa de los insumos para la fertilización con 53,44%, seguido por aquellos asociados al manejo sanitario. Tal situación refleja el significativo proceso de transporte que es requerido para disponer de los fertilizantes necesarios en el plan de nutrición del monte frutal.

Resulta importante enfatizar, aunque excede los alcances del presente trabajo, el potencial impacto positivo de la disminución de los volúmenes transportados, que puede generar la implementación de estrategias y prácticas de uso agronómico de residuos orgánicos de actividades agropecuarias locales (porcinos, vacunos, avícolas, etc.) en reemplazo de fertilizantes inorgánicos de síntesis química.

2.2.12 Adversidades climáticas

La región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén se caracteriza por tener un clima árido a semiárido, meso termal y con lluvias deficientes durante todo el año. En la región, el cultivo frutícola se ve afectado por tres adversidades climáticas principales: heladas, altas temperaturas y vientos (INTA, 2010).

Heladas

Se considera que ocurre una helada agronómica cuando la temperatura es igual o inferior a 0°C, medida en termómetro de mínima, a la intemperie y tomadas a 5 centímetros del suelo. Los frutales cultivados en esta zona de la Patagonia están expuestos a sufrir daños por heladas primaverales, adversidad climática de mayor importancia económica en la región (INTA, 2010).

Si bien la frecuencia de temperaturas bajo cero disminuye a medida que avanza la primavera, el mayor riesgo de daño por frío se produce precisamente durante

este período, que coincide con los estados fenológicos más sensibles del cultivo: la floración, el cuaje y las primeras semanas de crecimiento de los frutos (hasta que alcanzan tamaños de 2-3 cm de diámetro) (INTA, 2010).

Desde 1990 hasta 2004, el mayor número de heladas registrado en el mes de septiembre fue de 11 y de 5 días para el mes de octubre, con una frecuencia media de 6,3 y 1,3 días, respectivamente. Con respecto a su intensidad, hay una mayor frecuencia de heladas suaves y moderadas en septiembre y octubre. En este momento intensidades mayores son menos frecuentes, pero los daños físicos y económicos en el cultivo son muy importantes, más aún si se considera que las heladas primaverales tienen una duración media de 1,1 a 7,9 horas (Tassara, 2012).

La sensibilidad de los frutos al daño por bajas temperaturas aumenta a medida que avanza el desarrollo fenológico en primavera. Esta sensibilidad tiene relación directa con el contenido de agua de los tejidos en los órganos del vegetal.

En la Tabla XV se muestra el riesgo de daño por heladas primaverales para perales cv. Williams, mediante valores de porcentaje de probabilidad de que la fecha de plena floración coincida con la probabilidad de ocurrencia de heladas que alcancen la temperatura crítica de daño. El riesgo de daño surge de multiplicar ambas probabilidades.

	16-22 de sep.	23-29 de sep.	30 de sep- 6 de oct.	7-15 de oct	Total
Riesgo de Daño (%)	12	34.9	4.8	0.4	52.1

Tabla XV: Riesgo de daño por heladas primaverales para cv. Williams. (INTA, 2010)

El riesgo de daño por heladas primaverales para la variedad Williams es del 52,1%, es decir habría daño en 5 de cada 10 años. Como se puede apreciar, con fechas de floración entre el 23 y 29 de septiembre se obtiene el mayor porcentaje de riesgo de daño, 34,9%. Si la floración ocurre una semana más tarde, el riesgo de daño disminuye considerablemente a un 4,8% (INTA, 2010).

Por lo expresado anteriormente, resulta imperativo para esta región la implementación de sistemas de control de heladas primaverales, en particular para esta variedad.

Los métodos de control se pueden clasificar en función de la energía aplicada a los mismos en pasivos y activos.

Control pasivo: consiste en la implementación de diferentes prácticas agrícolas que mejoran la captación y el almacenamiento de calor del suelo. Principalmente retirando las coberturas verdes e inundando los interfilares. El uso de estos métodos pasivos de defensa afecta negativamente el recurso suelo, porque disminuye el contenido de materia orgánica y los sucesivos riegos ayudan al

ascenso de la capa freática. Bajo estas condiciones, la fisiología de la planta es afectada y en consecuencia se altera su ritmo de desarrollo y crecimiento.

El control activo: consiste en aumentar la temperatura de las plantas e impedir que se alcance el valor de temperatura crítica de daño del órgano a proteger. Independientemente del sistema que se decida utilizar, es necesario saber qué cantidad de calor se pierde en el cultivo. Esta energía perdida es la que se debe aportar para evitar el daño.

Si el sistema de control es el riego por aspersión, el agua aporta la energía necesaria para aumentar la temperatura. El calor liberado por cada litro de agua al pasar del estado líquido al sólido es de 80 kcal. Por lo tanto, serán necesarios 34.400 litros para proteger 1 ha durante una hora. Esto equivale a utilizar aspersores con una pluviometría de 3,44 mm/h (INTA, 2010).

En el caso de usar calefactores, el déficit de calor de la hectárea estará en función de la capacidad calórica de estos y del consumo horario de combustible. Un calefactor con una autonomía de 10 horas, un consumo de 1,5 litros/hora de combustible y una capacidad calórica de 10000 kcal/hora, requiere 413 litros de combustible/hora/ha para hacer eficiente el control (distribuido aproximadamente en 150 calefactores/hectárea) (INTA, 2010).

De acuerdo al CAR (2005), de las 16.458 hectáreas que contaban con defensa activa de heladas, se repartían en 44% de superficie con calefactores y 44% con sistemas de riego por aspersión.

Debido que ambiental y operativamente el sistema de riego por aspersión resulta más adecuado, para este estudio se utiliza el supuesto que considera la utilización de un sistema de riego por aspersión, estimando 4 eventos de uso del equipamiento por año, con un promedio de 10 horas de duración de cada evento (INTA, 2004).

El equipamiento es operado con tractobomba, accionada con la toma de fuerza del tractor. Considerando 40 horas anuales de funcionamiento, con un consumo de 4 litros/hora. Dado que los primeros dos años no se realiza control de heladas, al cabo de 23 años se consumen para esta actividad 3.680 litros de gasoil por hectárea.

Vientos

En la región, los vientos dominantes son del cuadrante oeste y se caracterizan por su bajo contenido de humedad. La frecuencia del 50% del cuadrante oeste-sudoeste y la intensidad mayor de 20 km/h en los meses de primavera y verano generan daños mecánicos y deshidratación en los frutales porque coinciden con los estados de máximo desarrollo vegetativo (Figura 16). Después de períodos ventosos se observa con frecuencia caída de frutos, rameado, rotura y quemado de hojas y brotes nuevos (INTA, 2004).

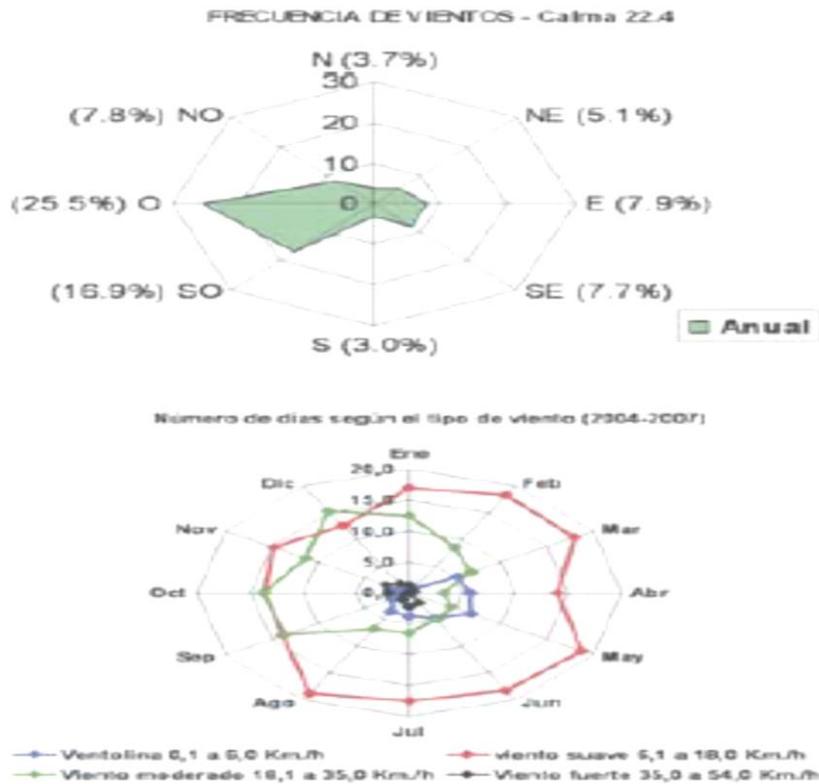


Figura 16: Características de los vientos regionales. (INTA, 2010)

En la región del Alto Valle del río Negro es común el uso de cortinas rompevientos naturales o artificiales. En general, la disposición del sistema de riego en la región determina que los cuadros se rieguen en las direcciones oeste-este o norte-sur, por lo que las barreras rompevientos están ubicadas en ese sentido (Figura 17). La orientación óptima de las mismas es de manera perpendicular al viento dominante (suroeste y oeste) (Rodríguez y Thomas, 2014).



Figura 17: Disposición típica de cortinas rompevientos en los montes frutales del Alto Valle

Otra función ambiental importante que proporcionan las cortinas rompevientos es la atenuación de la deriva de las pulverizaciones terrestres. Cuando se realiza una pulverización con plaguicidas, parte del producto químico llega al vegetal para realizar el control fitosanitario correspondiente. Otra fracción del agroquímico se pierde en el suelo dentro del predio de tratamiento por fenómenos de arrastre, coalescencia y escorrentía de las gotas, y a estas pérdidas se las denomina endoderiva (Copes, 2016).

Por otra parte, las gotas de menor tamaño, por arrastre del viento y las corrientes convectivas son transportadas fuera del predio de tratamiento, y a estas pérdidas se las denomina exoderiva. Este último fenómeno implica un alto riesgo, debido a que puede afectar a cultivos vecinos, animales, fauna acuática y población rural-periurbana vecina a los sitios del tratamiento (Copes, 2016).



Figura 18: Cortinas rompevientos a nivel predial en otoño

En este trabajo se consideró la plantación de una cortina rompevientos de álamos (*Populus ssp.*) en cada hectárea en los laterales sur y oeste (Figura 18). Se podrá apreciar en el capítulo específico, el impacto que tiene el secuestro de carbono de esta forestación en la huella de carbono del monte frutal.

2.2.13 Volumen de producción y cosecha

La producción del monte frutal, posee una importante variabilidad en función de condiciones climáticas, ocurrencia de plagas, o de manejo del cultivo para cada temporada. Para este trabajo se consideraron los supuestos de productividad del monte frutal de (INTA, 2004). Los mismos representan un escenario coherente respecto de la densidad de plantación, los esquemas de fertilización y de defensa de heladas primaverales consideradas en el presente trabajo.

