

PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD FRUTÍCULA

ANDINA

Producto 11. Estudio de balance hídrico, nutrientes y huella de carbono en las cadenas de fruta

Victor Falguera

Francisco Fonseca

Sebastián Ospina Corral

Juan Camilo Carvajal Ocampo

Valentina Hernández Piedrahita

Carlos Eduardo Orrego Alzate

2020





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un programa de cooperación administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), pero con su propia membresía, estructura de gobernabilidad y activos. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Victor Falguera, Francisco Fonseca, Sebastián Ospina Corral, Juan Camilo Carvajal Ocampo, Valentina Hernández Piedrahita, Carlos Eduardo Orrego Alzate.

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org





Abstract/Resumen

This document has two sections. The first shows some simple instructions for handling a CO₂ calculator. The second shows a carbon footprint analysis was carried out for the gulupa and Hass avocado crops, based on the IPCC2013 methodology, following different guidelines that have been proposed to adapt their application to agricultural activities and permanent or fruit crops. Based on both type of information, from the literature and collected during the course of the project, an initial life cycle inventory was developed for the two fruits, with which the analyzes were carried out. In the case of gulupa, one hectare of cultivation was taken as a functional unit, obtaining as a result a carbon footprint of 7.52 tons of CO₂ equivalent per cycle (1 year), which represents around 250 grams of CO₂ equivalent per kilogram of gulupa produced, this was done without taking into account emissions to the environment. In the case of avocado, 1kg of fruit produced was taken as the functional unit, obtaining as a result around 450 grams of CO₂ equivalent as a carbon footprint, including emissions.

Keywords:

Carbon footprint, CO₂ Calculator, avocado, gulupa

Este documento tiene dos secciones. En la primera se muestra un instructivo simple para el manejo de una calculadora de CO₂. En la segunda se muestra un análisis de huella de carbono para los cultivos de gulupa y aguacate Hass, a partir de la metodología IPCC2013 siguiendo distintas pautas que han sido planteadas para adaptar su aplicación hacia las actividades agrícolas y los cultivos permanentes o de frutales. A partir de información obtenida tanto en la literatura como información recopilada durante el transcurso del proyecto, se desarrolló un inventario inicial de ciclo de vida para las dos frutas, con el cuál se realizaron los análisis. Para el caso de la gulupa, se tomó como unidad funcional una hectárea de cultivo, obteniendo como resultado una huella de carbono de 7.52 toneladas de CO₂ equivalente por ciclo (1 año), y que representan alrededor de 250 gramos de CO₂ equivalente por cada kilogramo de gulupa producido, esto sin tener en cuenta las emisiones al medio ambiente. En el caso del aguacate, se tomó como unidad funcional 1kg de fruto producido, obteniendo como resultado alrededor de 450 gramos de CO₂ equivalente como huella de carbono, incluyendo las emisiones.

Palabras Clave:

Huella de carbono, calculadora de CO₂, aguacate, gulupa



1. Instructivo de uso de la calculadora de huella de carbono

Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), el agro aporta el 23% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), siendo la ganadería la responsable de un tercio de las mismas. En algunas etapas de su ciclo de vida, los fertilizantes emiten GEI (P. Ej. CO₂ y N₂O). Sin embargo, los fertilizantes también estimulan la captación de CO₂ por parte de las plantas.

La empresa Akis International, co ejecutora del proyecto Productividad y Competitividad Frutícola Andina, diseñó una calculadora de CO₂. Este aplicativo permite estimar la huella de carbono del uso de fertilizantes en una explotación frutícola y está disponible en el siguiente enlace:

<http://co2.watman.pro/>

Esta aplicación ha sido diseñada para que pueda obtener una medida rápida y sencilla de las emisiones de CO₂ equivalentes que se producen por la aplicación de insumos en su explotación agrícola. Los resultados resumen no solamente las emisiones que se producen en el campo después de la aplicación, sino también las emisiones generadas durante el proceso de fabricación y transporte de dichos insumos. Para ello, se ha tomado como referencia las fuentes y orígenes principales de cada uno de los nutrientes que se utilizan en la región Andina, de acuerdo con los últimos datos disponibles en la literatura científica y bases de datos especializadas.

El sistema está pensado para obtener un cálculo para cada unidad productiva y/o cultivo que se produzca en la explotación. Si desea obtener los datos para más de un cultivo, puede utilizar el sistema cuantas veces desee.

Para obtener el cálculo, siga los pasos siguientes:

1. Introduzca los datos principales: Nombre de la finca, ubicación, número de trabajadores (el total se calcula automáticamente como la suma de hombres y mujeres). Dichos datos se tratarán con finalidades estadísticas.
2. En el selector de cultivo:
 - a. Si su cultivo es arroz, introduzca las hectáreas de la finca en producción y el número de bultos de 125 kg de arroz cosechado por hectárea. Observe el cálculo de



- producción equivalente en kg/ha.
- b. Si su cultivo es otro, introduzca las hectáreas de la finca en producción y los kg totales cosechados. Observe el cálculo de producción equivalente en kg/ha.
3. Introduzca los kg totales de cada uno de los fertilizantes minerales (urea, nitrato amónico, sulfato de potasio..) que utiliza para la producción del cultivo seleccionado en el apartado anterior. Observe la composición de cada uno en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Si utiliza un fertilizante mineral con una composición distinta, utilice la última línea de la tabla. En este caso, recuerde que debe introducir el contenido (%) de nitrógeno, fósforo y potasio del fertilizante. Observe los kg/ha equivalentes en la última columna.
 4. Introduzca la fuente, el % de nitrógeno y los kg totales de fertilizantes orgánicos aplicados en toda la explotación para producir los kg indicados.
 5. Introduzca la fuente y los kg totales de enmiendas (cal agrícola, rocas fosfóricas..) aplicadas en toda la explotación para producir los kg indicados.
 6. Introduzca los datos en las otras cuestiones: disponibilidad de riego y cantidades totales de insecticidas, fungicidas y herbicidas (e indique si informa cada uno de ellos en kg o L) aplicados durante todo el ciclo del cultivo.
 7. Pulse el botón verde del final del formulario. La página se recargará y el resultado aparecerá al final de la misma. Obtendrá:
 - a. Emisiones totales en CO₂ equivalente.
 - b. Emisiones por kg de producción en CO₂ equivalente.



2. Análisis de huella de carbono para los cultivos de gulupa y aguacate Hass

✓ GHG

La huella de carbono es una expresión cuantitativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG por sus siglas en inglés). Con este análisis se busca identificar las áreas de reducción de emisiones que deben ser priorizadas. Para calcular la huella de carbono se utilizan estimados de los gases de efecto invernadero que son emitidos o absorbidos en cada una de las etapas identificadas para la elaboración de un producto, actividad o ejecutadas por un individuo en su ciclo de vida.

Para este trabajo se utilizó la metodología planteada por Carbon Trust (Murray, 2007) siguiendo las recomendaciones y distintas normativas recopiladas por Pandey y Agrawal (Pandey & Agrawal, 2014). Esta metodología consta de 4 pasos:

- I. Selección de los GHG a analizar.
- II. Selección de las fronteras del sistema.
- III. Recolección de los datos correspondientes a GHG (emisión e incorporación).
- IV. Cálculo de la huella de Carbono

Para esta metodología se sugiere aplicar análisis de ciclo de vida (ACV) con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible sobre el sistema.

I. Selección de los GHG

Para la selección de los GHG se acostumbra a utilizar los 6 GHG del protocolo de Kioto, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

II. Selección de las fronteras del sistema

Para la evaluación de la huella de carbono en las prácticas agrícolas, todas las actividades asociadas con el cultivo deben ser identificadas. Estas etapas se resumen en la Figura 1. Al no haber un estándar específico para calcular la huella de carbono en los cultivos, se empleó la aproximación generalizada de tres niveles presentada en la Tabla 1. El cálculo de la huella de carbono se divide en dos tipos de cálculo, primario o básico en donde solo se incluyen los dos primeros niveles de análisis, y el cálculo completo en donde se incluyen los tres niveles. Dependiendo de la disponibilidad de información, este trabajo realizó para hacer un análisis primario que podría ser complementado a medida que se encuentre más datos sobre las actividades de nivel 3.



Tabla 1. Nivel de emisiones

Nivel 1	Emisiones directas, <i>in situ</i>
Nivel 2	Emisiones relacionadas con la compra y transporte de energía
Nivel 3	Emisiones indirectas no relacionadas con las anteriores, por ejemplo, transporte del producto o materia prima, disposición de residuos.

