



TÍTULO

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA
PRODUCCIÓN DE FRESAS

AUTORA

Nerea Campos Ortega

Tutor	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024 Dr. D. Pedro Palencia García
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster Universitario en Tecnología Ambiental (2022/23)</i>
©	Nerea Campos Ortega
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2022



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN DE FRESAS

Nerea Campos Ortega

Trabajo entregado para la obtención del grado de Master en
“Tecnología Ambiental”

Modalidad: “Profesional”

Diciembre / 2022

Director:

Pedro Palencia García

D. Pedro Palencia García, DNI: y Profesor Titular de Universidad. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Área de Producción Vegetal. Universidad de Oviedo.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado “**Determinación de la huella de carbono en la producción de fresas**” presentado por **D. Nerea Campos Ortega, con D.N.I.:** , ha sido realizado en “**S.C.A. Santa María de la Rábida (Fresón de Palos)**”, bajo mi dirección, y autorizo su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: Profesional), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 8 de diciembre de 2022

Fdo.: Pedro Palencia García

RESUMEN

Las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado debido al desarrollo de la actividad humana. El aumento de estas emisiones está haciendo que suba la temperatura atmosférica de la tierra, causando el cambio climático. Para poder reducir estas emisiones de gases de efecto invernadero, el primer paso es cuantificarlas. El cálculo de la huella de carbono es una herramienta que nos ayuda a identificar las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y la posibilidad de cuantificarlas. La guía que se ha seguido para calcular la huella de carbono de una organización es GHG Protocol.

En este proyecto, se ha estimado la huella de carbono de la cooperativa S.C.A Santa María de la Rábida (Fresón de Palos), dedicada a la producción de frutos rojos en la provincia de Huelva. Además, se ha realizado el cálculo de la huella de carbono de los cultivos mayoritarios que se gestionan en la cooperativa, la fresa, el arándano y la frambuesa.

En la huella de carbono de la cooperativa, se calcularon las emisiones para el año 2020 y 2021, con el objetivo de hacer una comparativa entre ambos años. La principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero es el consumo de energía eléctrica, en ambos años de estudio. Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentaron desde el año 2020 al 2021. Sin embargo, el consumo de energía eléctrica se redujo. La razón por la que las emisiones son mayores, a pesar de haber reducido el gasto energético, se debe a un mayor factor mix eléctrico en el 2021. Un alto factor mix eléctrico nos indica una mayor emisión de gases de efecto invernadero en la obtención de esa energía eléctrica.

Los resultados de la huella de carbono de los cultivos, durante la campaña 2020-2021, se expresaron en kg de CO₂ equivalente por hectárea de cultivo y por kg de frutos recolectados. El cultivo de fresas presenta las emisiones de gases de efecto invernadero más bajas por kilogramo de fruta recolectada. En cuanto a las emisiones por hectárea cultivada, es el cultivo de frambuesas el que menos emite. El arándano es el cultivo que más impacto genera en la emisión de gases de efecto invernadero. La fuente de mayores emisiones de gases de efecto invernadero en los cultivos es el consumo de combustible. Se destaca el impacto del uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de la fresa, responsable de casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero en este cultivo.

ABSTRACT

Greenhouse gas emissions have increased due to the development of human activity. The increase in these emissions is rising the earth's atmospheric temperature, causing climate change. In order to reduce these greenhouse gas emissions, the first step is to quantify them. Carbon footprinting is a tool that helps us to identify the sources of greenhouse gas emissions and the possibility of quantifying them. The guide followed to calculate the carbon footprint of an organization is GHG Protocol.

In this project, the carbon footprint of the cooperative S.C.A Santa María de la Rábida (Fresón de Palos), dedicated to the production of red fruits in the province of Huelva, was estimated. In addition, the carbon footprint of the main crops managed in the cooperative, strawberry, blueberry and raspberry, has been calculated.

In the carbon footprint of the cooperative, emissions were calculated for 2020 and 2021, with the aim of making a comparison between the two years. The main source of greenhouse gas emissions is electricity consumption in both years of the study. Greenhouse gas emissions increased from 2020 to 2021. However, electricity consumption decreased. The reason why emissions are higher, despite reduced energy expenditure, is due to a higher electricity mix factor in 2021. A high electricity mix factor indicates a higher emission of greenhouse gases in the production of that electricity.

The results of the carbon footprint of the crops, during the 2020-2021 campaign, were expressed in kg of CO₂ equivalent per hectare of crop and per kg of harvested fruit. The strawberry crop has the lowest greenhouse gas emissions per kilogram of fruit harvested. In terms of emissions per hectare cultivated, raspberries emit the least. Blueberries are the crop with the greatest impact on greenhouse gas emissions. The source of the greatest greenhouse gas emissions in crops is fuel consumption. The impact of the use of nitrogen fertilizers in strawberry cultivation stands out, responsible for almost half of the greenhouse gas emissions in this crop.

Agradecer a la cooperativa S.C.A. Santa María de la Rábida y a su personal, por facilitar todos los datos para la realización de este trabajo.

También, gracias a mi tutor y director de este trabajo fin de máster, Pedro Palencia García, que me ha ayudado y orientado en todo lo que he necesitado. Una mención especial para el Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), que me ha dado la oportunidad para realizar este proyecto.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Gases de efecto invernadero	12
1.2 Calentamiento global y emisiones antropogénicas	13
1.3 Metodologías de referencia en el cálculo de huella de carbono	14
1.4 Concepto de huella de carbono	15
1.5 Año de cálculo y año base	15
1.6 Emisiones directas e indirectas. Alcances.	15
1.7 Método de cálculo	16
1.8 Especificaciones del cálculo	16
1.9 Descripción de la cooperativa	20
1.10 Descripción de los cultivos	21
1.11 Objetivos	22
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1 Metodología del cálculo	25
2.2 Año del cálculo y año base	25
2.3 Emisiones directas e indirectas	25
2.4 Datos de las actividades	26
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.1 Cálculo de emisiones de Fresón de Palos	31
Alcance 1: Emisiones directas de Fresón de Palos	31
Alcance 2: Emisiones indirectas de Fresón de Palos	32
3.2 Cálculo de emisiones en los cultivos de fresa, arándanos y frambuesas	35
Alcance 1: Emisiones directas de los cultivos.....	35
Alcance 2: Emisiones indirectas de los cultivos.....	37
3.3 Huella de carbono de la cooperativa Fresón de Palos.....	38
3.4 Huella de carbono de los cultivos de fresas, arándanos y frambuesas.....	41
3.5 Planes de mejora	45
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES	47

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GEI Gases de Efecto Invernadero

HC Huella de Carbono

PCG Potencial de Calentamiento Global

CO_{2e} Dióxido de Carbono Equivalente

ED Emisiones directas

EI Emisiones indirectas

MITECO Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico

IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La ciencia evidencia el calentamiento de la tierra de los últimos años. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado a causa de la actividad humana, en particular por el consumo de carbón y petróleo. La liberación de estos gases a la atmósfera es una de las causas del cambio climático, por ello es de vital importancia reducirlas (Rodríguez et al., 2009).

Para dar respuesta a esta problemática, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, crea una entidad de científicos expertos, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), cuyo objetivo es elaborar información sobre el cambio climático.

Según el último informe del IPCC (AR5) se ha producido un aumento de la temperatura atmosférica y de los océanos, así como una disminución de la cantidad de nieve y hielo, y un aumento del nivel del mar, lo que hace evidente el calentamiento del sistema climático. Por otro lado, en este informe se muestra la evolución de las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso desde el año 1850, señalando que aproximadamente la mitad de las emisiones antropogénicas entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años (Figura 1).

Es lógico pensar, que el aumento de las emisiones de GEI es la principal causa del calentamiento de la tierra, demostrando el impacto que tiene la actividad humana sobre el planeta.

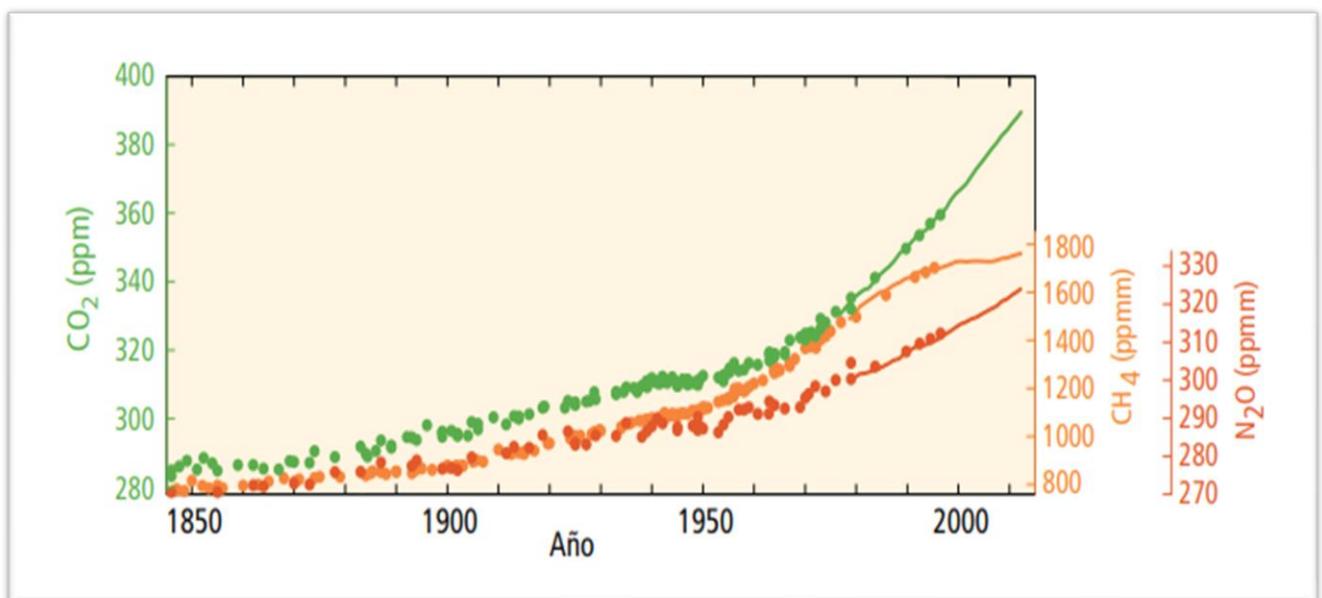


Figura 1. Promedio global concentraciones de gases de efecto invernadero.

Fuente: último informe del IPCC (AR5) (2014).

1.1 Gases de efecto invernadero

Los gases que forman la atmósfera, se comportan de manera diferente. Por tanto, la atmósfera tiene distintos comportamientos, en cuanto a la absorción de la radiación solar. Mientras que, para el espectro visible, el poder de absorción de la radiación es menor, para la radiación ultravioleta presenta un significativo poder de absorción, y el principal responsable de este fenómeno es el ozono. Así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja procedente de la tierra, y los responsables en este caso son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso. Estos gases traza, a su vez, calientan la atmósfera, emitiendo radiación que parte se libera al espacio, y el resto es irradiada de nuevo a la superficie de la tierra. El efecto neto de este fenómeno, permite que la tierra almacene más energía cerca de su superficie, aumentando la temperatura de la misma. A este proceso se le conoce como efecto invernadero natural, sin él la superficie de la tierra sería de 18° bajo cero, imposibilitando la vida en el planeta. Por tanto, los gases que se encuentran en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra o radiación saliente, son conocidos como los Gases de Efecto Invernadero (Benavides et al., 2007).

Estos gases se identificaron en el Protocolo de Kioto, el segundo informe de evaluación del IPCC, y son el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Para la cuantificación del efecto invernadero que provocan estos gases, hay que tener en cuenta dos aspectos: la capacidad para intensificar dicho efecto y el tiempo que pueden permanecer en la atmósfera. Ambos aspectos, son evaluados para el Potencial de Calentamiento Global (PCG) de cada gas de efecto invernadero. Se trata de un índice que evalúa el efecto del calentamiento global en el tiempo, al liberar en la actualidad 1 kg de un gas de efecto invernadero y compararlo con el efecto que causa la liberación de 1 kg de CO₂ (Echagüe et al., 2000).

La ISO 14064, define el potencial de calentamiento global como: índice, basado en las propiedades de radiación de los GEI, que mide la fuerza de radiación tras la emisión de un pulso de una unidad de masa de un GEI dado en la atmósfera actual integrado en un período determinado, con relación a la unidad del dióxido de carbono (CO₂).

