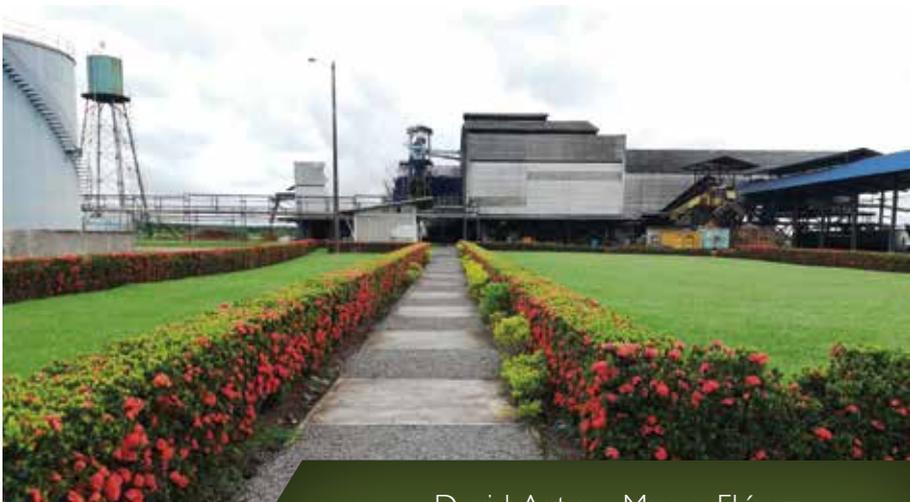


Estimación de la huella de carbono del aceite de palma colombiano

Cartilla de uso de la calculadora App Ecopalma



Programa de Procesamiento y Usos. Área de Biorrefinería y Sostenibilidad

David Arturo Munar Flórez
Nidia Elizabeth Ramírez Contreras
Jesús Alberto García Núñez

Desarrollo de Competencias Laborales en la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia

Estimación de la huella de carbono del aceite de palma colombiano

Cartilla de uso de la calculadora App Ecopalma

Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.

Alexandre Patrick Cooman
Director General

Hernán Mauricio Romero Angulo
Director de Investigación

Jorge Alonso Beltrán Giraldo
Director de Extensión

Autores

David Arturo Munar Flórez
Asistente de Investigación – Programa de Procesamiento y Usos

Nidia Elizabeth Ramirez Contreras
Investigadora Posdoctoral, Líder del Área de Biorrefinería y Sostenibilidad -
Programa de Procesamiento y Usos

Jesús Alberto García Núñez
Investigador Titular, Coordinador del Programa de Procesamiento y Usos

Coordinación editorial
Yolanda Moreno Muñoz

Fotografías
Archivo fotográfico Cenipalma

Diseño y diagramación
Fredy Johan Espitia Ballesteros

Impresión
Estudio 45-8 S.A.S.

Mayo de 2024

Cenipalma

Calle 98 No. 70-91, piso 14.
PBX: (57+601) 313 8600
Bogotá, D.C., Colombia
www.cenipalma.org

Contenido

Introducción	5
Generalidades	7
Glosario	8
Unidades de medida	11
Unidad I	
Conceptos básicos	13
Huella de carbono (HC)	15
Gases de efecto invernadero (GEI)	19
Factores de emisión	22
Absorción o secuestro de carbono	25
Uso del suelo y cambio del uso del suelo	27
Fuentes de emisiones de GEI asociadas a la cadena de producción del aceite de palma crudo	28
Unidad II	
¿Cómo calcular la huella de carbono?	31
Análisis del ciclo de vida	34
Cálculo de las emisiones de GEI	39

Unidad III	
¿Cómo usar la calculadora App Ecopalma?	41
Módulo de cultivo	46
Módulo de planta de beneficio	67
Unidad IV	
¿Cómo reducir la huella de carbono del aceite de palma crudo?	97
Agradecimientos	114
Bibliografía	115

Introducción

Existe un creciente interés por minimizar los impactos ambientales generados por las actividades agrícolas a fin de llevar al país hacia un modelo de desarrollo bajo en carbono, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), aumentar las áreas protegidas, promover el desarrollo sostenible y evitar la deforestación.

En este sentido, el sector palmicultor ha suscrito varios acuerdos para mejorar la sostenibilidad de la producción de aceite de palma crudo (APC), considerando el uso de buenas prácticas, que permitan minimizar las emisiones de GEI asociadas a las diferentes etapas de la cadena de producción. Algunos estudios reportan que el cambio de uso del suelo y las emisiones de metano (CH_4) de los efluentes de las plantas de beneficio tienen la mayor contribución a los GEI, así como el uso de combustibles fósiles, agroquímicos y fertilizantes nitrogenados.

De igual forma, el cultivo de palma de aceite al ser perenne reporta absorciones de carbono a lo largo de su vida (20 años o más). Por tanto, para el cálculo de la huella de carbono (HC) del APC resulta preciso estimar las emisiones como las absorciones en la etapa del cultivo, el transporte de los racimos de fruta fresca (RFF) y de la planta de beneficio (extracción de APC y de almendra).

Desde el 2007, la agroindustria palmera de Colombia desarrolló estudios para identificar las emisiones de GEI y las absorciones de carbono asociadas a la producción del APC cuando se planteó la idea de producir biodiésel de aceite de palma. Estos permitieron cuantificar la HC de la producción de biodiésel (B100). Posteriormente, se llevaron a cabo trabajos conjuntos entre Cenipalma, Fedepalma y las plantaciones y plantas de beneficio del país para actualizar la HC, aumentando la cantidad de empresas incluidas en la recolección de los datos primarios.

También, a partir de tesis de doctorado de investigadores del Programa de Procesamiento de Cenipalma, se actualizaron las metodologías de cálculo y los formatos de recolección de datos para el inventario de emisiones. Con base en estas iniciativas y experiencias, Cenipalma desarrolló un *software* como aplicación sobre Excel (VBA) para posteriormente ser llevado a un lenguaje de programación avanzado denominado **calculadora App Ecopalma**. Esta ha sido empleada para diversos proyectos como el de medición de la HC de los combustibles sostenibles de aviación (SAF, por su sigla en inglés) realizado por Fedepalma con el apoyo de Cenipalma durante el 2023, año en que fue validada por el ICONTEC. La calculadora está amparada por marca registrada como App Ecopalma y es para uso exclusivo del sector palmicultor colombiano.

La presente cartilla está dirigida al personal técnico de las plantaciones y plantas de beneficio interesado en calcular la huella de carbono (emisiones y absorciones) de la cadena de producción del aceite de palma crudo.

Generalidades

La huella de carbono es un indicador ambiental que permite cuantificar las emisiones de GEI antropogénicas, asociadas directa o indirectamente a una determinada actividad/producto, para conocer su contribución al cambio climático. Igualmente considera, para el caso de un cultivo perenne, las absorciones de carbono fijadas por este (raíces, hojas, tronco, coberturas). La HC se expresa en masa de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) debido a que este es el gas más abundante de todos los GEI. Cuantificarla en la producción de APC permite identificar aquellos procesos con mayores emisiones de GEI, la toma de decisiones sobre alternativas para su mitigación y disminución como las prácticas bajas en carbono, y evaluar en el tiempo la evolución en su reducción.

A pesar de que la formulación es sencilla, su cálculo es un ejercicio complejo debido a la cantidad de datos de ingreso/salida de los procesos a evaluar. Para facilitararlo se han desarrollado herramientas, denominadas calculadoras de carbono, que requieren varios pasos a seguir como, por ejemplo, definir el año base de evaluación, las áreas que se incluirán en la recolección de la información e identificar las fuentes asociadas a las operaciones, además de los datos de consumo de servicios industriales (energía, agua, vapor), combustibles fósiles, fertilizantes, agroquímicos, etc. Como medida de control de las emisiones de GEI es importante realizar el cálculo de forma continua, al menos una vez al año.

Glosario¹

- **AFOLU:** acrónimo en inglés para el sector de Agricultura, Silvicultura y otros Usos del Suelo.
- **Año base:** año de inicio del inventario. Si se realiza un inventario por primera vez, ese corresponderá al año base.
- **Asignación:** distribución de los flujos de entrada o salida de un proceso o sistema del producto evaluado.
- **Categoría de impacto:** clase que representa asuntos ambientales de interés a la que se le puede asignar el resultado del análisis del inventario del ciclo de vida.
- **Ciclo de vida:** etapas de un sistema de producto que van desde la generación o adquisición de una materia prima hasta la disposición final.
- **Cobertura vegetal:** capa de vegetación que cubre la superficie terrestre y varía en características fisiológicas, por ejemplo: pastos, biomasa, bosques.
- **Cultivo perenne:** cultivo con ciclos de vida útil largos que generalmente superan los tres años. Durante ese tiempo genera varias cosechas sin ser removido del suelo donde se plantó.
- **Emisiones antropogénicas:** emisiones resultado de actividades humanas.

¹ Glosario adaptado de los lineamientos del IPCC (IPCC, 2019) y de la norma ISO 14044 y 14067 (ISO, 2015b) (ISO, 2007).

- **Emisión de dióxido de carbono equivalente:** cantidad de emisión de dióxido de carbono (CO_2) que causaría el mismo forzamiento radiactivo integrado o cambio de temperatura, durante un horizonte de tiempo determinado, como una cantidad emitida de un GEI o una mezcla de GEI. La $\text{CO}_{2\text{eq}}$ se obtiene multiplicando la emisión de un GEI por su potencial de calentamiento global (PCG) en un plazo específico. En el caso de las mezclas de GEI se suman las $\text{CO}_{2\text{eq}}$ correspondientes a cada gas.
- **Emisiones asociadas al cambio del uso del suelo:** el cambio en el uso del suelo y la cubierta vegetal puede afectar la concentración de GEI en la atmósfera ya que libera el carbono del suelo.
- **Emisiones directas:** aquellas emitidas desde fuentes que son controladas.
- **Emisiones indirectas:** aquellas que son consecuencia de las actividades pero que son emitidas desde fuentes que no son controladas.
- **Entrada:** flujo de producto, de materia o de energía que ingresa en un proceso unitario.
- **Fuentes de emisión:** existen fuentes naturales como los volcanes. Sin embargo, las actividades humanas generan la mayor cantidad de emisiones de GEI, como las relacionadas con la quema de combustibles fósiles, instalaciones industriales y transporte.
- **Límite del sistema:** conjunto de criterios que especifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto.
- **Materia prima:** o secundaria que se utiliza para elaborar un producto.
- **Potencial de calentamiento global (PCG):** índice utilizado para medir el efecto del calentamiento por acción de los GEI en un determinado periodo de tiempo. El PCG se calcula como la relación entre el forzamiento radiactivo de un kilogramo de GEI emitido a la atmósfera y el de un kilogramo de CO_2 durante un lapso (p. ej. 100 años).
- **Proceso unitario:** elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida.

- **Salida:** flujo de producto, de materia o de energía que sale de un proceso unitario.
- **Sectores y categorías:** las estimaciones de emisiones y remociones de GEI se dividen en sectores principales que son agrupaciones de procesos, fuentes y sumideros relacionados: Energía; Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU); Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del suelo (AFOLU); Desperdicios; Otros (p. ej. emisiones indirectas de la deposición de nitrógeno de fuentes no agrícolas).
- **Sistema del producto:** conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos de producto que cumple una o más funciones definidas. Sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto.
- **Unidad funcional:** desempeño cuantificado de un sistema del producto para su utilización como unidad de referencia.

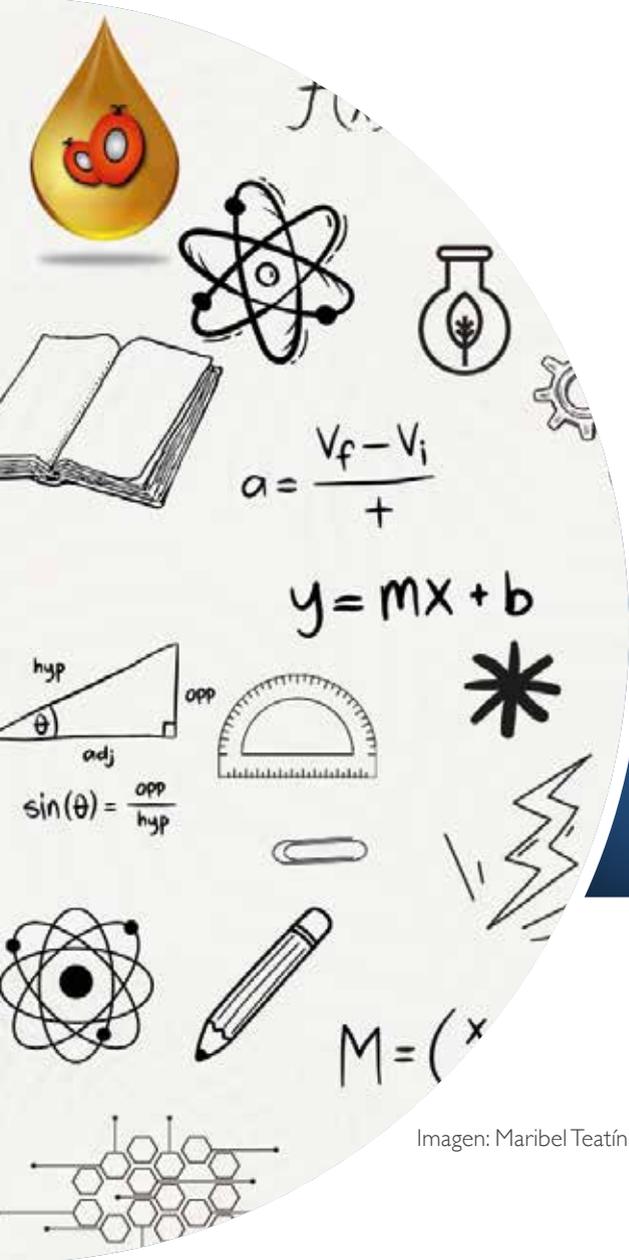
Unidades de medida

Tabla 1. Factores de conversión de unidades utilizadas en los cálculos de la huella de carbono.

Dimensión	Métrico	Métrico/inglés
Longitud	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1.000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m}$ $1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$	$1 \text{ m} = 39,370 \text{ in} = 3,2808 \text{ ft}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$ $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$
Área	$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ km}^2$	$1 \text{ m}^2 = 1.550 \text{ in}^2 = 10^{-4} \text{ ha}$ $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$
Volumen	$1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3$	$1 \text{ m}^3 = 264,17 \text{ gal (U.S)}$ $1 \text{ gal (U.S)} = 3,7854 \text{ L}$
Masa	$1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$ $1 \text{ t} = 1.000 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 2,2046226 \text{ lbm}$

Continúa ➔

Dimensión	Métrico	Métrico/inglés
Densidad	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/l} = 1.000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbm/ft}^3 = 0,036127 \text{ lbm/in}^3$ $1 \text{ lbm/in}^3 = 1.728 \text{ lbm/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0,062428 \text{ lbm/ft}^3$
Presión	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ Mpa}$ $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1,01324 \text{ bars} = 760 \text{ mm Hg a } 0^\circ\text{C}$	$1 \text{ Pa} = 1,4504 \times 10^{-4} \text{ psia}$ $1 \text{ psi} = 6,894757 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psia}$
Energía	$1 \text{ kJ} = 1.000 \text{ J} = 1.000 \text{ N} \times \text{m} = 1 \text{ kPa} \times \text{m}^3$ $1 \text{ kWh} = 3.600 \text{ kJ}$ $1 \text{ cal} = 10^{-3} \text{ kcal} = 4.184 \text{ J}$	$1 \text{ kJ} = 0,94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ kWh} = 3.412,14 \text{ Btu}$
Potencia	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W} = 1.341 \text{ hp}$ $1 \text{ hp} = 745,7 \text{ kW}$	$1 \text{ kW} = 3.412,14 \text{ Btu/h}$ $1 \text{ hp} = 0,74570 \text{ kW}$



$$a = \frac{V_f - V_i}{t}$$

$$y = mx + b$$

hyp
adj
 $\sin(\theta) = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}}$

$$M = (x$$

UNIDAD

I

Conceptos básicos

Imagen: Maribel Teatín García.



Foto: Maribel Teatín García

Huella de carbono (HC)

La huella de carbono es un indicador que permite cuantificar, evaluar y hacer seguimientos constantes a las emisiones de GEI asociadas a una actividad antropogénica para identificar la contribución de esta al cambio climático (ISO, 2015a). A nivel internacional, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) es una organización de las Naciones Unidas encargada de monitorear y valorar toda la ciencia global relacionada con la crisis climática. Además, ha generado las directrices más aceptadas para los inventarios de GEI. El cálculo de la HC de un **producto** requiere de la consideración de las diferentes etapas del sistema de producción. Se genera para una **unidad funcional** a fin de facilitar la comparación entre los procesos de empresas del mismo sector. Para ayudar a la estandarización de la información necesaria para la medición y agilizar el proceso, se utiliza la metodología de análisis del ciclo de Vida (**ACV**) (ISO, 2006). Esta permite recopilar la información en un inventario, de las entradas y las salidas de materia y energía del sistema evaluado (Figura 1), e identificar el objetivo, alcance, análisis del inventario y del impacto y la interpretación. Por tanto, el ACV ayuda a calcular las emisiones de GEI generadas durante el ciclo de vida de un producto.

Emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso)



Figura 1. Entradas y salidas del sistema. Fuente: elaboración propia.

Para el caso del **aceite de palma crudo (APC)**, el sistema a evaluar incluye el cambio del uso del suelo (CUS), la etapa del cultivo, transporte de los racimos de fruta fresca (RFF) y la extracción de los productos principales, el aceite de palma y la almendra, en la planta de beneficio. Como resultado, es posible identificar las principales fuentes de emisión de GEI durante la producción del APC a través de su ciclo de vida y establecer estrategias para mitigar dichas emisiones con el uso de mejores prácticas agroindustriales bajas en carbono.

Recuerde que la huella de carbono es el balance de las absorciones de carbono y las emisiones de GEI. Los valores positivos (+) de los resultados equivalen a las emisiones mientras que los negativos (-) a las absorciones de carbono.

En la Figura 2 se puede observar un ejemplo general de las entradas y salidas del proceso de producción de una camisa.