La selección de las fronteras del sistema depende del tipo de cálculo a aplicar, así como el alcance del sistema, como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Selección de fronteras para productos agrícolas

Objetivo	Frontera
Huella de carbono del cultivo	Hasta las puertas del cultivo
Huella de carbono del producto terminado	Hasta la estantería
Huella de carbono del alimento	Hasta la mesa

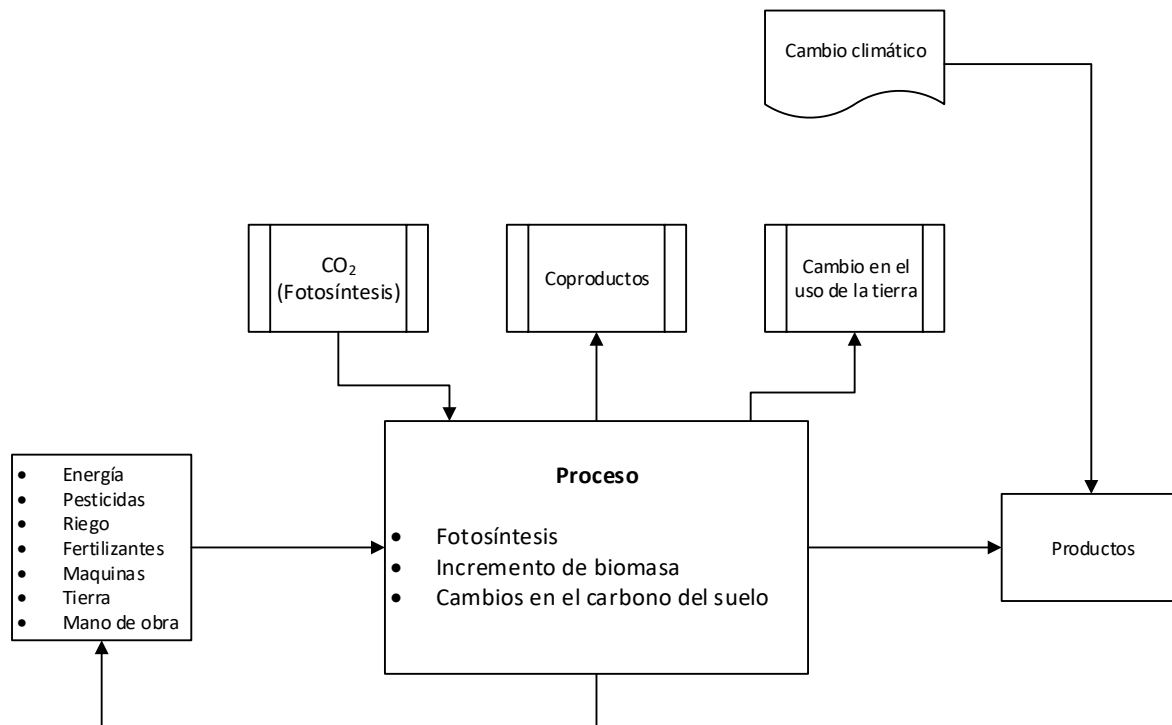


Figura 1. Resumen del sistema



Las emisiones directas (Nivel 1) para los sistemas agrícolas incluyen comúnmente CH_4 , N_2O y CO_2 desde el suelo o desde el consumo de combustibles fósiles generado por las distintas máquinas que puedan ser utilizadas en el mantenimiento del cultivo. La electricidad utilizada para el riego puede ser relacionada con emisiones de Nivel 2 dependiendo del origen de esta. Es necesario tener en cuenta que muchas labores que pueden hacer las máquinas por lo general se realizan de forma manual, sin embargo, la mano de obra no está considerada dentro de los cálculos de huella de carbono en los dos primeros niveles, debido a la dificultad para tener datos precisos su aporte a la huella de carbono. Las emisiones generadas en la producción de pesticidas, fertilizantes, etc. son consideradas emisiones de Nivel 3.

III. *Recolección de datos correspondientes a GHG*

Los datos correspondientes a GHG fueron recolectados de acuerdo con la disponibilidad de información a partir de la literatura, bases de datos y pruebas experimentales. Estos datos dependen de la región, prácticas tradicionales, condiciones económicas de los agricultores, tipo de cultivo, entre otros.

Los datos de las distintas emisiones pueden ser obtenidos a través de pruebas experimentales en cámara cerrada para el caso de las emisiones generadas por las plantas. En el caso del uso de maquinaria, se pueden utilizar las fichas técnicas de emisiones para obtener los resultados requeridos.

IV. *Cálculo de la huella de Carbono*

El potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) de los distintos niveles es calculado individualmente usando los factores de conversión IPCC (2007) correspondientes a un horizonte de tiempo de 100 años. La ecuación 1 muestra como calcular el GWP en kg de CO_2 equivalentes por hectárea.

$$GWP(Nivel_i) = \left(\frac{Emsión}{Remosión}\right) CH_4 \times 25 + \left(\frac{Emsión}{Remosión}\right) N_2O \times 298 + \left(\frac{Emsión}{Remosión}\right) CO_2 \quad (1)$$

El cálculo en la huella de carbono se obtiene al sumar el GWP de todos los niveles, en donde las emisiones son tomadas como valores positivos y la remoción con valores negativos.

$$CF_s = \sum_{i=1}^3 GWP_i \quad (2)$$


$$CF_y = \frac{CF_s}{\text{Rendimiento a granel}} \quad (3)$$

En donde CF_s es la huella de carbono espacial en kg de CO_2 por hectárea y CF_y es la huella de carbono según el rendimiento del cultivo, cuyas unidades son $\frac{kgCO_2}{kgProducto}$.

Fuentes de incertidumbre

De acuerdo con los protocolos GHG, cualquier fuente de incertidumbre debe ser mencionada cuando se reporta una huella de carbono. En el caso de las prácticas agrícolas, la falta de información en actividades específicas es una fuente de error importante. Adicionalmente, los cambios en el uso de la tierra hacen que estos datos sean aún más complejos de predecir, por lo que se recomienda estar evaluando la información de entrada al análisis constantemente.

Selección de gases de efecto invernadero

Para la selección de los GHG se acostumbra utilizar los 6 GHG del protocolo de Kioto, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF_6). De acuerdo con la información disponible, el análisis se centró en la generación y/o consumo de CO_2 y N_2O , gases directamente asociados al metabolismo de las plantas y el uso de fertilizantes respectivamente. Adicionalmente, se evaluó la cantidad de GHG generados a partir del uso de las distintas fuentes de energía utilizadas para el sostenimiento del cultivo. Todos estos datos se reportaron principalmente en función de unidad de masa de CO_2 equivalente.

Selección de la frontera del sistema

Conforme con la información actualmente disponible sobre el cultivo de gulupa y aguacate, se propuso utilizar como frontera del sistema únicamente el cultivo en un enfoque puerta a puerta, desde dos perspectivas: Kg de producto como unidad funcional y hectárea cosechada como unidad funcional. En el caso del uso de fertilizantes, se utilizó información de tercer nivel para complementar la información del análisis GHG según disponibilidad.

3. Resultados

Gulupa:



A. Información para la construcción del inventario de huella de carbono de gulupa

En Colombia las temperaturas óptimas para el cultivo de la gulupa están entre los 15 y 20°C. Los cambios en la radiación solar influyen en la productividad y los días nublados reducen el crecimiento y el número de botones florales y apertura de las flores. Periodos cortos (1 a 4 semanas) de luz reducen significativamente la floración y la cosecha. En Colombia la producción de gulupa se ubica entre los 1.400 y los 2.200 msnm ya que a alturas mayores la producción inicia entre los 12 y 18 meses y el tamaño de la fruta es menor.

Es necesario adecuar la tierra y realizar actividades de plantación y tutorado para desarrollar el cultivo, estas actividades, en la medida de lo posible, deben tenerse en cuenta en el análisis de huella de carbono del cultivo.

Siembra

La preparación del terreno comienza un mes antes de la siembra y se sincroniza con la época en que las plántulas están listas para la siembra definitiva.

Tutorado

La gulupa es una planta herbácea y trepadora, por lo tanto, necesita un soporte para su desarrollo que le permita unas mejores condiciones de luminosidad, aireación y protección contra las plagas y enfermedades.

Se suelen utilizar dos sistemas de soporte, espaldera o emparrado, dependiendo del sistema habrá ventajas en el manejo fitosanitario o en rendimiento.