En la Tabla XVI, se presentan las estimaciones de rendimiento por hectárea utilizados para el presente trabajo, considerando fruta de valor comercial con destino al establecimiento de empaque.

	Años						
	1	2	3	4	5	6	7-25
Producción (kg ha⁻¹)	0	0	5.000	10.000	20.000	40.000	50.000
Producción total en toda la vida útil del monte frutal							
1.025.000 kg / hectárea							

Tabla XVI: Evolución de la producción de peras del monte frutal a través de los años

La producción estimada para todo el periodo de producción considerado (25 años) asciende a 1.025.000 kg ha⁻¹. Para los análisis de un monte en condición adulta y buen estado, se considerará 50.000 kg ha⁻¹ año⁻¹.

De acuerdo a la revisión bibliográfica de trabajos de ACV en fruticultura para peras y manzanas mencionados en los antecedentes (Tabla III), estos rendimientos representan un valor medio. Posteriormente, en la sección de resultados, será evaluada la sensibilidad de la huella de carbono respecto a variaciones en las cantidades de fruta cosechada.

Las labores de cosecha se realizan principalmente de forma manual, utilizando para ello personal equipado con escaleras y tambores recolectores (Figura 19 izq.). Luego de recolectar los frutos, se disponen en contenedores de madera o plástico, llamados localmente “bins” o “bines”. Estos cuentan con una capacidad aproximada de 450 a 500 kilos cada uno, de acuerdo al material o modelo considerado. Utilizando tractor con tractoelevador³ (Figura 19 der.), esos bines son retirados del campo y cargados en un camión para su transporte al establecimiento empacador.



Figura 19: Actividades de Cosecha: izquierda: trabajadores cosechando con escaleras y recolector para el llenando bines - derecha: tractor retirando los bines del campo

Respecto del consumo de combustible de la maquinaria durante la cosecha, se incluyen las labores de disposición de los bines vacíos en el monte frutal, el posterior retiro de los mismos rellenos con fruta y su carga en el camión para transporte al establecimiento empacador. De acuerdo con Villarreal (comunicación personal) el supuesto utilizado es que en (1) una jornada de tractor (8 h de trabajo), puede asistir a 10 cosechadores, en volumen se estiman 12.000/15.000 kilos de pera por jornada. Esto suma, para el caso de plena

³ Implemento acoplado a la parte posterior del tractor, compuesto por dos uñas horizontales accionadas de forma hidráulica sobre una guía vertical, para elevar o descender los bines.

producción, 27 horas de tractor con tractoelevador para las actividades de cosecha. Para el ciclo productivo completo (25 años), se estimaron 555 horas de tractor por hectárea, con un consumo de combustible total de 4.750 litros.

De acuerdo al alcance establecido para la realización del análisis, se incluyen las actividades hasta la puerta de la chacra (*scope: cradle to farm gate*), por lo tanto, no se incluye el transporte desde la chacra hasta el establecimiento empacador. Este criterio resulta similar al utilizado para los perfiles ambientales de producción agrícola de frutas con similar alcance de la World Food LCA Database (Nemecek et al., 2019).

2.2.14. Maquinaria

Para establecer los consumos de combustible de las labores que requieren la utilización de maquinaria agrícola, se consideran estimaciones de consumo de gasoil de un tractor de 65 HP de potencia, para actividades específicas de fruticultura de acuerdo a estimaciones de (INTA, 2004). En la Tabla XVII, se enumeran las labores consideradas, el implemento utilizado y el consumo de gasoil por hora de trabajo.

Labor	Implemento	litros/ hora
Bordear	Tractor, bordeadora	3.55
Transportar	Tractor , acoplado	4.00
Arar	Tractor, arado	7.59
Desbrozar	Tractor, desmalezadora	5.35
Pulverizar	Tractor, pulverizadora 2000 litros, suelo cubierto	9.11
Pulverizar	Tractor, pulverizadora 2000 litros, suelo descubierto	8.09
Rastrear	Tractor , rastra	6.21
Subsolar	Tractor , subsolador	6.52
Triturar podos	Tractor, Triturador de podos	10.01
Nivelar	Tractor, pala niveladora	4.50
Cosechar	Tractor, tractoelevador hidráulico	5.00

Tabla XVII: Consumo de combustible horario de la maquinaria. Fuente: (INTA, 2004)

El consumo de combustible se relaciona directamente con la potencia que requieren cada una las actividades de campo. Según sea el implemento utilizado y la intensidad de uso de la toma de fuerza del tractor, existen labores de bajo consumo (Por ej., transportar o nivelar) y labores de alto consumo de combustible, (Por ej., pulverizar o triturar podos.)

Continuando con la aplicación del esquema de labores del libro “*Pautas tecnológicas: frutales de pepita*”, (INTA, 2004) puede observarse en la Tabla XVII, el consumo de combustible para la producción de una hectárea de peras, en el ciclo completo de 25 años del monte frutal.

Adicionalmente, se considera para el inventario, un factor de consumo de lubricantes del 15% respecto del combustible total utilizado

Actividad	Equipo- implemento	Consumo Gasoil (litros ha ⁻¹)
Mantenimiento de suelo	Tractor + Cincel	15
	Tractor + cuadrante	25
	tractor + subsolador	150
	Tractor + rastra	37
	Tractor + triturador de podos	460
	tractor + bordeadora	355
	tractor + desmalezadora	803
	Tractor + acoplado	512
	Tractor + pulverizadora 500 l	435
Fertilización	Tractor + acoplado	362
Control Sanitario	Tractor + pulverizadora 2000 l	1.723
Cosecha	tractor + tractoelevador	2.775
Defensa heladas	tractobomba aspersión heladas	3.360
Total ciclo completo 25 años		11.012
Promedio anual 440 litros ha⁻¹		

Tabla XVIII Consumo combustible de la maquinaria durante el ciclo completo (lt ha⁻¹)

El consumo de combustibles fósiles empleado de forma directa para la realización de las labores culturales mecanizadas, resulta altamente significativo, ascendiendo a 11.012 litros de gasoil por hectárea durante el ciclo productivo de 25 años.

Puede observarse en la Figura 20 la importancia relativa que presentan las actividades relacionadas con la cosecha y el combate de heladas, que juntas explican el 56% del consumo.



Figura 20: Participación de cada actividad en el consumo de combustible

Es posible deducir a partir de estos datos, la alta variabilidad que presentará el valor de la huella de carbono para cada temporada de cultivo, en función del diferente requerimiento de horas para control de heladas, o bien, ante cambios en los volúmenes cosechados.

Luego, en el apartado 3.1.4.1 Sustitución de combustible , será evaluado el efecto mitigador en las emisiones GEI, que puede generar la utilización de crecientes proporciones de mezclas de biodiesel para el funcionamiento de la maquinaria agrícola.

2.2.15 Inventario de ciclo de vida cultivo de pera 25 años

Como se menciona en el apartado 2.1, la fase de inventario del análisis del ciclo de vida implica la recopilación y cuantificación de entradas y salidas para un producto a lo largo de su ciclo de vida de acuerdo al alcance definido oportunamente (ISO 14067:2018).

A continuación, en la Tabla XIX, se presenta el inventario de la producción agrícola de un ciclo completo productivo (25 años) de una hectárea de peras, considerando aquellos supuestos e información de actividades explicitadas en los puntos precedentes.

Rubro	Concepto	Valor	Unidad
INSUMOS	Plantas	1.375	unidades/ha
	Postes	216	unidades/ha
	Alambres	344,00	kg/ha
	Tubo protector	34,37	kg/ha
	Hilo autodegradable	97,50	kg/ha
	Semillas	220,00	kg/ha
	Emisores feromonas	25.300	unidades/ha
FERTILIZANTES	Fosfato Monoamónico	86,00	kg P ₂ O ₅ /ha
	Materia orgánica (guano)	1.718,00	kg /ha
	Ácido bórico	110,00	kg /ha
	Urea suelo	3.066,00	kg /ha
	Triple 15	6.900,00	kg /ha
	Yeso agrícola	859,00	kg /ha
	Urea foliar	179,55	kg /ha
FITO SANITARIOS	Herbicidas	51,19	kg ppa/ha
	Insecticidas	111,64	kg ppa/ha
	Aceite de invierno	957,83	kg ppa/ha
	Polisulfuro de calcio	480,24	kg ppa/ha
	Azufre micronizado	152,96	kg ppa/ha
ENVASES	Envases productos sólidos	10.881	kg /ha
	Envases productos líquidos	2708	kg /ha
Consumo Combustible	Gasoil(diésel)	11.012	L/ha
	Lubricantes*	1.652	L/ha
Emisiones del agro	Emisiones N ₂ O fertilización	58,16	kg N ₂ O/ha
	Emisiones aplicación de urea	2.380,40	kg CO ₂ /ha
Transportes	Insumos	9.937	tkm /ha

Tabla XIX Inventario para una hectárea del cultivo de pera ciclo completo 25 años

Continuando con la secuencia lógica del método de ACV, en la sección de Resultados, se procede a estimar el impacto ambiental, en función del potencial de calentamiento global, de las emisiones GEI generadas por la fabricación, transporte y utilización de los insumos detallados en este inventario.

2.3 Remociones de carbono en el monte frutal

Se estima que las tierras agrícolas si son gestionadas adecuadamente, tienen el potencial de secuestrar hasta un 66% de la pérdida histórica global de carbono de los suelos (Lal, 2004). Particularmente, la plantación de árboles es un método eficaz para aumentar el carbono orgánico del suelo (COS) (Laganière et al., 2010).

En este sentido, los cultivos perennes proporcionan comida, fibras, materias primas energéticas u otros bienes y servicios ecosistémicos aumentando el COS, y al mismo tiempo, presentándose como una alternativa con gran potencial para lograr resultados positivos en la remoción de carbono atmosférico. De hecho, la FAO ha sugerido la “perennización” de las tierras agrícolas como una estrategia para mitigar el cambio climático, mejorando la seguridad alimentaria y los servicios ecosistémicos (Glover et al., 2010).

En el laboreo de cultivos perennes, las perturbaciones propias de la labranza del suelo se reducen, dado que, los cultivos perennes permanecen en el suelo por más de 1 año. Conjuntamente, estos cultivos mantienen una cubierta vegetal y, por tanto, continúan los procesos de fotosíntesis durante gran parte del año, permitiendo incrementar la biomasa que se produce y facilitando las condiciones para la conversión de la misma a COS en el sitio. Por consiguiente, existe un mayor potencial para mantener o secuestrar COS respecto de cultivos anuales (Ledo et al., 2020).