Por tanto, el gas de efecto invernadero que se toma como base para comparar el efecto invernadero de estos gases, es el dióxido de carbono. El horizonte de tiempo seleccionado es de 100 años, representando el futuro impacto que tendrá cierto gas en ese periodo de tiempo. En resumen, un gas con alto PCG significa que absorbe mayor radiación o tiene grandes tiempos de vida media. (Benavides et al., 2007).

El PCG de los gases de efecto invernadero que se tratan en este trabajo, se han obtenido del Quinto Informe de evaluación del IPCC.

- Por definición, el PCG del dióxido de carbono (CO₂) es 1.
- El metano (CH₄) tiene un PCG de 28 veces mayor que el del CO₂.
- Para el óxido nitroso, se estima que el PCG es 265 veces mayor que el CO₂.
- En cuanto a los gases fluorados, pueden tener un PCG de miles o decenas de miles.

1.2 Calentamiento global y emisiones antropogénicas

El calentamiento de la tierra, es evidente gracias a las continuas mediciones de la temperatura, en varias localizaciones desde finales del siglo XIX. Estos datos, señalan que los años más calurosos están concentrados durante las últimas décadas, desde 1980 hasta la fecha, este fenómeno es lo que se conoce como calentamiento global. También, se ha incrementado la concentración de GEI en la atmósfera en las últimas décadas (Figura 1), lo que indica que la causa de esta tendencia hacia el calentamiento, es una intensificación del efecto invernadero. (Caballero et al., 2007).

Según la Comisión Europea, este aumento de las emisiones de GEI, es consecuencia de varios factores que tienen en común su origen antrópico. Entre ellos, se encuentra la quema de combustibles como el carbón, el petróleo o el gas, necesario para actividades industriales y transportes, aumentando las emisiones de dióxido de carbono y óxido nitroso. También, los fertilizantes nitrogenados usados en la agricultura, producen emisiones de óxido nitroso. Las emisiones de gases fluorados, que se usan en equipos de refrigeración, tienen un potente efecto de calentamiento, hasta de 23.000 veces mayor que el del CO₂. Por otro lado, acciones como la deforestación, agravan la problemática del cambio climático. Los árboles absorben el CO₂ de la atmósfera, y cuando se talan, este carbono almacenado es liberado a la atmósfera, incrementando el efecto invernadero.

En el último informe del IPCC (AR5), se analizan las emisiones de gases de efecto invernadero desde un punto de vista sectorial (Figura 2). Destacando el 35% de las emisiones de GEI provenientes del sector energético, y con el 24%, las emisiones asociadas a la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU). El 21% de las emisiones de GEI son consecuencia de la actividad de la industria, y el 14% del transporte.

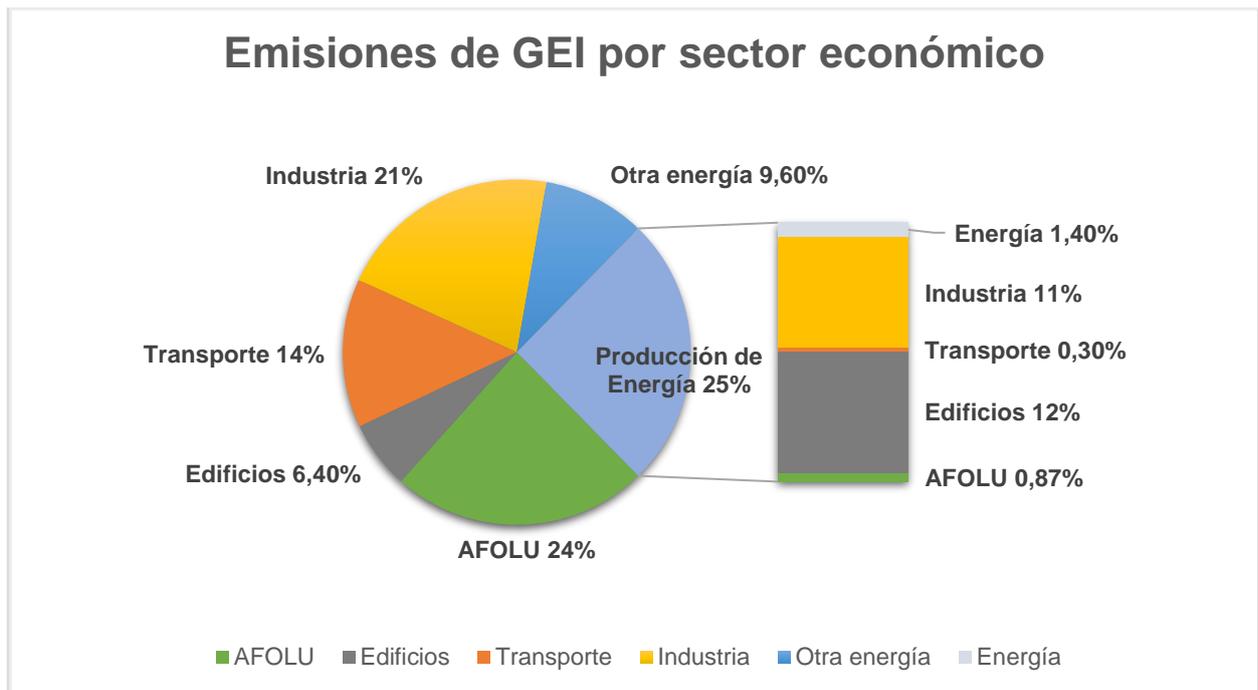


Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico.
Fuente: último informe del IPCC (AR5) (2014).

1.3 Metodologías de referencia en el cálculo de huella de carbono

El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), ha elaborado una “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización”. En esta guía, se especifican las diferentes metodologías para el cálculo de la huella de carbono de una organización, aunque existen muchas más, las de mayor reconocimiento a nivel internacional son las siguientes:

- Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol) es uno de los protocolos más utilizados a nivel mundial.
- UNE-ISO 14064-1: Principios y requisitos, a nivel de organización, para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Se desarrolla en 2006 y está basada en la guía anterior GHG Protocol.
- UNE-ISO 14069: Cuantificación e informe de GEI para organizaciones. Se trata de una guía para aplicar la ISO 14064-1.
- IPCC 2006 GHG Workbook es una guía para el cálculo de emisiones de GEI, acompañada de una lista de factores de emisión.
- Bilan Carbone (Francia), elaborada por la Agencia Francesa del Medio Ambiente y Gestión de la Energía. Se basa en los contenidos de GHG Protocol e ISO 14064

Este trabajo ha seguido la guía GHG Protocol para identificar y calcular las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.4 Concepto de huella de carbono

La huella de carbono (HC) es la contabilización de todos los gases de efecto invernadero (GEI), emitidos de manera directa e indirecta por un individuo, organización, producto o evento. GHG Protocol define la huella de carbono de una organización y de un producto como:

- La huella de carbono de una organización, es la suma de gases de efecto invernadero emitidos por el desarrollo de las actividades de dicha organización, tanto de forma directa como indirecta.
- La huella de carbono de un producto, contabiliza los gases de efecto invernadero emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto (extracción de materias primas, fabricación, distribución, depósito o reciclado).

1.5 Año de cálculo y año base

Se debe escoger un periodo de tiempo sobre el que realizar el cálculo, y además, seleccionar otro periodo de tiempo similar, que sirva como referencia para poder comparar la evolución de esos resultados.

GHG Protocol indica que el año base permite asegurar el seguimiento de las emisiones a lo largo del tiempo y hacer comparaciones con futuros datos. Además, permite evaluar las medidas de reducción de las emisiones de GEI en función del tiempo, y reportar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

1.6 Emisiones directas e indirectas. Alcances.

Las emisiones de gases de efecto invernadero se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas, que GHG Protocol define como:

- Las emisiones directas de gases de efecto invernadero son las emitidas dentro de la propiedad de la organización. Se podrían entender como las emisiones que se liberan en el mismo lugar donde se produce la actividad de la organización.
- Las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero se producen como consecuencia de la actividad de la organización, pero no se emiten dentro su propiedad. Un ejemplo sería el consumo de energía eléctrica de la organización, cuyas emisiones han sido producidas en el lugar en el que se generó dicha electricidad.

Para facilitar la detección de las emisiones directas e indirectas, GHG Protocol define tres alcances:

- El alcance 1 recoge las emisiones directas de gases de efecto invernadero. Algunos ejemplos serían las emisiones por combustión en hornos y corderas, o

por el uso de vehículos. También se incluyen las emisiones fugitivas, de gases fluorados en los equipos de refrigeración, o fugas de metano, etc.

- El alcance 2 recoge las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. Las más comunes son las emitidas por el consumo de energía eléctrica.
- El alcance 3 recogería otras emisiones indirectas. En este caso, las que provienen de actividades como los viajes de trabajo, la producción y transporte de materias primas, o la utilización de productos o servicios de terceros.

1.7 Método de cálculo

El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), ha elaborado una calculadora con el objetivo de facilitar el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de una organización.

Además, esta se ha adaptado para poder estimar la huella de carbono de una explotación agrícola, incluyendo especificaciones propias de las actividades agrícolas, como las emisiones derivadas del uso de fertilizantes.

La metodología para realizar el cálculo de huella de carbono es la siguiente:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato Actividad} \times \text{Factor Emisión}$$

Donde:

- El dato de actividad, es el parámetro que define el consumo de la actividad generadora de las emisiones de GEI.
- El factor de emisión, indica la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por cada unidad del “dato de actividad”. Estos factores están tabulados por organizaciones oficiales.

Como resultado, obtenemos una cantidad determinada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Es la unidad que se usa para exponer los resultados en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero.

1.8 Especificaciones del cálculo

1.8.1 Factores de emisión de los vehículos

En el cálculo de las emisiones debidas al uso de vehículos y maquinaria, hay que tener en cuenta los factores de emisión que correspondan con las características del cálculo. Estos factores de emisión, se recogen en el Inventario Nacional de Emisiones de España y en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006.

Estos factores de emisión dependen de muchos aspectos. De forma general dependen del tipo de vehículo, el tipo de combustible, el año de estudio, etc. Por consecuencia, se clasifican según esos aspectos. En primer lugar, se distinguen grandes grupos según sea transporte por carretera, ferroviario, marítimo o aéreo. Dentro de los vehículos por carretera se hacen cuatro grandes clasificaciones:

- Según el tipo de vehículo, se distinguen entre turismos (M1), furgonetas y furgones (N1), camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3) y ciclomotores y motocicletas (L).
- Según el tipo de combustible, se encuentra la gasolina (E5, E10, E85, E100), gasóleo o diésel (B7, B10, B20, B30, B100); y los gaseosos LPG (Gas licuado del petróleo) y CNG (Gas natural comprimido).
- Según el gas de efecto invernadero, se especifican factores de emisión para el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄).
- Según el año en cuestión, los datos van variando gracias a los nuevos estudios.

Por otro lado, las maquinarias se agrupan a parte según el uso al que están destinadas: maquinaria comercial, institucional e industrial; maquinaria agrícola y maquinaria forestal.

1.8.2 Factores mix eléctricos

Para calcular las emisiones de GEI producidas por el consumo de energía eléctrica, es necesario conocer los factores de emisión que tienen asociados los kWh consumidos. Es importante diferenciar los kWh que suministra cada comercializadora de energía, ya que estos factores mix eléctricos son variables. Dependen de la fuente de generación de la energía (renovable, cogeneración, cogeneración de alta eficiencia, gas natural, carbón, fuel/gas o nuclear) y por tanto de la comercializadora que lo suministre, así como el año en cuestión. Es decir, el factor mix eléctrico es una forma de representar el origen de la electricidad en cada comercializadora, cuanto menor sea este factor, mayor es la contribución de fuentes energéticas bajas en emisiones de CO₂.

Estos datos están recogidos en la web de la Comisión nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), en el que se indica el dato según la comercializadora y el año seleccionado. Por otro lado, para validar el origen verde de la energía, la CNMC otorga la Garantía de Origen (GdO), que asegura que un número determinado de kWh, han sido generados a partir de fuentes renovables. En este caso, el factor de emisión para dicha comercializadora, sería igual a cero (Guía MITECO).

A partir de los datos de consumo energético y los factores eléctricos, se calculan las emisiones de GEI, por tanto, cambios en estos factores influyen significativamente en las emisiones finales.