Poda

El objetivo de la poda es modificar la bioarquitectura de la planta y permitir la ramificación de la estructura y mejorar el rendimiento del cultivo. En el caso de la gulupa, la poda permite majear de forma más fácil el cultivo, realizar controles fitosanitarios preventivos, mejorar la calidad de la fruta y estimular el rebrote de ramas jóvenes y productivas.

Se realizan tres tipos de poda: Poda de formación, poda de mantenimiento y de producción y poda de renovación, dependiendo de la etapa en la que se encuentre el cultivo.

Información típica de un cultivo de gulupa

En la Tabla 3 se presenta la información recolectada sobre el uso de insumos agrícolas en para el cultivo de gulupa,



Tabla 3. Insumos agrícolas –generales- usados en el cultivo de gulupa

Insumos agrícolas utilizados en el cultivo	Cantidad (Error estándar)
Fertilizantes Minerales	828 (63) $kg \cdot ha^{-1}$
Fertilizantes Orgánicos	70(52) $kg \cdot ha^{-1}$
Aditamentos para el suelo	47(12) $kg \cdot ha^{-1}$
Fungicidas	20.8(2.8) $L \cdot ha^{-1}$
Insecticidas	14.3(2.4) $L \cdot ha^{-1}$
Herbicidas	5.8(1.9) $L \cdot ha^{-1}$
Labor	1364(88) $hr \cdot ha^{-1}$

Tabla 4. Detalle de insumos agrícolas a lo largo del cultivo de gulupa

Estado de la Planta	Días después de siembra	Producto	Cantidad (g/planta)
Crecimiento	30	Urea	10
		Fósforo	10
		15-15-15	10
	75	15-15-15	30
Desarrollo	120	Materia orgánica (gallinaza, lombricompuesto)	1000
	135	15-15-15	30
		10-20-20	50
		10-20-20	50
	150	Agrimins	15
Floración	165	Urea	20
		10-20-20	50
Formación de frutos	180	10-20-20	50
		Urea	20
		Boro	10
	200	10-20-20	70
	215	10-20-20	70



Desarrollo de frutos	230	10-20-20	80
	250	10-20-20	80
	265	10-20-20	80
	280	10-20-20	80
	295	10-20-20	80
Cosecha	310	10-20-20	80
		Urea	20
		Magnesio	100
	325	10-20-20	80
		Urea	20
	340	10-20-20	80
Urea		20	
Después de podas	365	10-20-20	120
		Agrimins	30

Tabla 5. Materiales utilizados para la implementación de un cultivo de gulupa

Materiales	Dimensiones o referencias	Cantidad/ha
Postes de madera fina	3m de largo	312
Postes de adera ordinaria o guadua	2.8 de largo	218
Alambre de púa (bultos)	Calibre 12 o 15	4.2
Alambre liso (kg)	Calibre 12	181
Alambre liso (kg)	Calibre 16	208

B. Análisis de huella de Carbono por metodología IPCC 2013 GWP a 20 años

Se realizó un análisis de huella de carbono por medio de la metodología IPCC 2013 a 20 años con el fin de evaluar el impacto ambiental del cultivo de gulupa en cuanto a sus gases de efecto invernadero en un periodo de 20 años. En la Figura 2 se presenta el resultado en base porcentual de los distintos contribuyentes sobre el impacto ambiental del cultivo de una hectárea de gulupa;



para este cálculo se planteó que en una hectárea pueden sembrarse aproximadamente 833 plantas y tiene un rendimiento por hectárea de 30 toneladas como base de cálculo.

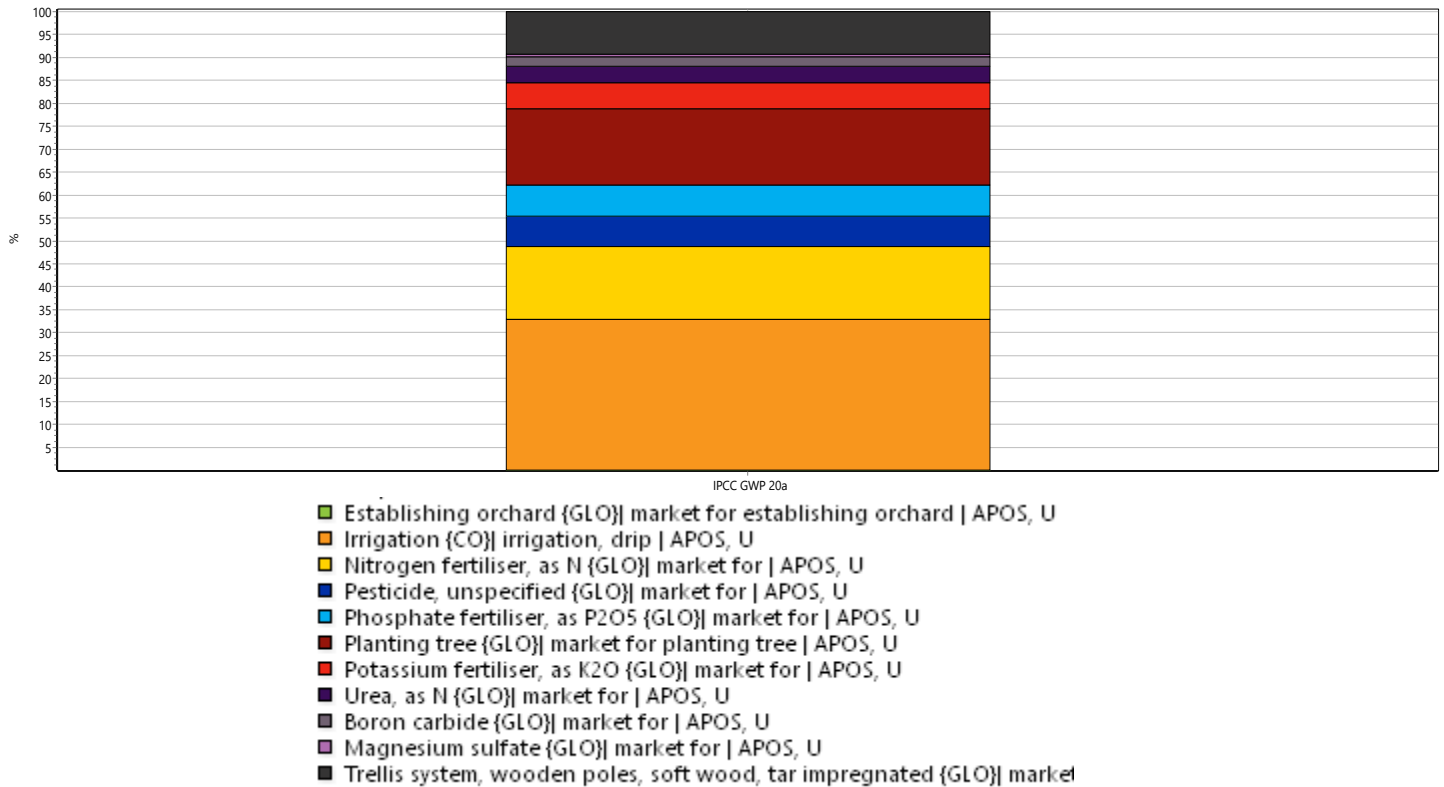


Figura 2. IPCC 2013 GWP 20^a para 1 hectárea de gulupa

Utilizando las Figura 2 y Figura 3 se puede apreciar que el principal contribuyente sobre la huella de carbono del cultivo es el uso de irrigación, seguido por el uso de nitrógenos como fertilizantes y la operación de plantado. De acuerdo con este resultado, producir un kilogramo de gulupa genera un impacto ambiental de 250g de CO_2 de los cuales 82g son generados solo por la irrigación.