Ha sido publicado recientemente un trabajo conjunto de Quantis y CoolFarmAlliance, denominado *Quantification methodology and accounting framework for carbon sequestration in perennial cropping systems*, que aporta modelos alométricos para avanzar en la contabilidad del carbono de biomasa de cultivos perennes (CFA & Quantis, 2022).

No obstante, la inexistencia de datos locales que permitan parametrizar el modelo alométrico mencionado, determinó la no consideración del secuestro de carbono de árboles frutales en este trabajo.

Asimismo, es importante mencionar que se desarrolla un intenso debate respecto de los métodos y escenarios de fin de ciclo de vida de los frutales que deben ser considerados para cuantificar este fenómeno. En este sentido, en opinión de este autor, los novedosos desarrollos de ACV dinámicos⁴ (Dynamics LCA) (Levasseur et al., 2010; Erlandsson y Zetterberg, 2017) constituirán un avance metodológico crucial.

En el presente trabajo se estiman las remociones de carbono del monte frutal, considerando dos componentes: Secuestro de carbono en los suelos (2.3.1.) y Secuestro de carbono en biomasa de cortinas forestales (2.3.2.).

⁴ Este enfoque consiste en calcular primero un inventario dinámico del ciclo de vida (ICV), considerando la ocurrencia temporal de las emisiones. Luego, los factores de caracterización dependientes del tiempo se calculan para evaluar el ICV dinámico en puntajes de impacto en tiempo real para cualquier horizonte de tiempo dado. (p.e. no es similar emitir 1 kgCO₂ hoy que dentro de 20 años)

2.3.1 Secuestro de carbono en suelos

Los suelos representan el mayor reservorio de carbono orgánico terrestre, de acuerdo a la geología local, las condiciones climáticas y el tipo de uso del territorio (entre otros factores ambientales), poseen diferentes cuantías de COS (Ciais et al., 2013).

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano (Stockmann et al., 2013).

Un importante estudio de Ledo et al. (2020), a partir de una red de datos de ensayos en diferentes cultivos (manzanas, palma, agro silvícolas), reporta que una transición desde un cultivo anual hacia un cultivo perenne generalmente resulta en un incremento promedio de 20% (± 10) en COS (6,07 t/ha) en 20 años o más posteriores de la conversión, para las capas superiores (0 – 30cm). En el perfil de 0 a 100 cm, la ganancia de COS es del 11% ($\pm 8,5$) un total de 5,66 t/ha en COS (Ledo et al., 2020).

En la región del Alto Valle, caracterizada por su clima árido con bajos niveles de materia orgánica en el suelo (MOS), la utilización del sistema de riego gravitacional para cultivo de frutales presenta un elevado potencial de secuestro de carbono (Mendía et al., 2015).

A nivel local, un trabajo de la Universidad Nacional del Comahue e INTA, a partir de una red de ensayos con 29 parcelas de cultivos de pera, con riego gravitacional por surco y mantenimiento de coberturas verdes permanentes, desarrolló una ecuación que estima de manera significativa que el stock promedio en toneladas de C ha⁻¹ año⁻¹ fluctúa entre 0,50 t C ha⁻¹ en los primeros 15 años a 0,17 t C ha⁻¹ año⁻¹ en los siguientes 30 años. Estableciendo un valor promedio para todo el ciclo (45 años) de 0,28 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Mendía et al., 2015).

Años de cultivo	Secuestro t CO₂ ha⁻¹ año⁻¹	Secuestro t CO₂ ha⁻¹ del período
0 a 15 años	-1,83	-27,45
16-25 años	-0,62	-6,20
Total 25 años		-33,65

Tabla XX: Calculo de captura de carbono en suelos

Los valores presentados en la Tabla XX: Calculo de captura de carbono en suelos, que surge de convertir el carbono (C) a dióxido de carbono (CO₂) mediante el multiplicador 44/12 de acuerdo a los pesos moleculares de cada elemento. Asimismo, existen trabajos realizados en la región con coberturas verdes permanentes en interfilares que exhiben incrementos anuales que duplican o triplican los valores presentados (Aruani et al., 2006; Lorenzo, 2021). Asumiendo un criterio altamente conservador, se utiliza a los fines de este trabajo, el valor de **33,65 tCO₂eq ha⁻¹ en 25 años para representar el secuestro en los suelos.**

2.3.2 Secuestro de carbono en biomasa de cortinas forestales

El viento es una importante adversidad climática para las actividades productivas en la región de los valles del norte de la Patagonia, principalmente durante la primavera. En el período comprendido entre los meses de septiembre y diciembre se registra la mayor frecuencia de vientos con velocidades promedio mayores a 20 km/h, y ráfagas que alcanzan los 80 km/h (Rodríguez et al., 2014).

Los efectos negativos que genera el viento sobre los cultivos pueden ocurrir directamente en forma mecánica e, indirectamente, por el aumento de la tasa de evapotranspiración. En el caso de los frutales, el efecto más visible se produce sobre el fruto y el daño se conoce como rameado. El rameado es una lesión superficial causada por rozamiento del fruto contra otras estructuras de la planta (Rodríguez et al., 2014).

En los Valles de Patagonia Norte el cultivo de álamos (*Populus* spp.) y sauces (*Salix* spp.) estuvo históricamente relacionado con la producción frutihortícola. El uso de barreras forestales permite disminuir su velocidad, atenuando los efectos perjudiciales sobre los cultivos agrícolas y la calidad de su producción (Thomas, 2015).

Rodríguez et al. (2014) estudiaron el efecto del rameado en pera Williams en el Alto Valle de Río Negro. En las tres temporadas evaluadas se encontraron diferencias significativas en la cantidad de frutos sanos, observándose un mayor porcentaje en las parcelas con cortinas cortavientos. La presencia de cortinas protectoras permitió obtener entre un 6 % y un 19 % más de frutos sanos. En la segunda temporada de estudio, un incremento de días con vientos moderados a fuertes acentuó el efecto protector de la cortina y la proporción de frutos sanos fue un 19 % mayor respecto de la parcela sin protección. Bajo esas mismas circunstancias meteorológicas, con la presencia de cortinas, se logra disminuir en un 15 % la cantidad de frutos con daño moderado y un 3,5 % la proporción de aquellos con daño grave.

Sánchez et al. (2009) mencionan la importancia de las cortinas forestales para disminuir los efectos negativos del viento sobre los cultivos de peras. Dan recomendaciones en cuanto a la orientación de las cortinas y las variedades de álamos a utilizar. Mencionan también que la alternativa a las cortinas de origen vegetal son las artificiales. Sin embargo, estas últimas no resultan más eficientes para cultivos frutales dado que, con esas estructuras no es posible obtener alturas superiores a los 6 metros por los elevados costos de construcción.

Las cortinas forestales no solo protegen y permiten el aumento de la producción de la mayoría de los cultivos, sino que, a través de ellas, se ha generado un complejo foresto industrial muy importante para la región (Serventi y García, 2004). La madera que proviene del aprovechamiento de las cortinas de álamo se destina en un 42 % a envases y embalajes, el 26,5 % a construcción, el 12,5 % a tableros multilaminados, el 12,5 % a aglomerados y el 6,5 % a celulosa (García, 2002).

En 2016 se realizó la medición de las variables dasométricas de una cortina rompevientos de álamo euroamericano (*Populus x canadensis* 'Conti 12') de 28 años de edad ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle de Río Negro del INTA. Las variables medidas fueron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (Ht) de los individuos de la cortina. El promedio de DAP y Ht fue de 45,5 cm y 30,5 m respectivamente (Cancio H., comunicación personal). Debido a que no existen ecuaciones de volumen para cortinas rompevientos de álamos euroamericanos (*Populus x canadensis*) en la región del Alto Valle de Río Negro, para estimar el volumen de biomasa del fuste se utilizó una ecuación de volumen total con corteza (Vcc) para álamos deltoides (*Populus deltoides*) cultivados en el Delta del Paraná:

$$V_{cc} = 0,06263 * DAP^{1,63496} * Ht^{1,31769} \text{ (Fernandez Tschiedler et al., 2011)}$$

A partir de esta ecuación, el volumen promedio del fuste con corteza (Vcc) estimado es de 1,629 m³/árbol para los álamos de la cortina rompevientos de 28 años de edad mencionada. Luego, teniendo en cuenta las proporciones de biomasa estimadas en las diferentes partes de los árboles (fuste, ramas, brotes y hojas y raíz) de una forestación de álamos deltoides en el Delta del Paraná (Ceballos, 2011), se estimó la biomasa anhidra total dando como resultado un promedio de 0,908 t/árbol.

Se plantea un modelo de producción de peras en el cual se incluye la plantación de 200 m lineales de cortina rompevientos hilera simple para cada hectárea de monte frutal, ubicada sobre los laterales oeste y sur, con un distanciamiento de 2 metros entre plantas, completando un total de 100 álamos/ha (Figura 21).

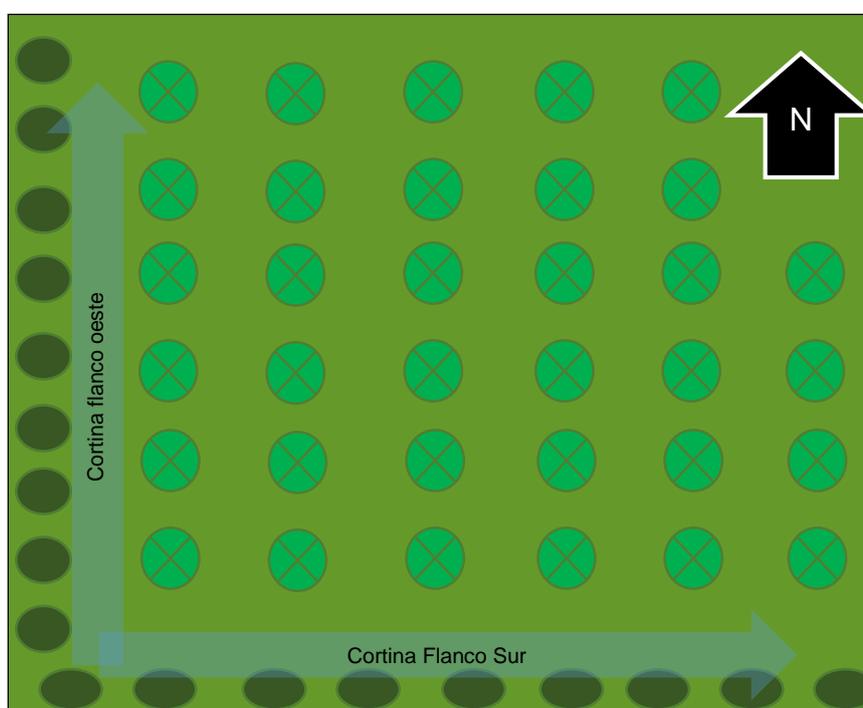


Figura 21 : Plano esquemático cortinas rompevientos

Para ajustar la biomasa acumulada hasta los 25 años de edad en la cortina forestal, se utilizaron datos de crecimiento de una forestación de álamos de 21 años ubicada en el Delta del Paraná (Álvarez J., comunicación personal). Se utilizaron los datos de incremento anual del DAP durante los últimos años de esa forestación para calcular las proporciones de crecimiento respecto del incremento medio anual del DAP (IMAdap), y a partir de esa información se restó el valor del crecimiento de los últimos tres años de la cortina rompevientos de 28 años de edad ($28-3=25$). Por lo tanto, la biomasa total estimada para la cortina forestal de 100 álamos a los 25 años de edad es de 81,45 t/ha.