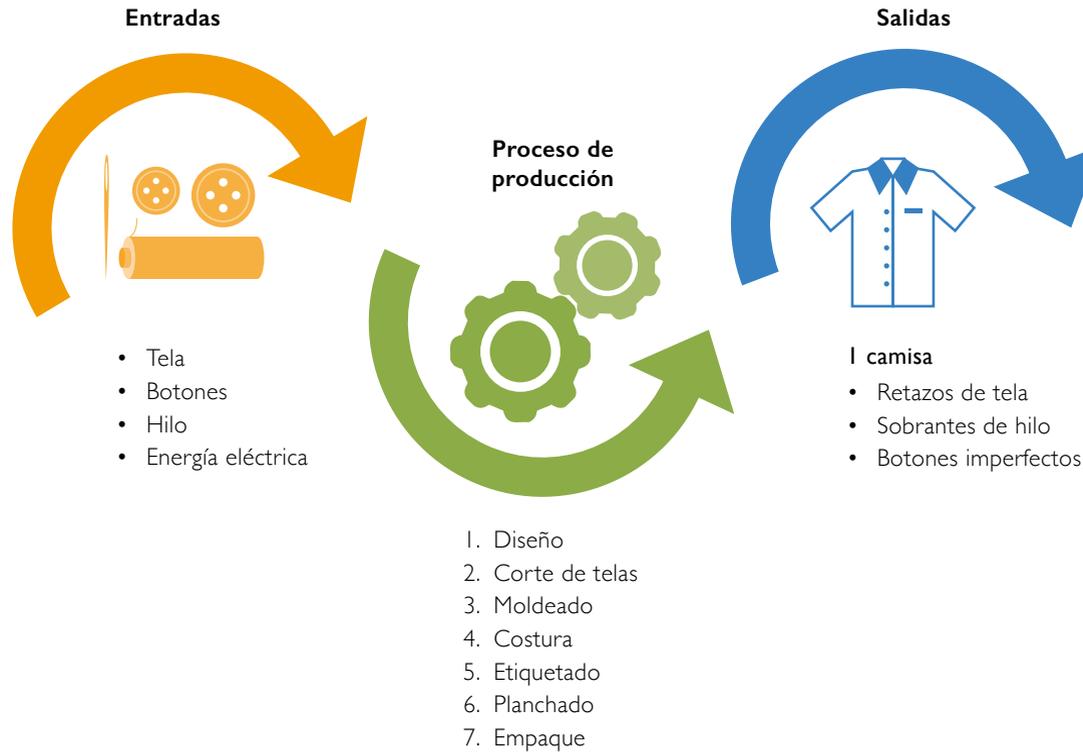


Figura 2. Entradas y salidas de un proceso de producción de una camisa. Fuente: elaboración propia.

Ejercicio

Imagine que va a sembrar un jardín de flores en su casa. Describa las entradas y salidas de materia y energía del proceso, desde el momento en que adquiere las semillas hasta que queda listo. Tenga en cuenta la Figura 3 como guía para completar la información.

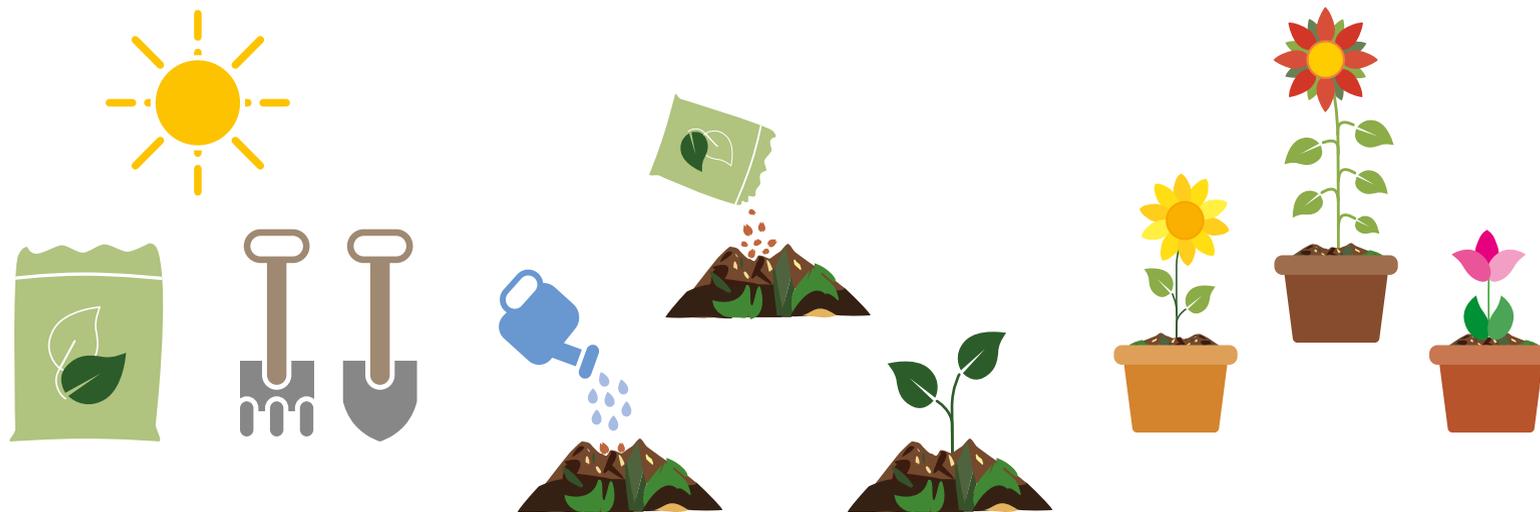


Figura 3. Ejercicio entradas/salidas de un sistema.

Respuesta. En esta actividad debe considerar como entradas los elementos o materiales más importantes, por ejemplo: palas, rastrillo, abono, agua, semillas de flores, materas, etc. Dentro de las salidas del sistema, tenga en cuenta el número de plantas sembradas, el de materas con plantas en crecimiento y los residuos generados por la siembra del jardín.

Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) hacen parte del componente gaseoso natural de la atmósfera. Son los encargados de la retención del calor del sol en el planeta, manteniendo la temperatura ideal para la vida. Emiten y absorben radiación en determinadas longitudes de onda (radiación infrarroja). Aunque son de procedencia natural, desde el siglo pasado por acción de las actividades humanas (antropogénicas), se ha generado un aumento de su concentración, afectando la capacidad de la naturaleza de equilibrar las emisiones en la atmósfera e incrementando la temperatura del planeta (calentamiento global). Los principales GEI naturales son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3).

Los completamente antropogénicos se denominan halocarbonos, a saber, clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC), y las especies totalmente fluorinadas como el hexafluoruro de azufre (SF_6). Los GEI tienen diferentes potenciales de calentamiento global (PCG) que dependen del poder de radiación y el tiempo de permanencia en la atmósfera. Para establecer una comparación todos los potenciales son expresados en relación con el nivel de CO_2 , por lo que la unidad de cálculo es el dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). En la Tabla 2 se muestra la contribución al calentamiento global de los GEI más representativos en el sector AFOLU, donde se observa que un gramo de óxido nitroso contamina 265 veces más que uno de dióxido de carbono, considerando un PCG de 100 años.

Recuerde que el PCG es un indicador del efecto radiativo de una sustancia sobre un horizonte de tiempo seleccionado, generalmente de 100 años, y tiene como base de medida al dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). Según el IPCC, dicho efecto es la “repercusión en el flujo de la radiación o el índice de calentamiento causado por la interacción de un determinado elemento con los campos de radiación infrarroja o solar mediante absorción, dispersión y emisión, en relación con una porción idéntica de atmósfera que carezca de ese elemento” (IPCC, 2013).

Tabla 2. Potencial de calentamiento global a 100 años (adaptado de IPCC, 2023).

Gas de efecto invernadero ^a		Reporte 2007	Reporte 2014		Reporte 2021
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1	1	1
Metano (biogénico) ^b	CH ₄	25	28	34	27,2
Metano (origen fósil) ^c					29,8
Óxido nitroso	N ₂ O	298	265	298	273

Nota:

^a Se muestra cómo han cambiado los valores de métricas de emisiones asignados para las especies de GEI según su PCG para un tiempo de vida de 100 años.

^b El metano biogénico hace parte del ciclo natural del carbono. Por ejemplo, el ganado rumiante al consumir pastos y otras plantas (celulosa) está digiriendo (fermentación entérica) el CO₂ capturado por la fotosíntesis de las plantas. El ganado cubre sus funciones vitales con este consumo y genera emisiones de CH₄ a través de los eructos, devolviendo a la atmósfera el carbono biogénico consumido en su alimentación. El CH₄ biogénico de la atmósfera se descompone (oxida) en aproximadamente 10 años y se vuelve a convertir en CO₂. Este es capturado por las plantas iniciando de nuevo el ciclo.

^c Caso contrario ocurre con el metano de origen fósil. El intercambio de carbono entre las reservas de carbono fósil (quema de combustibles) y la atmósfera ocurre en un tiempo mucho más largo (milenios) y en niveles de concentración que superan las emisiones naturales, lo que contribuye a que la temperatura del planeta se incremente (crisis climática).

¿Sabía que... en el sector agrícola el CH₄ se produce por la descomposición de la materia orgánica, el N₂O como resultado de algunas actividades en el manejo y uso de suelo, y por los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación, y el CO₂ por fermentación, respiración vegetal, algunos procesos industriales y la quema de combustibles y de materia vegetal?

Ejercicio

A nivel mundial, el arroz es uno de los cultivos que mayores emisiones de GEI reporta por su forma de producción que incluye desde la preparación del suelo hasta la cosecha. Implica actividades generadoras de emisiones de GEI como uso de maquinaria diésel (preparación del terreno y cosecha) y la fertilización química (fertilizantes nitrogenados, cal, etc.). Asumiendo la producción de una tonelada (t) de arroz inundable, durante el primer trimestre del año, identifique las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ de esta. Tenga en cuenta la *Ecuación 1* y realice el cálculo con los datos de PCG para el 2021 (Tabla 2) y los de emisiones de GEI como se describe a continuación: $2.476 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$; $485 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$; $80 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{CO}_2 * \text{PCG} + \text{CH}_4 * \text{PCG} + \text{N}_2\text{O} * \text{PCG} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\text{CO}_{2\text{eq}}$ = emisiones de dióxido de carbono equivalente ($\text{mg CO}_{2\text{eq}}$). **PCG** = potencial de calentamiento global.

CO_2 = emisiones de dióxido de carbono. CH_4 = emisiones de metano. N_2O = emisiones de óxido nitroso.

Respuesta: la ecuación se resuelve así

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 2.476 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1} * 1 + 485 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1} * 27,2 + 80 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ día}^{-1} * 273$$

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = 37.508 \text{ mg CO}_{2\text{eq}}$$

Factores de emisión

Un factor de emisión (FE) es un valor representativo de la cantidad de contaminación emitida (directa e indirectamente) por un contaminante y la de materia prima procesada. A menudo se basa en una muestra de datos de medición, promediados, para desarrollar una tasa de emisión representativa para un nivel de actividad dado bajo un conjunto de condiciones de operación. La selección de estos valores es clave para el cálculo de las emisiones ya que, dependiendo de la fuente de la información, los resultados pueden sobreestimarse y no reflejarían la realidad del ciclo de vida del producto evaluado. Generalmente los FE se encuentran en bases de datos especializadas como ecoinvent, en *software* como SimaPro y artículos científicos de publicación internacional. Podría decirse que son la HC de un producto que sirve como insumo para el cálculo de la HC de un proceso asociado. Por ejemplo, el FE de la producción de un huevo de gallina es 197 g CO_{2eq} considerando las etapas descritas en la Figura 4. Por tanto, si se deseara estimar la huella de carbono de un proceso asociado que utiliza huevos, como por ejemplo la elaboración de una torta de chocolate, ese valor de 197 g CO_{2eq} serviría para calcular el aporte de emisiones por cada huevo empleado.

Las directrices del IPCC suministran metodologías con tres niveles (Tier) de complejidad, de acuerdo con la disponibilidad de información para realizar los cálculos de las emisiones de GEI. Dichos niveles consideran los factores de emisión según su procedencia.

- **Nivel 1:** se utilizan FE por *default* de la base de datos del IPCC. Estos provienen de trabajos de investigación publicados por los países o en grado internacional.
- **Nivel 2:** se emplean FE y modelos desarrollados a partir de los lineamientos del IPCC y alguna información propia de los países.
- **Nivel 3:** se basa en el uso de FE generados por medición *in situ* en el lugar de la medición de las emisiones que se están evaluando.

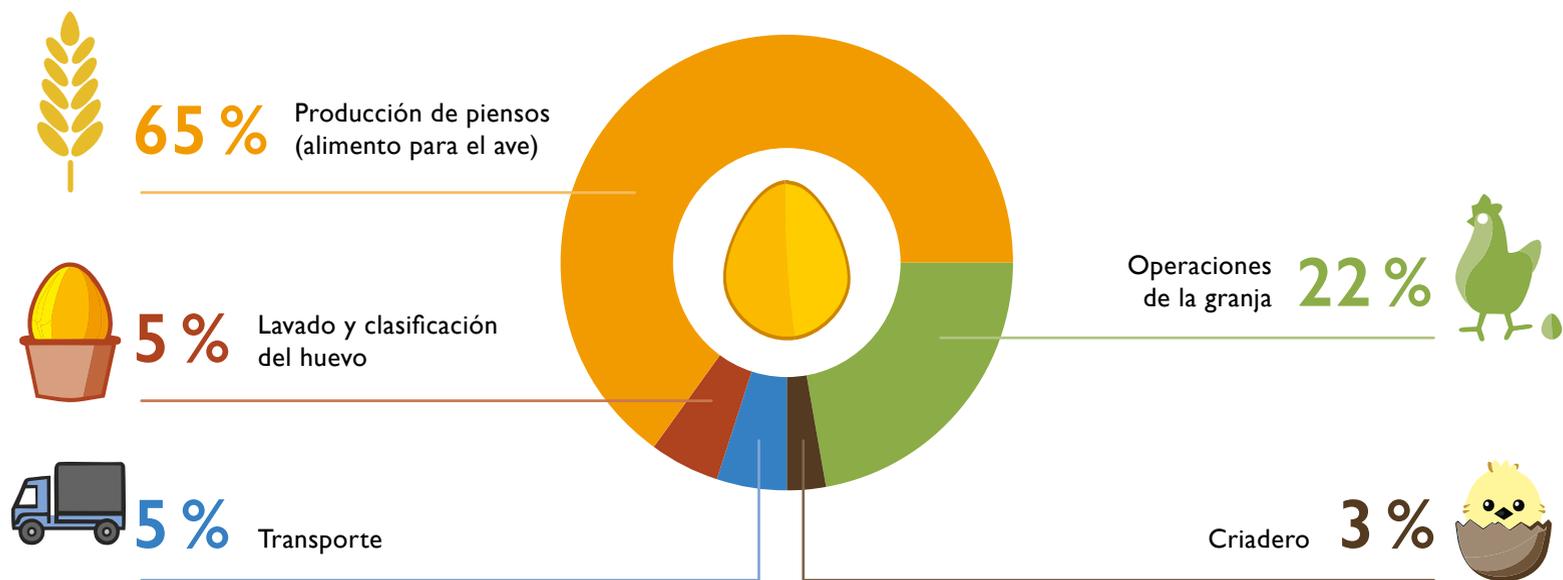


Figura 4. Factor de emisión (FE) de la cuna a la granja para un huevo grande (53 gramos) (adaptado de Egg Farmers of Alberta, 2012).

Tenga en cuenta que los cálculos con datos de los niveles 2 y 3 son más precisos y tienen menor incertidumbre que los obtenidos con el nivel 1. Sin embargo, la consecución de esos valores requiere de más recursos técnicos y económicos. Para las estimaciones de huella de carbono de un producto es posible realizar combinación de los FE de los tres niveles, pero es indispensable dejar registros de dónde fueron tomados esos factores.

¡Sabía que... los FE varían constantemente ya que provienen de investigaciones, datos reportados por instituciones, países, organizaciones, etc.? Es por esta razón que la calculadora App Ecopalma de Cenipalma debe estar en continua actualización.

Ejercicio

Se desea preparar una torta de chocolate para ocho personas. Si la receta incluye cuatro huevos, 500 gramos de harina de trigo, 250 ml de leche, una cucharada de cocoa y tres de aceite vegetal, calcule el aporte de emisiones de GEI del uso de los huevos en la torta.



Respuesta: el aporte de emisiones de los cuatro huevos corresponde al siguiente cálculo:

$$CO_{2eq} = 197 \text{ g } CO_{2eq} * 4 = 788 \text{ g } CO_{2eq}$$

Absorción o secuestro de carbono

Es el proceso de remoción de dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y su almacenamiento a largo plazo en un depósito o sumidero de carbono. Tenga en cuenta que para el cálculo de las emisiones de GEI, la captura de carbono (existencias o *stock* de carbono) hace referencia al que ha sido almacenado en un cultivo y que se ve afectado por el cambio en el uso del suelo. Este carbono se puede acumular de forma natural en los bosques, turberas, humedales y océanos del planeta (Figura 5). En el suelo se incorpora por acción de la fotosíntesis de las plantas, esto significa que las plantas lo absorben y lo transforman en raíces, troncos, hojas, frutos (materia vegetal).

Las actividades humanas pueden generar modificaciones en el secuestro natural del carbono a través del cambio del uso del suelo, como cuando se deforesta un bosque para ubicar un cultivo, ganadería o construcción. También se almacena de forma artificial en acuíferos, meteorización artificial, reservorios subterráneos, yacimientos de petróleo agotados, etc. Por ejemplo, es factible realizar su almacenamiento en el océano a través de su inyección directa en aguas profundas formando un lago de carbono atrapado allí por acción de la presión.

En los suelos agrícolas es posible generar captura de carbono con cultivos perennes. Además, con prácticas como la disposición de biomasa (reincorporación de residuos agrícolas), compost y biocarbón se puede aumentar el contenido de carbono orgánico en el suelo, lo que conlleva a la mejora del rendimiento del cultivo, retención de agua en el suelo y reducción de uso de fertilizantes químicos, entre otros. Las existencias de carbono total incluyen la biomasa aérea y la subterránea, y el carbono orgánico del suelo (COS).