En España durante los últimos 15 años, el mix de generación de energía eléctrica ha sufrido una gran disminución debido a un incremento importante de las energías renovables y de las centrales térmicas de ciclos combinados (Tubet, 2016).

Sin embargo, para las comercializadoras de energía que intervienen en este proyecto, los factores en el año 2020 fueron menores que en el año 2021 (Tabla 1), lo que indica que en este último año las fuentes de energía fueron menos renovables que en el año anterior. Con excepción de una de las empresas, “Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas S.L.U”, cuyo factor de emisión en ambos años es cero.

Tabla 1. Factores mix eléctricos.

Nombre de la comercializadora	Factor mix eléc. kg CO ₂ e/kWh 2020	Factor mix eléc. kg CO ₂ e/kWh 2021
ELECTRICIDAD ELEIA S.L.	0,17	0,26
ENDESA ENERGÍA S.A.U.	0,20	0,26
IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.	0,15	0,23
REPSOL COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD Y GAS, S.L.U	0,00	0,00

1.8.3 Emisiones en la fertilización

En agricultura, la tarea de fertilización depende de factores como el suelo, el tipo y formulación del abono, la ubicación y el tipo de cultivo. Las necesidades nutritivas de los frutos rojos son diferentes entre unos cultivos y otros (Villa, 2008). Estas necesidades nutricionales, son estimadas para toda la campaña y se reparten equitativamente con los riegos programados. Por tanto, la aplicación de fertilizantes es un proceso continuo que se realiza a lo largo de la mayor parte del cultivo, en íntima relación con el riego (Medina et al., 2008).

Debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en agricultura, se producen emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (N₂O). Las emisiones directas de N₂O procedentes del suelo, son debidas a dos procesos microbiológicos, la nitrificación y desnitrificación del suelo. Las derivadas de los procesos de la nitrificación, tienen como fundamento la oxidación del amonio al nitrato. La desnitrificación, consiste en una reducción del nitrato a las formas gaseosas del nitrógeno, N₂O y N₂. Las emisiones indirectas derivan de dos vías: la volatilización de nitrógeno como amoniaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno (NO_x), y de la lixiviación. En la estimación de las emisiones directas (ED) de N₂O, se ha usado un método

elaborado por organizaciones oficiales como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), FAO (2014) y el IPCC, que se resume en la siguiente ecuación (González et al., 2017).

$$ED (N_2O) = CF * CE * (44/28)$$

Donde:

- CF es el consumo de fertilizantes en kg de nitrógeno aplicado.
- CE representa el coeficiente o factor de emisión que, tanto para fertilizantes sintéticos como orgánicos, es 0,1 kg N₂O-N / kg N aplicado.
- La fracción (44/28) representa el peso molecular del óxido nitroso (N₂O), entre el del nitrógeno contenido en el mismo (N₂O/ N₂O-N).

En cuanto al cálculo de las emisiones indirectas (EI), se determinan de la siguiente manera de acuerdo con las guías del IPCC.

$$EI (N_2O) = (CF)[(Fracc_{GASF} * CE_1) + (Fracc_{LEACH} * CE_2)] (44/28)$$

Donde:

- Fracc_{GASF} es la fracción del fertilizante nitrogenado aplicado, que se volatiliza en forma de amoníaco (NH₃) y en distintas formas de óxido nítrico (NO_x). Para los fertilizantes sintéticos es 0,1 kg NH₃-N + kg NO_x-N / kg N aplicado, y para los orgánicos 0,2 kg NH₃-N + kg NO_x-N / kg N aplicado.
- CE₁ es el coeficiente o factor de emisiones indirectas procedentes de la volatilización, igual a 0,01 kg N₂O-N / kg NH₃-N y NO_x-N.
- Fracc_{LEACH} representa la cantidad del nitrógeno aplicado que se lixivia, que en la provincia de Huelva es 0,08 kg N lixiviado/kg N aplicado.
- CE₂ es el coeficiente de emisiones indirectas procedentes de la lixiviación, igual a 0,0075 kg N₂O-N / kg N lixiviado.

Todos estos datos también se recogen en el Informe de Inventario Nacional de Emisiones de GEI.

En este cálculo, se distingue entre los fertilizantes sintéticos y orgánicos, clasificados así según su origen. Los fertilizantes orgánicos tienen componentes cuyo origen es natural, un ejemplo serían los restos vegetales, cuyo procesamiento ha sido mínimo. Los fertilizantes sintéticos son obtenidos de forma artificial por

síntesis química, donde sus componentes son muy específicos y controlados (Rodríguez, 1982).

Por último, para transformar las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso en CO₂e, se multiplica el dato obtenido por el PCG del N₂O, que según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC es 265 (González et al., 2017).

1.9 Descripción de la cooperativa

S.C.A. Santa María de la Rábida, en adelante Fresón de Palos, es una entidad dedicada a la manipulación, envasado y comercialización de productos hortofrutícolas cosechados por los agricultores asociados, para su consumo en fresco, triturado y congelado. Con su marca “FRESÓN DE PALOS”, es una empresa líder en el mercado, aunque también fabrica productos bajo la marca “BOUQUET” (propiedad de ANECOOP), “FRESONUBA” y marcas blancas. Es el primer productor de fresas a nivel nacional y europeo, siendo además el primer comercializador de este producto en España. En el resto de los cultivos, ocupa posiciones posteriores en el mercado. Cabe mencionar ciertos aspectos del contexto de la cooperativa, para poder identificar las emisiones de gases de efecto invernadero correctamente.

Fresón de Palos tiene unas instalaciones de más de 30.000 metros cuadrados repartidos entre tres naves de manipulación, almacenes de materiales de envasado y auxiliares, cámaras frigoríficas y túneles de preenfriamiento, zona de almacenamiento de residuos, oficinas, aseos, vestuarios, zona de suministros y una fábrica de envases. Todas sus instalaciones están dentro del Polígono Industrial San Jorge en el término municipal de Palos de la Frontera (Huelva). Que las instalaciones se encuentren dentro del mismo polígono, implica tanto un ahorro en personal, como de combustibles.

Este proyecto se centrará en aquellas instalaciones que afecten a la producción, aunque existen otras, están dedicadas a ofrecer ciertos servicios a los asociados como puede ser el taller agrícola. Actualmente son tres centros dedicados a la producción, nave 1, nave 2 y nave 6. La superficie que corresponde a producción es de, aproximadamente, 20.000 metros cuadrados.

Por otro lado, se dispone de una nave para la fabricación de envases (madera y cartón) y colocación de etiquetas preimpresas en envases. Es la nave 3 y también interviene en el proceso de producción por lo que está contemplada en el estudio.

La empresa no subcontrata actividades principales de producción, pero si procesos de apoyo entre los que se encuentra el transporte de mercancías. La empresa no dispone de vehículos propios para el transporte de la fruta al consumidor, por lo que las emisiones asociadas no están incluidas en el cálculo.

Debido a la estacionalidad de la mayoría de los productos, en los meses de verano gran parte de las instalaciones se encuentran en parada, y por el contrario, los meses de marzo, abril y mayo son de mayor actividad. En relación a una menor o mayor actividad, se espera una bajada y subida de los consumos eléctricos y de combustible

de Fresón de Palos durante el 2020 y 2021 (Figura 3). Los meses de plena campaña, de marzo a mayo, destacan por un mayor consumo.

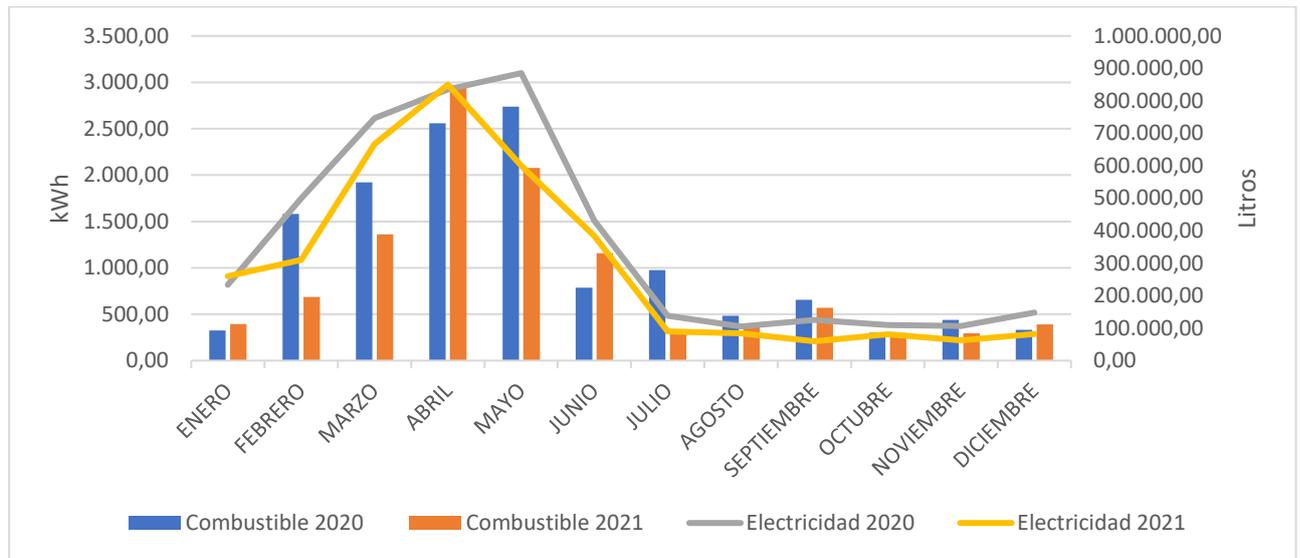


Figura 3. Consumo eléctrico (kWh) y de combustible (L) de Fresón de Palos.
Fuente: elaboración propia (2021).

1.10 Descripción de los cultivos

El cultivo de frutos rojos, en concreto de fresas en la provincia de Huelva, con una superficie de 12.000 hectáreas, forma parte de uno de los principales exportadores de Europa (Reigada et al., 2021).

Los cultivos de fresas en Huelva, se inician en los meses de junio-julio, retirando los restos de cultivo de la campaña anterior y continuando con la preparación del suelo para este nuevo cultivo. Entre los meses de agosto y septiembre, se realiza la desinfección del suelo junto con la formación de los lomos del cultivo. Las tareas de plantación comienzan durante los meses de octubre y noviembre. En estos meses, también comienzan las técnicas de fertirrigación, que continúan durante todo el ciclo de cultivo, junto con el programa de tratamientos fitosanitarios. Tras pasar un mes desde la plantación, empieza la formación de la cubierta plástica protectora de micro o macro túneles. Por último, la recolección de las fresas se inicia según el clima de la campaña en cuestión, comenzando en las primeras semanas de enero, hasta el mes de junio (Medina et al., 2008).

Por otro lado, en los cultivos de arándanos y frambuesas, también se realizan la mayoría de las labores descritas, con la peculiaridad de que las tareas de plantación y recolección, no se realizan todos los años, sino que ambos cultivos son duraderos a lo largo de varios años. El arándano es un cultivo con una inversión inicial alta, que empieza a producir al 3º año cultivado y alcanza una maduración estable a partir del 7º-8º año (Villa, 2008). Hay que destacar la hidroponía de este cultivo, que se trata de

un sistema para desarrollar plantas sin suelo, utilizando un medio de soporte natural, artificial o sintético con un suministro de los requerimientos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva (Beltrano et al., 2015). Por tanto, la tarea de formación de lomos no sería necesaria y se sustituye por la construcción del sistema hidropónico. En cuanto al frambueso, es un arbusto que emite cada año ramas aéreas que mueren a los dos años, justo después de fructificar. La vida media del cultivo varía entre 10 y 20 años, aunque en el sistema de producción de Huelva se realiza un cultivo anual basado en las varas de la planta del año anterior (Villa, 2008).

Tanto en el cultivo del arándano como del frambueso, se realizan las tareas de poda tras la recolección. Por último, destacar que, en los tres cultivos seleccionados, se forman macro túneles y siguen un sistema de producción integrada.