A partir de este valor, y considerando el factor que permite convertir el valor de toneladas de biomasa anhidra a toneladas de CO₂ equivalente (1,8), se estima que los álamos de la cortina rompevientos considerada en el modelo productivo tiene un potencial de secuestro de **146,62 t CO₂eq/ha**.

La vida útil de las cortinas forestales excede largamente el periodo de alcance del trabajo, generalmente supera los 50 años. Luego como se indicó anteriormente, el carbono retenido en la madera de los álamos continúa en el sistema en forma de envases (por ej. bins), postes para espalderas del monte frutal o en construcciones.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación Impacto Ambiental: Cambio Climático

De acuerdo a lo establecido en el apartado metodológico, una vez completado el inventario de ciclo de vida de emisiones (Tabla XIX) y remociones (Tabla XX y punto 2.3.2), se procede a evaluar el impacto ambiental del sistema producto, en este caso, solo es evaluada la categoría de cambio climático, es decir la huella de carbono. El análisis se efectúa inicialmente sobre las emisiones GEI y posteriormente se presenta el resultado incorporando las remociones, expresándolo en las dos unidades funcionales que aborda el trabajo (UF superficie: $tCO_2eq\ ha^{-1}$ y UF masa: $tCO_2eq\ t\ fruta^{-1}$)

3.1.1 Análisis de las emisiones GEI en Unidad Funcional de superficie

En primer lugar, se analiza la unidad funcional de superficie definida en una (1) hectárea neta de una plantación de peras considerando su ciclo de vida completo de 25 años.

La ventaja de trabajar con la unidad funcional de superficie en fruticultura, reside principalmente en la escasa sensibilidad del valor de huella de carbono obtenido, (expresado como CO_2eq por hectárea), frente a diferentes niveles de productividad del monte frutal de cada temporada. Asimismo, resulta sencillo de escalar hacia distintas escalas de superficie o bien, realizar un análisis de nivel regional. Como desventaja puede mencionarse la dificultad que presenta para vincular las emisiones GEI con una cantidad determinada de producto. Por este motivo en forma complementaria se analiza de igual forma la unidad funcional de masa.

A continuación, se cuantifican las emisiones GEI asociadas a la producción de un monte de peras en todo el ciclo de vida definido (25 años), considerando los iniciales años improductivos o de baja producción necesarios para la formación de la estructura productiva, y su estado adulto o de plena producción.

La Tabla XXI Emisiones GEI ciclo completo expresadas en $t\ CO_2eq\ ha^{-1}$, presenta las emisiones de GEI durante el ciclo completo del cultivo, estas ascienden a **93,63 $t\ CO_2eq\ ha^{-1}$ para 25 años de vida útil** considerando los insumos desde “la cuna” y las actividades productivas hasta la “puerta de la chacra”. La tercera columna de la tabla indica el peso relativo (%) de cada uno de los componentes.

Insumo	$t\ CO_2eq\ ha^{-1}$ (25 años)	%
Plantas y estructura apoyo	2,220	2,37%
Fertilizantes	30,168	32,22%
Fitosanitarios	12,275	13,11%
Combustibles	48,968	52,30%
Total ciclo completo (25 años)	93,630	100%
Promedio anual	3,745 $t\ CO_2eq\ ha^{-1}\ año^{-1}$	

Tabla XXI Emisiones GEI ciclo completo expresadas en $t\ CO_2eq\ ha^{-1}$

Puede observarse que el combustible, correspondiente al gasoil (producción y quema) consumido por la maquinaria agrícola, explica el 52,3% del total emitido, seguido por los fertilizantes (producción y emisiones de campo) con el 32.2%. Ambos rubros resultan determinantes para la emisión de GEI en la producción agrícola de pera, representando el 84,52% del total. Esta circunstancia puede visualizarse claramente en el diagrama de Pareto de la Figura 22: Análisis de contribución: Diagrama de Pareto.

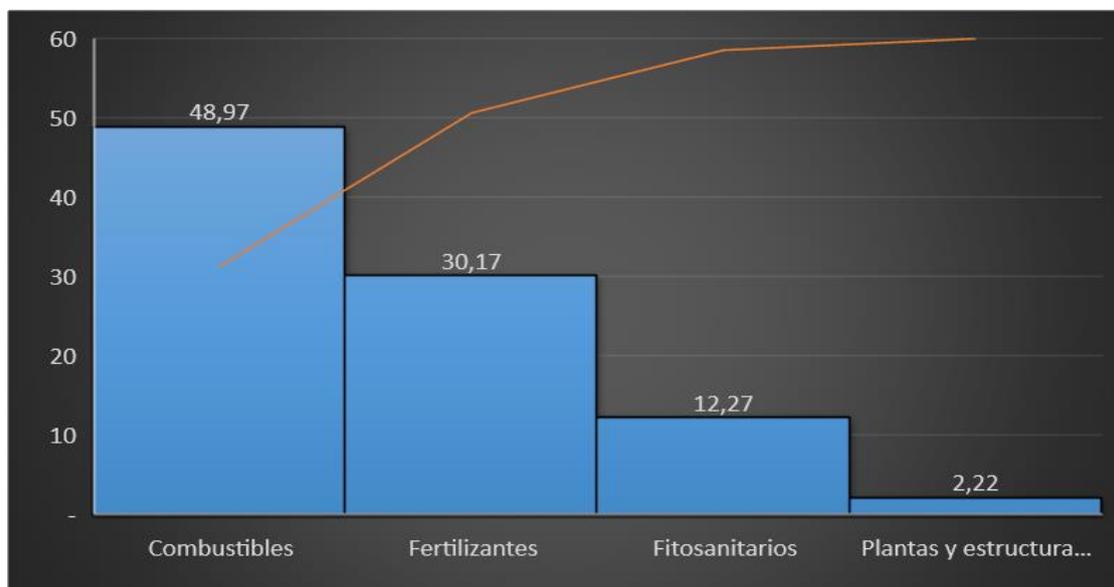


Figura 22: Análisis de contribución: Diagrama de Pareto. expresado en t CO₂eq ha⁻¹

Estos resultados indican que el principal punto caliente (hotspot) desde el punto de vista de las emisiones GEI lo constituye la producción y quema del combustible (diésel), en segundo lugar, se encuentra la suma de las emisiones por la fabricación y utilización de fertilizantes. Mientras que en el tercer lugar se posicionan los productos fitosanitarios. En la Figura 23, puede observarse gráficamente la participación de cada factor en el total general, destacando el significativo aporte de los combustibles en el total de emisiones.

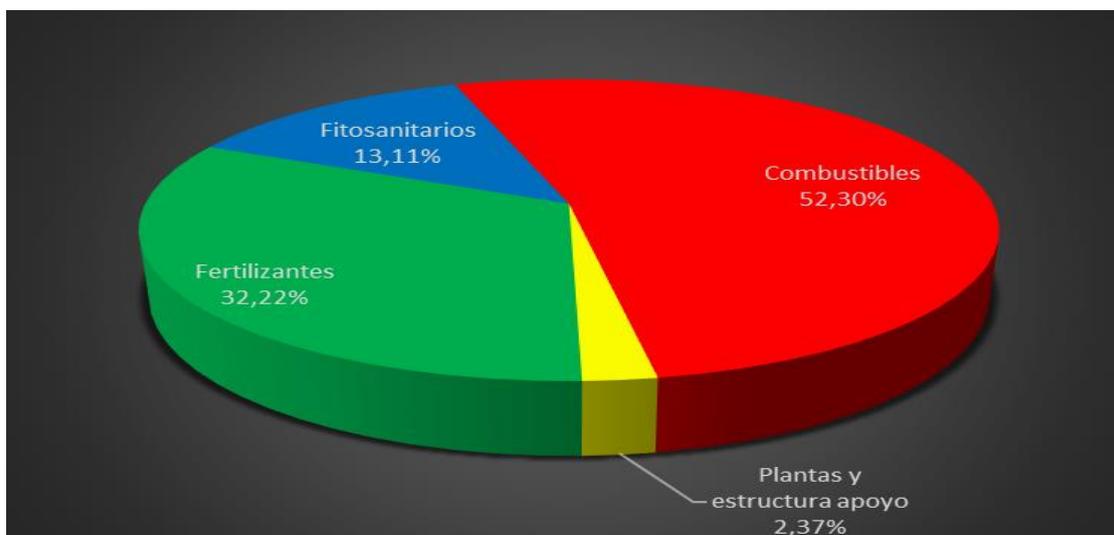


Figura 23: Composición de las emisiones de GEI asociadas a la producción agrícola de peras

Esta información permite establecer los puntos prioritarios hacia donde corresponde orientar los esfuerzos de mitigación de GEI en la producción frutícola, mediante acciones tendientes a la reducción o reemplazo de consumo de combustibles fósiles en la maquinaria agrícola, la mejora en la eficiencia de aplicación en los fertilizantes sintéticos y/o su reemplazo por aquellos de naturaleza orgánica.

A partir del cociente entre las emisiones totales y los 25 años de ciclo del cultivo, se estima una emisión media anual de GEI de **3,745 t CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹** por el proceso de producción agrícola de peras.

3.1.2 Análisis de las emisiones GEI en Unidad Funcional de masa

Considerando la unidad funcional de masa, establecida como “*1 (una) tonelada de fruta cosechada en la puerta de la chacra*”, los valores de emisión de GEI se presentan en la Tabla XXII, considerando el ciclo completo del cultivo (25 años), estimados de acuerdo a las dos unidades funcionales del presente trabajo. En la segunda columna se expresa en unidad funcional de área y en la tercera columna en unidad funcional de masa.

Concepto	U.F. Área t CO ₂ eq ha ⁻¹ (25 años)	U.F. masa kg CO ₂ eq t fruta ⁻¹
Plantas y estructura apoyo	2,220	2,17
Fertilizantes	30,168	29,43
Fitosanitarios	12,275	11,98
Combustibles	48,968	47,77
Total	93,630	91,35

*Tabla XXII Emisiones GEI cultivo peras ciclo completo, en unidad funcional de área y masa.
Nota: producción de peras del ciclo productivo completo 1.025 t por hectárea.*

El valor estimado para 1 (una) tonelada de pera cosechada en la puerta de la chacra, de acuerdo al paquete tecnológico presentado y los supuestos asumidos, asciende a **91,35 kgCO₂eq por tonelada de producto**, considerando las emisiones y rendimientos del ciclo productivo completo de 25 años.