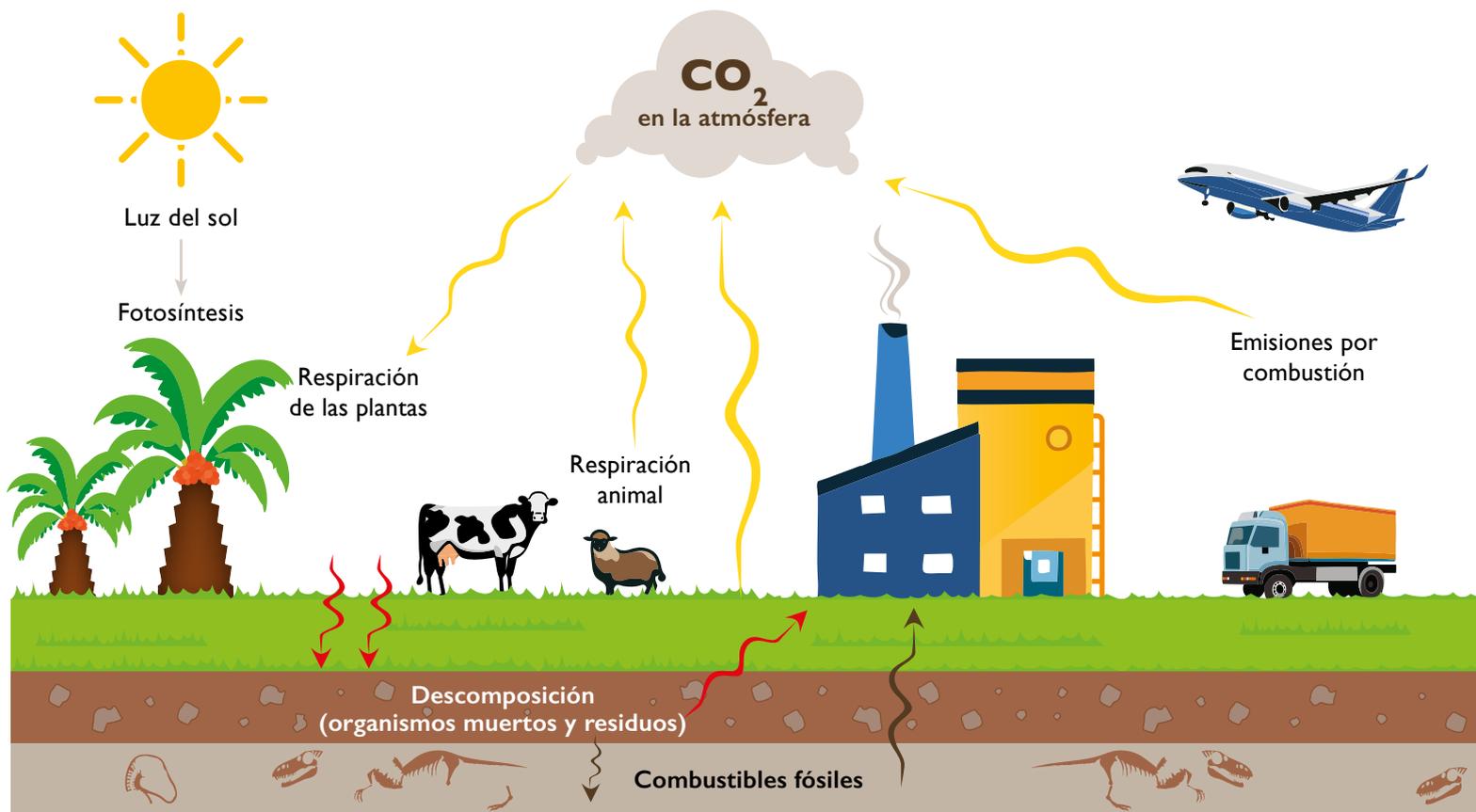


Figura 5. Ciclo del carbono. Fuente: elaboración propia.

Uso del suelo y cambio del uso del suelo

El término **uso del suelo** (US) expresa las disposiciones, actividades e insumos (conjunto de actividades humanas) adoptados para cierto tipo de cubierta terrestre. Un **cambio de uso del suelo (CUS)** es una modificación o gestión por acción antropogénica, que puede originar un cambio de la cubierta terrestre, generalmente derivada de la expansión de las tierras agrícolas, ganaderas o industriales. Por ejemplo, los bosques son un tipo de cobertura terrestre que contiene una alta reserva de carbono. Al convertirlos en un cultivo se generan transformaciones en dichas reservas ocasionando emisiones de CO₂.

El CUS puede ser directo e indirecto. El **directo** hace referencia a los cambios inmediatos y directos sobre el suelo dentro del sistema producto evaluado. El **indirecto** está relacionado con la modificación en el uso o gestión del suelo como consecuencia de un cambio directo, pero que ocurre fuera del sistema producto evaluado. Estos pueden afectar de forma negativa la biodiversidad, la calidad del suelo (degradación) y la provisión de servicios ecosistémicos como el agua. Según el IPCC, las categorías del uso de la tierra para la declaración del inventario de GEI son: (i) tierras forestales; (ii) tierras de cultivo; (iii) pastizales; (iv) humedales; (v) asentamientos; y (vi) otras tierras. Cada una tiene una reserva o existencia de carbono asociada, y el cambio en la categoría puede afectar su balance generando emisiones de GEI. Estas se calculan utilizando la metodología IPCC (lineamientos 2019), según la *Ecuación 2*.

$$E_{USCUS} = \Delta CS * 44/12 * 1/20 * 1/P$$

$$E_{USCUS} = (CS_R * 44/12 * 1/20 * 1/P) - (CS_A * 44/12 * 1/20 * 1/P) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

E_{USCUS} = emisiones de GEI del cambio de existencias de C debido al CUS (t CO_{2eq} t⁻¹ producto). $\Delta CS = CS_R - CS_A$ (CS_R = existencia de C asociado con el uso de la tierra anterior (t C ha⁻¹). CS_A = existencia de C vinculado con el nuevo uso de la tierra (t C ha⁻¹). P = productividad del cultivo (t ha⁻¹ año⁻¹). Se supone un periodo de cultivo de 20 años. El factor 44/12 se emplea para convertir el carbono en CO₂.

Fuentes de emisiones de GEI asociadas a la cadena de producción del aceite de palma crudo

En la cadena de producción del aceite de palma crudo (APC), la mayor contribución a las emisiones de GEI se da por el cambio de uso de la tierra (directa), la fertilización química (directa e indirecta), el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CH₄ de los efluentes de las plantas de beneficio (Tabla 3). Para minimizarlas se han planteado buenas prácticas bajas en carbono como la eficiencia en el uso de los recursos, la captura del biogás del sistema de tratamiento de efluentes y la mejora en la fertilización (Chaparro *et al.*, 2020). De estas la que mayor impacto reporta es la captura del biogás (metano), con valores entre el 35 y 50 % de reducción (Ramírez *et al.*, 2020). Los estudios han demostrado que, en las últimas dos décadas, la expansión de las plantaciones de palma de aceite en Colombia se relaciona con la conversión de matorrales, tierras de cultivo y sabana (Castiblanco *et al.*, 2013). Sin embargo, aún es necesario que se reduzcan las emisiones de GEI asociadas al CUS con una ampliación sostenible en zonas con bajas reservas de carbono o en aquellas aptas y disponibles para este cultivo, evitando así la deforestación de áreas naturales. De igual forma se ha identificado que incrementar los rendimientos agrícolas contribuye a minimizar la demanda por el uso del suelo y a liberar tierras agrícolas para otros fines como la siembra de biomasa para bioenergía (Ramírez *et al.*, 2021).

Tabla 3. Balance de emisiones de GEI en algunos estudios del sector palmicultor de Colombia (tomado de Ramírez *et al.*, 2020).

Proceso	(Yáñez <i>et al.</i> , 2011)	(Yáñez <i>et al.</i> , 2011)	(Henson <i>et al.</i> , 2012)	(García-Núñez <i>et al.</i> , 2016)	(Rivera-Méndez <i>et al.</i> , 2017)
Área de estudio	28 plantas de beneficio	Cinco plantas de biodiésel (BD)	11 escenarios	1 planta de beneficio hipotética	1 plantación específica
Unidad	kg CO _{2eq} t ⁻¹ APC	kg CO _{2eq} t ⁻¹ BD	kg CO _{2eq} t ⁻¹ APC	kg CO _{2eq} t ⁻¹ RFF	kg CO _{2eq} t ⁻¹ RFF
Almacenamiento de carbono					
Cultivo de palma de aceite	-3.014,1	-6.080,8	-894	-1.071	-724
Emisiones					
CUS	537,6	34,4	343	10,5	16
Fertilización	860,5	450,5	61	47,9	75
Agroquímicos	6,3	5,3	.	1,4	.
Efluente (CH ₄)	778,7	945,6	179	361	.
Compost producido
Vapor producido	.	332,4	.	188	.
Diésel	114,7	468,6	255	17	17

Continúa ➔

Proceso	(Yáñez et al., 2011)	(Yáñez et al., 2011)	(Henson et al., 2012)	(García-Núñez et al., 2016)	(Rivera-Méndez et al., 2017)
Emisiones					
Electricidad	14,7	56,6	.	13	.
Cogeneración	9,1	.	.	76	.
Refinación-BD ***	.	40,3	.	.	.
Procesos remanentes **	2,6	374,2	.	0,04	10
Emisiones totales	2.237,7	2.707,9	838	633,3	118
Balance					
Huella de carbono	- 689,8	- 3.372,9	- 56	- 437,6	- 606

* Unidad: APC = aceite de palma crudo; BD = biodiésel; RFF = racimos de fruta fresca.

** Procesos remanentes que contribuyen con menos del 1 % de las emisiones totales de GEI de la cadena de producción.

*** Refinación-BD, este proceso incluye los insumos del proceso de refinación-transesterificación (metanol, metilato de sodio, ácido cítrico, ácido clorhídrico y tierras de blanqueo).



UNIDAD

||

¿Cómo calcular
la huella de carbono?

Foto: Maribel Teatín García.



Foto: archivo Fedepalma.

Existen diversas metodologías para cuantificar la huella de carbono. Según algunos enfoques de evaluación, se tiene la HC corporativa, ciclo de vida de un producto/servicio, personal, de eventos, territorial y por industria. Cada enfoque tiene unos objetivos asociados y medidas de acción para reducir los impactos y minimizar las emisiones de GEI. En el sector agroindustrial se busca principalmente identificar la HC de productos, a fin de establecer cual(es) etapa(s) de la cadena reportan las mayores emisiones y de esta forma, facilitar la implementación de medidas de mitigación y reducción. Su cálculo puede ser determinado con: 1) un análisis del ciclo de vida (ACV) y 2) el cálculo de las emisiones para cada etapa de la cadena de producción (sistema) (ISO, 2015a).



Foto: Maribel Teatín García.

Análisis del ciclo de vida

Según la norma ISO 14044, el análisis del ciclo de vida (ACV) permite estimar y examinar los impactos (Figura 6) de un producto/servicio sobre el ambiente, durante las etapas de su vida. De estos, el más evaluado es el calentamiento global donde el indicador asociado es la emisión de GEI. Para establecer los límites del sistema que se desea valorar se pueden considerar cuatro formas de análisis:

1. ACV de la cuna a la tumba (*cradle to grave*). Este concepto permite estudiar todas las fases del ciclo de vida de un producto, desde el momento en que se obtienen las materias primas hasta el proceso por el que se gestionan los residuos generados por su uso (Figura 6).
2. ACV de la cuna a la puerta (*cradle to gate*). Se tienen en cuenta los procesos que van desde la adquisición de la materia prima hasta que el producto sale de la fábrica.
3. ACV de la puerta a la puerta (*gate to gate*). Permite evaluar los procesos que se llevan a cabo dentro de la fábrica. Por tanto, no considera los pasos anteriores (como la obtención de la materia prima, ni su transporte), y tampoco lo que ocurre después de salir (su distribución, uso y fin de vida útil).
4. ACV de la cuna a la cuna (*cradle to cradle*). Al estimar que un estudio ACV de la cuna a la tumba puede tener un enfoque de circularidad, se le adiciona al sistema el análisis del reciclaje o reutilización de los residuos.



Figura 6. Etapas de un ciclo de vida de producto y los impactos ambientales que pueden ser evaluados en un ACV. Fuente: elaboración propia.

El ACV se divide en cuatro fases (Figura 7):

1. Definición de los **objetivos y el alcance** del estudio al que se quiere llegar. Esta fase depende del límite del sistema y del nivel de detalle del estudio, por lo que es importante elegir el tipo de ACV que se va a implementar, según se explicó anteriormente, y responder a la pregunta ¿para qué queremos realizar el ACV?
2. Análisis del **inventario** del ciclo de vida. Se deben cuantificar las entradas y salidas más representativas del sistema, considerando las etapas del ciclo de vida del producto analizado que pueden causar impactos ambientales. Para los cálculos de balance de masa y energía es importante que en esta fase se haga una adecuada recolección de la información/datos requeridos. También, identificar la calidad de los datos a recolectar para alcanzar un nivel alto de precisión al momento de analizar los resultados.
3. Evaluación del **impacto** ambiental. Permite seleccionar las categorías de evaluación para el sistema, por ejemplo, el efecto sobre los recursos naturales, la salud humana y la ecológica. Aquí se responde a la pregunta ¿cuáles son los impactos ambientales esperados de cada entrada y salida del sistema? Uno de los más evaluados es la contribución de cada etapa del proceso de producción en las emisiones de GEI generadas.
4. **Interpretación**. Se genera la discusión de resultados y toma de decisiones que permitan reducir los efectos de mayor relevancia a través de acciones de mejora.

¿**Sabía que...** existen *softwares* para la realización de ACV? Dentro de los más conocidos se encuentran el SimaPro, Gabi Bees, y OpenLCA.



Figura 7. Descripción de los lineamientos para realizar un ACV.

* Inventario de análisis de ciclo de vida

** Evaluación de análisis de ciclo de vida

El ACV se estructura alrededor de una **unidad funcional (UF)** que define lo que se está evaluando, es decir, la UF es la base de cálculo sobre la cual se efectúan los balances de materia y energía del sistema, y sirve para hacer comparaciones con otros productos en los mismos términos. Ejemplo: en la producción de una botella de vidrio para envasar agua para consumo humano, la UF del sistema es la capacidad de la botella en mililitros, que para este caso es de 750 ml. Así podríamos comparar el impacto ambiental, en emisiones de GEI, de fabricar una botella de vidrio de 750 ml contra las de una botella de plástico de 750 ml.

Ejercicio

En la Figura 8 se representa el ciclo de vida de la producción de biodiésel de palma. Considerando esta cadena de producción, seleccione el ACV de la cuna a la tumba (*cradle to grave*) y el ACV de la cuna a la puerta (*cradle to gate*).

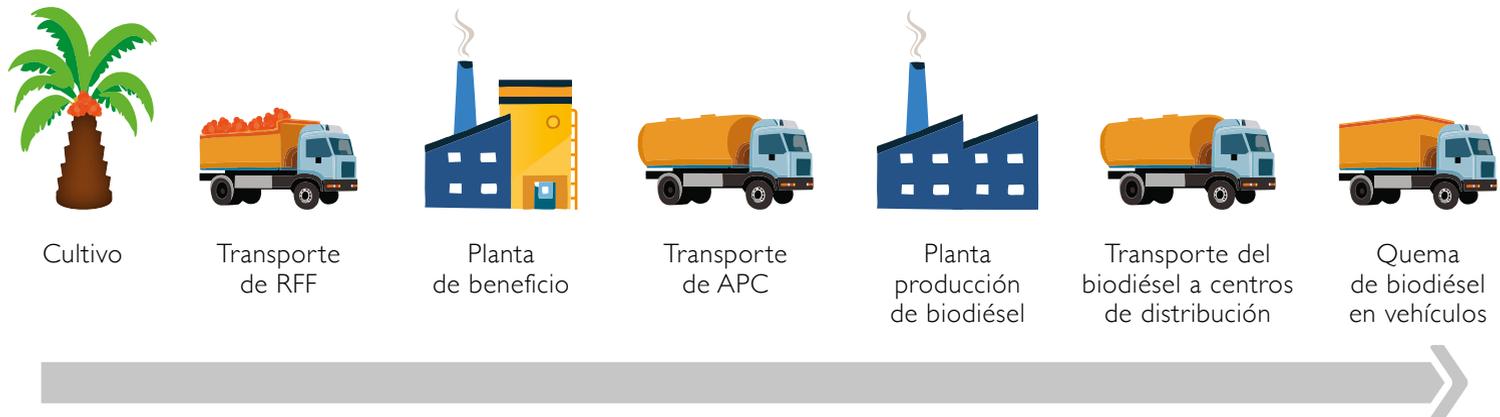


Figura 8. Ciclo de vida de la cadena de producción de biodiésel de palma de aceite. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de las emisiones de GEI

La huella de carbono (HC) se calcula multiplicando los datos de consumo de las actividades evaluadas por los factores de emisión (FE) relacionados con estas. El dato de actividad es el parámetro que define el grado o nivel de la acción generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, la cantidad de gas natural utilizado en la calefacción de una casa (kWh/año de gas natural) o la producción de 1 kW de energía eléctrica. Como vimos en la sección 1.3, el FE indica el valor (miligramos, gramos, kilos, toneladas, etc.) de CO_{2eq} que se genera en una actividad determinada. En el siguiente ejemplo se observa el cálculo de las emisiones de GEI del total de energía eléctrica producida en Colombia para el 2022.

Actividad evaluada: producir energía eléctrica para el sistema interconectado nacional, con una unidad de medida expresada en megawatts por hora (MWh). Para calcular sus emisiones se necesita el dato de actividad, es decir, la cantidad de MWh consumidos en un periodo de tiempo (2022). En Colombia, el FE de la producción de energía eléctrica corresponde a 0,164 toneladas de CO_{2eq} por MWh (MX, 2020). Esto significa que para generar un megawatio hora de energía eléctrica se emiten 0,164 t CO_{2eq}. Por lo tanto, las emisiones de GEI para la producción de energía eléctrica del 2022 en Colombia fue:

$$\text{Emisiones} = 76.653.730 \text{ MWh/año} * 0,164 \text{ t CO}_{2eq}/\text{MWh} = 12.571.212 \text{ t CO}_{2eq}/\text{año}$$

El valor de energía para el 2022 fue tomado de Noticias XM (2023).

Ejercicio

Calcular las emisiones de GEI de una oficina que consume 2.800 kWh de energía eléctrica al mes, es decir, 33.600 kWh al año. Tenga en cuenta que 1.000 kWh = 1 MWh y que el factor de emisión de la red eléctrica de Colombia es 0,164 t CO_{2eq} por MWh.

Respuesta: el cálculo de las emisiones asociadas al uso de energía eléctrica para el ejercicio es:

$$\text{Emisiones de CO}_{2eq} = 33.600 \text{ kWh} * \frac{1 \text{ MWh}}{1.000 \text{ kWh}} * 0,164 \text{ t CO}_{2eq} / \text{MWh} = 5,5 \text{ t CO}_{2eq}$$



UNIDAD

III

¿Cómo usar la calculadora
App Ecopalma?

Foto: archivo Fedepalma



App

Ecopalma

La calculadora de carbono, desarrollada por Cenipalma, es una herramienta que permite agilizar el proceso de cálculo de la HC de la producción de aceite de palma crudo. Fue diseñada siguiendo los estándares internacionales aceptados para identificar la huella de carbono. Específicamente, se basa en la metodología de análisis del ciclo de vida (ISO 14044); los principios, requisitos y directrices para la cuantificación de la HC de productos (ISO 14067); los lineamientos de la IPCC para estimar los GEI (fórmulas y factores de emisión); literatura científica e investigaciones de Cenipalma. Requiere de información sobre los cultivos y la planta de beneficio. Muestra los resultados en gráficas tipo torta y barra compuesta tanto de las emisiones de CO₂ por t RFF (cultivo) como de las emisiones expresadas en t APC (toda la cadena).

La calculadora **App Ecopalma:**

- Tiene un indicador ambiental que permite diferenciar el aceite de palma de Colombia.
- Recolecta la información general del cultivo y de la planta de beneficio.
- Analiza el ciclo de vida del aceite de palma crudo de la cuna a la puerta, es decir, desde el cultivo hasta la extracción, incluyendo el CUS.
- Estima las emisiones de GEI de los RFF y el APC.
- Identifica las etapas del ciclo de vida del producto que tienen mayor contribución en las emisiones de GEI.
- Genera estrategias para mitigar el impacto ocasionado por una actividad en específico.
- Realiza simulaciones de reducción de emisiones de GEI aplicando buenas prácticas bajas en carbono.