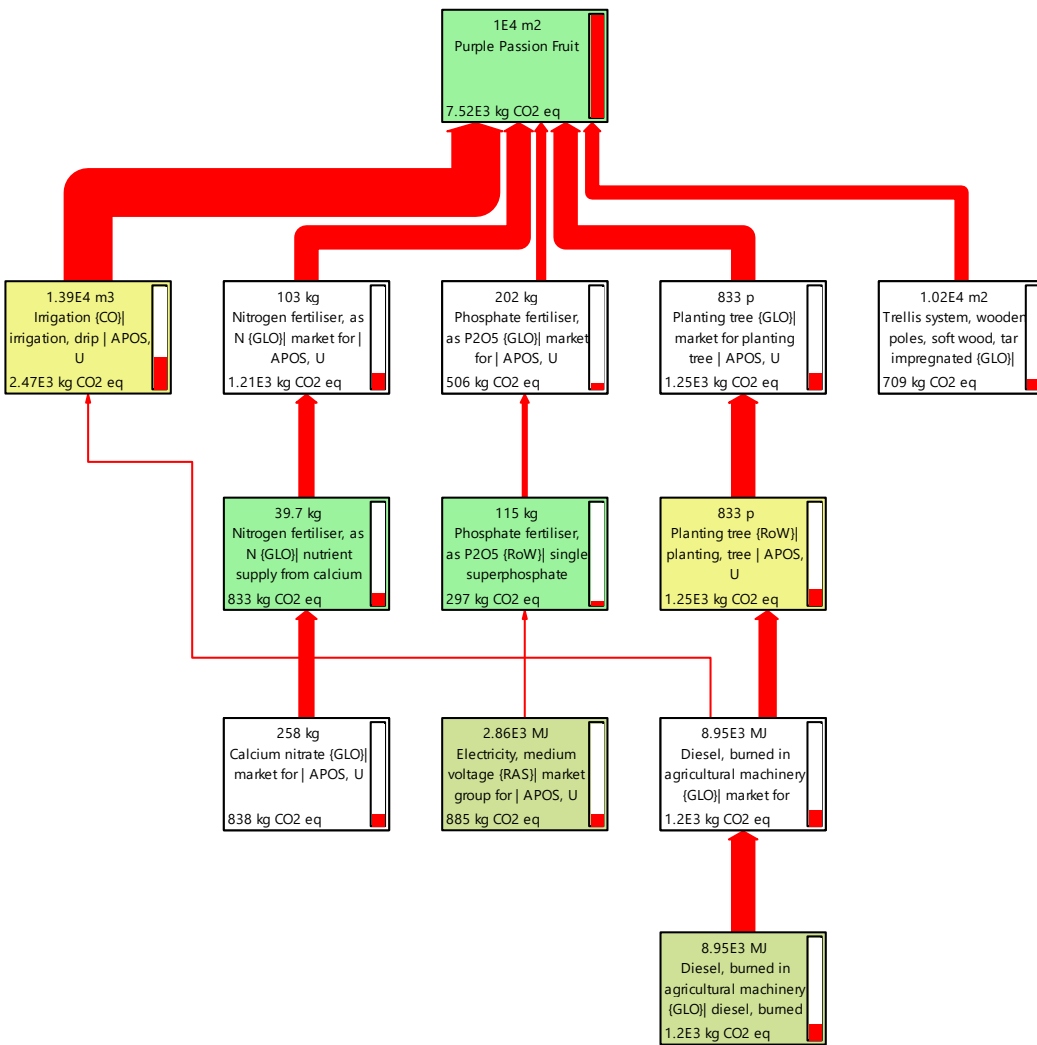


Figura 3. Red de conexiones de contribuyentes de impacto ambiental para huella de carbono a 20 años para 1 hectárea de gulupa

C. Análisis de huella de carbono por metodología IPCC 2013 GWP a 100 años

Similar al análisis de huella de carbono a 20 años, las Figura 4 y Figura 5 presentan los resultados de análisis de huella de carbono a 100 años.

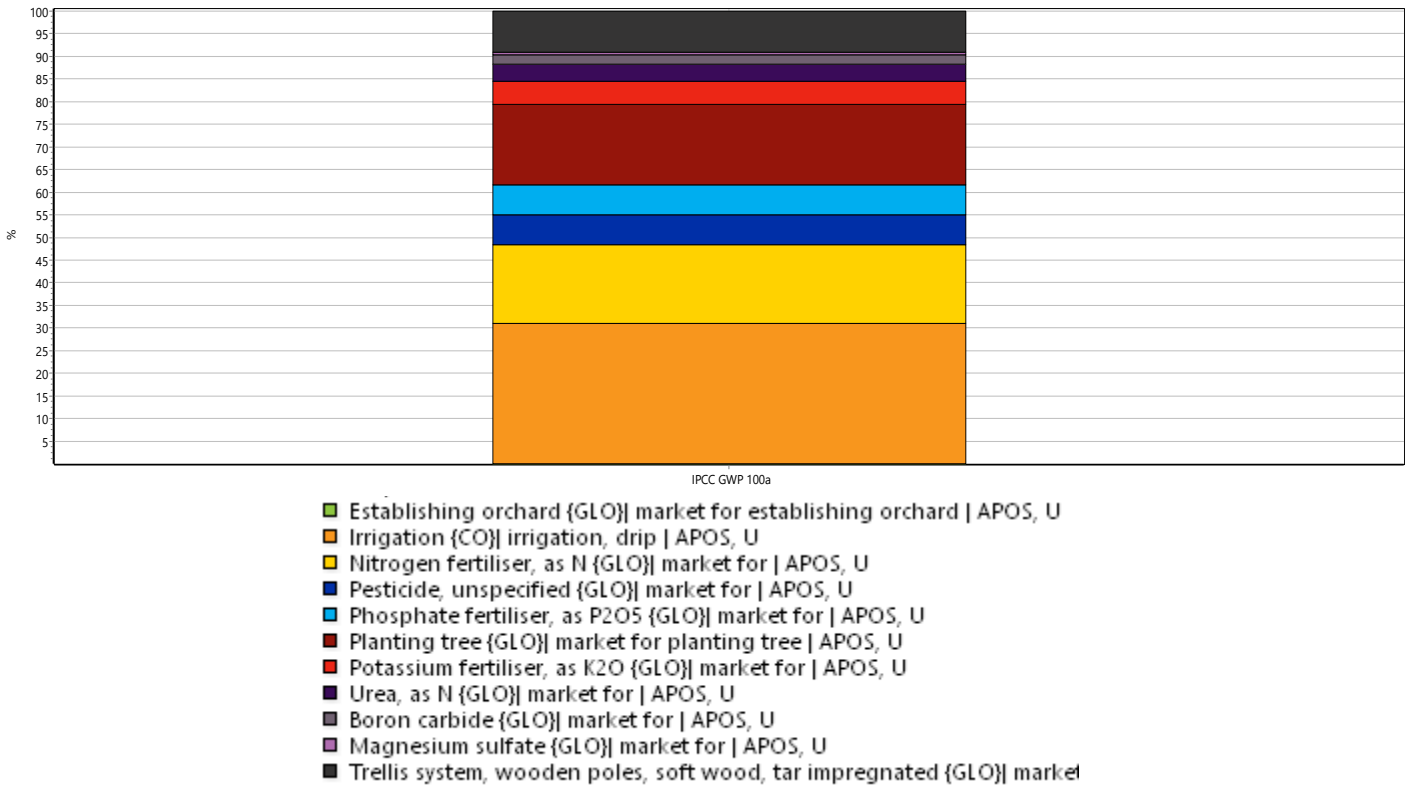


Figura 4. IPCC 2013 GWP 100^a para 1 hectárea de gulupa

En este caso se puede apreciar que en general el impacto ambiental bajo esta metodología de análisis es menor debido principalmente a la diferencia en los tiempos de análisis y se conservan las proporciones de impacto del análisis a 20 años.