Siguiendo los preceptos de la ISO 14067, en primera instancia se exponen separadamente las emisiones de GEI, de las remociones.

A continuación se presenta la Tabla XXIII, donde se recopilan numerosos trabajos de estimación de HC en producción de peras y manzanas para distintos países, que resultan relevantes para la comparación.

Fuente	Valor kgCO ₂ eq / t producto	observaciones
(Mendia et al., 2017) Argentina, Río Negro	40,00	manzana y pera. anual
(Milá I Canals, 2005) Nueva Zelanda	40,00	mza mínimo. anual
(Alaphilippe et al., 2016) Francia	75,24	mza semi intensivo 1100 plantas por ha . ciclo completo 15 años. 37,8 t/año
(Bartzas et al., 2017) Grecia, Agia	89,00	Manzana granny Smith,850 plantas por ha, producción 32.4 t, ,80t N año, riego por goteo, temporalidad anual
(Alaphilippe et al., 2016) Francia	89,79	mza intensivo. 2500 plantas por ha. ciclo completo 26 años.55,4 t/año
Romagnoli (2022) Argentina Río Negro	91,35	Pera Williams, eje central, espaldera, ciclo completo, producción adulto 50 t/año/ha. 100t N año
(Milá I Canals, 2005) Nueva Zelanda	100,00	mza máximo. anual
(Wang et at., 2021) China, Loess Plateau	130,00	Pera asiática, riego goteo, Fertilización adulto 362 t N, producción adulto 67.5 t/año. 10 años
(Vinyes et al., 2018) Cataluña	195,00	mza fuiting Wall 1905 pl/ha. 48,8 t/año. Fertirriego. 9 años
(Vinyes et al., 2018) Cataluña	207,00	manzana eje central.2000 pl/ha .43,4 t/año. Fertirriego. 9 años
(Wang et at., 2021) China Loess Plateau	225,00	Pera asiática, riego surco, fertilización adulto 831 t N, producción adulto 72,4 t/año. 10 años

Tabla XXIII Comparación de trabajos de cuantificación de HC en pera y manzana

En Tabla XXIII puede observarse que los valores del presente trabajo representan un valor intermedio. No obstante, como se expone en la tercera columna, las condiciones particulares de cada sitio o esquema productivo hacen inconsistente las comparaciones directas. Asimismo, los diferentes alcances temporales de los estudios afectan también los resultados obtenidos.

Se debe tener precaución cuando los estudios se basan solo en un solo año, o los resultados están relacionados con la masa, porque los años improductivos podrían aumentar el valor de los impactos en los resultados, mientras que los años productivos podrían disminuirlos (Vinyes et al., 2018).

Alaphilippe et al. (2014) en base a estudios de sistemas de cultivos extensivos y semi-extensivos de manzanos establece que las etapas improductivas (vivero, implantación, etapa juvenil) representan entre 21% y 28% del impacto.

En ese sentido, este estudio es consistente y comparable con Alaphilippe et al. (2016), Vinyes et al. (2018) y Wang et al. (2021) en cuanto al enfoque plurianual.

3.1.3 Análisis de sensibilidad

La actividad agropecuaria en general, y los cultivos frutícolas en particular, están sujetos a variaciones significativas en cuanto a su rendimiento y productividad. Afectaciones de plagas, enfermedades, y factores climáticos, ponen en riesgo continuamente el resultado de todo un año de esfuerzo e inversión.

Existe evidencia de la modificación de los parámetros climáticos en la región, motivado por el cambio climático global. Estas transformaciones se manifiestan

con alteraciones en la ocurrencia de tormentas de granizo, frecuencias e intensidad de heladas o precipitaciones primaverales, entre otras (Rodríguez y Muñoz, 2022).

En la mayoría de los casos, estos eventos climáticos ocasionan variaciones en los volúmenes de cosecha del monte frutal no relacionadas con la magnitud de los insumos aplicados durante la temporada (fertilizantes, fitosanitarios, etc.). Generalmente estos eventos ocurren en las etapas finales de la temporada, por lo cual solo afectan las actividades propias del proceso de cosecha.

Por este motivo, se consideró pertinente realizar un estudio de sensibilidad de la HC ante diferentes variaciones de cosecha anual del cultivo de peras. Se definieron cuatro situaciones relevantes, considerando disminuciones e incrementos de 10% y 20% respectivamente sobre la producción base anual en año adulto de 50.000 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Los procesos de producción agrícola presentan grandes variaciones en cuanto a su rendimiento y productividad.

En la Tabla XXIV, se presentan los resultados de la comparación de las variaciones analizadas, considerando las unidades funcionales de masa y de área utilizadas en para este trabajo.

Variación producción respecto del caso base					
Huella de Carbono en UF de masa y área	-20% c2	-10% c1	Base a	+10% b1	+20% b2
<i>Producción adulto ha⁻¹ año⁻¹</i>	40.000	45.000	50.000	55.000	60.000
UF hectárea ciclo completo t CO _{2eq} ha ⁻¹ (25a)	92,90	93,26	93,63	93,99	94,36
UF tonelada fruta kg CO_{2eq} ton.fruta⁻¹	113,29	101,10	91,35	83,37	76,42

Tabla XXIV Sensibilidad HC ante variaciones de productividad

Para la situación b2, con un incremento del 20% de la producción, es decir una producción anual sostenida de 60.000 kilos de pera ha⁻¹ año⁻¹, la HC expresada UF tonelada de producto (fruta), disminuye 16,34%, de 91,35 a 76,42 kgCO_{2eq} t.fruta⁻¹.

Es posible afirmar que existe una relación inversa y proporcional entre el nivel de producción y la HC expresada en la UF tonelada de producto (fruta). En la Figura 24: Sensibilidad de HC a cambios en los niveles de producción, puede observarse gráficamente la situación descrita en el párrafo anterior, resultando evidente un comportamiento lineal. Se presenta la línea de tendencia y la ecuación de regresión respectiva con un alto valor de coeficiente de determinación, R² =0.987⁵, que confirma este comportamiento.

Las variaciones observadas en la HC de la unidad funcional de masa (*UF tonelada fruta - kg CO_{2eq} t.fruta⁻¹*), pueden ser explicadas por el concepto de

⁵ El coeficiente de determinación, también llamado R cuadrado, es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. Refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar

eficiencia, o en este caso ecoeficiencia, donde similares cantidades de insumos agrícolas (inputs) son utilizadas para producir niveles incrementales de producción (output), disminuyendo el cociente input/output. Esto se manifiesta en los escenarios de rendimientos incrementados b1 y b2. Mientras que la situación inversa se presenta para los escenarios c1 y c2 (Figura 24).

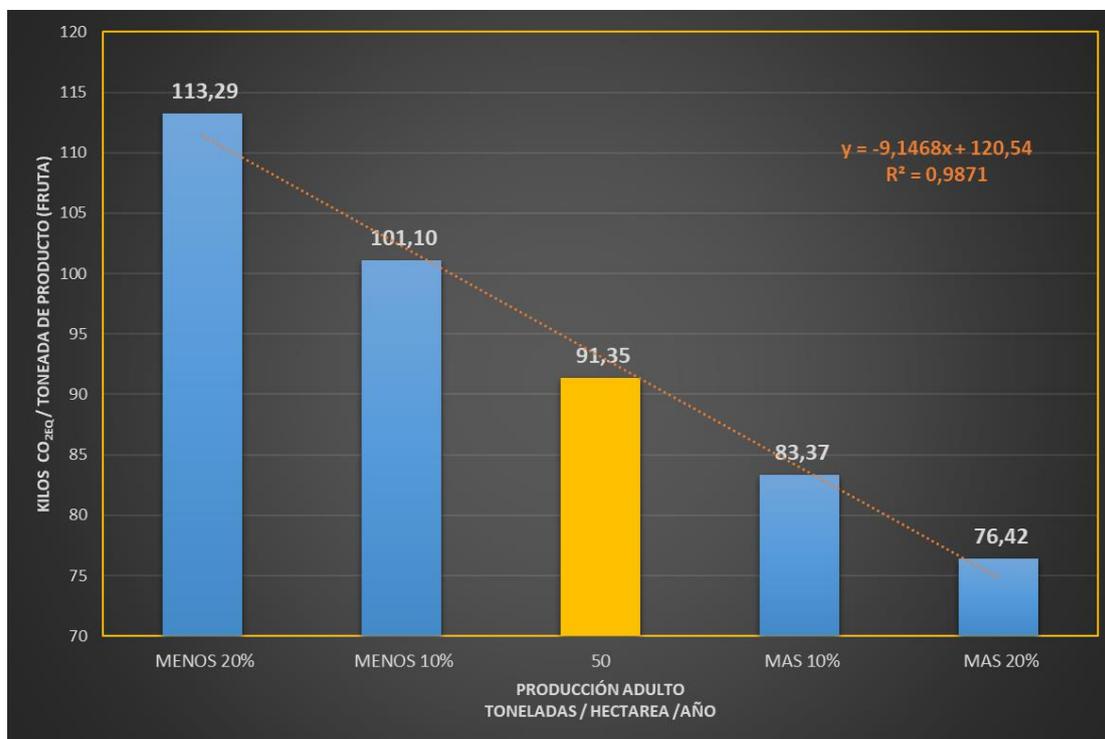


Figura 24: Sensibilidad de HC a cambios en los niveles de producción (UF masa)

Por todo lo indicado anteriormente, resulta evidente, que para cumplir con el objetivo de mitigación de emisiones de GEI en el cultivo de perales, es fundamental mantener y mejorar los niveles de productividad del monte frutal.

En este sentido, existen diversas alternativas de manejo, entre ellas, la fruticultura de precisión, orientadas a incrementar los rendimientos de cosecha. Asimismo, la incorporación de mallas antigranizo demuestra ser una tecnología eficaz para reducir el daño por sol, daños mecánicos como los producidos por el viento y el granizo en los frutos, permitiendo así incrementar los volúmenes cosechados por hectárea (Raffo Benegas et al., 2021).

3.1.4 Análisis de Escenarios para estrategias de mitigación

En base al análisis de contribución resulta evidente enfocar las acciones de mitigación hacia aquellos rubros que presentan mayor significatividad. En la Tabla XXI, se manifiesta que el consumo de combustibles fósiles primeramente y los fertilizantes en segundo lugar, pueden ser los puntos de apalancamiento, donde pequeñas mejoras logren resultados importantes.