Plataforma App Ecopalma

Para acceso a la plataforma App Ecopalma ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR:

<https://geicalculadora.cenipalma.org/platform/>



Diligencie los espacios de usuario y contraseña, autorice el tratamiento de datos personales y haga clic en “Validar”.

Al entrar encontrará la siguiente pantalla de inicio.



El menú de navegación se sitúa en el costado izquierdo de la pantalla y se divide en tres secciones distintas.

1. Cultivo. Aquí encontrará listas de formularios, así como la opción de crear uno nuevo.
2. Planta de beneficio. Esta sección incluye las listas de formularios guardados, la opción de crear nuevos formularios y la herramienta de comparación de huellas de carbono.
3. Calderas y modelo de datos. Marca la fase inicial para la implementación de modelos de biorrefinerías, aunque aún se encuentra en desarrollo.

Tenga en cuenta

A continuación, se describe el funcionamiento de la calculadora, acompañado de un ejemplo práctico que le permitirá guiarse a través de la aplicación con el uso de datos específicos y el desarrollo de ejercicios para mayor comprensión. De esta forma usted puede verificar que los datos ingresados sean los adecuados, acorde a los requerimientos de valores y unidades, para generar la huella de carbono que desea estimar:

Módulo de cultivo

En este se ingresa toda la información relacionada con las actividades de plantación (agroquímicos, fertilizantes, consumo de diésel, etc.). El formulario cuenta con listas desplegables y cuadros de comentarios para ampliar el reporte con respecto a un dato y dejar evidencia o mensajes complementarios que facilitarán el análisis de los resultados.

Para incluir la información seleccione la sección “Cultivo” en el menú de navegación. Cuando se despliegue la lista de opciones, haga doble clic en “Nuevo Formulario Plantación”.

Aquí se da el paso a paso para completar la información general de la plantación considerando datos de ejemplo, y se incorpora el inventario de análisis del ciclo de vida. El nombre del formulario es el 0_cultivo_1 y el de la plantación es “plantación ejemplo”. Antes de diligenciar la información es necesario definir el objetivo y alcance del estudio.



Función: producción de racimos de fruta fresca para la extracción de aceite de palma crudo.

Unidad funcional: una tonelada de RFF puesta en tolva en la planta de beneficio.

Límites del sistema

- **Procesos unitarios:** cambio de uso del suelo, labores de cultivo, consumo de combustibles fósiles y transporte de RFF a planta de beneficio.

- **Temporales:** año 2021
- **Geográficos:** Zona Oriental, plantación propia de la planta de beneficio del núcleo palmero.

Descripción de la plantación

- Material de siembra, *guineensis* Tenera (70 %) e híbrido (30 %).
- Densidad de siembra Tenera: 143 (palmas/ha).
- Densidad siembra híbrido: 128 (palmas/ha).
- Plantación con cultivo más antiguo de 10 años.
- Fertilización química y orgánica.

Fuente de información: bases de datos propios de la plantación.

The screenshot shows a web application interface with the following elements:

- Navigation:** 'Principal', 'Lista formularios de plantaciones', and 'Nuevo Formulario Plantación' tabs.
- Actions:** 'Guardar', 'Calcular', and 'Limpiar' buttons.
- Form Section: Información General**
 - Nombre del formulario:** 0_Cultivo_1 (marked as obligatory).
 - Nombre de la plantación:** Plantación Ejemplo
 - Nombre del responsable:** David Munar
 - Es propietario?:** Si (dropdown menu)
 - Ubicación de la plantación:** km 32, Paratebueno - Cabuyaro
 - Descripción de la plantación:** Material de siembra: guineensis Tenera (70%) e híbrido (30%). Densidad de siembra Tenera: 143 (palmas/ha). Densidad siembra híbrido: 128 (palmas/ ha).

Datos agroclimáticos

Producción de RFF: cantidad de toneladas de RFF producidos en el año de estudio – 96.000,5 t RFF.

Área sembrada: cantidad de área sembrada con palma de aceite para el año de estudio – 3.200 ha.

Datos del área de cultivo: número de hectáreas sembradas en palma, según el rango de edad. Pulsar el botón “Agregar”. En la lista desplegable seleccionar la edad del cultivo (se encuentra en unidades de años) y la cantidad de área (debe estar en unidades de hectáreas). Oprimir ENTER en el teclado o hacer doble clic fuera de la tabla para que el valor quede guardado. Como esta plantación cuenta con cultivos jóvenes mayores a 5 años y adultos menores a 10 años, solo se escoge el rango **entre 5 y 15 años** y se ingresan las 3.200 ha.

Agroclimáticos

Producción de RFF: t RFF/año Comentario

Área sembrada: ha Comentario

Datos del área de cultivo:

Edad del cultivo (años)	Cantidad (ha)
Entre 5 y 15	3.200

Comentario

Productividad (Mediana últimos 25 años): t RFF/(ha*año) Comentario

Precipitación anual: mm/año Comentario

Irrigación: m³/ha Comentario

Datos del área de cultivo:

Edad del cultivo (años)	Cantidad (ha)
Menor que 5	1.200
Entre 5 y 15	0
Entre 15 y 25	
Mayor que 25	

Comentario

Productividad (Mediana últimos 25 años): t RFF/(ha*año) Comentario

Productividad: toneladas de RFF producidas en un año por unidad de área. Dependiendo de la disponibilidad de información se usa la mediana de las productividades año a año durante los últimos 25 años o la del año de estudio. Para este caso se ingresa el valor de 20 tRFF/ha/año.

Precipitación anual: mm de agua lluvia en el año – 2.127 mm.

Irrigación: consumo de agua para riego expresado en m³/ha – 4.202 m³/ha.

Fertilización

En esta sección se ingresan los datos correspondientes a la fertilización química y orgánica utilizada en la plantación. De cada una se describen las cantidades expresadas en toneladas por año.

Fertilización

+ Agregar - Quitar

Fertilización química:

Nombre Comercial del producto	Cantidad (t/año)
Borax	37,00
KCL	567,00
Cal Dolomita	242,00
Abotsin	18,60
Empalme K	256,00
Roca fosforica	562,50
Viararita	502,10

Comentario

Fertilización orgánica:

Fertilizante	Cantidad (t/año)	% N	% P ₂ O ₅	
Tusa	42.989,00	0,45	0,10	0
Lodos	32.211,00	2,30	0,30	2
Vertimientos	260,85	0,07	0,30	0

Comentario



Foto: Juan Camilo Rey

Fertilización química

Se agregan los consumos para el año de estudio. En este momento es necesario conocer los fertilizantes aplicados, las respectivas cantidades y las fichas técnicas (Tabla 4). Para adicionar un segundo fertilizante o eliminarlo basta con hacer clic en los íconos correspondientes.

Fertilización química :

Nombre Comercial del producto	Cantidad (t/año)
Cloruro de potasio	567,00
Roca fosforica	562,00

+ Agregar - Quitar

Composición del fertilizante

Pulsar clic derecho para que aparezca el botón.

Fertilización química :

Nombre Comercial del producto	Cantidad (t/año)
Cloruro de potasio	567,00
Roca fosforica	562,00

+ Agregar - Quitar

Composición

Hacer clic izquierdo para entrar al menú de composición.

El menú tiene tres campos a diligenciar: En fertilizante se selecciona la fuente del nutriente de la lista desplegable, se ingresa el valor de composición según su ficha técnica y los conocimientos sobre mezclas físicas de un experto como, por ejemplo, un ingeniero agrónomo), y se escoge el nutrimento (N, P₂O₅, K₂O y elementos menores).

Ejemplo

En la Tabla 4, se muestra la ficha técnica y la fuente de nutrimento asociado a un fertilizante químico utilizado en el cultivo de palma de aceite. Para registrar esta información en la App Ecopalma es necesario identificar la composición del fertilizante expresado en porcentaje, información que aparece en la ficha técnica. Como se mencionó anteriormente, la calculadora tiene una lista desplegable con las fuentes de nutrimento más comunes. La selección de estas debe ser analizada y determinada con la ayuda de un ingeniero agrónomo o del responsable de la fertilización del cultivo.



Tabla 4. Composición del fertilizante químico.

Ficha técnica		Fuente de nutrimento
Nutrimento	Porcentaje (%)	
Nitrógeno total (N)	12,0	n.a
Nitrógeno amoniacal (NH ₄)	2,00	MAP
Nitrógeno ureico (NH ₂)	10,0	Urea
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	6,0	MAP
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	27,0	Cloruro de potasio
Calcio total (CaO)	5,00	Cal viva empacada
Magnesio total (MgO)	5,00	Sulfato de magnesio
Azufre total (S)	2,50	Sulfato de magnesio
Boro total (B)	0,30	Bórax anhídrido

Fertilización orgánica

En el cultivo de palma de aceite se aplican los conceptos de economía circular. Esta sección permite ingresar los aportes de nutrimentos de la disposición de biomasa y fertilizantes orgánicos.

Fertilización orgánica :

Fertilizante	Cantidad (t/añ)	% N	% P ₂ O ₅
	0,00	0,00	0,00
Tusa			
Vertimientos			
Compostaje			
Lodos			

+ Agregar - Quitar

Con los íconos agregar y quitar es posible adicionar o eliminar el fertilizante orgánico que se esté aplicando. Se requiere conocer la cantidad aplicada en el año de estudio y su respectiva caracterización con respecto al contenido de nutrimentos. Si no se tiene esta información se sugiere usar otras referencias de composición para la biomasa o los fertilizantes.

Seleccionar el fertilizante orgánico de la lista desplegable.

Ingresar la cantidad en toneladas (base seca)/año aplicadas.

Reportar la composición con respecto al contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

/añ	% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	% CaO	% MgO
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Oprimir ENTER en el teclado o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar los valores.

Nota: si requiere agregar otro nuevo fertilizante, siga el paso a paso antes descrito.

Tabla 5. Cantidad de producto comercial aplicado y su respectiva composición según la ficha técnica.

Nombre comercial	Cantidad aplicada [t]	Composición según ficha técnica																
		Nitrógeno total [N-%]	Nitrógeno amoniacal [NH ₄ -N] [%]	Nitrógeno nítrico [NO ₃ ⁻ -N] [%]	Nitrógeno ureico [NH ₂ -N] [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	MgO [%]	CaO [%]	S [%]	B ₂ O ₃ [%]	Fe [%]	Zn [%]	Cu [%]	Mn [%]	Si [%]	Mo [%]	CO [%]
Nitropalma Evolution (46-0-0)	638,00	46,0 %			46,0 %													
Cloruro de potasio (KCl)	567,00								60,0 %									
Roca fosfórica	562,50					28,0 %			40,0 %									
Kieserita	503,10							3,0 %	24,0 %									
Enpalma - K	256,00	10,0 %	6,0 %	4,0 %		4,0 %	7,0 %			0,0 %		0,1 %	0,1 %	0,1 %				
Mezcla física (15-1,5-32,4)	249,40	15,0 %			15,0 %	1,5 %	32,4 %											
Cal Dolomita	242,00								16,0 %	34,0 %								
Bórax US 48 %	37,00											13,0 %						
Abotain	18,60	46,0 %			46,0 %													
Silicato de magnesio	11,50								39,7 %							41,1 %		

Tabla 6. Cantidad de fertilizante orgánico aplicado y su caracterización en nutrientes.

	Cantidad aplicada [t]	Nt [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	CaO [%]	MgO [%]
Tusa prensada	42.986	0,450 %	0,105 %	0,872 %	0,238 %	0,960 %
Lodos	32.211	2,3 %	0,300 %	2,500 %	0,800 %	0,600 %
Vertimiento	260.853	0,070 %	0,032 %	0,160 %	0,014 %	0,033 %

Combustibles fósiles

El uso de combustibles fósiles es una fuente de emisiones de GEI. En esta sección se debe ingresar el consumo de diésel o gasolina relacionada con las labores de cultivo y con el transporte de la fruta a la planta de beneficio.

Combustibles + Agregar - Quitar

Sistema de transporte	Tipo	Método	Cantidad
Transporte, camión > 32t, EURO3	Diesel	gal/año	1.264,00
Transporte, tractor y remolque	Diesel	gal/año	500,00

Combustible diesel, gasolina y lubricantes:

Comentario

Selección del sistema de transporte de la lista desplegable.

Sistema de transporte	Tipo	Método	Cantidad
Transporte, camión> 32t, EURO3	Diesel	gal/año	1.264,00
Transporte, tractor y re...	Diesel	gal/año	500,00
Transporte, tractor y remolque			
Transporte, camión 3.5-7.5t, EURO4			
Transporte, camión 3.5-16t, promedio de la flota (parque automotor)			
Transporte, camión> 16t, promedio de flota(parque automotor)			
Transporte, camión> 25t, promedio de flota(parque automotor)			
Transporte, camión> 32t, EURO3			
Transporte, camión> 32t, EURO4			
Transporte, camión> 32 t, EURO5			
Transporte, tractor y remolque			
Barcaza			
Carguero Oceánico			
Transporte, barcaza			
Transporte, buque de carga transoceánica			
Transporte, automóvil de pasajeros, etanol 5%			
Transporte, automóvil de pasajeros, diesel			
Bus (diesel)			
Moto			
Lubricantes			

Dependiendo del sistema elegido automáticamente aparece el tipo de combustible.

En el método se escoge el consumo de galones/año o el promedio de la distancia que recorren los vehículos para estimar el consumo de combustible.

Combustibles

+ Agregar - Quitar

Sistema de transporte	Tipo	Método	Cantidad
Others Diesel Uses	Diesel	gal/año	179.000,8
Others gasoline uses	Gasolina	gal/año	11.512,6
Total lubricants	Lubriante	gal/año	3.657,72
Transport, tractor and trailer	Diesel	tkm	50,00
Transport, lorry >32t, EURO3	Diesel	tkm	20,00
Transport, lorry >32t, EURO3	Diesel	tkm	22,35

Combustible diesel, gasolina y lubricantes:

Comentario

En este ejemplo, tenemos que el consumo de diésel al año fue de 179.000,81 galones, el de gasolina en campo de 11.512,61 galones y el total de lubricantes de 3.657,72 galones. Cuando resulta difícil establecer el consumo total de combustibles fósiles se puede estimar la emisión de GEI a través de la unidad tonelada kilómetro (t km). Esta hace referencia a la distancia en que debe ser transportada la unidad funcional (una tonelada de racimos de fruta fresca). Por ejemplo, si un tractor tiene que mover la fruta 50 km, la unidad que se ingresa a la calculadora sería 50 t km. Si la fruta desde el punto de acopio a la tolva de la planta de beneficio está a 20 km, la unidad funcional es 20 t km y se selecciona la capacidad del camión y el tipo de camión (Euro) a que corresponde. Ahora bien, por cada tonelada de RFF se movilizan 0.447 t de tusa a campo a una distancia de 50 km. En la calculadora se debe ingresar 22.35 t km relativo a su transporte.

Agroquímicos

En esta sección se especifican los agroquímicos que se usan para mejorar el rendimiento de los cultivos, garantizar la calidad de las cosechas, disminuir o controlar las plagas u otros organismos nocivos. Estos se encuentran agrupados dependiendo de su tipo: insecticidas, fungicidas, herbicidas o pesticidas.

Agroquímicos

+ Agregar - Quitar

Tipo	Agroquímico ▾	Estado	Cantidad (kg)
			0,00

Control de plagas:

- Insecticida
- Fungicida
- Herbicida
- Pesticida

Comentario

Elegir el tipo de agroquímico.

Seleccionarlo de la lista desplegable.

Control de plagas :

Tipo	Agroquímico	Estado	Cantidad (kg.)
Herbicida	<input type="text" value=""/>		0,00
	Metsulfurón metilo		
	Glifosato		
	Ametrina		
	Dicamba		
	Diquat		
	Fluazifop-p-butil		
	Hidrometilarsonato de sodio		
	Paraquat		

Determinar el estado, si es sólido o líquido

Estado
<input type="text" value=""/>
Sólido
Líquido

Ingresar la cantidad usada en el año. Si es sólido en kilogramos al año y si es líquido en litros al año.

Detallar la composición del componente activo basado en la ficha técnica (g/kg o g/l).

Oprimir ENTER en el teclado o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar los valores.

Ingresar los agroquímicos que se muestran a continuación:

Tipo	Agroquímico	Estado	Cantidad (kg/año l/año)	Concentración (gal/l)
Herbicida	metsulfuron methyl	Sólido	27,00	0,00
Herbicida	Glyphosate	Líquido	845,35	363,00
Insecticida	Lufenuron	Líquido	26,41	50,00
Fungicida	carbendazim	Líquido	21,12	500,00

Nota: si requiere agregar otro nuevo agroquímico siga el paso a paso descrito.

Cambios de uso del suelo

Las emisiones debido al cambio de uso del suelo se refieren a la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) liberados o absorbidos durante la transición de una cobertura original al establecimiento de un cultivo. En el contexto de la palma de aceite este análisis implica retroceder X años hasta la fecha de siembra para identificar qué cobertura se tenía en el área que actualmente ocupa la plantación. Para la calculadora de Cenipalma este periodo corresponde a 25 años.

Para este ejemplo se observa un cambio de uso del suelo notable con la siembra de palma de aceite. En 2021 la totalidad del área de estudio, que abarca 3.200 hectáreas, está dedicada a su cultivo representando el 100 % de la superficie. Contrastando con el panorama de hace 25 años, en 1996, el área presentaba una configuración diferente: un 6 % estaba ocupada por cuerpos de agua, un 32 % por pastizales y un 62 % por arbustos. Esto indica una transformación significativa de las coberturas.



En el formulario de la sección de cambio de uso de suelo de la calculadora se muestra las reservas de carbono del cultivo de palma de aceite y la tabla con el CUS.

Cambio de uso del suelo (¿Qué % de cobertura inicial, hoy es palma?)

Reserva de carbono Palma de Aceite: t C/ha Comentario

+ Agregar - Quitar

	Fuente	Tipo de suelo	% (0-100)
CUS:	IDEAM: Yepes, et al., IDEAM...	Superficies de agua	6,43
	IDEAM: Yepes, et al., IDEAM...	Pastos	31,75
	IDEAM: Yepes, et al., IDEAM...	Arbustales	61,82

Comentario

Combustible usado para el establecimiento del cultivo: gal/ha Comentario

Encontramos un primer campo relacionado con las reservas de carbono del cultivo de palma de aceite o el uso actual del suelo. Este valor corresponde a la cantidad de toneladas de carbono que puede almacenar el cultivo a lo largo de su vida útil, y en este caso se aconseja emplear un valor de 113 t C/ha.

El próximo paso implica registrar los usos del suelo originales o de referencia en la tabla correspondiente. Para hacerlo simplemente hacer clic en el botón “Agregar” y seleccionar el tipo de cobertura original de la lista desplegable. Los datos para estos ejemplos provienen del IDEAM, una fuente gubernamental especializada en dicha información.

