

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Levantamiento de información

Se tuvieron que consolidar los datos recopilados y validados para cultivo, extracción, refinación y distribución del aceite refinado de palma. Los datos completos se encuentran en el numeral 5.2 del capítulo 5 Anexos.

En el caso de los cultivos, al tener los datos de 3 cultivos, se obtuvo el promedio de los mismos para trabajar con estos datos como muestra de los cultivos de palma aceitera industriales del país.

Tabla 9. Datos promedio de cultivo de palma aceitera

CULTIVO DE PALMA ACEITERA			
CATEGORÍA	VARIABLE	PROMEDIO	
		VALOR	UNIDAD
Uso del suelo	Anterior uso del suelo	Agrícola perenne	-
	Año cálculo	2013	año
	Cambio de uso del suelo	1977,67	año
	Área cultivada	6255,00	hectáreas
Materias primas	Fertilizante N	136652,33	Kg/año
	Fertilizante P ₂ O ₅	190117,00	Kg/año
	Fertilizante K ₂ O	189148,00	Kg/año
	Fertilizante MgO	432670,00	Kg/año
	Fertilizante HBO ₃	41771,00	Kg/año
	Compost	4440732,00	Kg/año
	Fungicidas	9193,33	Kg/año
	Pesticidas	3896,67	Kg/año
	Insecticidas	3059,00	Kg/año
	Herbicidas	10845,00	Kg/año
Transporte de materias primas	Transporte fertilizante N	157,67	Km
	Transporte fertilizante P ₂ O ₅	157,67	Km
	Transporte fertilizante K ₂ O	157,67	Km
	Transporte fertilizante MgO	157,67	Km
	Transporte fertilizante HBO ₃	157,67	Km
	Transporte compost	18,33	Km
	Transporte fungicidas	157,67	Km
	Transporte pesticidas	157,67	Km
	Transporte insecticidas	157,67	Km
	Transporte herbicidas	157,67	Km
Maquinaria	Maquinaria agrícola (gasóleo)	115236,59	Kg/año
Agua utilizada	Consumo de agua	18426,42	m3/año
	Origen del agua	Red	-
	Tipo del agua	Potable	-
Energía eléctrica	Consumo eléctrico	6780,48	kWh/año
Combustible	Gasolina	2300,23	Kg/año
Residuos orgánicos	Residuos orgánicos generados	26483103,34	Kg/año
	Compostaje propio	0,00	%
	Reincorporación	100,00	%
Producto	Racimos de fruta fresca	158459280,00	Kg/año
Transporte de producto	Transporte de los racimos de fruta fresca a la extractora	15,00	Km

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

En el caso de las extractoras, al tener los datos de 3 extractoras, se obtuvo el promedio de las mismas para trabajar con estos datos como muestra de las extractoras de aceite crudo de palma del país.

Tabla 10. Datos promedio de extractora de aceite crudo de palma

EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA			
CATEGORÍA	VARIABLE	PROMEDIO	
		VALOR	UNIDAD
Materias primas	Racimos de fruta fresca	158459280,00	Kg/año
	Lubricantes	1087,00	Kg/año
Transporte de materias primas	Transporte de lubricantes	177,67	Km
Agua utilizada	Consumo de agua	95075,57	m3/año
	Origen del agua	No red	-
	Tipo del agua	No potable	-
Energía eléctrica	Consumo eléctrico	3077525,11	kWh/año
Combustibles	Gasolina	10167,00	Kg/año
	Gasóleo	72543,11	Kg/año
Residuos orgánicos	Residuos orgánicos generados	74475861,83	Kg/año
	Cogeneración propia	11,00	%
	Compostaje propio	89,00	%
Otros residuos generados	Cenizas	3851951,76	Kg/año
	Vertedero de cenizas	0,00	%
	Compostaje propio de cenizas	100,00	%
	Lodos	18381276,48	Kg/año
	Incineración externa	0,00	%
	Compostaje propio	100,00	%
Aguas residuales	Agua residual	93248,64	m3/año
	Gestión propia	100,00	%
	Gestión externa	0,00	%
Co productos	Torta de palmiste	3272184,13	Kg/año
	Aceite de palmiste	2273890,67	Kg/año
Producto	Aceite crudo de palma	39533782,06	Kg/año
Transporte de producto	Transporte del aceite crudo a la refinería	279,33	Km

En el caso de la refinería, al tener los datos de una refinería, no fue necesario procesar los datos para trabajar con estos como muestra de las refinerías de aceite de palma del país.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