- **Cultivos de la cooperativa**

Fresón de Palos lo forman aproximadamente unos 150 socios agricultores. Se ha elegido a tres de ellos para el estudio de huella de carbono en los cultivos. Los tres socios únicamente trabajan con los cultivos en cuestión, de manera que todos los consumos se asocian a la producción de fresas, de arándanos o de frambuesas. Se han escogido estos socios ya que las hectáreas de producción que poseen son las más aproximadas a las superficies medias, con el objetivo de que sean representativos. Se especifican las hectáreas cultivables y la producción durante la campaña 2020-2021 de cada cultivo (Tabla 2), definiendo así dos unidades funcionales para estudiar los resultados: kg de CO₂ emitido por una hectárea de superficie cultivada y kg de CO₂ emitido por un kg de producto recolectado.

Tabla 2. Datos de los cultivos.

Tipo de cultivo	Superficie (ha)	Producción anual (kg)
Fresas	7,64	728947,50
Arándanos	2,01	40942,90
Frambuesas	0,77	21489,30

1.11 Objetivos

- Estimación de la huella de carbono de la cooperativa S.C.A Santa María de la Rábida para el año 2020 y 2021.
- Observar la variación de las emisiones de gases de efecto invernadero entre ambos años de estudio.
- Detectar la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en la cooperativa S.C.A Santa María de la Rábida.

- Determinar la huella de carbono de una unidad de cultivo para fresas, arándanos y frambuesas.
- Detectar la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en los cultivos de fresas, arándanos y frambuesas.
- Propuestas de mejora para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología del cálculo

En el cálculo de huella de carbono, este proyecto va a tomar como metodología de referencia la guía GHG Protocol, aunque también se han hecho consultas en las normas ISO 14064 e ISO 14067. Además, la calculadora del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) se ha usado como herramienta para el cálculo.

Se van a realizar dos cálculos de huella de carbono de forma independiente. Por un lado, la huella de carbono de Fresón de Palos como cooperativa y por otro, la huella de carbono asociada a los cultivos principales producidos en Fresón de Palos (fresas, arándanos y frambuesas).

2.2 Año del cálculo y año base

Fresón de Palos escogió el año 2021 para el cálculo de la huella de carbono, el año más reciente del que se disponen de datos completos.

La cooperativa establece como año base el 2020, con el objetivo de hacer una comparativa real con el año del cálculo 2021, ya que la actividad de producción es muy similar entre ambos años.

En cuanto a la huella de carbono de los cultivos, se escogió la campaña 2020-2021 como periodo de cálculo, que abarca desde el 1 de julio de 2020, al 30 de junio de 2021.

2.3 Emisiones directas e indirectas

Alcance 1: Emisiones directas de GEI

Las emisiones directas de gases de efecto invernadero en el caso de Fresón de Palos, son el resultado de los siguientes tipos de actividades:

- Combustión móvil. Estas emisiones resultan de la combustión de gasoil de fuentes móviles durante el transporte de materiales y productos.
- Emisiones fugitivas. Estas emisiones resultan de fugas de emisiones de gases refrigerantes (HFCs) durante el uso de equipos de aire acondicionado y refrigeración.

En el caso de los cultivos, las emisiones directas se asocian a las siguientes actividades:

- Aplicación de fertilizantes. El uso de abonos y fertilizantes nitrogenados producen emisiones directas e indirectas de óxido nitroso N_2O .
- Combustión móvil. Estas emisiones son resultado de la combustión de gasoil de la maquinaria agrícola usada en los cultivos.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI

En el alcance 2, se han cuantificado las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero que provienen del consumo de energía eléctrica, en ambos cálculos. En la cooperativa, este consumo proviene de los procesos en las naves de producción, así como de los equipos típicos de una oficina de todos los departamentos que posee la empresa. En los cultivos, el consumo eléctrico viene de las explotaciones agrícolas, el sistema de riego y fertilización.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas

El alcance 3 es una categoría opcional, que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Se trata de una categoría de carácter voluntario para GHG Protocol, por lo que no se hará una estimación de la misma.

2.4 Datos de las actividades

Fresón de Palos lleva un registro interno de los indicadores ambientales de sus actividades, entre ellos se encuentran el consumo de combustible, electricidad, agua, cartón, etc. Además, se archivan facturas y registros de mantenimiento que se han consultado para el cálculo.

Los datos de los cultivos de cada socio, se controlan y se registran en la cooperativa. Datos como el consumo de fertilizantes, fitosanitarios, agua de riego y combustible son los importantes para el cálculo.

Además, se consultó con el personal de la cooperativa y con los socios propietario de los cultivos, para más datos o cuestiones del proyecto.

2.4.1 Datos del cálculo de la cooperativa

- **Consumo de combustible en Fresón de Palos**

Fresón de Palos dispone de una estación de suministro de combustible, donde pueden ir a repostar los asociados y el personal de la cooperativa. El consumo de combustible de los vehículos que son propiedad de Fresón de Palos, se ha obtenido a partir de los registros de esta estación de suministro. Sin embargo, en estos registros se contempla el combustible total que consumen todos los vehículos de la cooperativa, por lo que no diferencia los litros consumidos por cada uno. Fresón de Palos cuenta con varios tipos de vehículos, cuyos factores de emisión son diferentes. Por este motivo, es necesario hacer una estimación de los litros consumidos por cada tipo de vehículo. Para la categoría de camiones y autobuses, Fresón de Palos solo cuenta con un vehículo, por lo que ha sido posible estimar los km recorridos en cada año a partir de los informes de la ITV, que junto con el consumo por km del vehículo se calcula los litros de combustible gastados. El resto del total de los litros consumidos pertenecen a la maquinaria industrial (Tabla 3).

Fresón de Palos cuenta con los mismos vehículos en el año 2020 y en el 2021. Por un lado, maquinaria comercial, institucional e industrial y por otro, camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3). Todos usan el mismo combustible, gasóleo B7. El combustible gastado por la maquinaria industrial, se redujo en más de dos mil litros del año 2020 al 2021. El consumo del camión fue prácticamente igual de un año a otro.

Tabla 3. Combustible consumido por las fuentes móviles de la cooperativa.

Año	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Cantidad (L)
2020	Maquinaria comercial, institucional e industrial	B7	12.108,04
	Camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3)	B7	987,70
2021	Maquinaria comercial, institucional e industrial	B7	9.889,41
	Camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3)	B7	1.009,75

Los factores de emisión de estos vehículos, para los gases de efecto invernadero del dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, no han variado desde el año 2020 al 2021 (Tabla 4). Los camiones presentan factores de emisión ligeramente mayores que los de la maquinaria industrial.

Tabla 4. Factores de emisión de los vehículos y maquinarias en 2020 y 2021.

Tipo de maquinaria	GEI	Factor de emisión 2020	Factor de emisión 2021
Maquinaria comercial, institucional e industrial	Kg CO ₂ /L	2,47	2,47
	g CH ₄ /L	0,03	0,03
	g N ₂ O/L	0,11	0,11
Camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3)	kg CO ₂ /L	2,48	2,48
	g CH ₄ /L	0,06	0,06
	g N ₂ O/L	0,12	0,12

Fuente: Informe de Inventario Nacional de Emisiones de GEI.

- **Emisiones fugitivas en la cooperativa**

Las emisiones fugitivas de GEI, se refieren a las fugas de gases fluorados (HFCs) que se dan en los equipos de refrigeración. Estas fugas se contabilizan a partir de la cantidad de gas que se recarga de nuevo en los equipos. La cantidad de recarga es igual a la cantidad de gas fugada.

Se realizaron dos recargas en el mismo equipo de refrigeración, una en el 2020 y otra en el 2021. Este equipo tiene una capacidad para almacenar 10,5 kg de gas. La

primera recarga fue de 6 kg en el año 2020. Al año siguiente se realizó la segunda recarga, esta vez completa. El gas fluorado de este equipo se denomina R-407C, cuya fórmula química es R-32/125/134a (23/25/52). El Potencial de Calentamiento Global para este gas es de 1.624,21.

Las características del equipo de refrigeración, así como las operaciones de mantenimiento que se realizan, se han sacado de los registros internos de la cooperativa. Además, se han consultado las facturas de estas operaciones de mantenimiento, para conseguir información de la cantidad de recarga.

- **Energía eléctrica de la cooperativa**

Para calcular las emisiones indirectas en el alcance 2, se necesitan los datos de consumo de energía eléctrica de Fresón de Palos durante 2020 y 2021 (Tabla 5). Se especifican los kWh consumidos en cada nave, ya que la compañía eléctrica contratada no es la misma en todas las instalaciones, y por tanto, variará su factor mix eléctrico. Los datos de consumo se han obtenido de las facturas emitidas por las comercializadoras.

Las naves 1 y 2 presentan un consumo bastante mayor que el resto. La nave 1 es la de mayor superficie, seguida por la nave 2, por lo que se esperaba que sus consumos fueran mayores. El consumo energético total, se redujo en más de 835.000 kWh desde el año 2020 al 2021.

Tabla 5. Consumo de electricidad por instalaciones.

Edificio	Dato de consumo kWh 2020	Dato de consumo kWh 2021
NAVE 1	2.564.280,00	2.113.916,36
NAVE 2	1.474.075,00	1.154.849,00
NAVE 3	130.727,00	134.533,00
NAVE 6	197.325,00	127.611,00
TOTAL	4.366.407,00	3.530.909,36

2.4.2 Datos del cálculo de los cultivos

- **Consumo de combustible en los cultivos**

Los asociados pueden repostar el combustible para sus vehículos y maquinaria en la estación de suministro de la cooperativa. También pueden conseguir el combustible externamente, por lo que en este caso se les ha pedido la información directamente a los socios implicados.

Los datos de consumo de combustible se especifican en la Tabla 6, junto con el tipo de vehículos y maquinaria que pertenece a cada cultivo, el tipo de combustible que usan y los factores de emisión para dichas características.

De forma general todos los cultivos poseen maquinaria agrícola (tractores), cuyo combustible usado es el gasóleo B, que presenta factores de emisión superiores a los demás combustibles. Los socios de los cultivos de la fresa y el arándano poseen un camión, cuya principal función es el transporte de frutas de las fincas a la cooperativa. Estos vehículos usan diésel B7 y su consumo es mayor que en el resto de vehículos. Para esas tareas, el socio de las frambuesas posee una furgoneta que también usa diésel B7. Además, el socio del cultivo del arándano, tiene una motocicleta que usa gasolina.

El consumo de combustible en el cultivo de la fresa es mucho mayor que en el resto, ya que hay más hectáreas dedicadas a este cultivo y su producción también es mayor. El cultivo de arándanos también presenta un alto consumo de combustible.

Tabla 6. Consumo de combustible en los cultivos y factores de emisión.

Cultivo	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Cantidad (L)	Factores de emisión		
				kg CO ₂ /L	g CH ₄ /L	g N ₂ O/L
Fresas	Camiones	B7	6.321,89	2,48	0,06	0,12
	Maquinaria agrícola	Gasóleo B	5.839,03	2,69	0,03	0,12
Arándanos	Camiones	B7	5.239,87	2,48	0,06	0,12
	Maquinaria agrícola	Gasóleo B	1.003,28	2,69	0,028	0,12
	Ciclomotores	Gasolina	266,46	2,27	2,23	0,04
Frambuesas	Furgonetas	B7	1.000,00	2,47	0,01	0,07
	Maquinaria agrícola	Gasóleo B	200,00	2,69	0,03	0,12

• Aplicación de fertilizantes en los cultivos

Para el cálculo de las emisiones asociadas a la tarea de fertilización, necesitamos conocer el nitrógeno total aportado al cultivo durante la campaña 2020-2021, diferenciando entre el nitrógeno de origen sintético y orgánico (Tabla 7). Los datos se sacaron del programa técnico de la cooperativa, donde se registra la información relacionada con los cultivos de los asociados. Prácticamente el total del nitrógeno es sintético en todos los cultivos, solo una pequeña parte es de origen orgánico. La cantidad de nitrógeno aportada en el cultivo de las fresas es muy superior que el del resto de los cultivos, ya que su extensión es mayor.

Tabla 7. Cantidad de nitrógeno aportado en cada cultivo.

Tipo de cultivo	Cantidad de N sintético aportada (kg N)	Cantidad de N orgánico aportada (kg N)	Cantidad total de N aportada (kg N)
Fresas	6.045,35	15,81	6.061,16
Arándanos	383,07	0,48	383,55
Frambuesas	137,48	0,18	137,66

- **Energía eléctrica asociada a los cultivos**

El consumo de energía eléctrica en las explotaciones agrícola, proviene de las casas o instalaciones que puedan estar en la finca, así como el sistema de riego y fertilización que funcionan con electricidad. Los datos de consumo se han separado entre los meses de campaña del 2020, desde julio a diciembre, y los del 2021, de enero hasta junio (Tabla 8). Esta diferenciación es necesaria para realizar un cálculo correcto, ya que los factores mix eléctricos cambian según el año.