Ingresar el porcentaje de la superficie total que tiene este tipo de suelo.

Oprimir ENTER en el teclado o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar los valores.

Nota: si requiere agregar otro uso del suelo siga el paso a paso descrito.

Guardar un formulario

Para guardar un formulario es preciso que los espacios obligatorios tengan la información requerida. Dichos espacios se identifican con el botón 

Luego de diligenciarlo, se debe dirigir a la parte superior, seleccionar y hacer clic en “Guardar”.

Cálculo de la huella de carbono de los racimos de fruta fresca (obtención de la materia prima)

Para calcular la huella de carbono se debe diligenciar parte o todo el formulario ya que este no calcula, si los espacios obligatorios  no contienen la información requerida.

Luego, en la parte superior seleccionar y hacer clic en “Calcular”.

Nota: si se calcula este formulario automáticamente quedará guardado.



The screenshot shows the 'Nuevo Formulario Plantación' form with the 'Guardar' button highlighted. The form contains the following data:

Información General	
Nombre del formulario:	0_Cultivo_1 * Obligatorio para identificar el formulario
Nombre de la plantación:	Plantación Ejemplo
Nombre del responsable:	David Munar
Es propietario?:	Si
Ubicación de la plantación:	km 32, Paratebueno - Cabuyaro
Descripción de la plantación:	Material de siembra, guineensis Tenera (70%) e híbrido (30%), Densidad de siembra Tenera: 143 (palmas/ha) Densidad siembra híbrido:128(palmas/ ha)



The screenshot shows the 'Nuevo Formulario Plantación' form with the 'Calcular' button highlighted. The form contains the same data as the previous screenshot:

Información General	
Nombre del formulario:	0_Cultivo_1 * Obligatorio para identificar el formulario
Nombre de la plantación:	Plantación Ejemplo
Nombre del responsable:	David Munar
Es propietario?:	Si
Ubicación de la plantación:	km 32, Paratebueno - Cabuyaro
Descripción de la plantación:	Material de siembra, guineensis Tenera (70%) e híbrido (30%), Densidad de siembra Tenera: 143 (palmas/ha) Densidad siembra híbrido:128(palmas/ ha)

Ejemplo (CUS)

Una plantación de palma de aceite realizó un estudio sobre CUS para 1995. Este abarcó 5.000 ha que estaban distribuidas en diversos usos del suelo. Determine el área de estudio y calcule el porcentaje de cobertura original que fue transformada a palma de aceite.

Cobertura o uso del suelo	1995 (ha)	2020 (ha)
Palma de aceite	2.600	4.275
Pastos	917	10
Arbustales	336	30
Bosque de galería	687	683
Suelos desnudos	458	-
Cuerpos de agua	2	2
Nubes	-	-
Total (ha)	5.000	5.000

Inicialmente se calcula el área que cambió de cada una de las coberturas. Se toma el área actual menos la de la cobertura original. Si el resultado es positivo quiere decir que hubo una expansión del cultivo; si es negativo hubo una reducción de dicha cobertura.

Cobertura o uso del suelo	1995 (ha)	2020 (ha)	Cambio
Palma de aceite	2.600	4.275	1.675
Pastos	917	10	- 907
Arbustales	336	30	- 306
Bosque de galería	687	683	- 4
Suelos desnudos	458	-	- 58
Cuerpos de agua	2	2	-
Total	5.000	5.000	-

Según la información, el cultivo de palma de aceite en los últimos 25 años tuvo una expansión de 1.675 ha. Si sumamos los valores negativos tendremos el mismo valor, pero con signo negativo (- 1.675). Quiere decir que las coberturas que redujeron sus áreas fueron transformadas a palma de aceite. Entonces, el área de estudio para este caso es 4.275 ha que corresponde a la cantidad destinada al cultivo para el 2020.

Cobertura o uso del suelo	1995 (ha) Cobertura original (C_0)	2020 (ha) Cobertura actual (C_a)	Cambio ($C_a - C_0$)	Cobertura original que se transformó a palma de aceite o era palma de aceite	% cobertura original que hoy es palma
Palma de aceite	2.600	4.275	1.675	2.600	61 %
Pastos	917	10	- 907	907	21 %
Arbustales	336	30	- 306	306	7 %
Bosque de galería	687	683	- 4	4	0 %
Suelos desnudos	458	-	- 458	458	11 %
Cuerpos de agua	2	2	-	-	0 %
Total	5.000	5.000	-	4.275	100 %

Con el área de estudio definida (4.275 ha), proseguimos a establecer la cobertura original y el porcentaje de esta que hoy es palma de aceite. Su área original era de 2.600 ha. La de pastos que fue transformada son las 907 ha que se calcularon a través de la resta entre el área actual y la original. Se hace lo mismo para las demás. Se suman los valores anteriores y se divide por el total del área de estudio (4.275 ha). De esta manera se determina que lo que hoy es palma de aceite hace 25 años era 61 % palma de aceite, 21 % pastos, 7 % arbustales y 11 % suelos desnudos.

Ejercicio CUS

En 1997, una plantación de palma de aceite abarcaba 8.302 ha distribuidas en los usos del suelo que aparecen a continuación. Determine el área de estudio sobre CUS y calcule el porcentaje de cobertura original que fue transformada.

Cobertura o uso del suelo	1997 (ha) (C_0)	2022 (ha) (C_a)	Cambio ($C_a - C_0$) (ha)	Cobertura original que se transformó a palma de aceite o era palma de aceite (ha)	% cobertura original que hoy es palma de aceite (ha)
Cuerpos de agua	2	2			
Nubes	0	0			
Bosque de galería	1.500	1.500			
Suelos desnudos	2.100	600			
Pastos	2.000	1.000			
Arbustales	2.500	1.000			
Palma de aceite	200	4.200			
Total	8.302	8.302			



Planta de beneficio Alianza de Humea. Foto: Kennyher Caballero.

Módulo de planta de beneficio

En este se concentra toda la información relativa a las operaciones llevadas a cabo en la planta de beneficio: esterilización, desfrutado, digestión y prensado, clarificación, secado, almacenamiento, tratamiento de efluentes, manejo y disposición de la biomasa, cogeneración de energía y consumo de combustibles fósiles, entre otros.

El formulario ha sido diseñado para que se pueda completar fácilmente con los datos necesarios, listas desplegables para selecciones específicas y campos para comentarios adicionales que puedan ampliar la información de un dato en particular.

Durante el proceso se ingresa el inventario de análisis del ciclo de vida. Se identifica como "0_planta de beneficio" y el nombre es "Planta de beneficio". Sin embargo, antes de comenzar es crucial definir el objetivo y alcance del estudio. Dado que en este análisis se van a generar varios productos de interés, resulta fundamental establecer un método para asignar las emisiones correspondientes. En la calculadora App Ecopalma, las de GEI se asignan siguiendo un enfoque económico. Así, aquellos productos y subproductos que cuenten con un valor en el mercado deben ser asociados a emisiones de GEI y, en consecuencia, se procede al cálculo de su huella de carbono individual.

Función: extracción de aceite de palma crudo, materia prima para gran variedad de industrias.

Unidad funcional: una tonelada de aceite de palma crudo almacenada en tanque.

Límites del sistema

- **Procesos unitarios:** esterilización, desfrutado, digestión, prensado, clarificación, secado, almacenamiento, tratamiento de efluentes, manejo y disposición de la biomasa, cogeneración de energía, consumo de combustibles fósiles, etc.
- **Temporales:** año de evaluación (ejemplo 2022).
- **Geográficos:** por ejemplo, Zona Oriental, planta de beneficio "BLUE" (incluir la dirección del predio).

Descripción de la planta de beneficio

- Esterilización vertical (# de esterilizadores, 30 toneladas cada uno).
- Cuatro prensas de capacidad de 15 t RFF/h.
- Materia prima procesada: híbrido y *guineensis*.
- Cogeneración con biomasa (energía térmica y eléctrica).
- Clarificación estática.
- Sistema de tratamiento de efluente: lagunas abiertas.

Fuente de información: bases de datos de la planta de beneficio.

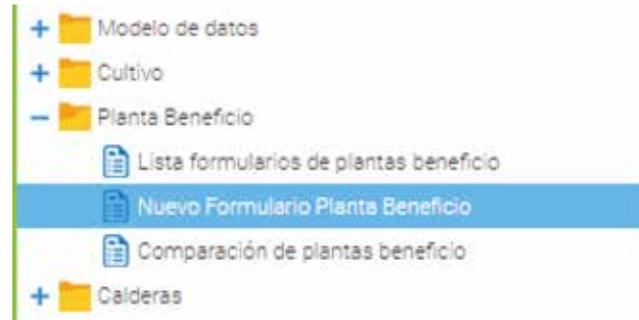
Asignación de emisiones: económico.

Para crear un nuevo formulario se debe abrir la plataforma e iniciar sesión.

En el menú de navegación seleccionar y hacer clic en “Planta Beneficio”.



Pulsar “Nuevo Formulario Planta Beneficio”.



En la parte derecha de la pantalla aparecerá el formulario y podrá empezar a diligenciar la información general.

Información General

Nombre del formulario:	<input type="text" value="0_Planta de beneficio"/>	* Obligatorio para identificar el formulario
Nombre de la planta:	<input type="text" value="Planta de beneficio"/>	
Nombre del responsable:	<input type="text" value="David Munar"/>	
Ubicación de la planta:	<input type="text" value="Cumaral, Meta"/>	
Descripción de la planta:	<input type="text" value="Esterilización vertical (3 esterilizadores 30 t C.U. - 4 prensas P15)
Materia prima procesada: híbrido y guineensis
Cogeneración con biomasa"/>	

Información de la planta de beneficio

La capacidad real de operación de la planta de beneficio se calcula dividiendo la fruta procesada al año: 352.200 t RFF entre el total de horas de operación 6.320 horas.

Información de la Planta

Capacidad real de la operación:	<input type="text" value="55,7"/>	t RFF/año	<input type="checkbox"/> Comentario
Horas de operación al año:	<input type="text" value="6.320"/>	horas/año	<input checked="" type="checkbox"/> Comentario
Fruta procesada al año:	<input type="text" value="352.200"/>	t/año	<input type="checkbox"/> Comentario

La planta reporta que las prensas estuvieron en operación 6320 horas efectivas.

Proveedores de RFF

En este cuadro debe seleccionar los proveedores de racimos de fruta fresca.

Proveedores de RFF:

Formulario	Plantación
Plantación A	A
Plantación B	B
Plantación C	C
0_Cultivo_1	Plantación Ejemplo

Comentario

Total de plantaciones ingresadas por el usuario.

Seleccionar proveedor

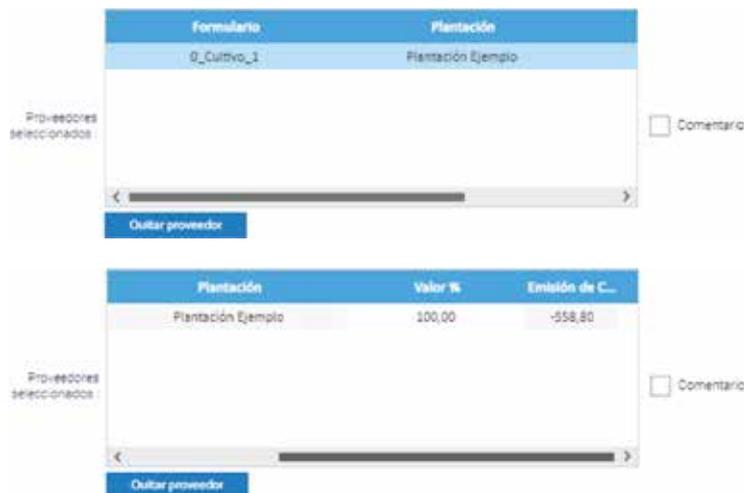
Estos botones permiten navegar por la lista de proveedores ingresados previamente. Para cargar nuevos hacer clic en 

Si es necesario buscar un proveedor, pulsar el botón , ubicado en el recuadro de la parte superior izquierda. El filtro ajustado explora nombres que contenga, en este caso la "0", y la lista queda filtrada a las plantaciones con dicho formulario. Ya identificado hacer clic en [Seleccionar proveedor](#).



Nota: en este ejemplo nos limitaremos a un proveedor de RFF. Sin embargo, es importante aclarar que las plantas de beneficio no suelen depender solo de uno. Si en los formularios de plantación se dispone de datos sobre múltiples proveedores se deben seleccionar y especificar en esta sección. Elegido el formulario, este aparecerá en la división de proveedores. Aquí es preciso ingresar el porcentaje de fruta que suministra a la planta de beneficio, que en este caso será del 100 %.

En el escenario en el que existan múltiples proveedores, a cada uno se le asigna su respectivo porcentaje de la cantidad total de fruta que fue depositada en la tolva y procesada por la planta durante el año de estudio en cuestión.



Otros cultivos de palma de aceite

Para el caso en que no se cuente con información de la etapa de cultivo, ya sea propio o de terceros, se permite incluir el valor de la huella de carbono de la producción de una tonelada de RFF. Este puede ser tomado de alguna investigación o referencia que facilite el cálculo del total de la HC de la cadena de producción del APC obtenido en la planta de beneficio evaluada. **En el ejemplo que estamos desarrollando no se va a considerar esta sección.** Sin embargo, a continuación, se explica el paso a paso.

Con el formulario abierto en “Información de la planta” realizar el siguiente proceso: pulsar el botón “Agregar” y en la nueva línea introducir el nombre en “Identificador”. En “Huella de carbono” escribir el valor. Oprimir ENTER o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar. En la columna “Valor %” ingresar el % de RFF que este proveedor envía a la planta del total que se procesa.

Nota: si requiere agregar otro formulario de HC de RFF siga el paso a paso anterior.

Otros cultivos :

Identificador	Huella de carbono	Valor %
No hay objetos a mostrar.		

Otros cultivos :

Identificador	Huella de carbono	Valor %
HC_RFF_Mexico	200,00	100,00

Servicios industriales disponibles

Vapor disponible

En esta sección se ingresa la cantidad total del vapor producido en la planta de beneficio. Hay casos en que se genera más del que se necesita y los excedentes son usados en otros procesos. Para el ejemplo, de la lista desplegable escogemos cogeneración e ingresamos la cantidad de 238.560.000 kg vapor/año.

Vapor Disponible :

+ Agregar - Quitar	
Tipo	Valor (kg/año)
Cogeneración	238.560.000,00

Energía eléctrica disponible

En Colombia, las plantas de beneficio disponen de diversas alternativas para abastecerse de energía eléctrica. Una opción consiste en la cogeneración utilizando biomasa, otra el uso de biogás en motores y generadores, también la generación a partir del diésel y finalmente la de consumo directo de la red eléctrica nacional.

Energía eléctrica disponible :

+ Agregar - Quitar	
Fuente	Valor (kWh/año)
Cogeneración	11.800.200,00
Diésel	350.000,00

En este ejemplo, la planta de beneficio genera su electricidad a través del vapor de alta presión y su paso por una turbina; la otra opción es la quema de diésel en una planta de generación de electricidad. Por cogeneración se produjeron 11.800.200 kWh/año y con diésel 350.000 kWh/año.

Consumo de diésel

A continuación, se ingresan 24.100 gal de diésel que se consumieron para generar la energía eléctrica y 18.300 que se usaron en la maquinaria dispuesta en el área de recepción de fruto para el movimiento de la fruta.

Consumo diésel para generación de energía eléctrica :	<input type="text" value="24.100"/>	gal/año
Diésel para otras actividades :	<input type="text" value="18.300"/>	gal/año

Consumo de servicios industriales

Agua de proceso

Es el agua que se usa, por ejemplo, para dilución o separación de almendra y cuesco por hidrociclón. En este caso se ingresan 237.200 m³/año.

Agua de proceso :	<input type="text" value="237.200"/>	m ³ /año
-------------------	--------------------------------------	---------------------

Consumo de vapor

Adicional al aceite de palma esta planta cuenta con el proceso de extracción de aceite de palmiste. El vapor generado debe ser distribuido entre los dos de acuerdo con su consumo. Se ingresa el uso de vapor para la unidad de aceite de palma crudo (APC) de 203.040.000 kg vapor/año y para la unidad de aceite de palmiste (APL) de 35.520.000 kg vapor/año. Recuerde oprimir ENTER o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar.

+ Agregar - Quitar

Unidad	Valor (kg/año)
Unidad APC	203.040.000,00
Unidad APL	35.520.000,00

Vapor :

Consumo de electricidad

El total de energía eléctrica que genera la planta de beneficio por cogeneración y diésel se utiliza en los procesos de extracción del aceite de palma crudo y de palmiste. Para la unidad de APC se ingresa un consumo de 10.399.900 kWh/año y para la de APL 1.750.300 kWh/año.

+ Agregar - Quitar

Unidad	Valor (kWh/año)
Unidad APC	10.399.900,00
Unidad APL	1.750.300,00

Energía eléctrica :

Productos de la planta de beneficio

Como producto principal de inventario de ACV se ingresa el aceite de palma crudo, con una producción para el año de estudio de 74.100 t APC/año y un valor de 3.959.000 COP/t APC.

Nota: recuerde que el precio del APC y demás subproductos se registra para hacer la distribución de las emisiones de GEI de acuerdo con la asignación económica.

Producción de aceite de palma : 74.100 t/año
Precio de aceite de palma : 3.959.000 COP(\$)/t

Continuando con los demás productos, agregar la cantidad extraída y su precio.

+ Agregar - Quitar

Producto	Cantidad (t/año)	Precio (\$/t)
Torta de palmiste	6.350,00	509.500,00
Aceite de palmiste	4.002,00	5.149.500,00

Productos :

Cantidad de torta de palmiste: 6.350 t con precio de 509.500 COP/t. Aceite de palmiste 4.002 t/año y 5.149.500 COP/t.

Subproductos

Como la planta cuenta con prensa-dora de tusa, el primer subproducto a ingresar es la tusa prensada, el total de fibra y cuesco extraído y la cantidad de cenizas generadas en la caldera. Adicional se debe incluir su contenido de humedad, carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N) (Tabla 7).

+ Agregar - Quitar

Sub-producto	Cantidad (t/año)	Humedad (%)
Tusa prensada	45.733,00	16,10
Fibra	45.740,00	32,00
Cuesco	19.327,00	6,00
Cenizas	2.881,00	0,00

Tabla 7. Caracterización elemental de los subproductos de la planta de beneficio.

Subproducto	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)
Tusa prensada	48,19	5,19	42,40	0,45
Fibra	49,49	18,52	39,18	0,01
Cuesco	47,57	8,81	45,25	0,58
Cenizas	0	0	0	0

Otros productos comprados

En esta sección se reportan las cantidades (toneladas al año) de materias primas que han sido compradas para el proceso. Por ejemplo, la almendra para extracción de aceite de palmiste. Para el desarrollo del ejercicio de HC de esta cartilla no se consideró esta sección, por lo que no se registran valores asociados.