Tabla 11. Datos de refinería de aceite de palma

REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA			
CATEGORÍA	VARIABLE	REFINERÍA	
		VALOR	UNIDAD
Materias primas	Aceite crudo de palma	118601346,18	Kg/año
	Hidróxido de sodio	13046148,08	Kg/año
	Tierras de blanqueo	1186013,46	Kg/año
	Ácido cítrico	59300,67	Kg/año
	Nitrógeno	35580,40	Kg/año
	Lubricantes	1605,74	Kg/año
	Envases plásticos	576285,03	Kg/año
	Etiquetas	48077,21	Kg/año
Transporte de materias primas	Transporte de aceite crudo de palma	279,33	Km
	Transporte de hidróxido de sodio	414,00	Km
	Transporte de tierras de blanqueo	414,00	Km
	Transporte de ácido cítrico	414,00	Km
	Transporte de nitrógeno	414,00	Km
	Transporte de lubricantes	19,00	Km
	Transporte de envases plásticos	31,00	Km
	Transporte de etiquetas	31,00	Km
Agua utilizada	Consumo de agua	3166440,00	m ³ /año
	Origen del agua	No red	-
	Tipo del agua	No potable	-
Energía eléctrica	Consumo eléctrico	14769231,00	kWh/año
Combustibles	Gasolina	11753,56	Kg/año
	Gasóleo	83882,34	Kg/año
Otros residuos generados	Cenizas	944213,26	Kg/año
	Confinación externa	100,00	%
	Compostaje propio de cenizas	0,00	%
	Tierras de blanqueo usadas	1328335,08	Kg/año
	Incineración externa	100,00	%
	Compostaje propio	0,00	%
Aguas residuales	Agua residual	2943360,00	m ³ /año
	Gestión propia	100,00	%
	Gestión externa	0,00	%
Producto	Aceite refinado de palma	108140707,55	Kg/año

En el caso de la distribución, al tener los datos de distribución local y exportaciones a cuatro destinos internacionales, se decidió trabajar con los datos de distribución local y los datos de distribución a Europa, cabe recalcar que el mercado Europeo es el mercado que exige el cálculo de la huella de carbono para el aceite refinado de palma.

Tabla 12. Datos de distribución del aceite refinado de palma

DISTRIBUCIÓN DE ACEITE REFINADO DE PALMA				
DESTINO	LOCAL		EXPORTACIÓN	
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
País	Ecuador	-	Europa	-
Tipo de aceite	RBD	-	RBD	-
Cantidad de aceite	81519023,35	Kg/año	6531383,48	Kg/año
Transporte hasta puerto de despacho	288,00	Km	296,00	Km
Transporte de puerto a puerto	0,00	Km	9900,00	Km

Con estos datos se desarrolló el levantamiento de la información, a través del cálculo de la huella de carbono del aceite crudo y refinado de palma, aplicando la calculadora de huella de carbono desarrollada por el Equipo de Trabajo GHG de RSPO.

3.1.1 Cálculo de la huella de carbono del aceite crudo de palma aplicando la “calculadora” desarrollada por RSPO.

El Grupo de trabajo 2 de gases de efecto invernadero de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en inglés), desarrolló en el año 2012 la Calculadora de Gases de Efecto Invernadero de Palma (PalmGHG Calculator). El objetivo de esta herramienta es permitir a los productores de aceite crudo de palma, estimar las emisiones netas de gases de efecto invernadero generadas durante la cadena de producción del aceite crudo de palma. La versión Beta 1.0, está disponible de forma libre a través de la página web www.rspo.org.

Las fuentes de emisiones incluidas en la calculadora son:

- Desmonte de tierras.
- Manufactura, transporte y uso de fertilizantes.
- Óxido nitroso como resultado de la aplicación en el campo de fertilizantes y subproductos de la extracción.
- Combustibles fósiles usados en el cultivo, principalmente en la cosecha y recolección de los racimos de fruta fresca.
- Combustibles fósiles utilizados en la extractora.
- Metano producido por el efluente de la extracción de palma.
- Dióxido de carbono resultante del cultivo en suelo de turbas.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

3.1.1.1 Descripción de la herramienta

La calculadora permite calcular en toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectárea o por tonelada (tCO_2eq/ha o tCO_2eq/t) de la fruta de palma, el aceite crudo de palma, el aceite de palmiste y la torta de pamilste. La herramienta está dividida en 15 hojas de Microsoft Excel.