El mayor consumo energético se da en el cultivo de fresas, ya que presenta un mayor número de hectáreas. En el caso del cultivo de la frambuesa el socio no tiene toma de electricidad en la finca, dispone de un generador alimentado por combustible.

Tabla 8. Consumo eléctrico en la campaña 2020-2021.

Cultivo	2020	2021	Total campaña	Unidad
Fresas	5.532,50	7.943,50	13.476,00	kWh
Arándanos	2.701,20	2.172,00	4.891,20	kWh

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cálculo de emisiones de Fresón de Palos

Alcance 1: Emisiones directas de Fresón de Palos

- Consumo de combustible de vehículos móviles

Los resultados se presentan desglosados, en emisiones parciales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Las emisiones totales, son la suma de las tres emisiones parciales de estos gases de efecto invernadero, expresadas en kg CO₂ equivalente, teniendo en cuenta los PCG descritos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC.

Las emisiones por consumo de combustible, vienen de tareas como la recepción, paletización o expedición de frutas, realizadas por los vehículos y maquinaria industrial de la cooperativa. Fresón de Palos tiene vehículos y maquinarias propios que son eléctricos, como es el caso de las transpaletas, o de combustión que son los que cuentan para este apartado.

Los vehículos y maquinaria industrial de combustión, con los que cuenta la cooperativa, son varias carretillas elevadoras y un camión, que circula por el polígono, ambos usan diésel (B7) como combustible. Las emisiones totales procedentes de la combustión de vehículos móviles en el año 2020, fueron de 32.756,41 kg CO₂e, y de 27.264,32 en el 2021 (Tabla 9). El gasto de combustible en el año 2021 fue un 16% menor que en el año anterior, en el número de emisiones se refleja esta bajada de consumo.

Tabla 9. Emisiones asociadas al consumo de combustible.

Año	Tipo de vehículo	Cantidad (L)	Emisiones parciales			Emisiones Totales
			kg CO ₂	g CH ₄	g N ₂ O	kg CO ₂ e
2020	Maquinaria comercial, institucional e industrial	12.108,04	29.894,75	339,03	1.380,32	30.270,03
	Camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3)	987,70	2.451,47	56,30	123,46	2.485,77

2021	Maquinaria comercial, institucional e industrial	9.889,41	24.416,95	276,90	1.127,39	24.723,47
	Camiones y autobuses (N2, N3, M2, M3)	1.009,75	2.506,20	57,56	126,22	2.541,26

Las emisiones asociadas al uso de las carretillas elevadoras representan el 90% de las emisiones totales, frente al 10% que presenta el camión. El gasto de combustible del camión es muy bajo, ya que solo circula por el polígono de una nave de producción a otra.

- Emisiones fugitivas

Fresón de Palos dispone de amplias instalaciones que cuentan con varios equipos de refrigeración. Las dos recargas realizadas durante los años del estudio se hicieron en el equipo de refrigeración centralizado que se encuentra en las instalaciones de la nave 1, la de mayor superficie y donde están la mayoría de las oficinas de la cooperativa. Se trata de un equipo de grandes dimensiones, por lo que se pueden esperar fugas durante dos años seguidos.

Las emisiones de gases fluorados (HFCs) en el año 2020, fueron de 9.745,26 kg CO₂e, y en el 2021 de 17.054,21 kg CO₂e (Tabla 10). Las emisiones asociadas a los equipos de refrigeración, aumentaron en más de siete mil kilogramos de CO₂e, ya que la cantidad de recarga de gas fluorado en el 2021 fue mayor, y por tanto, mayores emisiones.

Tabla 10. Emisiones de los equipos de refrigeración.

Año	Nombre del gas	PCG	Recarga equipo (kg)	Emisiones kg CO ₂ e
2020	R-407C	1.624,21	6	9.745,26
2021			10,5	17.054,21

Alcance 2: Emisiones indirectas de Fresón de Palos

- Consumo de energía eléctrica

Las emisiones procedentes del consumo de electricidad, son las llamadas emisiones indirectas, la cooperativa no las emite desde su propiedad, pero si se contabilizan como propias.

Las emisiones indirectas de Fresón de Palos, se obtienen a partir de los kWh consumidos en cada instalación y el factor mix eléctrico de la compañía eléctrica contratada. Por este motivo, se han desglosado los kWh suministrados por cada

compañía eléctrica, calculando las emisiones parciales de estos consumos. Las emisiones asociadas al consumo de electricidad del año 2020 son de 754,78 toneladas de CO₂e (Tabla 11), en comparación con el año 2021 que son 914,19 toneladas de CO₂e (Tabla 12), por lo que han aumentado en casi 160 toneladas.

Tabla 11. Emisiones indirectas del consumo eléctrico en 2020.

Edificio	Consumo kWh	Factor mix eléc. kg CO ₂ e/kWh	Emisiones kg CO ₂ e	Emisiones totales 2020
NAVE 1	2.475.787,00	0,17	420.883,79	
NAVE 1 (DIC)	88.493,00	0,20	17.698,60	
NAVE 2	1.474.075,00	0,17	250.592,75	754.785,54
NAVE 3	130.727,00	0,20	26.145,40	
NAVE 6	197.325,00	0,20	39.465,00	

Tabla 12. Emisiones indirectas del consumo eléctrico en 2021.

Edificio	Consumo kWh	Factor mix eléc. kg CO ₂ e/kWh	Emisiones kg CO ₂ e	Emisiones totales 2021
NAVE 1	2.070.079,36	0,26	536.150,55	
NAVE 1 (DIC)	43.837,00	0,26	11.309,94	
NAVE 2	1.154.849,00	0,26	29.9105,89	914.199,54
NAVE 3	134.533,00	0,26	34.709,51	
NAVE 6	127.611,00	0,26	32.923,63	

Los resultados se han representado gráficamente para una comparación más visual, entre los años de estudio y las instalaciones de la cooperativa (Figura 4). Las emisiones de cada instalación se representan con barras, las de color azul pertenecen a las emisiones del año 2020 y las de color naranja al 2021. Las instalaciones con mayores emisiones son las naves 1 y 2, ya que son las instalaciones dedicadas a producción. La nave 1 cuenta con una superficie mayor que la nave 2, por eso sus emisiones son mayores. Además, en la nave 1 se encuentran las cámaras de congelado, lo que aumenta el consumo energético en estas instalaciones frente a la nave 2. La nave 6 también es de producción, pero se trata de unas instalaciones de apoyo que únicamente se abren unos dos meses al año, cuando la producción es muy alta y no es suficiente con las otras naves.

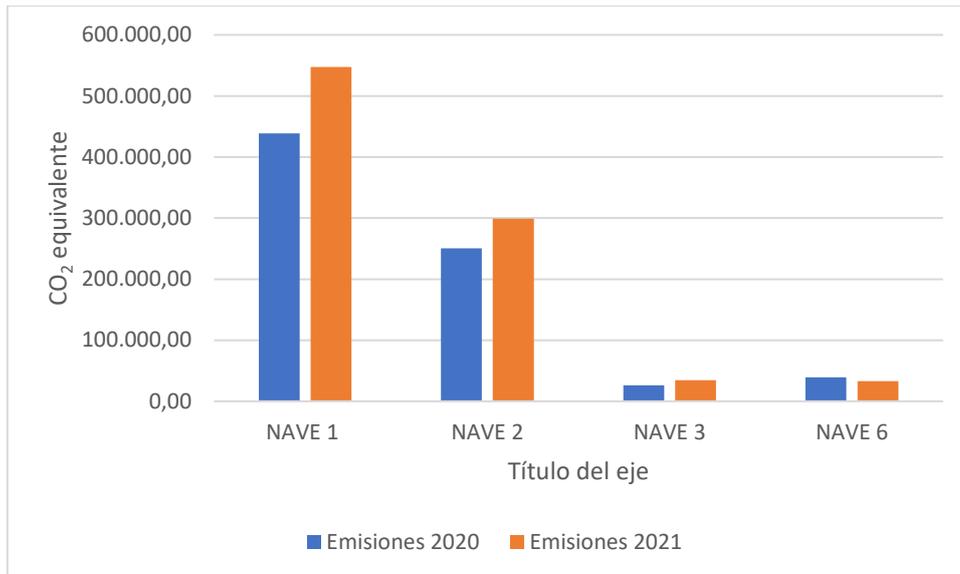


Figura 4. Emisiones asociadas al consumo eléctrico por instalaciones.

Aunque las emisiones han aumentado en el año 2021, realmente el consumo eléctrico sí que se redujo ese mismo año (Figura 5).

El aumento de las emisiones, se explica por el cambio del factor mix eléctrico de las comercializadoras. En cuanto a la reducción del consumo, se explica por dos motivos. En primer lugar, en el año 2021 no se realizó el proceso de congelado, cuyo consumo eléctrico es muy elevado, en comparación al año 2020 que sí tuvo lugar. Por otro lado, la reducción de consumo también se explica por la implantación de placas fotovoltaicas en el año 2021. Se instalaron en la nave 2 en enero de 2021, y en la nave 1 desde julio del mismo año.

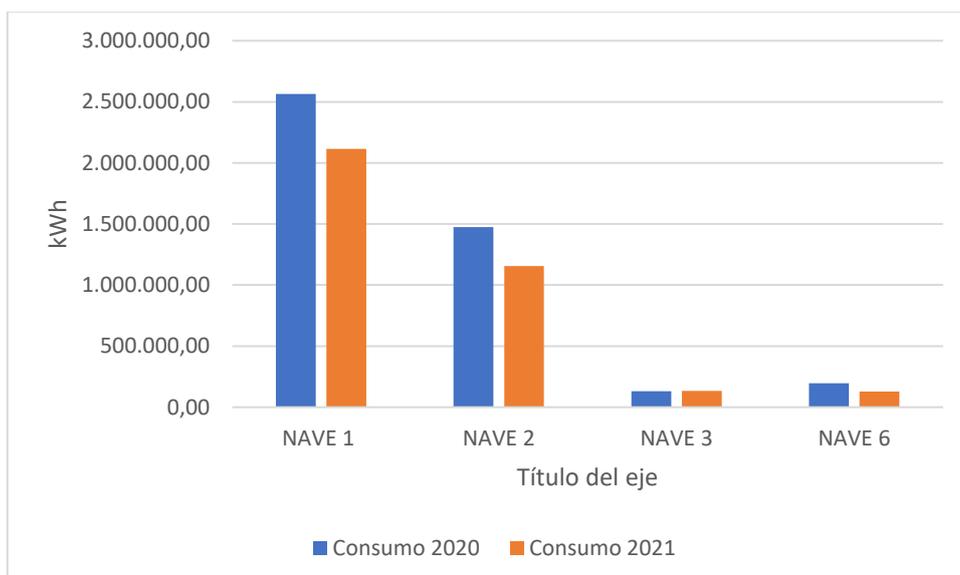


Figura 5. Consumo de energía eléctrica por instalaciones.

3.2 Cálculo de emisiones en los cultivos de fresa, arándanos y frambuesas

Alcance 1: Emisiones directas de los cultivos

- Consumo de combustible de la maquinaria agrícola

El consumo de combustible en una explotación agrícola, viene dado por el uso de vehículos y maquinaria que llevan a cabo labores agrícolas necesarias para el buen desarrollo del cultivo. El tractor interviene en tareas como la retirada de restos de cultivos anteriores, la preparación del suelo durante los pases de gradas y de cultivador, la colocación de los lomos, la desinfección del suelo, la aplicación de los tratamientos fitosanitarios, etc.

Los socios disponen de vehículos adicionales como camiones o furgonetas para tareas como la recolección o transporte de las frutas. Se contempla el uso de coches o motos para uso personal en el gasto de combustible, así como en el caso del cultivo de la frambuesa donde se usa el combustible para un generador. También es relevante mencionar el consumo de combustible de los motores del sistema de riego o aplicación de fertilizantes.

Las emisiones directas por consumo de combustible en los cultivos de fresas, arándanos y frambuesas fueron de 31.772, 16.531 y 3.049 kg de CO_{2e} respectivamente (Tabla 13).