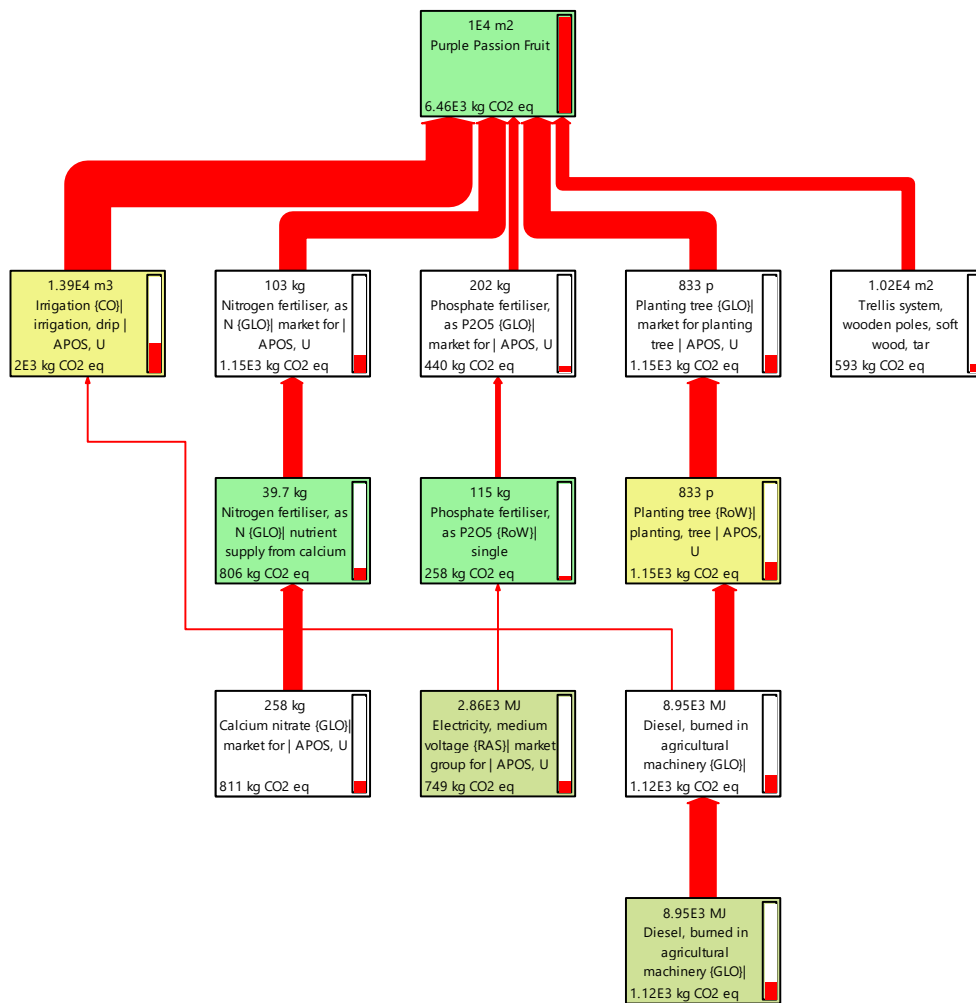


Figura 5. Red de conexiones de contribuyentes de impacto ambiental para huella de carbono a 100 años para 1 hectárea de gulupa

En esta figura se puede apreciar que la irrigación y el uso de fertilizantes nitrogenados son los mayores contribuyentes en el impacto ambiental del cultivo, seguido por el impacto ambiental generado por la actividad de siembra, que incluye el establecimiento de los postes guía, la siembra como tal, etc.

D. Análisis de ciclo de vida por medio de la metodología ReCiPe Midpoint (H)

Utilizando las mismas entradas empleadas para el análisis de huella de carbono se realizó un análisis ReCiPe Midpoint con el fin de evaluar el impacto del cultivo de gulupa en distintas áreas



consideradas dentro de los análisis ambientales y de LCA. Las Figuras 6 y 7 presentan los resultados del análisis de LCA efectuado, en donde se puede apreciar que al igual que con los análisis de huella de carbono, la irrigación aporta el mayor impacto ambiental en el proceso y las categorías principales de impacto son el calentamiento global y los aspectos relacionados con el uso de recursos hídricos.

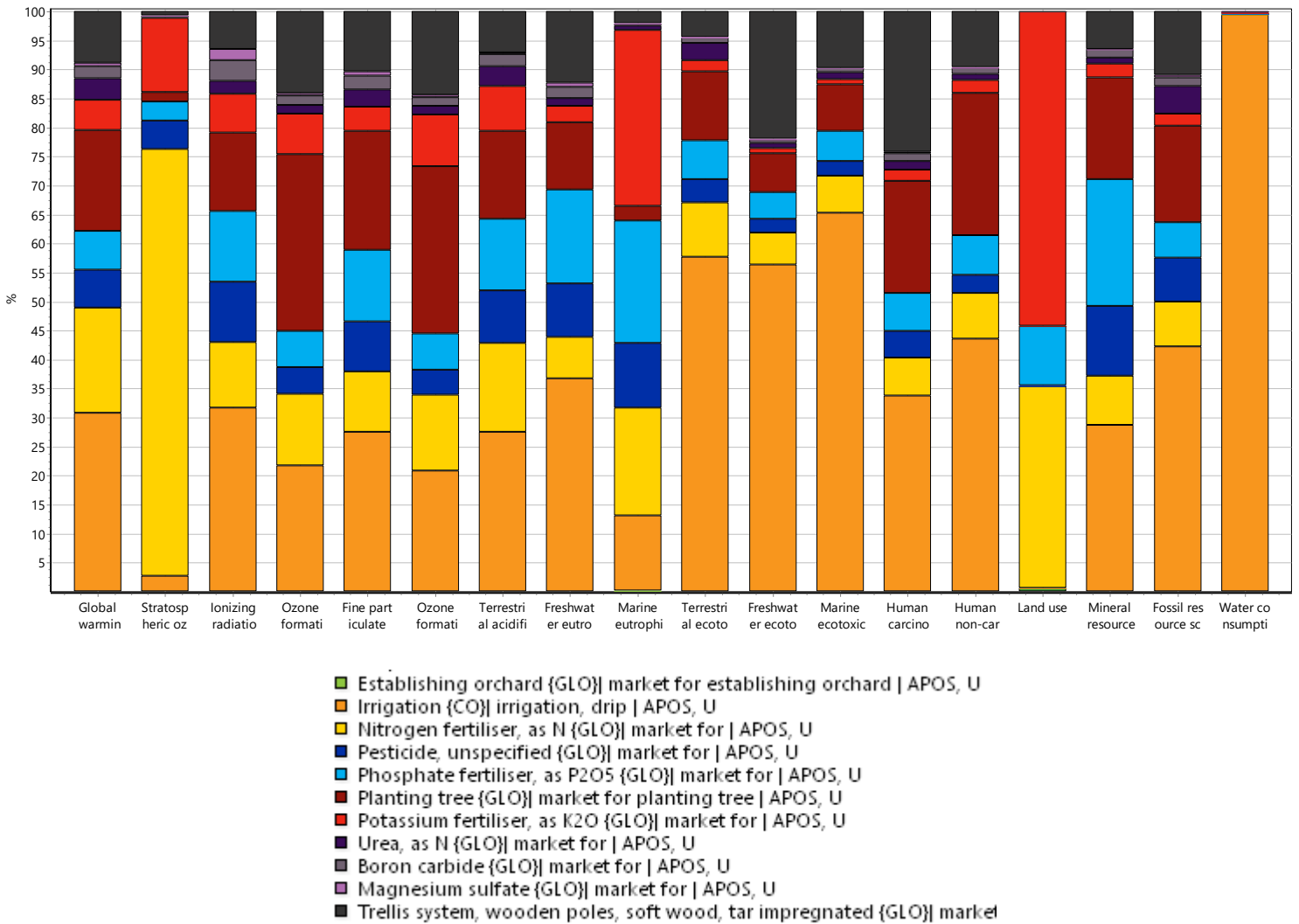


Figura 6. Análisis LCA del cultivo de una hectarea de gulupa

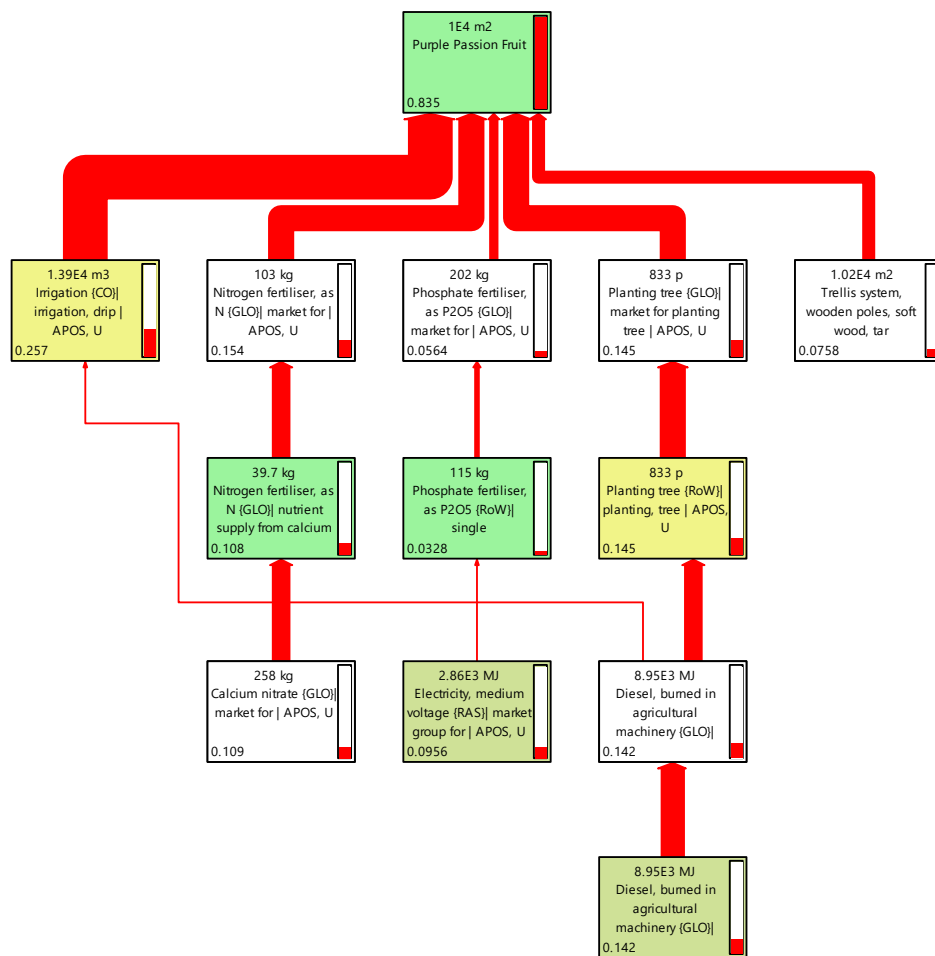


Figura 7. Red de conexiones de impacto en LCA para 1 hectárea de gulupa

Aguacate:

Siguiendo la misma metodología utilizada para calcular la huella de carbono en los cultivos de gulupa, se recopiló de forma inicial la información necesaria para construir un inventario LCA para un cultivo de aguacate. En este caso se presentará la información requerida para producir un kilogramo de fruto o su equivalente en área, el cual es aproximado a 0.0023ha. En este sentido, se estima que la cantidad total de fertilizantes requeridos para producir un kilogramo de aguacate es de alrededor de 41.5 gramos, formados por nitrato de amonio, fosfatos como P_2O_5 y sulfatos de potasio como K_2SO_4 , como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. Adicionalmente, se estima que un cultivo de aguacate utiliza alrededor de 750 litros de agua para producir un kilogramo de fruto en forma óptima, cuando este suministro es por irrigación (Stoessel, Juraske, Pfister, & Hellweg, 2012). Así mismo, se debe tener en cuenta el uso de pesticidas en general, comúnmente aplicados al cultivo y que pueden representar hasta 0.25



gramos por cada kilogramo de fruto.

Debido al uso de los fertilizantes y el desarrollo normal del cultivo, se esperan distintas emisiones al medio ambiente (aire, agua y suelo). Entre las emisiones al aire se encuentran el amonio y CO2 originados por las operaciones de siembra y mantenimiento del cultivo, el aire generado por la respiración del cultivo y el vapor de agua generado por medio de evapotranspiración. En cuanto a las emisiones sobre recursos hídricos se tienen en cuenta los compuestos NKP disueltos en el agua que son retirados por fenómenos de lluvias y escorrentías y que deriva en afluentes hídricos y reservorios subterráneos. A nivel de contaminación terrestre, el uso de estos fertilizantes, y pesticidas; generando remanentes de metales pesados como cadmio, cromo, cobre, entre otros.

A. Análisis de huella de Carbono por metodología IPCC 2013 GWP a 20 años

Se realizó un análisis de huella de carbono por medio de la metodología IPCC 2013 a 20 años con el fin de evaluar el impacto ambiental del cultivo de aguacate en cuanto a sus gases de efecto invernadero en un periodo de 20 años. En las Figura 28 y 9 se presenta el resultado en base porcentual y de red de conexiones de los distintos contribuyentes sobre el impacto ambiental para producir un kilogramo de aguacate; en este análisis las emisiones al ambiente generadas por el cultivo también son tenidas en cuenta y representadas en color verde en las distintas figuras presentes a partir de ahora.

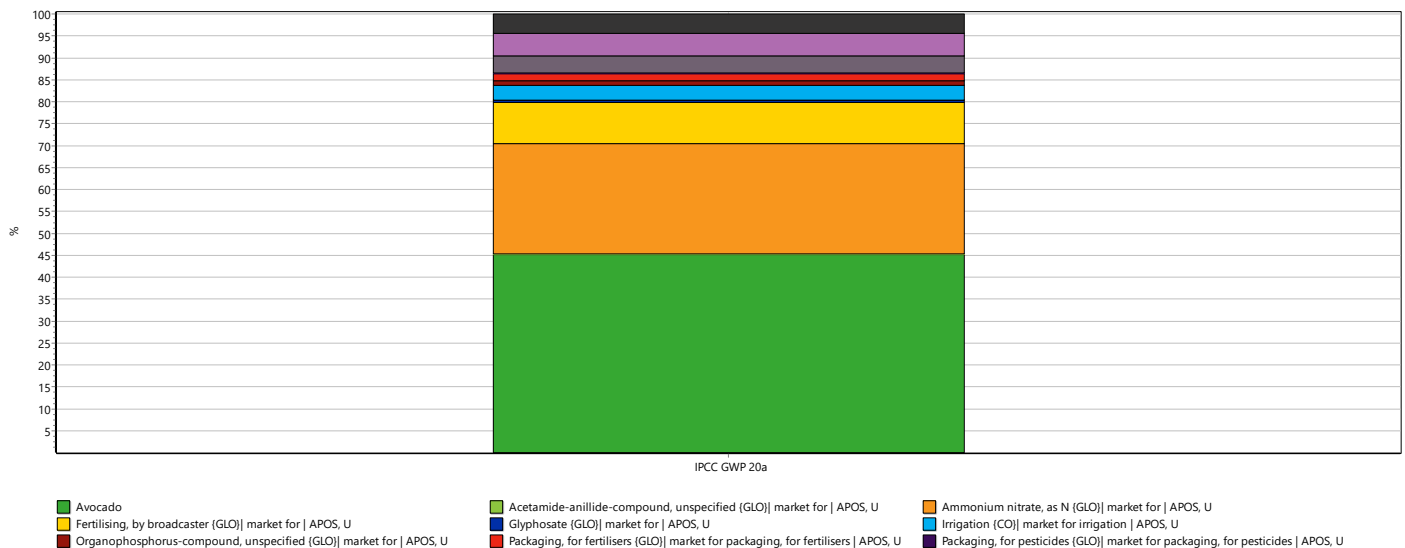


Figura 8. IPCC GWP 20a Aguacate

Con base en la información obtenida se puede apreciar que producir un kilogramo de aguacate

genera alrededor de 0.468 kg de CO2 equivalentes a la atmosfera, generados principalmente por el uso de fertilizantes en el cultivo.