Cuadro 12. Estructura de la calculadora para el cálculo de la huella de carbono, creada por el GHG de RSPO.

HOJA	EXPLICACIÓN
Prólogo y descarga de responsabilidad	Indica el objetivo de la herramienta, los creadores y su aplicabilidad.
Introducción	Presenta a la herramienta y sus funcionalidades
Instrucciones	Contiene las instrucciones de uso de la herramienta
Síntesis	Muestra los resultados de la huella de carbono obtenidos.
Extractora	Permite el ingreso de los datos de extracción por parte del interesado y realiza el cálculo de la huella de carbono preliminar.
Desmonte de tierras	Permite el ingreso de los datos de desmonte de tierra por parte del interesado y realiza el cálculo de la huella de carbono preliminar.
Fertilizantes y N ₂ O	Permite el ingreso de los datos de aplicación de fertilizantes por parte del interesado y realiza el cálculo de la huella de carbono preliminar.
Uso de combustibles en el cultivo	Permite el ingreso de los datos de uso de combustibles en el cultivo por parte del interesado y realiza el cálculo de la huella de carbono preliminar.
Carbón secuestrado por el cultivo	Indica el modelamiento del carbón secuestrado en el ciclo de cultivo dependiendo de los datos ingresados.
Carbón secuestrado por las áreas de conservación	Permite el ingreso de los datos de zonas de protección o conservación en el cultivo por parte del interesado y realiza el cálculo de la huella de carbono preliminar.
Emisiones del suelo de turba	Indica las emisiones de gases de efecto invernadero estimadas por el uso de suelos de turba en la plantación.
Datos predeterminados	Contiene los factores convencionales de conversión y los datos requeridos para el cálculo de las huellas de carbono, como son las reservas y emisiones de carbono de los productos utilizados.
Asignación a los productos agrícolas	Indica las emisiones de los racimos de fruta y los residuos orgánicos para los productos por su masa.
Referencias y abreviaciones	Contiene las referencias técnicas de los datos predeterminados y los cálculos; también posee las siglas y abreviaciones utilizadas en la herramienta.
Comentarios del usuario	Al ser una versión Beta, permite al usuario identificar cambios o errores requeridos en la herramienta para sus nuevas versiones.

3.1.1.2 Variables utilizadas

Al ser una herramienta diseñada para la producción de aceite crudo de palma en Indonesia y Malasia, posee variables distintas a las identificadas en el mapa de procesos de la producción de aceite crudo palma en Ecuador, la Tabla 14 indica las variables solicitadas por la herramienta para el cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite crudo de palma y su relación con las variables levantadas para el desarrollo de la tesis.

Tabla 13. Comparación de las variables de la herramienta y las variables levantadas en la tesis

Hoja herramienta	Variable herramienta	Variable levantada
Extractora	Producción propia de racimos de fruta	Racimos de fruta fresca
	Producción de terceros de fruta	No requerida
	Área propia plantada	Área cultivada
	Área de terceros plantada	No requerida
	Porcentaje de extracción de aceite crudo	Obtenida de la relación entre los racimos de fruta fresca y el aceite crudo de palma
	Porcentaje de extracción de semilla	Obtenida de la relación entre los racimos de fruta fresca y la suma de torta y aceite de palmiste adicionado uno por ciento de pérdidas estimadas
	Combustibles fósiles utilizados en la extractora	Obtenida de la suma de Gasolina y Gasóleo al 90%
	Cuesco utilizado como sustituto de carbón	Cogeneración propia
	Distancia del cuesco transportado por vía terrestre	No requerida
	Distancia del cuesco transportado por vía marítima	No requerida
	Exportación de energía generada por la extractora para viviendas y alumbrado	No requerida
	Manejo del metano del tratamiento de efluentes	Gestión propia
	Porcentaje de electricidad generada del metano, exportada para viviendas y alumbrado	No requerida
	Porcentaje de extracción de aceite de palmiste	Obtenida a través de la relación entre el porcentaje de extracción de semilla y el