Tabla 13. Emisiones de combustión de la maquinaria agrícola.

Cultivo	Tipo de vehículo	Emisiones parciales			Emisiones totales	Emisiones por cultivo
		kg CO ₂	g CH ₄	g N ₂ O	kg CO _{2e}	kg CO _{2e}
Fresas	Camiones	15.690,93	410,92	752,30	15.901,80	31.772,60
	Maquinaria agrícola	15.683,63	163,49	689,01	15.870,80	
Arándanos	Camiones	13.005,36	340,59	623,54	13.180,13	16.531,27
	Maquinaria agrícola	2.694,81	28,09	118,39	2.726,97	
	Ciclomotores	604,33	595,01	11,99	624,17	
Frambuesas	Furgonetas	2.486,00	9,00	74,00	2.505,86	3.049,47
	Maquinaria agrícola	537,20	5,60	23,60	543,61	

Los resultados de las emisiones de los cultivos, se han expresado en kg de CO_{2e} por hectárea de cultivo y por kg de fruta recolectada (Tabla 14). Las emisiones totales del cultivo de la fresa son superiores debido a la mayor extensión del mismo. Sin embargo,

si relacionamos las emisiones con el número de hectáreas y con los kg de fruta producido, obtenemos que la fresa no es el cultivo que más emite.

El arándano es el cultivo con más emisiones por hectárea debido al uso de maquinaria, doblando las emisiones procedentes del cultivo de la fresa. Las emisiones de las frambuesas son ligeramente menores que de las fresas. Por otro lado, por cada kg de arándanos, se emiten diez veces más CO₂ que por cada kg de fresas cultivado.

Tabla 14. Emisiones del uso de maquinaria por hectárea y producción.

Cultivos	Emisiones directas combustible	kg CO ₂ /ha	kg CO ₂ / kg de fruta
Fresa	31.772,60	4.158,71	0,04
Arándano	16.531,27	8.224,51	0,40
Frambuesa	3.049,47	3.960,35	0,14

- Aplicación de fertilizantes nitrogenados

El uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura, provoca una serie de emisiones directas e indirectas de óxido nitroso. Los abonos utilizados en los cultivos en cuestión son nitrato amónico, nitrato potásico nitrato cálcico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico, así como abono orgánico.

Las emisiones directas totales de gases de efecto invernadero son de 57.013 kg de CO_{2e} para el cultivo de la fresa, 18.128,48 kg de CO_{2e} en el arándano y 3.622,73 kg de CO_{2e} (Tabla 15). Estas se han calculado a partir del consumo de fertilizante, el factor de emisión y el potencial de calentamiento del óxido nitroso.

Tabla 15. Emisiones directas de la aplicación de fertilizantes sintéticos.

Cultivo	CF	FE	Total emisiones directas de N ₂ O	PCG	Emisiones CO _{2e}
Fresas	6061,16		95,25		25.240,40
Arándanos	383,55	0,01	6,03	265	1.597,21
Frambuesas	137,66		2,16		573,26

Los resultados se han expresado en kg de CO_{2e} por hectárea y en kg de CO_{2e} por kg de producción (Tabla 16). El cultivo del arándano presenta mayores emisiones directas totales por hectárea cultivada, con 9.019,14 kg de CO_{2e}, y 0,44 kg de CO_{2e} por kg de fruta recolectada. En el cultivo de fresas se emiten 7.462,43 kg de CO_{2e} por hectárea, y 0,08 kg de CO_{2e} por kg de fresa recolectada, el dato más bajo de los tres. El cultivo de la frambuesa presenta las emisiones por hectárea más bajas, con 4.704,84 kg de CO_{2e}, y unas emisiones intermedias con 0,17 kg de CO_{2e} por kg de fruta producido.

Tabla 16. Emisiones directas por hectárea y producción.

Cultivo	ED totales	kg CO ₂ e/ha	kg CO ₂ e/ kg de fruta
Fresas	57.013,00	7.462,43	0,08
Arándanos	18.128,48	9.019,14	0,44
Frambuesas	3.622,73	4.704,84	0,17

Alcance 2: Emisiones indirectas de los cultivos

- Consumo de energía eléctrica asociada a los cultivos

Las emisiones indirectas de la energía eléctrica consumida en los cultivos, han sido calculadas como emisiones parciales según los kWh facturados por cada comercializadora, durante los meses del 2020 y del 2021. El factor de emisión empleado en los cálculos, depende de la empresa comercializadora de energía y del año del cálculo. Por tanto, los resultados se presentan como emisiones parciales asociadas a cada compañía, junto con las emisiones totales, en el cultivo de fresas (Tabla 17) y de arándanos (Tabla 18).

Tabla 17. Emisiones del consumo eléctrico en fresas.

Comercializadora	kWh 2020	kWh 2021	Emisiones Parciales	Emisiones Totales
ENDESA ENERGÍA S.A.U.	5.367,50	7.498,50	3.008,11	3.136,10
IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.	165,00	445,00	127,99	

El cultivo de la fresa presenta diez veces más emisiones indirectas que el arándano. Entre los motivos, se encuentra que una de las comercializadoras contratadas por el socio de arándanos, tiene un factor de emisión igual a 0, lo que significa que la electricidad ha sido generada por fuentes renovables, que no tienen emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 18. Emisiones del consumo eléctrico en arándanos.

Comercializadora	kWh 2020	kWh 2021	Emisiones Parciales	Emisiones Totales
IBERDROLA CLIENTES, S.A.U.	304,20	932,40	261,95	329,59
REPSOL COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD Y GAS, S.L.U.	2.396,40	978,00	0,00	
ENDESA ENERGÍA S.A.U.	0,00	262,20	67,65	

- Aplicación de fertilizantes

El uso de fertilizante nitrogenados también produce emisiones indirectas a causa de la volatilización y lixiviación. Las emisiones indirectas totales debido al uso de fertilizantes son de 4.045,05 kg de CO₂e en fresas, de 255,75 kg de CO₂e en arándanos y de 91,80 kg de CO₂e en frambuesas (Tabla 19).

Tabla 19. Emisiones indirectas por la aplicación de fertilizantes.

Cultivo	Emisiones Volatilización F. sintético	Emisiones Volatilización F. orgánico	Emisiones Lixiviación	Emisiones Indirectas Totales (CO₂e)
Fresas	2.517,46	13,17	1.514,42	4.045,05
Arándanos	159,52	0,40	95,83	255,75
Frambuesas	57,25	0,15	34,40	91,80

Sumando las emisiones directas e indirectas asociadas a la aplicación de fertilizantes obtenemos un total de 29.285, 1.853 y 665 kg de CO₂e para el cultivo de fresa, arándano y frambuesa respectivamente (Tabla 20). Además, se resumen las emisiones totales asociadas a la aplicación de fertilizantes por hectárea cultivada y por kg de fruta producida. Las emisiones por hectárea en el cultivo de fresas son bastante mayores, con 3.833,17 kg de CO₂e, esto se explica porque la cantidad de abono aplicada fue superior. En cuanto a las emisiones de fertilizantes por kg de fruta recolectado, los tres cultivos presentan resultados parecidos, con 0,04 kg de CO₂e en fresas, 0,05 kg de CO₂e en arándanos y 0,03 kg de CO₂e en frambuesas.

Tabla 20. Emisiones del uso de fertilizantes por hectárea y producción.

Cultivos	Emisiones Fertilizante D+I	kg CO₂/ha	kg CO₂/ kg de fruta
Fresas	29.285,45	3.833,17	0,04
Arándanos	1.852,96	921,87	0,05
Frambuesas	665,05	863,70	0,03

3.3 Huella de carbono de la cooperativa Fresón de Palos

La huella de carbono de Fresón de Palos durante el año 2020, asciende a un total de 797,28 toneladas de CO₂e. Frente al año 2021 con a un total de 958,51 toneladas CO₂e (Tabla 21). Las emisiones de gases de efecto invernadero de Fresón de Palos aumentaron en 161 toneladas de CO₂e.

Tabla 21. Resumen alcances de la huella de carbono.

Categoría	Emisiones 2020 kg CO ₂ e	Emisiones 2021 kg CO ₂ e
Fuentes móviles	32.755,79	27.264,72
Emisiones fugitivas	9745,26	17.054,21
Electricidad	754.785,54	914.199,54
Emisiones totales	797.286,59	958.518,47

Las emisiones asociadas a cada categoría se han representado gráficamente, para el año 2020 en la Figura 6 y para el 2021 en la Figura 7.

En el año 2020, las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico, representan el 94,67% del total de las emisiones, siendo la fuente de mayor impacto con un total de 754,78 toneladas de CO₂. Las emisiones directas o del alcance 1 representan únicamente el 5,33% del total. El consumo de combustible de los vehículos y las emisiones fugitivas, son las fuentes de menor impacto en el estudio de la huella de carbono.

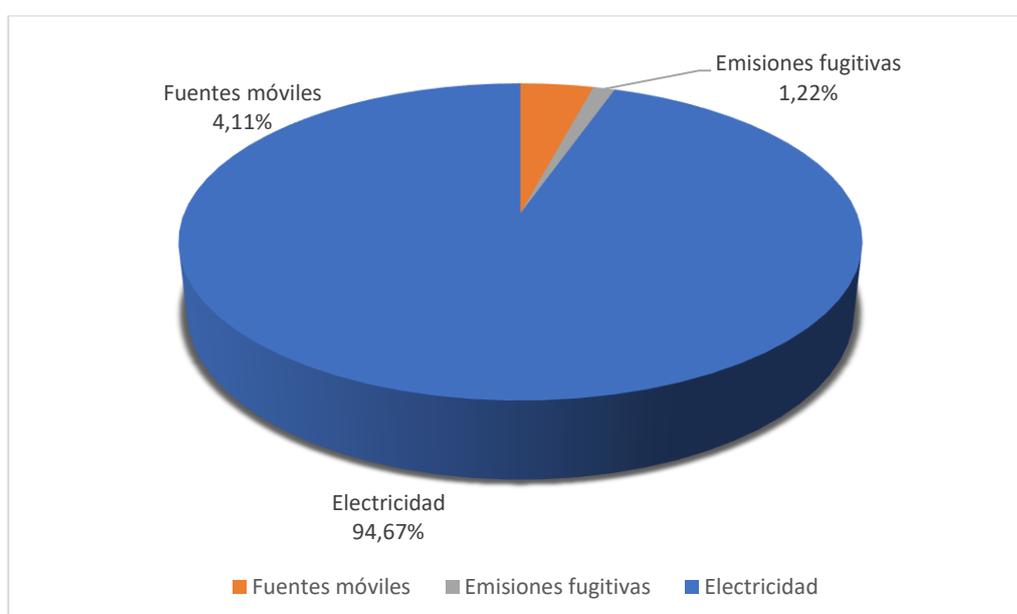


Figura 6. Emisiones del año 2020 por categoría.

Referente al año 2021, las emisiones directas de Fresón de Palos únicamente representan el 4,62% de las emisiones totales. Las emisiones indirectas debidas al consumo eléctrico, ocupan el 95,38% de las emisiones totales en el 2021, con 914,19 toneladas de CO₂e.

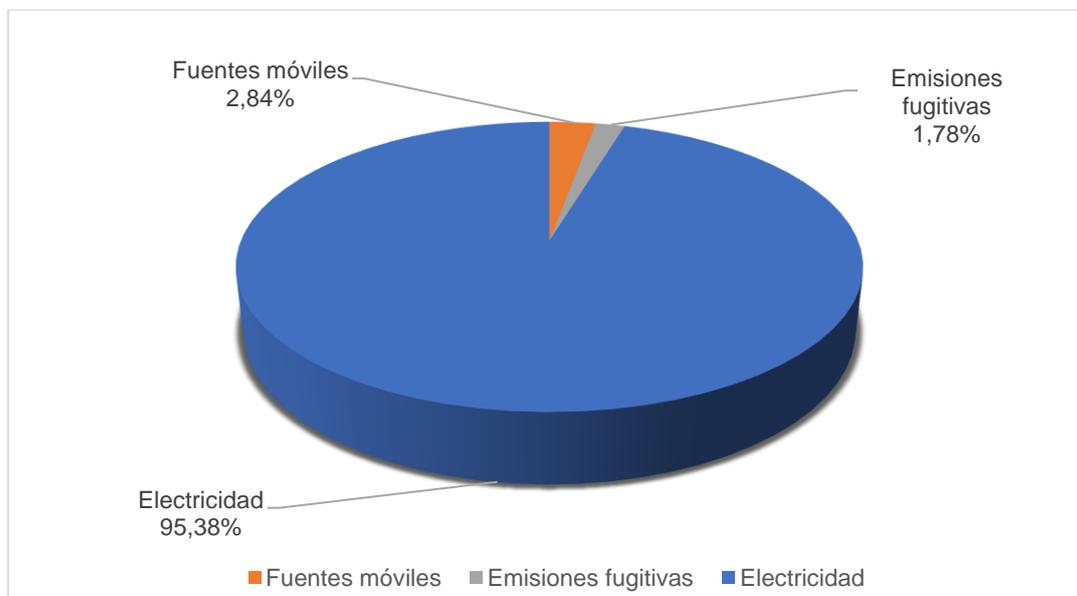


Figura 7. Emisiones del año 2021 por categoría.