	+ Agregar - Quitar
Producto	Cantidad (t/año)
Otros productos Comprados :	No hay objetos a mostrar.

Efluentes

Del proceso de extracción también se obtienen efluentes. Estos se forman con el agua que contiene el fruto, el vapor que condensa y el agua de proceso añadida, entre otros. Por ejemplo, la planta reporta una generación de efluentes de 294.087 m³ al año. En la calculadora se debe ingresar el indicador de generación de estos expresado por tonelada de RFF así:

$$\text{Efluentes} = \frac{294.087 \text{ m}^3 \text{ efluente}}{352.200 \text{ t RFF}} = 0,835 \frac{\text{m}^3 \text{ efluente}}{\text{t RFF}}$$

Efluentes : m³/t RFF

Uso de la biomasa

La biomasa se genera en campo y se procesa en la planta de beneficio requiriendo una gestión eficiente y la aplicación de principios de economía circular para su óptimo uso. Actualmente se emplea de diversas maneras: se dispone en el terreno para enriquecer los nutrientes del suelo, se somete a combustión en calderas para generar energía térmica y eléctrica y se aprovecha en procesos de compostaje. Además, existen alternativas potenciales como la producción de biocarbón o la formación de aglomerados de biomasa, entre otras.

+ Agregar - Quitar

Biomasa	Campo (%)	Caldera (%)
Tusa prensada	94,00	6,00
Fibra	0,00	100,00
Cuesco	0,00	94,00
Cenizas	0,00	0,00
Efluentes	100,00	0,00

Uso de biomasa :

Biomasa	Campo (%)	Caldera (%)	Compost (%)	Otro
Tusa prensada	94	6	0	0
Fibra	0	100	0	0
Cuesco	0	94	0	6
Cenizas	0	0	0	100
Efluentes (vertimientos)	100	0	0	0

En este caso, la ceniza tiene otro uso como lo es la adecuación de vías dentro de la planta de beneficio.



Planta de beneficio El Quitebe.
Foto: Kennyher Caballero.

Sistema de tratamiento de efluentes y otros datos

En esta sección se debe especificar la información relacionada con los efluentes, el compostaje, el fertirriego y la generación de energía con turbina.

Biodigestores :	<input type="text" value="No"/>	<input type="checkbox"/> Comentario
Compostaje :	<input type="text" value="No tengo compost"/>	<input type="checkbox"/> Comentario
Turbina :	<input type="text" value="Si"/>	<input type="checkbox"/> Comentario
Palmistería :	<input type="text" value="Si"/>	<input type="checkbox"/> Comentario
DQO Efluente :	<input type="text" value="43.500"/>	mg/l
DQO Salida sistema anaeróbico :	<input type="text" value="13.400"/>	mg/l
DQO salida sistema aeróbico :	<input type="text" value="9.200"/>	mg/l
DQO riego de compost :	<input type="text" value="0"/>	mg/l
Fertirriego :	<input type="text" value="Si"/>	<input type="checkbox"/> Comentario
Contenido de nitrógeno vertimiento :	<input type="text" value="146"/>	mg/l

Los datos de demanda química de oxígeno (DQO) son importantes porque permiten estimar las emisiones de metano en las lagunas de estabilización.

Uso de biogás capturado

Si la planta de beneficio está equipada con lagunas carpadas es esencial proporcionar detalles sobre el tratamiento subsiguiente del biogás. En este caso en particular, la planta tiene lagunas no cubiertas lo que implica que el biogás no se está aprovechando. No obstante, existen diversas aplicaciones potenciales como su quema en TEA, su conversión en electricidad, su utilización para generar calor, o en caso de escapes, como liberaciones.

+ Agregar - Quitar

% Quema en Tea	% Generación de electricidad...	% Generación de calor
Uso de biogas capturado : hay objetos a mostrar.		

< ————— >

Red eléctrica nacional

En caso de que la planta de beneficio consuma electricidad de la red nacional es posible escoger la fuente y su factor de emisión en esta sección (para el ejemplo esto no aplica). Por otra parte, si se quieren modelar factores de emisión por la producción de electricidad dependiendo de la matriz energética, la calculadora permite agregar el tipo de recurso que se usa y su participación.

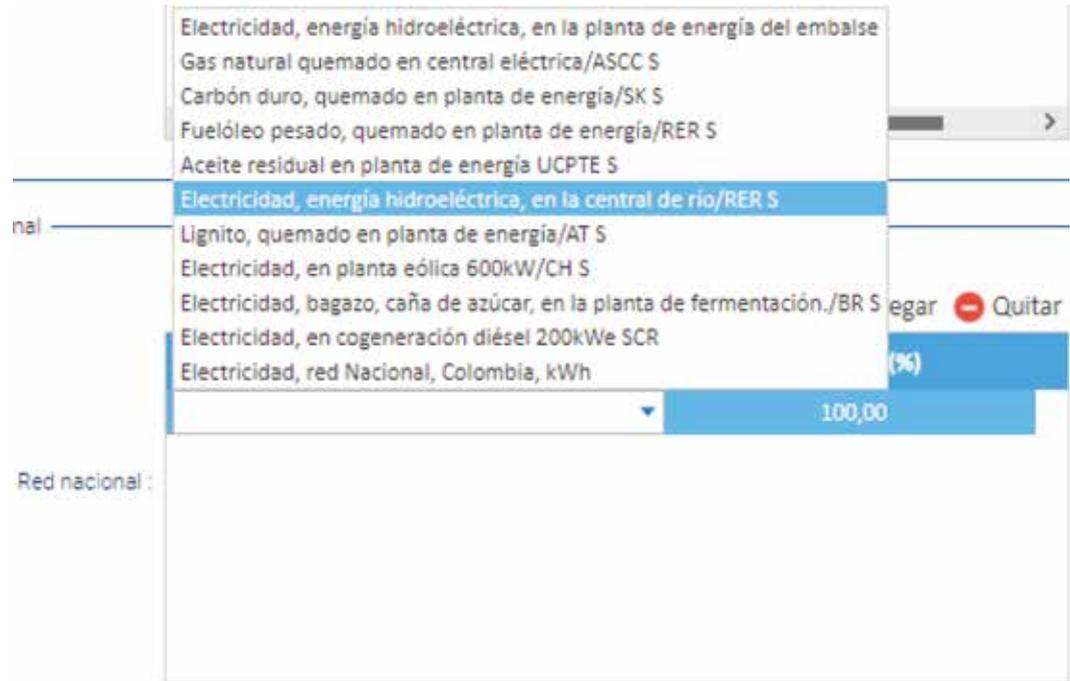
Red Nacional

+ Agregar - Quitar

Tipo	Cantidad (%)
Electricidad, red Nacional, Colombia, kWh	100,00

Red nacional: Comentario

Para crear una matriz energética hacer clic en el botón “Agregar” y en la nueva línea seleccionar la columna “Tipo”. En esta aparece una lista desplegable con las diferentes fuentes para generación de electricidad.

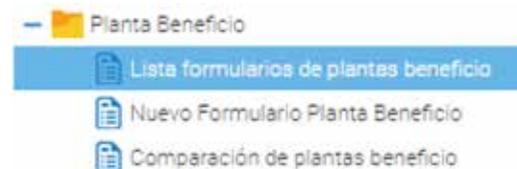


En “Cantidad” escribir en porcentaje la energía que se genera con esta fuente. Oprimir ENTER o hacer doble clic fuera de la tabla para guardar.

Nota: si requiere agregar otro tipo de red nacional siga el paso a paso anterior. Tenga en cuenta que el total de los porcentajes debe sumar 100 %.

Consulta de la lista de formularios de plantas beneficio

Si se cuenta con varios formularios guardados es posible buscarlos en la carpeta “Planta Beneficio”.

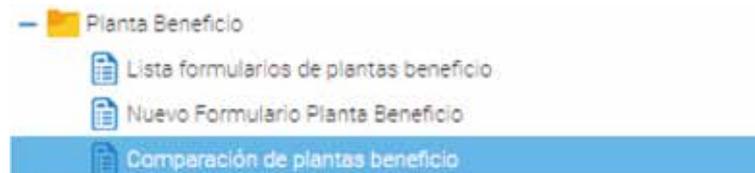


Cuando se despliegue el listado de opciones seleccionar y hacer doble clic en “Lista formularios de plantas beneficio”. En la parte derecha de la pantalla aparecen los formularios previamente guardados. Al pulsar alguno de ellos se puede modificar la información allí consignada.

ID	Formulario	Plantación	Responsable	Ubicación
120	0_Planta de beneficio	Planta de beneficio	David Munar	Cumaral, Meta
34	Comparacio_planta	Comparacion	David Munar	Cumaral
35	(Duplicado) Comparacio_pl...	Comparacion	David Munar	Cumaral

Comparación de plantas beneficio

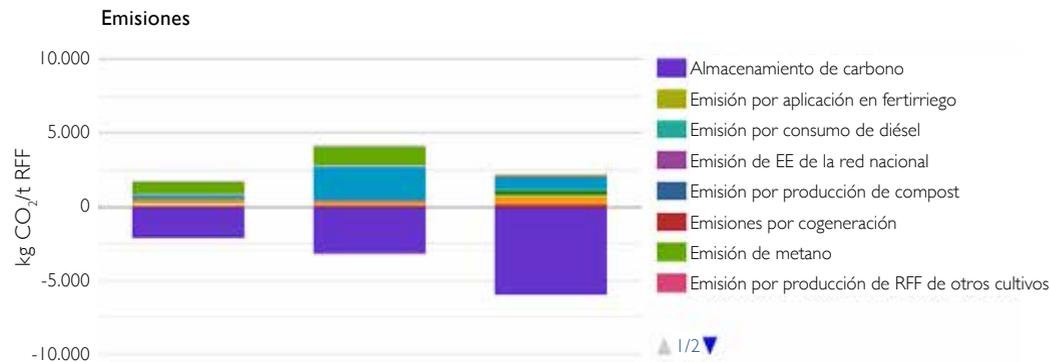
La calculadora App Ecopalma ofrece la opción de comparar la información previamente almacenada. Por ejemplo, hacer seguimiento a la HC mes a mes o año a año. Para realizar esta acción se debe acceder al programa, dirigirse al menú de navegación y hacer clic en “Planta Beneficio”.



Cuando se despliegue la lista de opciones seleccionar “Comparación de plantas beneficio”. En la parte derecha de la pantalla encontrará los formularios previamente guardados. Para que aparezcan todos se debe hacer clic sobre alguno de ellos.

Formulario	Plantación	Emisión de CO2
Planta 1N	1N	-5414,81
Planta 2O	2O	0,00
Planta 1C	1C	-4081,40
Planta 1N	1N	-7095,97
Planta 2O	2O	-3459,20
Planta 1C	1C	0,00
GRUPO 1	1C	-4222,07

De la lista se elige el formulario que se quiere cotejar y se pulsa “Agregar”. Luego se sigue con el otro y así sucesivamente con todos los que se necesiten. Después de realizar el proceso, automáticamente van apareciendo las gráficas de emisiones para realizar la comparación.



Resultados

La calculadora App Ecopalma permite visualizar los resultados de la HC en forma de tablas y gráficos, tanto para cultivo como para planta de beneficio.

Cultivo

Resultados en tabla

La tabla del inventario de análisis del ciclo de vida (ACV) resume todos los consumos durante la etapa de cultivo, expresados en la unidad funcional de una tonelada de racimos de fruta fresca (1 t RFF) y en un periodo anual. Estos datos están organizados por actividad. En el caso de la fertilización química y orgánica se expresa por cantidad de nutriente aplicado, mientras que en agroquímicos se indica el componente activo utilizado. En cuanto a los combustibles se registra el consumo total para el transporte y otras labores (Tabla 8).

Tabla 8. Ejemplo de inventario de análisis del ciclo de vida expresado por la unidad funcional, etapa de cultivo.

Fertilización química				
N	3,86	kg N/t RFF	370,17	t/año
P ₂ O ₅	1,81	kg P ₂ O ₅ /t RFF	174,04	t/año
K ₂ O	5,26	kg K ₂ O/t RFF	505,22	t/año
S	0,00	kg S/t RFF	0,00	t/año

Continúa →

Fertilización química				
CaO	3,20	kg CaO/t RFF	307,28	t/año
MgO	1,79	kg MgO/t RFF	172,26	t/año
B ₂ O ₃	0,05	kg B ₂ O ₃ /t RFF	4,81	t/año
Total	15,98	kg fertilización/t RFF	1.533,78	t/año
Agroquímicos				
Total	-	kg agroquímicos/t RFF	0,35	t/año
Fertilización orgánica				
CaO	9,73	kg CaO/t RFF	934,3	t/año
MgO	1,45	kg MgO/t RFF	139,62	t/año
N	12,29	kg N/t RFF	1.179,46	t/año
P ₂ O ₅	7,17	kg P ₂ O ₅ /t RFF	688,36	t/año
K ₂ O	3,11	kg K ₂ O/t RFF	298,53	t/año
Total	33,75	kg fert. org./t RFF	3.240,27	t/año

Continúa ➔

Combustibles				
Gasolina	1,02	kg gas/t RFF	97,6	t/año
Diésel	22,98	kg diésel/t RFF	2.153,51	t/año
Lubricantes	0,41	kg lubricantes/t RFF	39,67	t/año
Total	24,41	kg combustibles/t RFF	2.290,78	t/año

Siguiendo el proceso de cálculo realizado, como ejemplo, en la Tabla 9 se detalla el resultado de las emisiones de GEI obtenidas para la producción de 1 t RFF. Tenga en cuenta que estas se asocian a diversas actividades como se lista a continuación.

- **Agroquímicos:** derivadas del uso de productos como insecticidas, herbicidas, fungicidas, entre otros.
- **Fertilizantes químicos:** vinculadas a su producción y transporte.
- **Emisiones directas e indirectas de óxido nitroso:** asociadas al uso de fertilizantes nitrogenados.
- **Transporte y consumo de combustibles fósiles:** relacionadas con el desplazamiento de la fruta en el campo hasta la tolva y con el consumo de combustibles fósiles en las labores de cultivo.
- **Cambio de uso del suelo (CUS):** relativas al cambio de cobertura vegetal para el establecimiento del cultivo de palma de aceite.
- **Secuestro de carbono:** recuerde que dentro de la HC de un cultivo se consideran tanto las emisiones como las absorciones o secuestro de carbono. Este se asocia con el dióxido de carbono almacenado por el cultivo durante sus procesos de fotosíntesis y crecimiento.
- **Huella de carbono:** corresponde a la suma de las emisiones de GEI y las absorciones de carbono.

Tabla 9. Emisiones de GEI de las principales actividades para la producción de 1 t RFF.

Productos ambientales				
Agroquímicos	0,06	kg CO _{2eq} /t RFF	5,31	t CO _{2eq} /año
Fertilizantes químicos	26,4	kg CO _{2eq} /t RFF	2.534,51	t CO _{2eq} /año
Emisión directa N ₂ O	87,05	kg CO _{2eq} /t RFF	8.357,27	t CO _{2eq} /año
Emisión indirecta N ₂ O	28,93	kg CO _{2eq} /t RFF	2.776,96	t CO _{2eq} /año
Transporte	4,2	kg CO _{2eq} /t RFF	402,72	t CO _{2eq} /año
CUS	123,22	kg CO _{2eq} /t RFF	11.829,63	t CO _{2eq} /año
Total	269,86	kg CO_{2eq}/t RFF	25.906,41	t CO_{2eq}/año
Secuestro de carbono				
Total	- 828,67	kg CO_{2eq}/t RFF	- 79.552,41	t CO_{2eq}/año
Huella de carbono				
HC	- 558,81	kg CO_{2eq}/t RFF	53.646,01	t CO_{2eq}/año

Resultados gráficos

La calculadora App Ecopalma permite visualizar los resultados en forma de barras o en diagrama circular (torta) para facilitar la lectura de la participación de las emisiones por actividad (Figura 9).

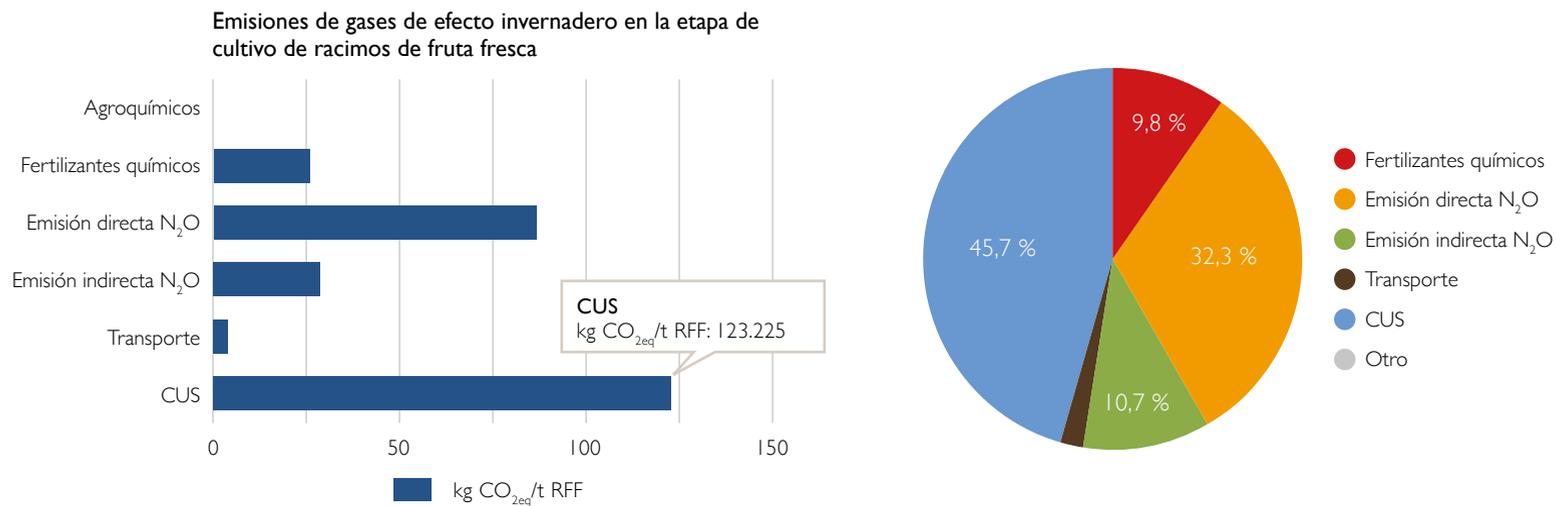
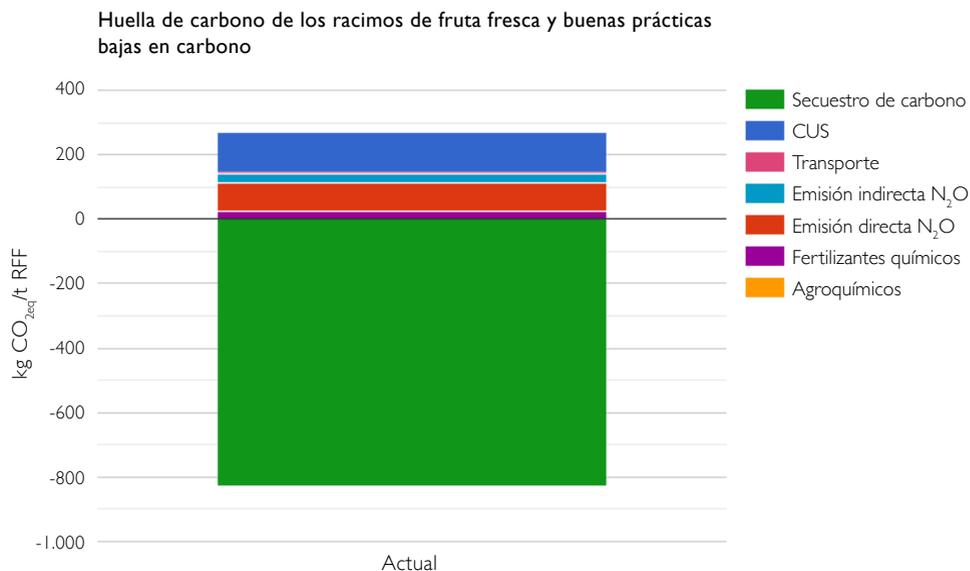


Figura 9. Emisiones de gases de efecto invernadero para la etapa de cultivo de palma de aceite. Izquierda: barras, derecha: diagrama circular.