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

		aceite de palmiste
	Porcentaje de generación de torta de palmiste	Obtenida a través de la relación entre el porcentaje de extracción de semilla y la torta de palmiste
	Combustible utilizado en palmistería	Obtenida de la suma de Gasolina y Gasóleo al 10%
Desmonte de tierra	Años de rotación de cultivo propio	No requerida
	Calendario de plantación propia	Cambio de uso de suelo
	Uso previo del suelo propio	Anterior uso del suelo
	Años de rotación de cultivo propio para suelos de turba	No requerida
	Calendario de plantación propia para suelos de turba	No levantada
	Uso previo del suelo propio para suelos de turba	No levantada
	Años de rotación de cultivo de terceros	No requerida
	Calendario de plantación de terceros	No requerida
	Uso previo del suelo de terceros	No requerida
	Años de rotación de cultivo de terceros para suelos de turba	No requerida
	Calendario de plantación de terceros para suelos de turba	No requerida
	Uso previo del suelo de terceros para suelos de turba	No requerida
Fertilizante y óxido nitroso	Distancia del puerto local a la extractora	Promedio de transporte de fertilizantes
	Distancia de la fuente al puerto local para nitrato de amonio	No aplica
	Distancia de la fuente al puerto local para sulfato de amonio	No aplica
	Distancia de la fuente al puerto local para fosfato di amónico	No levantada
	Distancia de la fuente al puerto local para urea	No levantada
	Distancia de la fuente al puerto local para cloruro de amonio	No aplica
	Distancia de la fuente al puerto local para Kieserita	No aplica

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

	Distancia de la fuente al puerto local para muriato de potasio	No levantada
	Distancia de la fuente al puerto local para fosfato natural	No aplica
	Distancia de la fuente al puerto local para triple súper fosfato	No aplica
	Distancia de la fuente al puerto local para piedra caliza de magnesio	No levantada
	Nitrato de amonio en cultivo propio	No aplica
	Sulfato de amonio en cultivo propio	No aplica
	Fosfato di amónico en cultivo propio	Fertilizante P_2O_5
	Urea en cultivo propio	Fertilizante N
	Cloruro de amonio en cultivo propio	No aplica
	Kieserita en cultivo propio	No aplica
	Muriato de potasio en cultivo propio	Fertilizante K_2O
	Fosfato natural en cultivo propio	No aplica
	Triple súper fosfato en cultivo propio	No aplica
	Piedra caliza de magnesio en cultivo propio	Fertilizante MgO
	Nitrato de amonio en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Sulfato de amonio en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Fosfato di amónico en cultivo propio en suelo de turba	No levantada
	Urea en cultivo propio en suelo de turba	No levantada
	Cloruro de amonio en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Kieserita en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Muriato de potasio en cultivo propio en suelo de turba	No levantada
	Fosfato natural en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Triple súper fosfato en cultivo propio en suelo de turba	No aplica
	Piedra caliza de magnesio en	No levantada

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

	cultivo propio en suelo de turba	
	Nitrato de amonio en cultivo de terceros	No aplica
	Sulfato de amonio en cultivo de terceros	No aplica
	Fosfato di amónico en cultivo de terceros	No aplica
	Urea en cultivo de terceros	No aplica
	Cloruro de amonio en cultivo de terceros	No aplica
	Kieserita en cultivo de terceros	No aplica
	Muriato de potasio en cultivo de terceros	No aplica
	Fosfato natural en cultivo propio	No aplica
	Triple súper fosfato en cultivo de terceros	No aplica
	Piedra caliza de magnesio en cultivo de terceros	No aplica
	Nitrato de amonio en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Sulfato de amonio en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Fosfato di amónico en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Urea en cultivo de terceros o en suelo de turba	No aplica
	Cloruro de amonio en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Kieserita en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Muriato de potasio en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Fosfato natural en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Triple súper fosfato en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
	Piedra caliza de magnesio en cultivo de terceros en suelo de turba	No aplica
Uso de combustibles fósiles en el cultivo	Consumo propio de combustible	Se obtuvo como suma de maquinaria agrícola y gasolina
	Consumo de terceros de combustible	No aplica
Carbón secuestrado por las áreas de conservación	Área de los bloques de conservación	No levantada y no aplica

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

	Carbón secuestrado promedio del bloque de conservación	No levantada y no aplica
Emisiones del suelo de turba	Profundidad real del nivel freático	No levantada y no aplica

3.1.1.3 Resultados obtenidos

Después de haber ingresado los valores de las variables solicitadas por la herramienta, se realizaron los cálculos de forma automática y en la hoja Síntesis, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultados obtenidos del cultivo de palma aceitera