A continuación, se estudian escenarios que exploran los impactos de mejoras que pueden implementarse a corto plazo para mitigar las emisiones de la

producción. En primer lugar, se analizan dos niveles de mezclas de biodiesel para abastecimiento de la maquinaria agrícola, y en segundo lugar se analizan los efectos de mejoras en la eficiencia de aplicación de fertilizantes nitrogenados.

3.1.4.1 Sustitución de combustible fósil por biodiesel

Se analizan dos escenarios de implementación de mezclas de combustible biodiesel en reemplazo del diésel fósil. De acuerdo a Hilbert, el factor de emisión para la fabricación y quema de biodiesel nacional de soja es de 0,879 kg CO_{2eq} por litro (Hilbert y Galbusera, 2018).

Considerando dos escenarios, uno con mezcla al 20% y otro con mezcla al 50% se obtienen los siguientes resultados:

Unidad Funcional	unidad	Escenario Base	Uso 20% biodiesel	Uso 50% biodiesel
HC ton pera	kgCO _{2eq} / t	91,35	84,67	74,65
HC hectárea anual	t CO _{2eq} / ha /año	3,475	3,471	3,061
HC hectárea ciclo completo (25a)	t CO _{2eq} / tn/ Ha	93,63	86,78	76,52

Tabla XXV: Resultados escenarios incorporación mezclas de biodiesel

De la Tabla XXV se desprende que la incorporación de biodiesel como combustible para la maquinaria agrícola permite disminuir la HC en un 7,30% para la mezcla de 20%. En caso de incorporar mezclas con biodiesel al 50%, la HC puede disminuir hasta un 18,27% del valor base de este trabajo (Figura 25).



Figura 25: Sensibilidad de la HC a cambios en mezcla de biodiesel (t CO₂ ha⁻¹ 25 años)

3.1.4.2 Mejoras en eficiencia de aplicación de fertilizantes

Otra variable importante para orientar los esfuerzos de mitigación de GEI es la fertilización. Como se indicó anteriormente existe una gran ineficiencia en la aplicación de fertilizantes, lo cual implica una importante potencialidad de mejora. A los efectos de evaluar el impacto de ganancias de eficiencia en las tareas de fertilización, se comparó, la situación base con otra que utiliza 20% de fertilizantes.

El efecto de la eficiencia en la aplicación de fertilizantes, se verifica en la aplicación de una menor dosis de producto logrando similares resultados en la nutrición del monte frutal.

Considerando mejoras sencillas en las prácticas de fertilización es posible una disminución del 20% en las dosis de aplicación de nitrógeno por suelo, sin afectar rendimientos (Sanchez y Curetti, 2021). En este caso pueden ser evitadas 613 kg de urea y 1.380 kg de triple 15, en todo el ciclo del cultivo. En la Tabla XXVI Escenario mejora de fertilización: disminución de emisiones GEI, expresado en kg CO₂eq ha⁻¹, puede observarse la magnitud de la disminución en las emisiones GEI de cada uno de los rubros relacionados.

Etapa o proceso	Δt CO ₂ eq ha ⁻¹ (25a)	%
Fabricación urea	0,7834	14,0%
Fabricación triple 15	1,2282	22,0%
Emisiones en campo N ₂ O	2,9323	52,5%
Emisiones en campo CO ₂	0,4495	8,0%
Envases y transporte	0,1909	3,4%
Total	5,5843	100,0%

Tabla XXVI Escenario mejora de fertilización: disminución de emisiones GEI, expresado en kg CO₂eq ha⁻¹

Según se observa en la Tabla XXVI Escenario mejora de fertilización: disminución de emisiones GEI, expresado en kg CO₂eq ha⁻¹, una mejora en las operaciones de fertilización por suelo, que promueven la disminución de 20% en los productos nitrogenados aplicados, tiene la potencialidad de disminuir la HC en 5,5843 tCO₂eq ha⁻¹, considerando el ciclo completo. El principal impacto se presenta en las emisiones en campo de N₂O y CO₂, que conjuntamente explican el 60,5% de la disminución.

En la Tabla XXVII, se presenta la comparación de las HC del escenario base frente al escenario de eficiencia en fertilización, con los valores de todas las unidades funcionales analizadas.

Unidades Funcionales	unidad	HC Escenario Base	HC -20% Fertilizantes
UF t pera	kgCO ₂ eq / t	91,35	85,90
UF hectárea ciclo completo (25a)	tCO ₂ eq ha ⁻¹	93,63	88,05
HC hectárea anual	tCO ₂ eq ha ⁻¹ /año	3,745	3,522

Tabla XXVII: HC Comparación escenario base y mejor fertilización

La disminución de la HC en el escenario de eficiencia de fertilizantes, es del 5,96% respecto del escenario base. Los resultados confirman la importancia de realizar fertilizaciones eficientes. Estas prácticas permitirán alcanzar inmediatamente beneficios económicos y ambientales en el sistema productivo.

Como se indicó anteriormente, existen numerosas oportunidades de mitigación de GEI relativas a las prácticas y productos utilizados para la fertilización nitrogenada, si bien aquí se analizó exclusivamente la eficiencia en la aplicación, a futuro será sustancial utilizar los ACV para evaluar otras alternativas tecnológicas como la utilización de inhibidores de la ureasa, la fertirrigación, o la utilización de imágenes satelitales (fruticultura de precisión), entre otras.

3.2.a Huella de carbono expresada en Unidad Funcional de superficie

Como se expresaba anteriormente en los apartados metodológicos, la huella de carbono está representada por la suma de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema producto (ISO 14067:2018).

En la Tabla XXVIII, se presenta la huella de carbono para una hectárea de pera en ciclo completo de 25 años, de acuerdo al alcance definido en el trabajo. Puede observarse que se han integrado los efectos relacionados con el uso de los insumos para el cultivo durante todo período, el carbono biogénico de las cortinas forestales y el carbono secuestrado en los suelos.

concepto	t CO ₂ eq ha ⁻¹ 25 años	Observación	Referencia
Insumos	93,63	Emisión	Tabla XXII
Cortinas Rompevientos	-146,62	Remoción	2.3.2
Carbono en suelos	-33,65	Remoción	Tabla XX
HC hectárea de pera	-86,64	Secuestro neto	

Tabla XXVIII Huella Carbono de una hectárea Pera (ciclo completo 25 años)

La huella de carbono para una hectárea de peras en 25 años de cultivo, resulta una remoción neta de 86,64 t CO₂eq ha⁻¹. Las emisiones correspondientes a los insumos de producción, 93,63 t CO₂eq ha⁻¹ son compensadas por las remociones en biomasa de las cortinas forestales (146,62 t CO₂ eq ha⁻¹), y el incremento de carbono en suelos (33,65 t CO₂eq ha⁻¹).

Resulta notable el impacto que presentan las cortinas forestales, las cuales en 25 años tienen la capacidad de neutralizar, e inclusive generar una importante remoción neta de carbono en el monte frutal.

Corresponde mencionar que no fue contabilizada remoción que ocurre por la biomasa del monte frutal por inexistencia de datos locales y falta de acuerdo de los métodos adecuados para el cálculo de la misma. Posiblemente la cuantía de las mismas, puede duplicar aquellas asociadas a la biomasa de las cortinas rompevientos.

En la Figura 26, se presenta la información de la Tabla XXIX, representada en barras rojas para las emisiones y verdes para las remociones. Puede observarse la magnitud de cada uno de las fuentes o sumideros considerados.

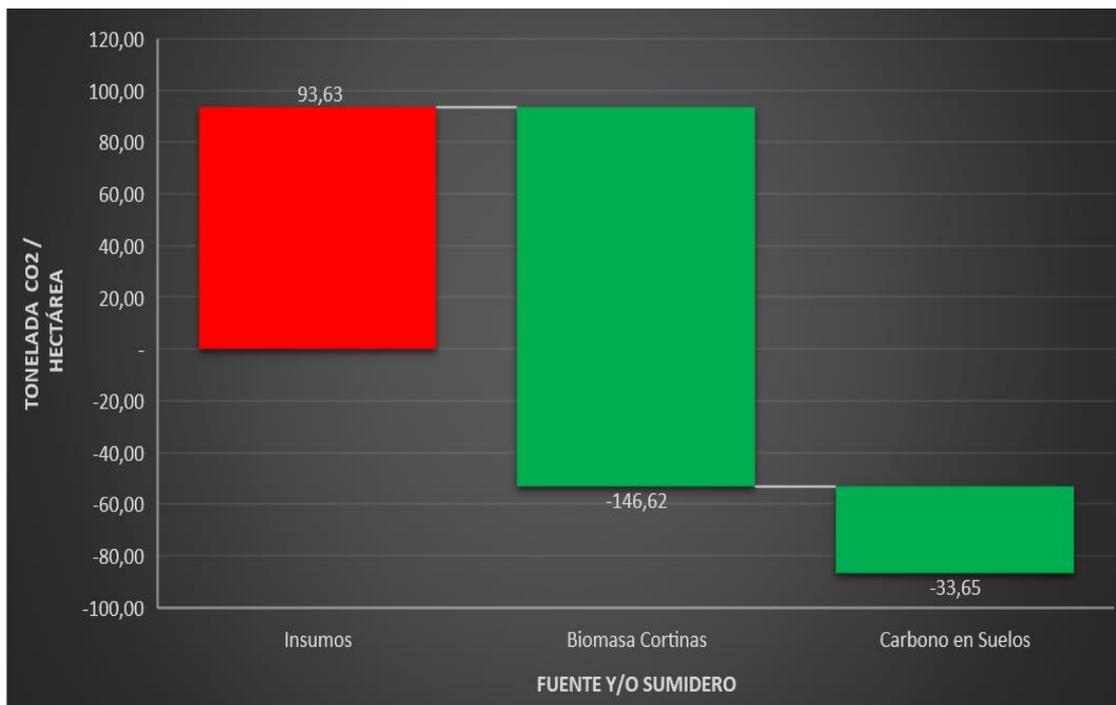


Figura 26 Gráfico Huella de carbono de UF: hectárea de cultivo de Pera ciclo completo

Como se observa en la Figura 26, las remociones ocurridas por la biomasa de las cortinas forestales del monte frutal, representan 1,56 veces las emisiones de los insumos del cultivo de peras (156%). Asimismo, la remoción ocasionada por el suelo representa el 35,94% de las mismas.

Cabe destacar que de la revisión de antecedentes presentada en la Tabla III, en ningún caso fueron consideradas las barreras rompevientos dentro del alcance del sistema producto analizado. Este autor considera que es necesario incluirlas, dado que son un elemento fundamental del sistema y su contribución a la remoción de GEI resulta altamente significativa.

La unidad funcional de superficie, permite escalar los resultados a nivel territorial, permitiendo estimar las emisiones de GEI que son generadas por motivo del abandono y pérdida de superficies productivas. Por lo tanto, resulta evidente el positivo impacto que esta región puede aportar a la remoción de GEI a partir del mantenimiento y/o crecimiento de la superficie productiva dedicada a explotaciones frutícolas perennes.