A continuación, se muestra el resultado final de la HC para la etapa de cultivo generado por la calculadora. Los valores superiores a cero son emisiones de GEI, mientras que los menores a cero son remociones de GEI, es decir, son fuente de mitigación.



Planta de beneficio

Resultados en tabla

En la Tabla 10 se expone el balance de masa y el inventario de ACV de la extracción de aceite de palma crudo. Los valores son expresados por tonelada de APC, que es la unidad funcional que se usa para el cálculo de las emisiones en dicha etapa de la cadena productiva.

En esta sección se presenta la cantidad de RFF (kg) necesaria para obtener una tonelada de APC a las condiciones de operación de la planta de beneficio. Adicionalmente, las demandas de agua y vapor para el proceso. Como salida, se tiene la biomasa residual y los productos principales del proceso. También se hace un balance de agua y del sistema de cogeneración, y se muestra la biomasa disponible después de su aprovechamiento.

Tabla 10. Inventario de ACV y balance de masa para la etapa de extracción de aceite de palma crudo.

Balance de materia		
Entradas		
Racimo de fruta fresca	4.753,04	kg/t APC
Vapor	3.219,43	kg/t APC
Agua de proceso	3,2	m ³ /t APC
Salidas		
Aceite de palma	1.000,00	kg/t APC
Torta de palmiste	85,7	kg/t APC
Aceite de palmiste	54,01	kg/t APC
Tusa prensada	617,18	kg/t APC
Fibra	617,27	kg/t APC
Cuesco	260,82	kg/t APC
Cenizas	38,88	kg/t APC
POME	3.968,79	kg/t APC
Balance de agua		
Entradas		
Agua de proceso + vapor + fruto	11.173,55	kg/t APC

Continúa ➔

Salidas		
Productos + POME	6.642,65	kg/t APC
Evaporación en proceso	4.530,90	kg/t APC
Balance sistema de cogeneración		
Entradas		
Cuesco	260,82	kg/t APC
Fibra	617,27	kg/t APC
Agua para caldera	3.219,43	kg/t APC
Salidas		
Vapor	3.219,43	kg/t APC
Cenizas	38,88	kg/t APC
Electricidad	159,25	kWh/t APC
Biomasa disponible		
Tusa prensada	0	kg/t APC
Fibra	0	kg/t APC
Cuesco	15,65	kg/t APC
Cenizas	38,88	kg/t APC
Efluentes	0	kg/t APC

Tabla 11. Emisiones de GEI de la etapa de cultivo y de la extracción de aceite de palma crudo.

Balance de emisiones		
Emisión por producción de RFF	-2.456,39	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión por producción de RFF de otros cultivos	0	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión de metano	839,52	kg CO _{2eq} /t APC
Emisiones por cogeneración	13,75	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión por producción de compost	0	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión de energía eléctrica de la red nacional	0	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión por consumo de diésel	1,06	kg CO _{2eq} /t APC
Emisión por aplicación en fertirriego	0	kg CO _{2eq} /t APC
Total de emisiones	-2.441,59	kg CO_{2eq}/t APC

Continúa ➔

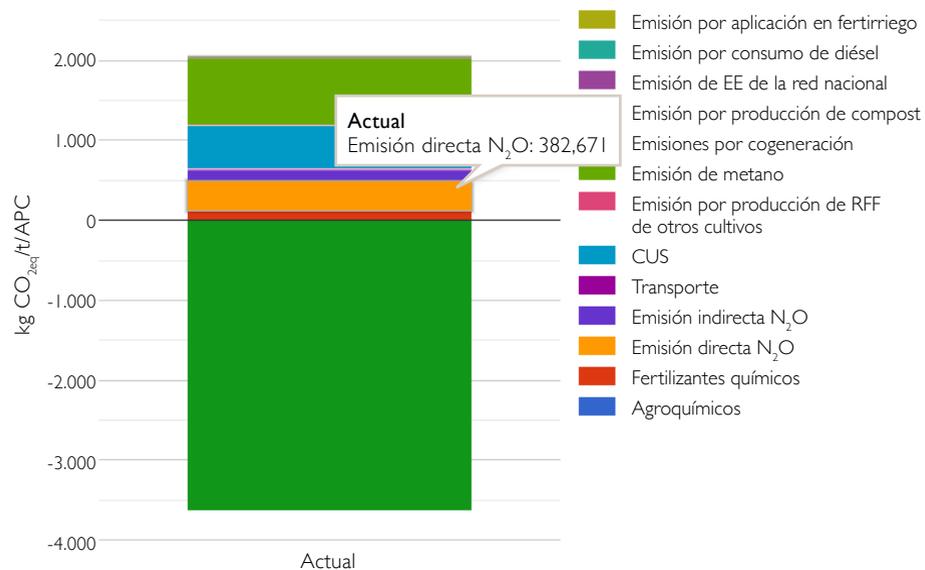
Huella de carbono de los productos

Aceite de palma	-2.258,06	kg CO _{2eq} /t P
Torta de palmiste	-290,6	kg CO _{2eq} /t P
Aceite de palmiste	-2.937,08	kg CO _{2eq} /t P
Tusa prensada	0	kg CO _{2eq} /t P
Fibra	0	kg CO _{2eq} /t P
Cuesco	0	kg CO _{2eq} /t P
Cenizas	0	kg CO _{2eq} /t P
POME	0	kg CO _{2eq} /t P

Resultados gráficos

Los resultados gráficos permiten identificar las emisiones por actividad desde el cultivo hasta la etapa de la planta de beneficio. Los valores menores a cero indican las absorciones de dióxido de carbono que tienen lugar durante la fase de cultivo; los mayores a cero corresponden a las emisiones tanto del cultivo como de la planta de beneficio, como por ejemplo el metano de las lagunas de estabilización, el metano y el óxido nitroso derivados de la quema de biomasa y las emisiones generadas por el consumo de diésel en la planta de beneficio.

Dependiendo de los procesos que se lleven a cabo podrían surgir nuevas fuentes de emisión, como aquellas relacionadas con el compostaje y el fertirriego.





UNIDAD IV

¿Cómo reducir la huella
de carbono del aceite
de palma crudo?

Foto: Maribel Teatín García.



Palmas del Cesar. Foto: Carlos Fernández.

Existe un potencial significativo de mejora en el balance de emisiones de GEI en la cadena de producción del aceite de palma crudo del país. La aplicación de buenas prácticas bajas en carbono (BPBC) puede contribuir a su reducción y al aumento del almacenamiento de carbono del cultivo (Chaparro *et al.*, 2020). Las BPBC con mayor contribución son: a) Disminuir el impacto de CUS mediante la siembra en áreas adecuadas y disponibles (tierras de cultivo, pastizales). b) Minimizar el uso de fertilizantes químicos con alta HC (por ejemplo, urea, nitrato de amonio). c) Aplicar acondicionadores de suelo como compost. d) Aumentar el rendimiento del cultivo por unidad de área en RFF y APC por ha. e) Reducir el consumo de diésel. f) Capturar y usar el biogás. h) Utilizar los vertimientos de la salida del STAR como agua de riego en las plantaciones cercanas (cuando sea posible) (Chaparro *et al.*, 2020) (Ramírez *et al.*, 2020).

Una de las principales es aumentar el rendimiento de los cultivos ya que de continuar la baja eficiencia en la producción, se corre el riesgo de generar emisiones directas por el CUS para suplir la demanda de los productos en los próximos años (Ramírez *et al.*, 2020). Su mejora permite no solo minimizar el impacto por el uso del suelo (más producto en menos área), sino que también está asociada a la reducción de las emisiones de GEI, empleo eficiente del recurso hídrico y favorecimiento de la biodiversidad (Ramírez *et al.*, 2021; Ramírez *et al.*, 2022).

La captura del biogás generado en el sistema de tratamiento de los efluentes de las plantas de beneficio tiene un gran impacto debido a que su mayor componente es el metano, uno de los GEI con mayor PCG comparado con el CO₂. Agregar valor a la biomasa contribuye a la cadena de producción ya que es una materia prima que no requiere tierra adicional y no es útil para el consumo humano. De esta manera se ayuda a evitar la deforestación y la competencia por la tierra con la producción de alimentos (IEA Bioenergy, 2016).

En general, las mejoras en la cadena de producción del APC con la implementación de BPBC tienen el potencial de ayudar a la disminución de hasta un 55 % de las emisiones de GEI en comparación con la situación actual (Ramírez *et al.*, 2020). En la Tabla 12 se presentan las BPBC con su potencial de reducción de emisiones y sus cobeneficios.

Tabla 12. Buenas prácticas agroindustriales bajas en carbono para la cadena de producción del APC (Munar et al., 2022). Los (+) y (-) hacen referencia al aumento o disminución del impacto de los beneficios por la aplicación de la práctica.

Práctica	Componente	Punto de reducción	Potencial de reducción de GEI	Cobeneficio
Cultivar en áreas previamente intervenidas o sin cobertura boscosa.	Prevención de la deforestación de áreas con alto contenido de carbono.	Cambio del uso del suelo.	Alto	(+) Biodiversidad
	Prevención en la intervención de áreas con alta biodiversidad.		Alto	(+) Biodiversidad
	Siembra en áreas degradadas.		Alto	(+) Restauración
	Evitar la siembra en suelos con alto contenido de carbono.		Alto	(+) Biodiversidad
Utilizar con eficiencia fertilizantes y enmiendas del suelo.	Manejo de dosis, fuentes, tipo de fertilizante, tiempo y lugar de aplicación.	Manufactura, transporte y uso de fertilizantes.	Medio	(-) Eutrofización
	Inhibidores de nitrificación y uso de fertilizantes de liberación lenta.		Alto	
	Abonos orgánicos.		Medio	
	Establecimiento de coberturas.		Medio	
Captura y uso del biogás.	Reducción de las emisiones de metano a la atmósfera.	Procesamiento del fruto.	Alto	(+) Uso eficiente de energía verde

Continúa ➔

Práctica	Componente	Punto de reducción	Potencial de reducción de GEI	Cobeneficio
Aumentar la productividad de la planta de beneficio.	Mejora continua del proceso industrial.	Procesamiento del fruto.	Alto	(+) Optimización del proceso industrial
	Reducción del consumo del agua.		Medio	(-) Reducción de efluentes
	Calidad de la materia prima.		Alta	(-) Reducción de pérdidas de aceite
	Capacitación del personal de la planta.		Bajo	(+) Buenas prácticas de manufactura
	Indicadores de desempeño del proceso energético y ambiental.		Alto	(+) Seguimiento y uso eficiente de servicios industriales
Valor agregado de la biomasa (bioeconomía).	Producción de compost y uso del efluente.	Alto	(+) Economía circular y aplicación de modelos de biorrefinería	
	Cogeneración de energía con biomasa residual y biogás.	Alto	(-) Dependencia de combustibles fósiles	
	Usos alternativos de la biomasa.	Medio	(+) Bioeconomía	

Considerando la importancia de la aplicación de las BPBC, la calculadora App Ecopalma cuenta con un módulo que permite ver el potencial de reducción de las emisiones estimadas con los datos ingresados al sistema. Las buenas prácticas bajas en carbono están relacionadas con: i) reducción del uso de fertilizantes químicos, ii) disminución del consumo de combustibles fósiles y iii) captura de metano. A continuación, se muestra el paso a paso.

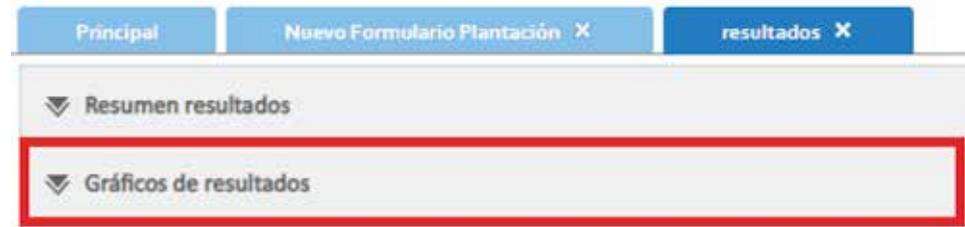
Uso de fertilización orgánica. Permite identificar el potencial de reducción de emisiones con la aplicación de fertilizantes orgánicos en lugar de la fertilización química tradicional.

Práctica 1: suplir el 100 % de fertilizantes químicos por orgánicos.

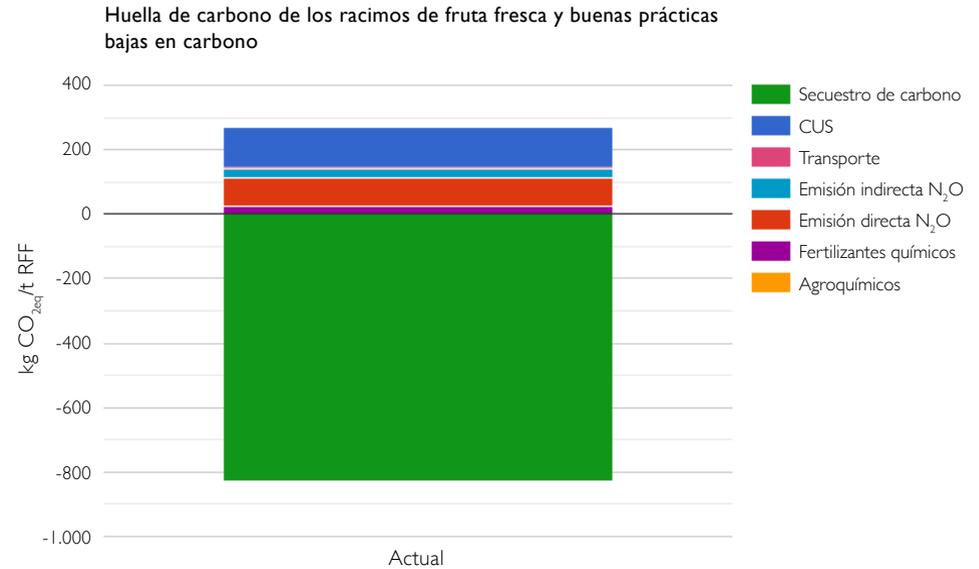
Práctica 2: reemplazar una parte de la fertilización química por orgánica.

Estas prácticas buscan reutilizar los nutrimentos contenidos en la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma. Cuando la biomasa se dispone en el cultivo como fertilizante orgánico se recuperan los nutrientes y se cierran los ciclos de materia y energía, aplicando de esta manera un modelo de economía circular. El efecto que tiene en las emisiones de GEI se relacionan con la disminución de los requerimientos de fertilización química y cobeneficios en las propiedades del suelo. La práctica se activa cuando ya se ha calculado la HC original.

Abrir la pestaña “Gráficos de resultados”.



Con el resultado gráfico de la HC seleccionar la práctica número 1.



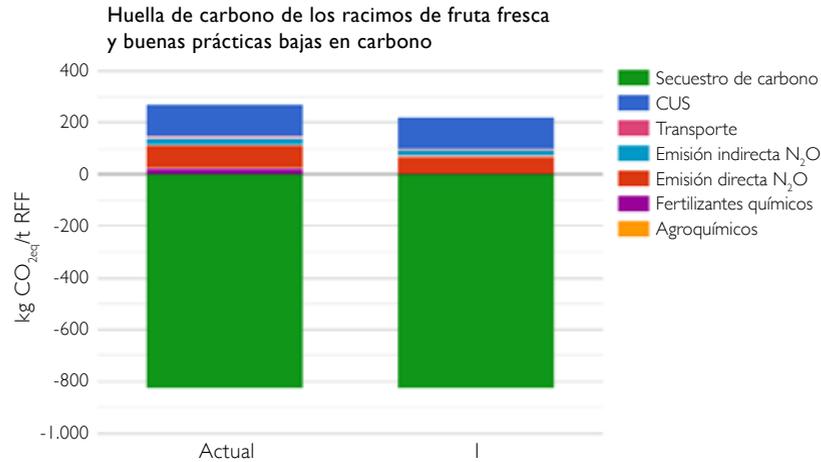
Pulsar alguna de las dos primeras prácticas.

Selección de buenas prácticas bajas en carbono

<input checked="" type="checkbox"/>	Práctica 1
<input type="checkbox"/>	Práctica 2
<input type="checkbox"/>	Práctica 3
<input type="checkbox"/>	Práctica 4
<input type="checkbox"/>	Práctica 5

Luego, se puede visualizar en la gráfica de barras compuesta otra nueva columna que evidencia la reducción de la huella.

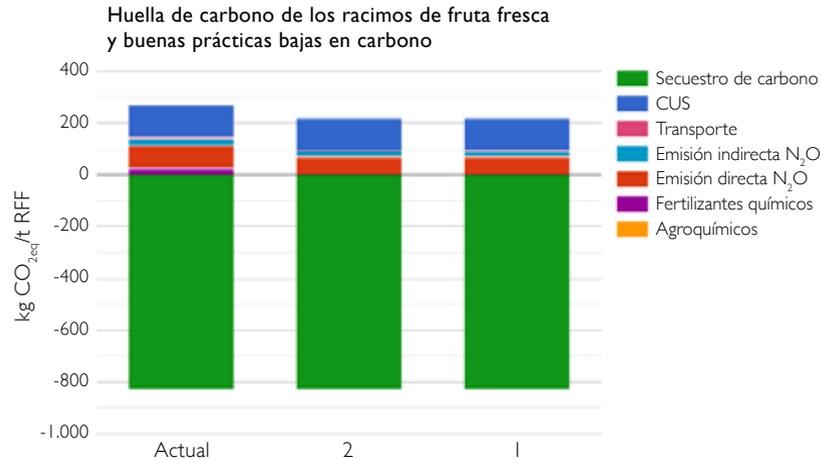
Práctica 1



Selección de buenas prácticas bajas en carbono

- Práctica 1
- Práctica 2
- Práctica 3
- Práctica 4
- Práctica 5

Práctica 2



Selección de buenas prácticas bajas en carbono

- Práctica 1
- Práctica 2
- Práctica 3
- Práctica 4
- Práctica 5

Práctica 3

Cambios en transporte y consumo de combustibles fósiles

Para realizar el nuevo cálculo se requiere que la HC ya se haya estimado previamente y aparezca en la gráfica de barras.