Parámetro	t CO ₂ e	t CO ₂ e / ha	t CO ₂ e / t RF
Desmonte de tierra	2,293.50	0.37	0.0145
Secuestro de carbón por el cultivo	-2,866.79	-0.46	-0.0181
Fertilizantes	638.40	0.10	0.0040
Óxido nitroso	1,619.37	0.26	0.0102
Combustibles fósiles	311.71	0.05	0.0020
Suelo de turba	0.00	0.00	0.0000
Créditos de conservación	0.00	0.00	0.0000
Total	1,996.19	0.32	0.0126

Tabla 15. Resultados obtenidos de la extractora de aceite crudo de palma

Parámetro	t CO ₂ e	t CO ₂ e / t CPO
Efluente de extracción	21,788.94	0.5522
Diésel de extracción de aceite crudo	273.24	0.0069
Crédito por generación eléctrica	0.00	0.0000
Crédito por captación de metano	0.00	0.0000
Crédito por cogeneración	-18,023.15	-0.4568
Cultivo de palma aceitera	1,996.19	0.0506
Crédito por producción de co productos	-305.42	-0.0077
Total	19,261,659.00	0.1452

De esta manera se obtuvieron los valores de la huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera y del aceite crudo de palma:

- Racimos de fruta de palma aceitera
 - $$0.0126 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ RF}} \quad (1)$$

- Aceite crudo de palma
 - $$0.1452 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ CPO}} \quad (2)$$

3.2 Desarrollo de la metodología local

Para desarrollar la metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma elaborado en Ecuador, se trabajó en base a la metodología PAS 2050:2011, debido a que permite el cálculo de los gases de efecto invernadero de un producto en base al criterio “de la cuna a la puerta”.

La metodología PAS 2050:2011 toma en cuenta el cálculo de las emisiones y remociones atmosféricas para calcular el total de las emisiones de gases de efectos invernadero producidos por el producto en su ciclo de vida. La metodología se basa en (BSI, 2011):

1. Determinación de las emisiones y remociones de cada actividad dentro de los límites del sistema, tomando en cuenta valores positivos para las emisiones y negativos para las remociones.
2. Conversión de los datos de la actividad a las emisiones y absorciones por unidad funcional del producto de gases de efecto invernadero en evaluación. Esto se realiza al multiplicar los datos por su factor de emisión.
3. Conversión de los datos de emisión y remoción a unidades de dióxido de carbono equivalente, a través de la multiplicación de las emisiones o remociones de gases de efecto invernadero por su potencial de calentamiento atmosférico global.
4. Cálculo del impacto global de almacenamiento de carbono asociado con el producto.
5. Suma de las emisiones y remociones de dióxido de carbono equivalente del ciclo de vida del producto para determinar las emisiones netas de dióxido de carbono equivalente por unidad funcional.

3.2.1 Estructura de la metodología desarrollada

La metodología se desarrolló como un libro de Microsoft Excel 2010 conformado por 13 hojas en divididas en 4 secciones:

1. Ingreso de datos
 - a. Cultivo
 - b. Extractora
 - c. Refinería
 - d. Distribución
2. Factor de emisión
 - a. Cultivo

- b. Extractora
- c. Refinería
- d. Distribución
- 3. Cálculo de emisiones de GEI
 - a. Racimos de fruta de palma
 - b. Aceite crudo de palma
 - c. Aceite refinado de palma sin distribución
 - d. Aceite refinado de palma distribuido en Ecuador y a Europa
- 4. Resultados
 - a. Huellas de carbono por producto calculadas

3.2.2 Metodología desarrollada

Como se indicó, la metodología desarrollada se basa en la metodología PAS 2050:2011, estando enfocado el cálculo de la huella de carbono en las emisiones y remociones (absorciones) de GEI representadas en kilogramos de dióxido de carbono equivalente por kilogramo de producto ($\text{Kg CO}_2\text{e} / \text{Kg}$), calculadas utilizando los factores de emisión establecidos para cada actividad, representado en la ecuación 3.1:

$$VD \times FE = eGEIv \quad (3)$$

Dónde:

VD: Valor del dato obtenido de la variable

FE: Factor de emisión específico de la variable

eGEIv: Emisiones de gases de efecto invernadero de la variable

Los factores de emisión fueron obtenidos a través de los valores presentados en el Proyecto de medición de la huella de carbono en alimentos y bebidas de países de América Latina y el Caribe, desarrollada por la CEPAL en el año 2013 (CEPAL, 2013). Estos factores de emisión proceden de fuentes internacionales en base a los cálculos del IPCC, a excepción de los datos eléctricos que se basan en datos nacionales. No existen datos nacionales desarrollados por su complejidad y falta de investigación específica.