3.2.b Huella de carbono expresada en Unidad Funcional de masa

A continuación, en Tabla XXIX, se presenta la huella de carbono para una (1) tonelada de fruta cosechada a la puerta del establecimiento productivo, de acuerdo al alcance del trabajo. **La misma alcanza 84,52 kg CO₂eq ha⁻¹ de secuestro neto por tonelada de fruta.**

La producción de referencia utilizada, es de 1.250 t de fruta para los 25 años de ciclo de cultivo, considerando un rendimiento adulto de 50 t fruta año⁻¹.

Concepto	kg CO ₂ eq t producto ⁻¹	Observación
Insumos	91,35	Emisión
Cortinas Rompevientos	-143,04	Remoción
Carbono en suelos	-32,83	Remoción
HC Tonelada pera	-84,52	Secuestro Neto

Tabla XXIX Huella de Carbono de una tonelada de peras

La Figura 27 representa la información de la Tabla XXIX de manera gráfica. La barra roja implica emisiones y las barras verdes remociones de CO₂.



Figura 27 Huella de Carbono de UF: tonelada de pera

Por lo tanto, puede concluirse que la etapa de producción agrícola de peras en sistemas de alta densidad de la región, ocasionan un importante beneficio en materia de cambio climático, reduciendo de forma significativa la concentración de GEI.

Los valores presentados en este trabajo, resultan altamente conservadores. En los próximos años a partir de datos de campo y nuevos estudios sobre stock de carbono contenido en árboles frutales y suelos, posiblemente sean obtenidos valores de remoción superiores para la producción frutícola en esta región.

CONCLUSIONES

Se estimó la huella de carbono de la producción agrícola de peras en montes de alta densidad en el Alto Valle del río Negro, utilizando un paquete tecnológico de referencia. Los resultados indican que la emisión GEI ascienden a 93,63 t CO₂eq ha⁻¹ para 25 años de vida útil considerando los insumos desde “la cuna” y las actividades productivas hasta la “puerta de la chacra”. Expresado en unidad funcional de producto, el valor estimado para una (1) tonelada de pera cosechada en la puerta de la chacra, asciende a 91,35 kgCO₂eq por tonelada de producto. Estos valores representan un valor intermedio respecto de los antecedentes consultados para cultivos en China, Nueva Zelanda, Francia, España e Italia de similar alcance.

Esto permitió generar conocimiento sobre el funcionamiento ambiental de unidades de producción seleccionadas e identificar puntos críticos de emisión y remoción de gases GEI. La mayor contribución a las emisiones de GEI se encuentra en la producción y quema de combustibles fósiles (gasoil) para el funcionamiento de la maquinaria agrícola (52,3%). En segundo lugar, se posicionan las emisiones originadas en la producción y utilización de los fertilizantes (32,2%). Estos resultados resultan congruentes con los antecedentes bibliográficos disponibles para este tipo de cultivos y constituyen la base para detectar oportunidades de mejora en las actividades productivas, desde el punto de vista de la sostenibilidad y ecoeficiencia.

Considerando las prácticas y tecnologías que permiten minimizar la emisión y maximizar la remoción de GEI, las estrategias más significativas en la etapa de producción primaria son, en primer lugar, la incorporación de combustibles renovables (biodiesel) para la maquinaria agrícola. En segundo lugar, la implementación de buenas prácticas agrícolas que permiten mejorar la eficiencia en la aplicación de fertilizantes, reduciendo así la cantidad de nutrientes sintéticos utilizados, sin afectar el nivel productivo.

Se evidencia en este trabajo, la relación inversamente proporcional entre nivel productivo y la huella de carbono. En los cultivos de frutales de pepita, la mayoría de los insumos que son incorporados al proceso de producción primario, resultan independientes del nivel productivo final. Por lo tanto, para lograr disminuir o bien minimizar la HC es fundamental la consecución de altos y sostenidos rendimientos productivos.

Para la región del Alto Valle del río Negro, la transformación desde hace más de 100 años de una estepa arbustiva xerófila a cultivos frutales perennes representa un importante secuestro de carbono en biomasa vegetal y en los suelos.

Considerando en forma conjunta las emisiones y remociones GEI, la huella de carbono para una hectárea de peras en 25 años de cultivo, resulta en una remoción neta de 86,64 t CO₂eq ha⁻¹. Las emisiones correspondientes a los insumos de producción, 93,63 t CO₂eq ha⁻¹ son compensadas por las

remociones en biomasa de las cortinas forestales de álamos (146,62 t CO₂ eq ha⁻¹), y el incremento de carbono en suelos (33,65 t CO₂eq ha⁻¹).

Los resultados alcanzados en este trabajo no pretenden representar la situación de la totalidad de las plantaciones de la región, sino que buscan establecer una referencia en base a un sistema de plantación y manejo del cultivo característico para la zona. Resulta evidente que diferentes paquetes tecnológicos -de mayor o menor tecnología- o enfoques orgánicos, de manejo integrado de plagas, etc., ofrecerán resultados significativamente distintos.

Es imprescindible extender el alcance temporal de los estudios de ACV frutícolas al ciclo de vida completo de la plantación, es decir, al menos 25 años. No obstante, resulta un desafío contar con el historial de información de insumos, actividades y rendimientos productivos de las parcelas necesaria para obtener un valor consistente de huella de carbono.

No fue posible contar con un modelo adaptado a la región para contabilizar de manera consistente el efecto de la remoción de GEI por el desarrollo de la biomasa de los árboles frutales. En este sentido resulta necesario iniciar estudios de campo locales y establecer criterios consensuados para el computo del carbono secuestrado en los frutales.

Se consideró la remoción de carbono de suelo utilizando el trabajo de Mendía et al. (2015), no obstante, se requieren estudios locales de mayor escala, dado que es posible que el valor utilizado resulte excesivamente conservador.

Como surge del presente trabajo, desde el punto de vista de la HC, las cortinas forestales resultan una fuente muy significativa de mitigación y remoción de GEI, por lo tanto, es fundamental su inclusión en los ACV agrícolas, donde se encuentran presentes como partes del agroecosistema.

Con este trabajo hemos realizado el primer paso en la cadena de valor de la pera, abriendo las puertas a la caracterización del resto de la cadena, brindando la posibilidad de continuar el trabajo, hasta un posible ecoetiquetado o ecocertificación de los productos de exportación, según normas y protocolos internacionales.

A su vez, se brinda una herramienta de trabajo a los investigadores y extensionistas para continuar el proceso de concientización sobre el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 12: Producción y Consumo Responsable.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaphilippe, A., Boissy, J., Simon, S., Godard, C. (2016) Environmental impact of intensive versus semi-extensive apple orchards: use of a specific methodological framework for Life Cycle Assessments (LCA) in perennial crops. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 127, 20 July 2016, Pages 555-561
- Aruani, M. C., Sánchez, E. & Reeb, P. (2006). Cambios en las propiedades de un suelo franco bajo producción orgánica de manzana utilizando coberturas vegetales. *CI suelo (Argentina)*, 24 (2), 131-137.
- Bartzas G., Vamvukab D., Komnitsas K.(2017). Comparative life cycle assessment of pistachio, almond and apple production. *Information Processing in Agriculture*. Volume 4, Issue 3, September 2017, Pages 188-198
- Bongiovanni R., Tuninetti L. (2021). Huella de Carbono de la cadena de trigo de Argentina. *LALCA R. Latino-Amer Aval. Ciclo Vida*. Vol 5. E55551. 38pp.
- Buckler, E. S., ... Xu, Y. (2010). Increased food and ecosystem security via perennial grains. *Science*, 328(5986), 1638–1639.
- CAR (2005) Censo Provincial de Agricultura Bajo Riego de la provincia de Río Negro. Secretaría de Fruticultura. 115pp.
- Ceballos, D.S. (2011). El reemplazo de pastizales anegadizos por plantaciones de álamos con suelos drenados en el Bajo Delta del río Paraná: cambios físicos y biogeoquímicos en el suelo y el ecosistema. Tesis de Magister Scientiae en área Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
- Cerutti, A.K., Beccaro, G., Bruun, S., Bounous, G., Bosco, S., Donno, D. & Notarnicola, B., (2013). Life cycle assessment application in the fruit sector: State of the art and recommendations for environmental declarations of fruit products. *Journal of Cleaner Production*. Vol 74 (125-135)
- Cerutti, A.K., Bruun, S., Beccaro, G., Bounous, G. (2011). A review of studies applying environmental impact assessment methods on fruit production systems. In: *Journal of Environmental Management*, vol. 92 (2277 – 2286)
- CFA & Quantis. (2022). Quantification methodology and accounting framework for carbon sequestration in perennial cropping systems. pp. 45
- Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D., & Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164: 80-99.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R.B., Piao, S. & Thornton, P.(2013). Carbon and Other Biogeochemical

- Cycles. En Plattner, M. Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., & P.M. Midgley, eds. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and NY. Cambridge University Press.
- Cichón, Liliana Isabel. (2004). Control de poblaciones de *Cydia pomonella* L.(Lepidoptera :Tortricidae) mediante la técnica de la confusión sexual en el Alto Valle del Río Negro y Neuquén. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n3720_Cichon
- Copes, W. (2016). Alamedas rompevientos para mitigar la deriva de pulverizaciones. *Fruticultura y Diversificación*, 22 (77) : 34-39
- Erlandsson, M., Zetterberg, L. (2017). Accounting of biogenic carbon in attributional LCA including temporary storage. Swedish Environmental Research Institute. 10 pp.
- Eurobarometer, Special 501. (2020). Attitudes of european citizens towards the environment. 41pp.
- De Jong, G. (2010). La fruticultura patagónica del Alto Valle. Conflictos de una actividad económica ineficiente en la era del capital tecnológico. Buenos Aires, Argentina: La Colmena.
- FAO. (2015).Informe de Diagnóstico de los principales valles y áreas con potencial agrícola de la Provincia de Río Negro. Proyecto FAO UTF ARG 017.
- FAO. (2020). Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. Rome
- García J. (2002). Forestación con salicáceas en áreas bajo riego de Patagonia. SAGPyA. NEF Patagonia. 36 p.
- Glover, J. D., Reganold, J. P., Bell, L. W., Borevitz, J., Brummer, E. C., Buckler, E. S., ... Xu, Y. (2010). Increased food and ecosystem security via perennial grains. *Science*, 328(5986), 1638–1639.
- Hilbert, J., Carballo, S., Galbusera, S., Manosalva, J. (2018). Estudio sobre la determinación del nivel de emisiones del biodiesel Argentino de exportación. 96pp.
- INTA Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Norte. EEA Alto Valle. (2004).Pautas tecnológicas: frutales de pepita. Manejo y análisis económico financiero. Estación Experimental Agropecuario Alto Valle. Centro Regional Patagonia Norte. 132 p
- INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Patagonia Norte. (2010). Pera Williams: Manual para el productor y empacador, ISBN: 978-987-25872-0-8