Después de elegir la práctica 3, automáticamente aparece la siguiente ventana que permite cambiar el tipo de combustible. El manejo es igual a cuando se ingresaron los datos iniciales de combustibles. Hacer clic en "Aceptar".

Combustibles

+ Agregar - Quitar

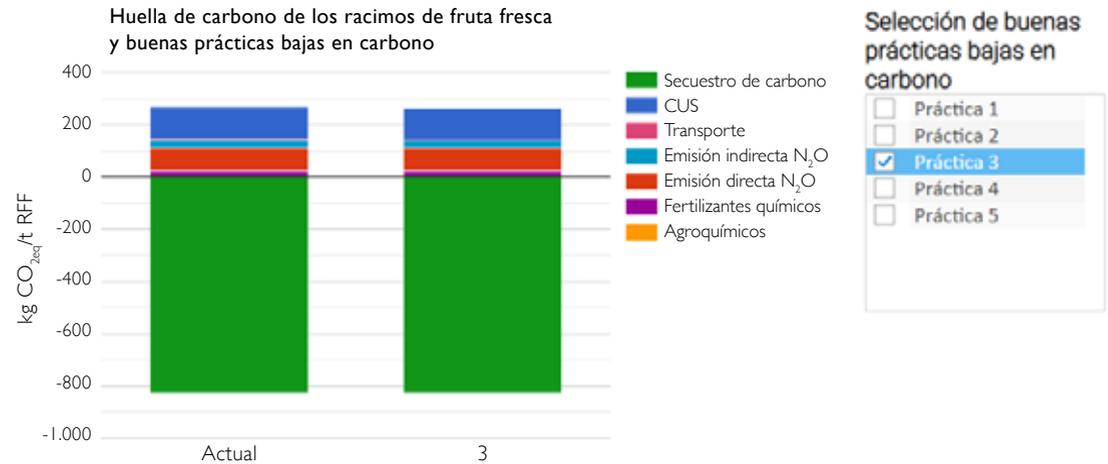
Sistema de transporte	Tipo	Método	Cantidad
Others Diesel Uses	Diesel	gal/año	179,000.81
Others gasoline uses	Gasolina	gal/año	11,512.61
Total lubricants	Lubriante	gal/año	3,657.72
Transport, tractor and trailer	Diesel	tkm	50,00
Transport, lorry >32t, EURO3	Diesel	tkm	20,00

Combustible diesel, gasolina y lubricantes:

< >

Aplicar

Después de modificar los combustibles se puede visualizar en la gráfica de barras compuesta una nueva columna con la reducción de la HC.



Práctica 4

Cambios en la fertilización

Primero se debe contar con los resultados iniciales de la HC en la gráfica de barras.



Después de seleccionar la práctica 4, automáticamente aparece la siguiente ventana que permite cambiar los fertilizantes químicos.

Fertilización

+ Agregar - Quitar

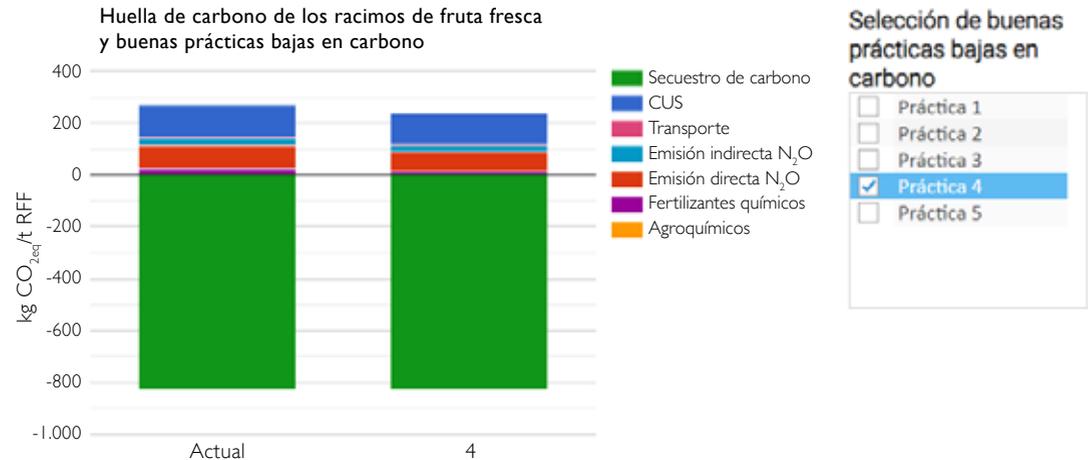
Nombre Comercial del producto	Cantidad (t/año)
Borax	37,00
KCL	567,00
Cal Dolomita	242,00
Abotain	18,60
Empalma K	18,60
Roca fosforica	562,50
Urea	508,10

Fertilización química:

El manejo es igual a cuando se ingresaron los datos iniciales de fertilizante químico.

Hacer clic en “Aplicar”.

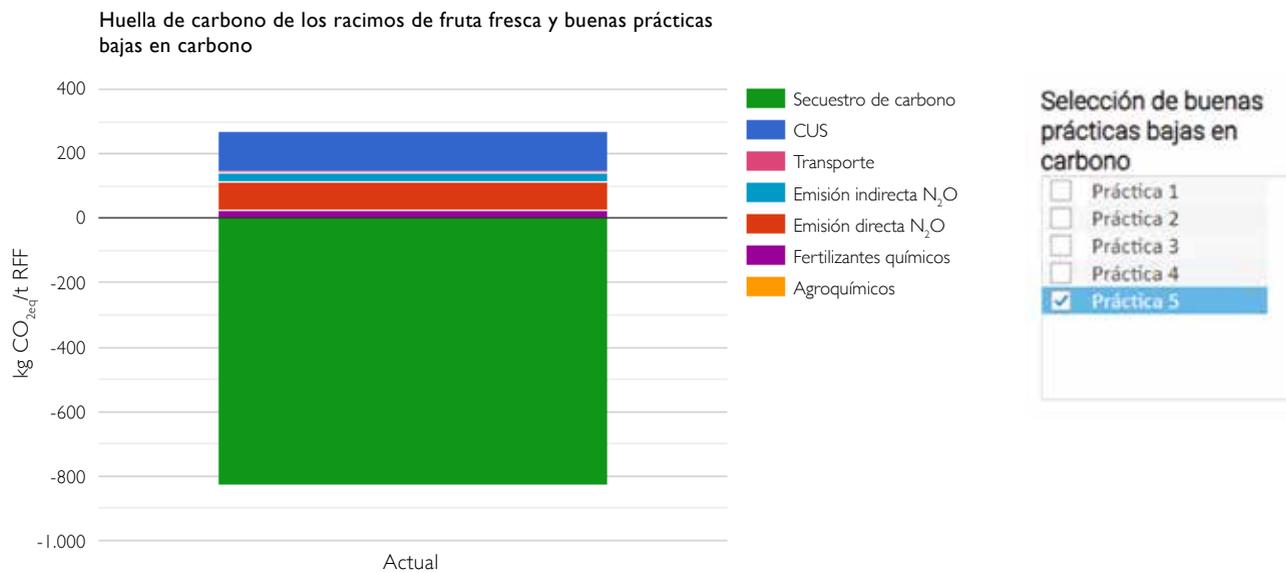
Realizar los cambios en fertilizante químico. Luego en la gráfica de barras compuesta, se puede visualizar una nueva columna que evidencia la reducción de la HC.



Práctica 5

Mejorar todos los datos del inventario

Como en las anteriores, primero se debe contar con los resultados iniciales de la HC en la gráfica de barras.



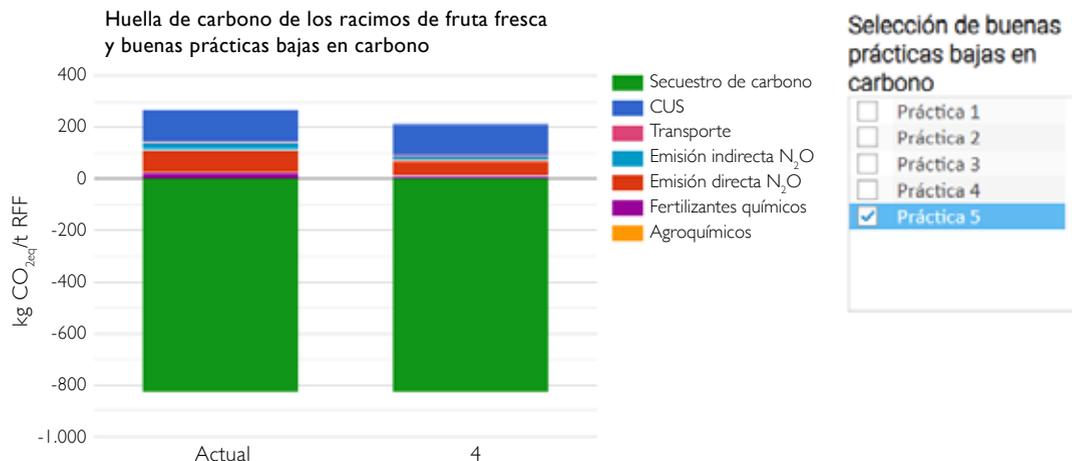
Después de elegir la práctica 5, automáticamente aparece la siguiente ventana que permite cambiar los datos de CUS, los fertilizantes químicos y orgánicos, y los combustibles fósiles.

Fertilizante	Cantidad (t/año)	% N	% P ₂ O ₅	
Tusa	42.989,00	0,45	0,10	0,
Lodos	32.211,00	2,30	0,30	2,
Vertimientos	260,85	0,67	0,30	0,

Sistema de transporte	Tipo	Método	Cantidad
Others Diesel Uses	Diesel	gal/año	179.000,81
Others gasoline uses	Gasolina	gal/año	11.512,61
Total lubricants	Lubriante	gal/año	3.657,72
Transport, tractor and trailer	Diesel	tkm	50,00
Transport, lorry >32t, EURO8	Diesel	tkm	20,00

El manejo de esta tabla es igual: modificar los datos escogidos y hacer clic en “Aplicar”.

Luego se puede visualizar en la gráfica de barras compuesta una nueva columna que muestra la reducción de la HC.



Buenas prácticas bajas en carbono – Planta de beneficio

Se requiere que se haya calculado la huella de carbono previamente.

Abrir la pestaña “Gráficos de resultados”.



En la parte inferior se encuentra la ventana con las buenas prácticas.

Simulaciones de buenas prácticas bajas en carbono

+ Agregar - Quitar

	Biomasa	Compo (%)	Caldera (%)	
Uso de biomasa:	Tusa prensada	94,00	6,00	<input type="checkbox"/> Comentario
	Fibra	0,00	100,00	
	Curtizas	0,00	94,00	
	Cenizas	0,00	0,00	
	Efluentes	100,00	0,00	

Biogestores: No Comentario

Compostaje: No tengo compost Comentario

Turbinas: Si Comentario

Palmisteria: Si Comentario

BOD Efluente: 49.800 mg/l Comentario

BOD Salida sistema anaerobico: 13.400 mg/l Comentario

BOD Salida sistema aerobico: 9.200 mg/l Comentario

BOD riego de compost: 0 mg/l Comentario

Fertilizante: Si Comentario

Contenido de nitrógeno fertilizante: 146 mg/l Comentario

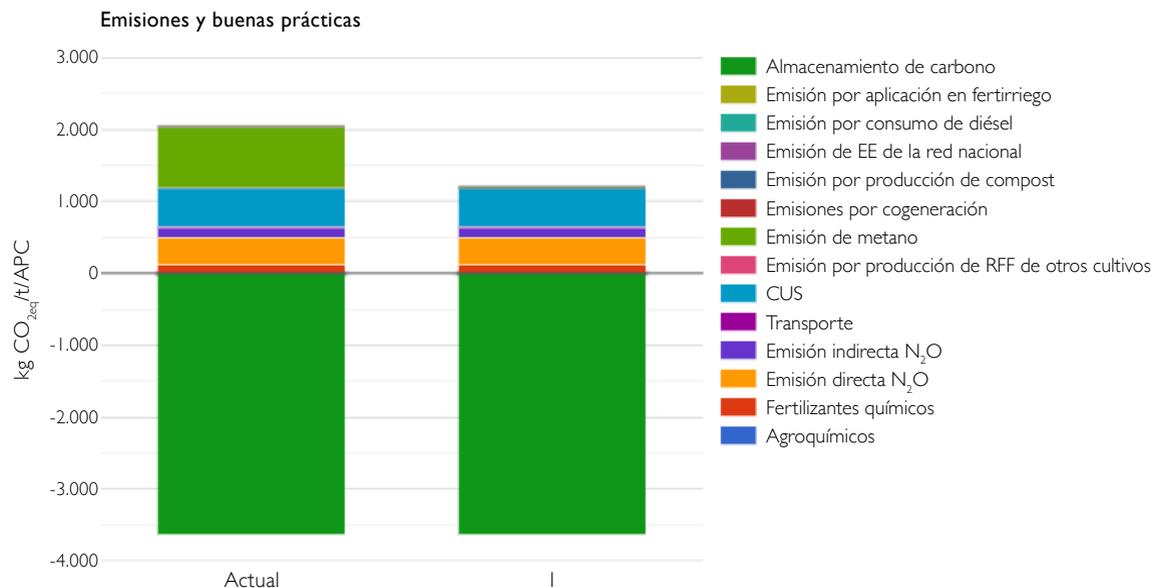
* Recuerda que puedes modificar el % de Compost de los Efluentes si cambias la opción de Compostaje

APLICAR Y AGREGAR SIMULACIÓN

Para completar este formulario es preciso modificar los valores que se ingresaron con anterioridad. La tabla de uso de biomasa se diligencia de la misma forma que se hizo con el formulario de planta beneficio.

Al finalizar hacer clic en “Aplicar y agregar simulación”.

Los resultados se verán reflejados en la pestaña “Gráficos de resultados” en un segundo esquema.



En el caso anterior se simula una planta que busca implementar los biodigestores para captura y aprovechamiento de biogás. Aplicando esta práctica se logra disminuir considerablemente las emisiones de GEI.

Partiendo desde un escenario base es posible formular diferentes estrategias. En el caso de la planta de beneficio se encuentra el carpado de las lagunas anaerobias, el aprovechamiento eficiente de la biomasa, la generación de energía renovable y la disminución del consumo de combustibles fósiles, entre otros.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por financiar el estudio que permitió el desarrollo de esta cartilla. De igual forma, a las plantaciones de aceite de palma y plantas de beneficio de Colombia que proporcionaron los datos primarios para el análisis de emisiones de GEI, permitiendo la validación de la calculadora App Ecopalma.

Un reconocimiento especial a WWF Colombia por el apoyo recibido durante el desarrollo del convenio de colaboración con Cenipalma y la financiación del aplicativo de la calculadora App Ecopalma por parte del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU, por su sigla en alemán).

Bibliografía

- Castiblanco, C., Etter, A., & Aide, T. M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environmental Science & Policy*, 27, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.003>
- Chaparro, D., Ramírez, N. E., Munar, D., García, J., Cammaert, C., & Rincón, S. A. (2020). *Guía de mejores prácticas bajas en carbono asociadas a la producción de aceite de palma sostenible en Colombia (1ra. ed.)*. Bogotá: Cenipalma y WWF Colombia.
- Egg Farmers of Alberta. (2012). *Understanding the environmental and nutritional profile of Alberta eggs*.
- García, J. A., Rodríguez, D. T., Fontanilla, C. A., Ramírez, N. E., Silva, E. E., Frear, C. S., Stockle, C., Amonette, J., & García, M. (2016). Evaluation of alternatives for the evolution of palm oil mills into biorefineries. *Biomass and Bioenergy*, 95, 310–329. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.020>
- Henson, I. E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: A preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agronomía Colombiana*, 30(3), 370–378.
- IEA Bioenergy. (2016). *Annual Report 2015*.
- IPCC. (2013). Glosario. En *Cambio Climático 2013 Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (p. 22).
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (NO COINCIDE DOI)
- IPCC. (2023). Global Carbon and Other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 673–816). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>
- ISO. (2006). 14040: Environmental management—life cycle assessment—Principles and framework.

- ISO. (2007). Norma Técnica NTC-ISO Colombiana 14040. Análisis del ciclo de vida.
- ISO. (2015a). Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación (UNE-CEN ISO/TS 14067).
- ISO. (2015b). ISO/TS 14067:2013.
- Munar Florez, D. A., Caro Caro, C. I., Ramírez Contreras, N. E. y García Núñez, J. A. (2022). Economía baja en carbono para el sector agropecuario de la Orinoquia colombiana: una oportunidad para la producción de bioenergía. *Gestión y Ambiente*, 25(2). <https://doi.org/10.15446/ga.v25n2.104253>
- MX. (2020). En Colombia Factor de emisión de CO2 por generación eléctrica del Sistema Interconectado: 164.38 gramos de CO2 por kilovatio hora. Noticias MX.
- Ramírez, N. E., Fontanilla, C. A., Pardo, L. E., Delgado, T., Munar, D., Wicke, B., Ruiz, J., Van der Hilst, F., García, J. A., Mosquera, M., & Faaij, A. P. C. (2022). Integral analysis of environmental and economic performance of combined agricultural intensification & bioenergy production in the Orinoquia region. *Journal of Environmental Management*, 303(February 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114137>
- Ramírez, N. E., Munar, D. A., García, J. A., Mosquera, M., & Faaij, A. P. C. (2020). The GHG emissions and economic performance of the Colombian palm oil sector; current status and long-term perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>
- Ramírez, N. E., Munar, D., Van der Hilst, F., Espinosa, J. C., Ocampo, Á., Ruiz, J., Molina, D. L., Wicke, B., García, J. A., & Faaij, A. P. C. (2021). Ghg balance of agricultural intensification & bioenergy production in the orinoquia region, colombia. *Land*, 10(3), 1–30. <https://doi.org/10.3390/land10030289>
- Rivera, Y. D., Rodríguez, D. T., & Romero, H. M. (2017). Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 149, 743–750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.149>
- XM. (2023). En 2022, la demanda acumulada del año creció 3.34 % en comparación con el 2021. Noticias XM.
- Yáñez, E., Martínez, L., & Gualdrón, M. (2011). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de biodiésel a partir de aceite de palma utilizando como herramienta el análisis del ciclo de vida (ACV). Documento de trabajo. Cenipalma.

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma
Bogotá, D.C. - Colombia
www.cenipalma.org