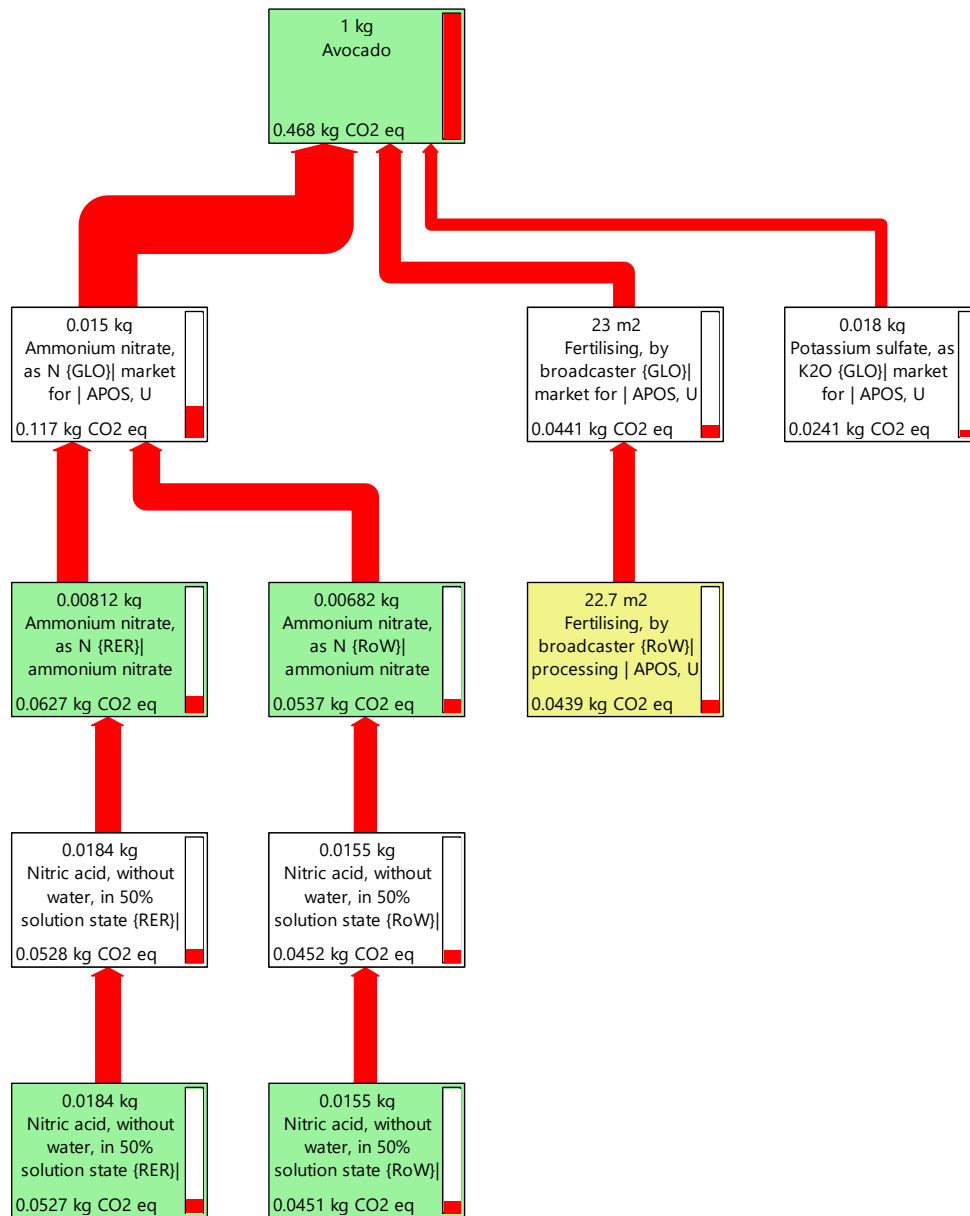


Figura 9. Red de conexiones de contribuyentes de impacto ambiental para huella de carbono de 1kg de aguacate a 20 años



B. Análisis de huella de carbono por metodología IPCC 2013 GWP a 100 años

Similar al análisis de huella de carbono a 20 años y a la situación, las Figura 4 y Figura 511 presentan los resultados de análisis de huella de carbono a 100 años.

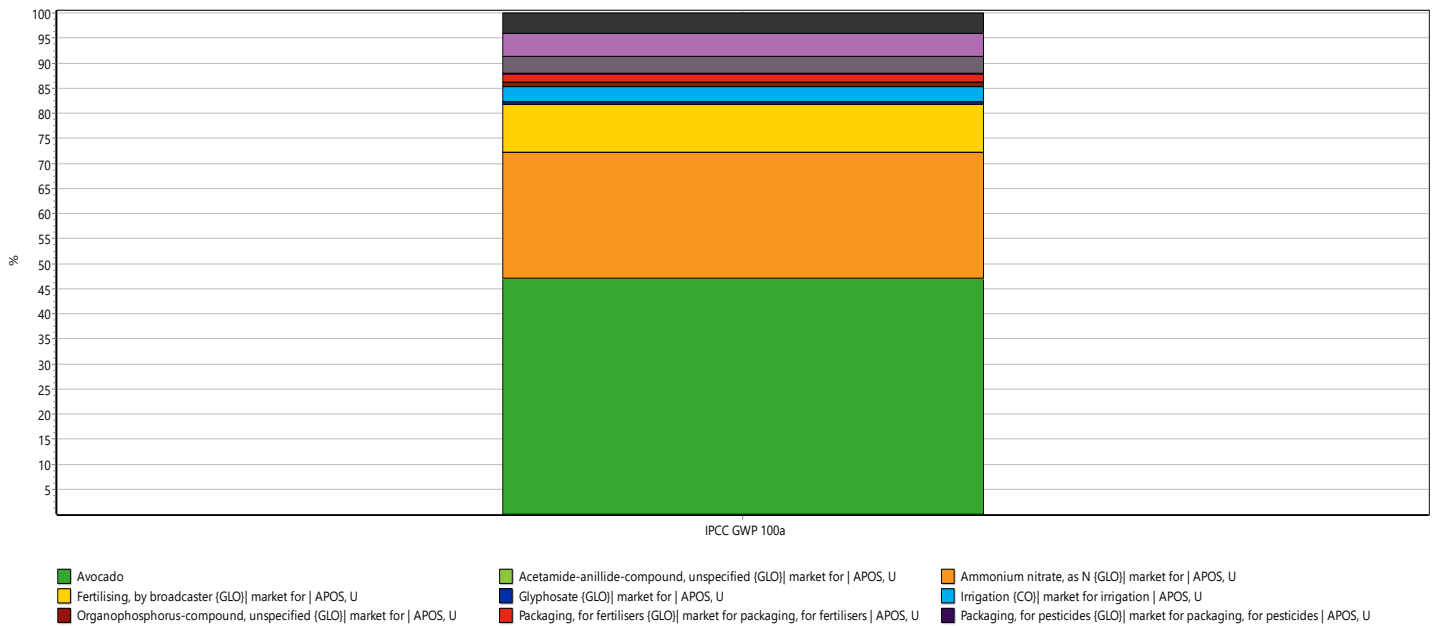


Figura 10. Figura 8: IPCC GWP 100a Aguacate

En este caso se puede apreciar que en general el impacto ambiental bajo esta metodología de análisis es menor debido principalmente a la diferencia en los tiempos de análisis y se conservan las proporciones de impacto del análisis a 20 años.

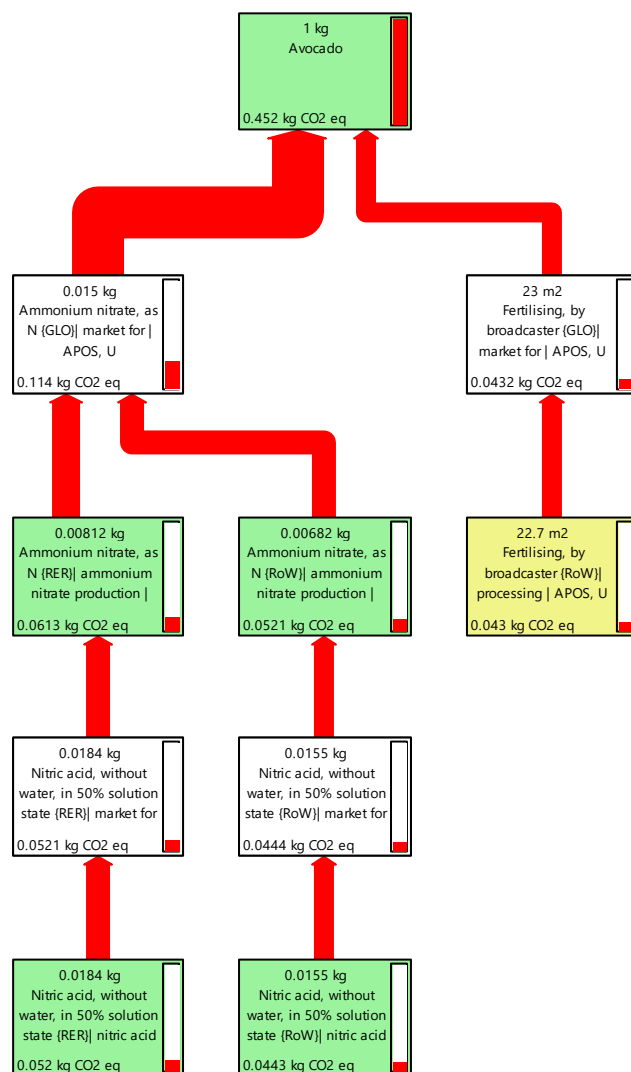


Figura 11. Red de conexiones de contribuyentes de impacto ambiental para huella de carbono de 1kg de aguacate a 100 años

C. Análisis de ciclo de vida por medio de la metodología ReCiPe Midpoint (H)

Utilizando las mismas entradas empleadas para el análisis de huella de carbono se realizó un análisis ReCiPe Midpoint con el fin de evaluar el impacto de producir un kilogramo de fruto de aguacate en distintas áreas consideradas dentro de los análisis ambientales y de LCA. Las Figuras 12 y 13 presentan los resultados del análisis de LCA efectuado, en este caso se puede apreciar que son las emisiones generadas durante el cultivo del árbol las que generan un mayor impacto



ambiental, seguidas por el uso de fertilizantes. Así mismo, se puede apreciar que el uso de recursos hídricos tiene una escala de impacto ambiental negativa (beneficia al medio ambiente) con la cantidad de agua que el cultivo devuelve al medio ambiente, ya sea en forma de vapor de agua por evapotranspiración o por escorrentía. Sin embargo, este valor solo es positivo desde el punto de vista del volumen que regresa al medio ambiente.