Los resultados de ambos años, se representan gráficamente en forma de barras con el objetivo de hacer una comparación entre el 2020 y 2021 (Tabla 8).

Aunque el consumo de combustible y electricidad disminuyera en el año 2021, la realidad es que las emisiones totales aumentaron ese mismo año con respecto al 2020. Estas emisiones fueron mayores debido al aumento del factor mix eléctrico de las empresas comercializadoras. La cooperativa tiene contrato con dos empresas que le suministran electricidad: Electricidad Eleia S.L. y Endesa Energía S.A.U. cuyo factor mix eléctrico en el año 2020 era de 0,17 y 0,20 kg de CO_{2e} por kWh, respectivamente. Sin embargo, en el año 2021 el factor mix eléctrico en ambas compañías aumento hasta 0,26 kg de CO_{2e} por kWh. El aumento de este factor tiene consecuencias directas en los resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero, como se demuestra en este estudio.

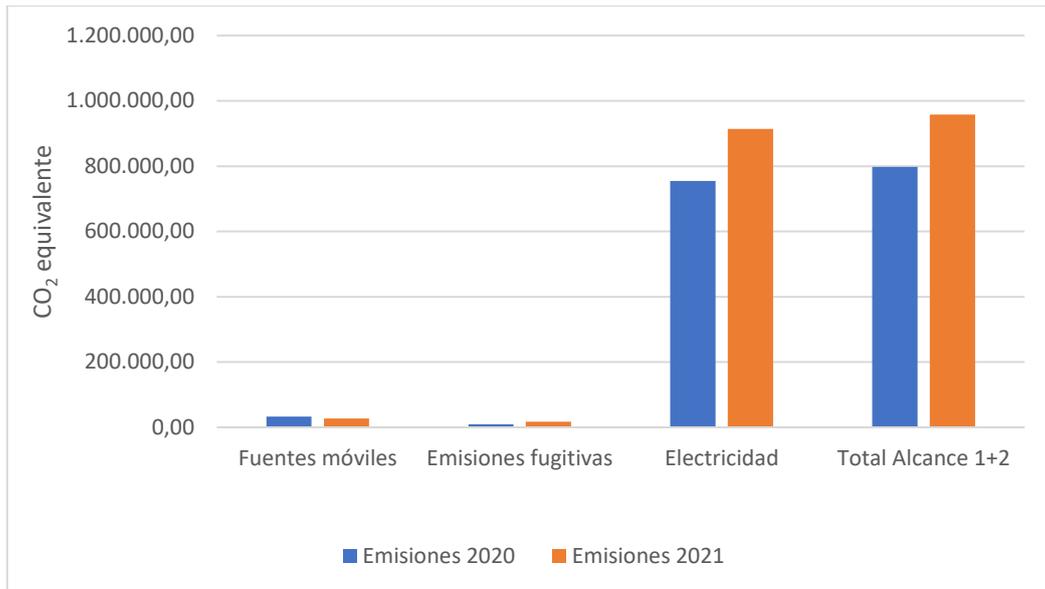


Figura 8. Comparativa por fuente de emisiones.

3.4 Huella de carbono de los cultivos de fresas, arándanos y frambuesas

Las emisiones de gases de efecto invernadero durante la campaña 2020-2021 para los cultivos mayoritarios de la cooperativa Fresón de Palos, fueron de 64,19 toneladas de CO₂e en la fresa, 18,7 toneladas de CO₂e en el arándano y 3,7 toneladas de CO₂e en la frambuesa (Tabla 22).

Tabla 22. Emisiones totales de los cultivos.

Fuente	Fresas	Arándanos	Frambuesas
Consumo de combustible	31.772,60	16.531,27	3.049,47
ED fertilizantes	25.240,40	1.597,21	573,26
Consumo eléctrico	3.136,10	329,59	0,00
El fertilizantes	4.045,05	255,75	91,80
Emisiones totales	64.194,15	18.713,83	3.714,52

El resultado final es dividido entre las hectáreas de cada cultivo y entre los kilogramos de fruta recolectados durante la campaña, con el objetivo de una comparación real entre los tres cultivos. De esta manera, obtenemos la cantidad de emisiones por hectárea de cultivo y las emisiones por kg de producción (Tabla 23). Los datos se han representado gráficamente en la Figura 9.

Tabla 23. Emisiones por hectárea y producción.

Cultivo	Emisiones	kg CO ₂ /ha	kg CO ₂ /kg producción
Fresas	64.194,15	8.402,38	0,09
Arándanos	18.713,83	9.310,36	0,46
Frambuesas	3.714,52	4.824,05	0,17

En relación al cultivo de la fresa, se emiten 0,09 kg de CO₂ por kg de fruta recogido, siendo el producto que menos emisiones tiene por kg de producción. Sin embargo, si presenta altas emisiones por hectáreas cultivadas, con 8.402 kg CO₂/ha. Por otro lado, el cultivo que menos kg de CO₂ emite por hectárea es la frambuesa, con un valor de 4.824 kg CO₂/ha, siendo prácticamente la mitad de kg de CO₂ emitidos por hectárea de los cultivos de arándano y fresa.

El cultivo del arándano es el que más emisiones presenta, tanto por hectárea como por kg de producción. Es el único cultivo de los estudiados con un sistema hidropónico lo que puede aumentar las emisiones en comparación con el sistema de suelo. Un estudio realizó la huella de carbono de tres sistemas de producción de arándanos representativos de la provincia de Huelva, durante los años 2017 y 2021. Se estudiaron las emisiones entre un sistema con suelo y otro hidropónico obteniendo como resultado mayores emisiones en el cultivo hidropónico (Romero et al., 2022).

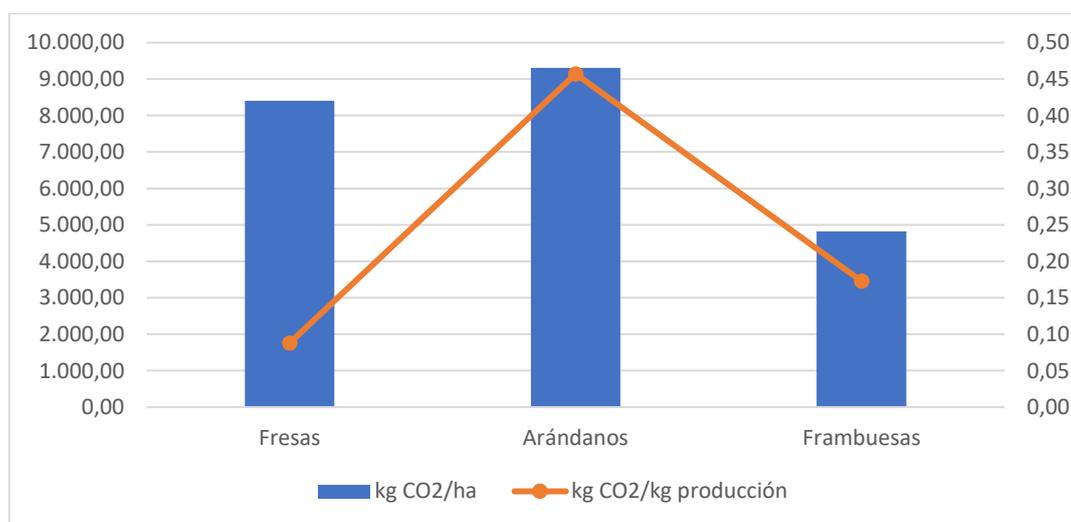


Figura 9. Emisiones por hectárea y producción.

En las sucesivas Figuras 10, 11 y 12, se representan el impacto de cada fuente de emisión para los tres cultivos estudiados, fresa, arándano y frambuesa respectivamente.

De forma general, el consumo de combustible en la maquinaria agrícola, es la fuente con mayores emisiones en los tres cultivos estudiados. Seguido de las emisiones directas e indirectas asociadas a la aplicación de fertilizantes. Y por último, la fuente con menor impacto es el consumo energético en todos los cultivos.

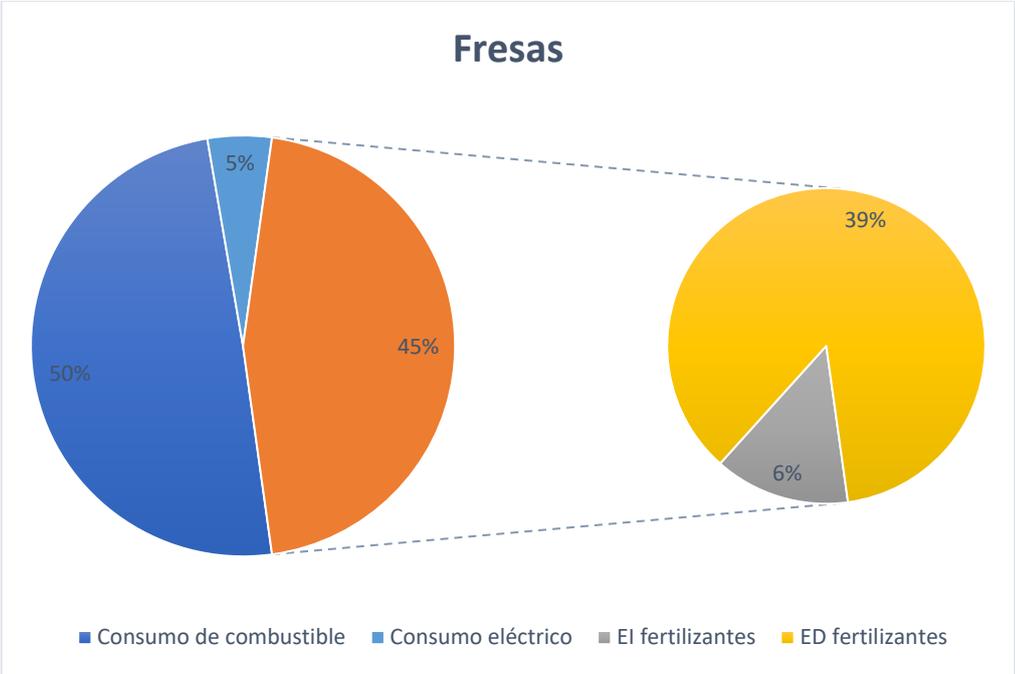


Figura 10. Emisiones por categoría del cultivo de fresas.

En concreto, para el cultivo de fresa, las emisiones del uso de maquinaria agrícola y vehículos representan el 50% del total de las emisiones. Prácticamente el mismo impacto que tiene la aplicación de fertilizantes, representando el 45% del total. El 5% restante, pertenece a las emisiones indirectas del consumo energético. Las fresas es el cultivo que más emisiones presenta por la fertilización, en relación a los otros dos cultivos. Varios estudios que han evaluado los efectos ambientales en el sector fretero, destacaron que en el proceso de producción de fresas, la mayoría de los impactos ambientales se dieron durante la fertilización (Mordini et al., 2009; Tabatabaie et al., 2016). Por otro lado, un estudio que evaluó la huella ambiental producida por la aplicación de abonos en el cultivo de la fresa, concluyó que la fertilización tuvo mayor importancia en las emisiones de carbono y la acidificación (Romero et al., 2019).