- IPCC. (2006). Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de urea. Vol. 4, 1–56.
- IPCC. (2019). N₂O Emissions From Managed Soils, and CO₂ Emissions From Lime and Urea Application. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1–48.
- IPCC. (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- IRAM-ISO 14067:2018. Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación. Primera edición 2019-11-08. 68 pp. [En línea] 2019. <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/12261>.
- Laganiere, J., Angers, D. A., & Pare, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. *Global Change*
- Lal, R. (2004) Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30 (2004) 981– 990
- Ledo A, Smith P, Zerihun A, et al. (2020). Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Glob Change Biol.* 2020;26:4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>
- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in perennial food and bioenergy crops. *Enronronmental Modelling & Software*. Vol 102 pp(292-305)
- Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Deschênes, L., Samson, R. (2010). Considering time in LCA: dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. *Environmental Science & Technology* 44(8), pp. 3169-3174.
- Lopez Barrios J.C.,(2020). Análisis de la producción de peras y manzanas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. pp14
- Lorenzo, A. (2021). Huella Ecológica de la Producción Frutícola Convencional y Orgánica en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue. 117pp.
- Maisonave, R.; Lamelas, K. y G. Mair. (2015). Buenas Prácticas de manejo y uso de cama de pollo y guano. Minist. de Agricultura, Ganadería y Pesca. 37 pp.
- Mendía, J., Jockers, E., González, A., Percz, Z., Forquera, J. & Sheridan, M. (2017). Balance del carbono en chacras regadas del Valle de Río Negro, Argentina.

Ponencia presentada en el Tercer Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, Santa Fe, Argentina.

- Mendía, M., Percaz C., Gonzalez Terán D., Sheridan M. & Muñiz, J. (2015). Secuestro de carbono orgánico en chacras regadas en el Valle de Río Negro, Argentina. Cinco Saltos, Argentina: Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, INTA, Agencia de Extensión Cípolletti.
- Milà I Canals, L., (2003). Contributions to LCA methodology for agricultural systems. Site dependency and soil degradation impact assessment.1–131.
- Milà I Canals, L., Burnip, G., Cowell, S. (2006) Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (2006) 114(2-4) 226-238
- Miranda, D., (2022). Las claves del informe del IPCC sobre la emergencia climática, https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/claves-informe-ipcc-sobre-emergencia-climatica_17210. Visitado junio 2022
- Nemecek T., Bengoa X., Lansche J., Roesch A., Faist-Emmenegger M., Rossi V. & Humbert S. (2019) Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Version 3.5, December 2019. World Food LCA Database (WFLDB). Quantis and Agroscope, Lausanne and Zurich, Switzerland.
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. RES/70/1 Asamblea general (21/10/2015 . 40pp. Disponible en https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
- PAZIMA (2022) Especificaciones técnicas Pulverizadora Veneto 2000. <https://www.pazima.la/veneto2000>. Visitado julio 2022
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Raffo Benegas, M., Castro, A., Curetti, M., Villarreal, P., Lago, J., Calvo, G. (2021) Resultados preliminares con el uso de Mallas Multipropósito en perales cv Forelle en el Alto Valle. *Fruticultura & Diversificación* 27 (89) : 5-9. (2021)
- Requena R., A., Ponce, M., Sánchez, L., Castillo, E. (2016) Riego por goteo en frutales en producción pera Williams. *Fruticultura y Diversificación*, 22 (77) : 30-33
- Rodríguez A.; Thomas E.; Cancio H.; Menni F. (2014). Evaluación de tecnologías alternativas de manejo para disminuir los daños causados por el viento en frutos de pera cv. Williams, en el alto valle de Río Negro, Argentina". *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*. Vol. 40, n.2, pp. 208-212. ISSN 1669-2314.

- Rodríguez., A., Muñoz, A. (2022). Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén : análisis de los últimos 50 años Buenos Aires : Ediciones INTA, Centro Regional Patagonia Norte, 2022. 69 p. : il. (en PDF) ISBN 9789876793308 (digital)
- Romagnoli S., Thomas E. (2021). Analisis del ICV ecoinvent para la huella de carbono de la producción de peras en argentina. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment CILCA 2021. Buenos Aires. 118-122
- Sánchez, R., Curetti M., (2021). Nutrición mineral de frutales de clima templados . Buenos Aires : Ediciones INTA, Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, 2021. 243 p. : il. (en PDF)
- Serventi N., García J. (2004). Revista SAGPyA Forestal N° 32:24-27. Septiembre 2004. Bs.As. Argentina.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2022). Anuario Estadístico (2021) – Centro Regional Patagonia Norte. Argentina 2022 . ISSN 2545-8124. 134 pp.
- Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Courcelles de de, V.R., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C.,
- Storti, L., & Bevilacqua, M. (2017). Cadena de valor manzana y pera. Ministerio de Hacienda de La Nación, Secretaría de Política Económica, Subsecretaría de Programación Microeconómica.
- Subbarao G. V., Ito O., Sahrawat K. L., Berry W. L, Nakahara K., Ishikawa T., Watanabe T., Suenaga K., Rondon M. & Rao I. M. (2006) Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25:4, 303-335, DOI: 10.1080/07352680600794232
- Taranda N., Tiscornia L & Brizzio J. (2020). Cambios en el capital concentrado de la fruticultura del alto valle de Río Negro y Neuquén - Patagonia norte. *Revista americana de emprendedorismo e inovação*. v. 2, n. 1, 2020, p. 211-219
- Tassara, M. (2012). Las heladas primaverales: protección en frutales de clima templado – frío. 1. ed. 150 pp. ISBN N° 978-987-521-273-2
- Terminal de Servicios Portuarios Patagonia Norte (2022). Informe Estadístico embarques Puerto San Antonio Oeste 1° semestre 2022. <http://www.patagonia-norte.com.ar/estadistica.html>. Visitado 5 julio 2022
- Thomas E. (2015). Cultivo de álamos y sauces. Plantación de cortinas rompevientos y macizos. Cartilla. Ediciones INTA Alto Valle.
- Vinyes, E., Asin L., Alegre S., Gasol C., Muñoz P. (2017). Carbon footprint and profitability of two apple cultivation training systems: Central axis and Fruiting Wall. *Scientia Horticulturae*. Volume 229, 9 February 2018, Pages 233-239

- Wang J., Zhao M., Wan Y., Zeng Y., Wei Y., Zhang Y., Chen X. & Shi X. (2021) Environmental Assessment of Furrow vs. Drip Irrigated Pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) Production Systems in Loess Plateau (China). *Agronomy* 2021, 11,1201
- Wu T, Wang Y, Yu C, Chiarawipa R, Zhang X, et al. (2012) Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example. *PLoS ONE* 7(6): e38883. doi:10.1371/journal.pone.0038883
- Zanotelli, D., Vendrame, N., López-Bernal, Á. and Caruso, G. (2018) 'Carbon sequestration in orchards and vineyards', *Italus Hortus*, 25(3), pp. 13-28. doi: 10.26353/j.itahort/2018.3.1328

ANEXO 1

Planilla de Cálculo de Emisiones GEI con los Factores unitarios de emisión, expresados en kg CO₂ eq., utilizados en el presente trabajo

RUBRO	INSUMOS UTILIZADOS EN 25 AÑOS	Total/ha	unidades	Factor de emisión unitario utilizado (kg CO ₂	Emisión Kg CO ₂ eq. ha ⁻¹ (acumulado en 25 años)
INSUMOS	Plantas	1.375,00	unid.	0,88562	1.217,73043
	Postes	216,00	unid.	<i>no aplica</i>	-
	Alambres	344,00	Kg./ha	2,24868	773,54723
	Tube Protector	34,37	Kg./ha	2,26775	77,94265
	Hilo algodón autodegradable	97,50	Kg./ha	0,30000	29,25000
	Semillas	220,00	Kg./ha	0,55020	121,04400
	Emisores feromonas	25.300,00	unid.	0,00621	157,05965
FERTILIZANTES	Fosfato Monoamónico	86,00	Kg. P ₂ O ₅ /ha	1,82877	157,27447
	Materia orgánica (guano chivo / poll)	1.718,00	Kg/ ha	<i>no aplica</i>	-
	Ácido Bórico	110,00	Kg/ ha	0,95935	105,52877
	Urea	3.066,00	Kg/ ha	1,27800	3.918,34800
	Triple 15	6.900,00	Kg/ ha	0,89000	6.141,00000
	Yeso agrícola	859,00	Kg/ ha	0,00988	8,49011
	Urea foliar	179,55	Kg/ ha	1,27800	229,46490
FITOSANITARIOS	Herbicidas	51,19	kg ppio activo/ha	16,84839	862,46889
	Insecticidas	111,64	kg ppio activo/ha	12,81692	1.430,88101
	Aceite de Invierno	957,83	kg ppio activo/ha	3,06792	2.938,54103
	Polisulfuro de Calcio	480,24	kg ppio activo/ha	12,81692	6.155,19791
	Azufre micronizado	152,96	kg ppio activo/ha	0,19547	29,89972
ENVASES AGROQUIMICOS	Envases productos sólidos	10.881,00	kg/ha	0,01002	109,02762
	Envases productos líquidos	2.708,00	Kg/ha	0,25870	700,55960
CONSUMO GASOIL LABORES	Tractor + Cíncel	15,00	L/ha	3,98648	59,79719
	Tractor + cuadrante	25,00	L/ha	3,98648	99,66199
	Tractor + pulverizadora 500 lt	434,88	L/ha	3,98648	1.733,62027
	Tractor + pulverizadora 2000 lt	1.723,17	L/ha	3,98648	6.869,38186
	Tractor + rastra	37,26	L/ha	3,98648	148,53623
	Tractor + acoplado	874,00	L/ha	3,98648	3.484,18307
	Tractor + triturador de podos	460,46	L/ha	3,98648	1.835,61435
	tractor + bordeadora	355,00	L/ha	3,98648	1.415,20022
	tractor + desbrozadora	802,50	L/ha	3,98648	3.199,14979
	tractor + subsolador	149,96	L/ha	3,98648	597,81246
	tractor + tractoelevador	2.775,00	L/ha	3,98648	11.062,48058
	Motobomba aspersion heladas	3.360,00	L/ha	3,98648	13.394,57108
Lubricantes	1.651,83	L/ha	3,06792	5.067,68554	
EMISIONES DEL AGRO	Emisiones N ₂ O Fertilización				15.412,40000
	Emisiones CO ₂ por aplicación de urea				2.380,40000
TRANSPORTES	insumos	9.937,00	tkm	0,17171	1.706,29164
TOTAL kg CO₂ eq ha⁻¹ acumulado en 25 años					93.630,04225