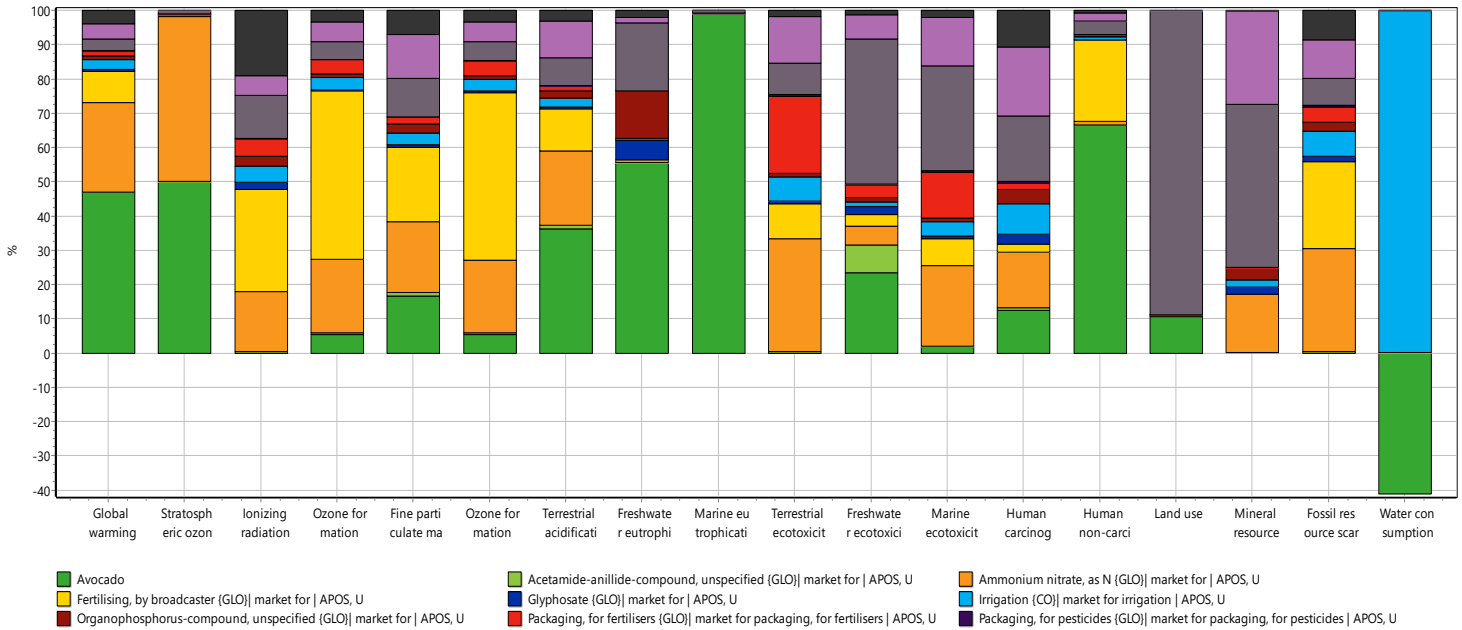


Figura 12. Análisis LCA del cultivo de 1 kilogramo de aguacate

Al observar los indicadores de contaminación del agua, se puede apreciar que las emisiones generadas por el aguacate sobre todo al suelo y a las corrientes hídricas, mantienen un impacto negativo. Este impacto se debe en general a la incapacidad de la planta de absorber todos los nutrientes que le proporcionan, así como a una sobresaturación del suelo que deriva en aguas con altos contenidos de fertilizantes sin absorber y metales pesados.

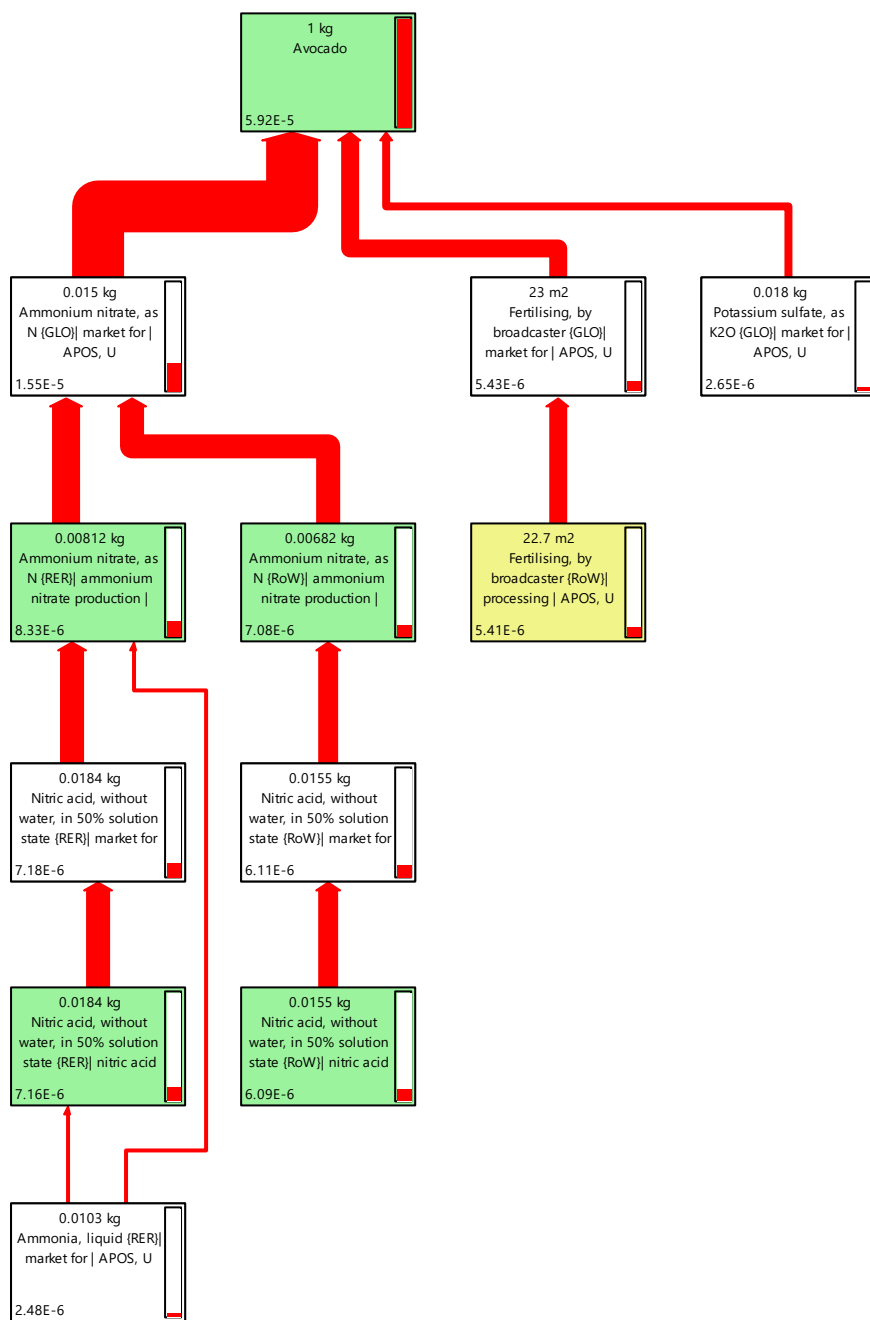


Figura 13. Red de conexiones de impacto en LCA para 1 kg de aguacate



4. Recomendaciones

Una vez finalizada la evaluación meteorológica de los cultivos y realizado el respectivo balance hídrico, se recomienda actualizar los análisis de huella de carbono acorde con los resultados obtenidos de consumo de agua por parte de la planta, así como evapotranspiración y fenómenos de escorrentía.

Referencias Bibliográficas

- Murray, E. (2007). Carbon Footprint Measurement Methodology. Carbon Trust. Retrieved from <https://semspub.epa.gov/work/09/1142519.pdf>
- Pandey, D., & Agrawal, M. (2014). Carbon Footprint Estimation in the Agriculture Sector. In S. S. Muthu (Ed.), *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors* (Vol. 1, pp. 25–47). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2_2
- Stoessel, F., Juraske, R., Pfister, S., & Hellweg, S. (2012). Life Cycle Inventory and Carbon and Water FoodPrint of Fruits and Vegetables: Application to a Swiss Retailer. <https://doi.org/10.1021/es2030577>



Tabla de indicadores

Indicador detalle	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto*
Estudios de medida de huella de carbono	Número de estudios	0	1
Aplicativo para medida de huella de carbono	Número de aplicativos	0	1

Instituciones participantes



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

FONTAGRO
Banco interamericano de Desarrollo
1300 New York Avenue, NW, Stop
W0502, Washington DC 20577
Correo electrónico: fontagro@iadb.org