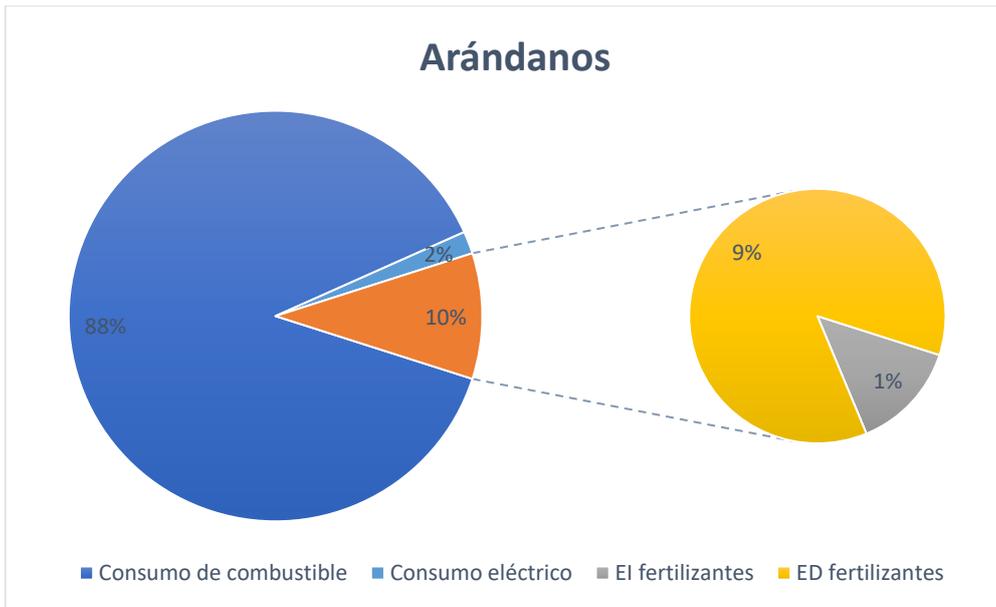


Figura 11. Emisiones por categoría del cultivo de arándanos.

En cuanto a los cultivos de arándano y frambuesa, las emisiones por consumo de combustible ocupan entre el 80 y 90% del total. En este consumo también se contempla el uso personal de los vehículos, ante la imposibilidad de diferenciar la cantidad de combustible exclusiva de las labores agrícolas.

El porcentaje restante, se asocia principalmente a las emisiones por fertilización, salvo un 2% de las emisiones en arándanos debidas al consumo eléctrico. Estas emisiones en arándanos son tan bajas, por tener contrato con una comercializadora de energía con factor mix eléctrico nulo. En frambuesas, al no tener toma de luz en la finca, disponen de un generador que consume combustible.

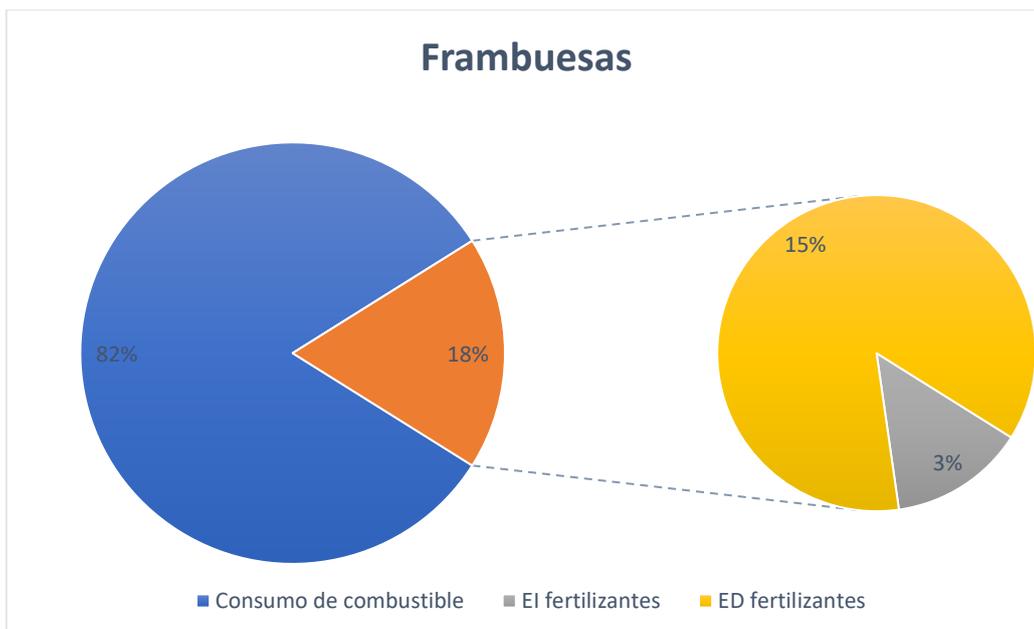


Figura 12. Emisiones por categoría del cultivo de frambuesas.

3.5 Planes de mejora

Finalizado el cálculo de la huella de carbono, se han identificado las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero de mayor impacto, con la posibilidad de centrarse en ellas y obtener óptimos objetivos de reducción.

3.5.1 Plan de mejora de la cooperativa Fresón de Palos

En la cooperativa, más del 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero se atribuyen a las emisiones indirectas por consumo eléctrico. Para mitigar estas emisiones, hay que poner el foco en dos puntos: el factor mix eléctrico y el gasto de electricidad.

Cada comercializadora de energía eléctrica tiene su factor mix eléctrico, que depende de cómo se ha generado esa energía. Si se ha obtenido a partir de fuentes renovables, este factor será más bajo, y con él, las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo que una gran medida de reducción de las emisiones, sería contratar una compañía eléctrica cuyo factor mix eléctrico sea lo más bajo posible o igual a cero. Si este factor es igual a cero, las emisiones indirectas por consumo de electricidad serían nulas y la huella de carbono de este estudio se reduciría enormemente.

Por otro lado, es importante poner el foco en reducir el consumo eléctrico, donde no solo motiva la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también se ahorrarán costes. La guía para el cálculo de huella de carbono de MITECO, propone una serie de medidas generales para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Algunas de las siguientes medidas son un ejemplo que podría adoptar la cooperativa para reducir el consumo eléctrico.

- Invertir en más paneles solares y otras energías renovables.
- Utilización de herramientas informáticas para la monitorización de consumos.
- Compra de equipos eficientes energéticamente.
- Uso de regletas múltiples con interruptor o enchufe programable.
- Buen aislamiento de las infraestructuras, puertas y ventanas.
- Apagado de los aparatos eléctricos cuando no se usan.
- Incorporación de buenas prácticas entre los empleados.
- Aprovechamiento de la luz natural.

En cuanto a las demás fuentes de emisiones, aunque sean menos significativas que las emisiones indirectas, también se pueden aplicar medidas para su reducción. Las siguientes son posibles medidas para reducir las emisiones fugitivas de los equipos de refrigeración:

- Mantenimiento periódico de los equipos de refrigeración para evitar fugas.
- Sustituir los gases fluorados con elevado potencial de calentamiento global.
- Apostar por instalaciones y equipos más eficientes.

Fresón de Palos no tienen un alto consumo de combustible, ya que el transporte de frutas recae sobre una empresa subcontratada. Aun así, cuenta con ciertos vehículos que funcionan con combustible como las carretillas elevadoras. Parte de ellas ya son eléctricas, por lo que una buena medida sería sustituir la maquinaria restante que aun funcionan con combustión.

3.5.2 Plan de mejora de los cultivos de fresas, arándanos y frambuesas

En los tres cultivos estudiados, la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero es el consumo de combustible. Una posible medida de mitigación, sería sustituir la maquinaria que consume combustible por las que funcionen con electricidad. Para no aumentar las emisiones indirectas, y así mismo reducir las que ya hay, se propone la implantación de placas fotovoltaicas.

Las emisiones asociadas al uso de fertilizante también son significativas, sobre todo en el cultivo de la fresa. La clave para su reducción, sería disminuir la cantidad de abono aportada al cultivo, pero esto es una cuestión de carácter agrícola en la que no se entrará.

Es conveniente mencionar, que tanto la cooperativa como los socios agricultores, tienen la posibilidad de compensar sus emisiones apostando por proyectos que promueven los sumideros de carbono y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

CÁPITULO 4. CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las conclusiones alcanzadas en el presente estudio en relación a los objetivos planteados sobre la estimación de la huella de carbono de Fresón de Palos y de sus cultivos mayoritarios.

La huella de carbono de la cooperativa S.C.A. Santa María de la Rábida en el año 2021 aumentó un 20 % con respecto al año 2020. La principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero de Fresón de Palos es el consumo de energía eléctrica, superando el 90% del total de las emisiones en los dos años de estudio. Sin embargo, el consumo energético si disminuyó de un año a otro. El aumento de las emisiones se explica por un mayor factor mix eléctrico. Como acción de mejora se propone el cambio de compañía eléctrica, a una con menor factor mix eléctrico.

El arándano es el cultivo que más emisiones de gases de efecto invernadero tiene por hectárea cultivada, seguido por la fresa, y con la mitad de emisiones que los anteriores, la frambuesa. El cultivo con menos emisiones por kg de fruta recolectada es la fresa. La frambuesa presentó el doble de emisiones, y el arándano cinco veces más emisiones por kg de fruta que el cultivo de la fresa. La principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero en todos los cultivos es el consumo de combustible. Las emisiones asociadas al uso de fertilizantes tienen un mayor impacto en el cultivo de la fresa. Como medida de reducción se propone la sustitución de maquinaria de combustión por eléctricas, acompañadas de placas solares en la explotación agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez, M., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Foro Nacional Ambiental, pp. 9-10.
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia)*, pp. 25-29.
- Echagüe, G., & Torrego, A. (2000) Cambio Climático hacia un modelo energético. *Comisión de Medio Ambiente del Colegio Oficial de Físicos*. Madrid, pp. 19-24.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, pp. 3-5.
- Tubet, C. (2016). *Diseño de una metodología de evaluación de la sostenibilidad del Mix Eléctrico Nacional, basada en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Cantabria, pp. 7.
- Villa, A. (2008) Manual de Buenas Prácticas Agrarias Sostenibles de los Frutos Rojos. *Fundación Doñana 21*, pp. 42-63.
- Medina, J. J.; Márquez, J. A.; López-Aranda, J. M.; López-Medina, J.; Pérez, A.; Sanz, C.; Verdier, M.; De Vicente, J.; Tomás, F. A. (2008). *La fresa de Huelva. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía*, pp. 126-156.
- González, A., & Camacho, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, pp. 1738-1740.
- Rodríguez, S. F. (1982). Fertilizantes. *Nutrición vegetal*. AGT editor. México, DF.
- Reigada, A., Moreno Nieto, J., & Mozo, C. (2021). Innovación y distinción bajo el objetivo de la calidad en la producción de frutos rojos en Huelva. *Revista Española de Sociología (RES)*, pp. 2.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), pp. 4-10.
- Romero, M., & Suárez, E. (2022). Huella de carbono del cultivo del arándano. *Horticultura*, pp. 58.
- Mordini, M., Nemecek, T., Gaillard, G., Bouman, I., Campina, R. F., Brovelli, E., & Thomas, N. G. (2009). Carbon & Water Footprint of oranges and strawberries. *Federal Department of Economic Affairs, Zurich, Switzerland*, pp. 22-23.
- Tabatabaie, S. M. H., & Murthy, G. S. (2016). Cradle to farm gate life cycle assessment of strawberry production in the United States. *Journal of Cleaner Production*, pp. 551-553
- Romero, M., & Suárez, E. (2019). Huella ambiental producida por la fertilización en el cultivo de la fresa. *VII JORNADAS DEL GRUPO DE FERTILIZACIÓN*, pp. 63-65.

PAGINAS WEB

Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Calculadora de huella de carbono de organización:

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>

Greenhouse Gas Protocol, Corporate Standard. Disponible en:

<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Quinto informe de evaluación del IPCC:

https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/Cclimatico/informe_ipcc.aspx#:~:text=QU%C3%89%20ES%20EL%20IPC,C,Unidas%20para%20el%20Medio%20Ambiente.

Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización:

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf

Comisión Europea: https://ec.europa.eu/clima/index_en

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):

[https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-gases-fluorados#:~:text=En%20general%2C%20los%20gases%20fluorados,por%20actividades%20del%20ser%20humano.&text=Se%20dividen%20en%20cuatro%20categorias%20de%20nitr%C3%B3geno%20\(NF3\).](https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-gases-fluorados#:~:text=En%20general%2C%20los%20gases%20fluorados,por%20actividades%20del%20ser%20humano.&text=Se%20dividen%20en%20cuatro%20categorias%20de%20nitr%C3%B3geno%20(NF3).)

<https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>