Para calcular las huellas de carbono, se establecieron categorías específicas que agrupan variables para cada caso y de esta manera obtener a través de una sumatoria de las emisiones de GEI de cada categoría, la huella de carbono de cada proceso como indica las ecuaciones 4 y 5:

$$eGEIv_1 + eGEIv_2 + \dots + eGEIv_n = eGEIc \quad (4)$$

Dónde:

$eGEIv_n$: Emisiones de gases de efecto invernadero de la variable n que compone la categoría.

$eGEIc$: Emisiones de gases de efecto invernadero de la categoría.

$$eGEIc_1 + eGEIc_2 + \dots + eGEIc_n = HC_{proceso} \quad (5)$$

Dónde:

$eGEIc_n$: Emisiones de gases de efecto invernadero de la categoría n que compone el producto.

$HC_{proceso}$: Huella de carbono del proceso.

Las categorías establecidas para el cultivo de palma aceitera fueron:

- Emisiones:
 - Uso del suelo
 - Materias primas
 - Transporte
 - Combustible
 - Agua utilizada
 - Energía eléctrica
 - Residuos orgánicos
 - Emisiones de N₂O
 - Emisiones de CO₂
 - Combustión de combustible
- Absorciones:
 - Captación de carbono por el cultivo

Las categorías establecidas para la extractora de aceite crudo de palma fueron:

- Emisiones:
 - Materias primas
 - Transporte
 - Combustibles

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

- Agua utilizada
- Energía eléctrica
- Residuos orgánicos
- Otros residuos
- Aguas residuales
- Combustión de combustible
- Absorciones:
 - Co productos

Las categorías establecidas para la refinación de aceite de palma fueron:

- Emisiones:
 - Materias primas
 - Transporte
 - Combustible
 - Agua utilizada
 - Energía eléctrica
 - Residuos
 - Aguas residuales
 - Combustión de combustibles

Las categorías establecidas para la distribución del aceite de palma refinado fueron:

- Emisiones:
 - Transporte de distribución
 - Materias primas

El cálculo de las huellas de carbono de los productos se realizó dividiendo la huella de carbono de los procesos por la cantidad de productos elaborados en el proceso como lo indica la ecuación 6:

$$HC_{proceso} / Q_{producto} = HC_{producto} \quad (6)$$

Dónde:

$HC_{Proceso}$: Huella de carbono del proceso

$Q_{Producto}$: Cantidad de producto elaborada en el proceso

$HC_{Producto}$: Huella de carbono del producto

Tabla 16: Cálculo de emisiones de GEI de la Categoría Combustión de Combustibles de la Hoja de cálculo de huella de carbono del cultivo de palma aceitera

COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES					
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN (KgCO ₂ e/Kg)	EMISIONES (KgCO ₂ e)	EMISIONES TOTALES (KgCO ₂ e)
Gasóleo	72543,11	Kg/año	3,078	223287,682	253341,33
Gasolina	10167,00	Kg/año	2,956	30053,652	

Las Hojas de cálculo completas se encuentran en el numeral 5.3 del capítulo 5 Anexos.

3.2.3 Cálculo de huellas de carbono

Con la metodología desarrollada se procedió a calcular las huellas de carbono de:

- Racimo de fruta de palma aceitera
- Aceite crudo de palma
- Aceite refinado de palma

3.2.3.1 Cálculo de la huella de carbono en la producción de racimos de fruta de palma aceitera aplicando la metodología local desarrollada.

A través de la metodología desarrollada se procedió a calcular la huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera, para lo cual se ingresaron los datos de cultivo solicitados en la hoja D_CULTIVOS de la metodología, estos datos fueron los mismos registrados en la Tabla 9.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

Tabla 17. Huella de carbono del cultivo de palma aceitera calculada con la metodología local desarrollada

HUELLA DE CARBONO DEL CULTIVO			
CATEGORÍA	EMISIONES CULTIVO (KgCO ₂ e)	EMISIONES CULTIVO POR HECTÁREA (KgCO ₂ e/ha)	EMISIONES CULTIVO POR RACIMO DE FRUTA (KgCO ₂ e/KgRF)
USO DEL SUELO	0,00	0,000	0,0000
CAPTACIÓN DE CARBONO POR EL CULTIVO	-2877300,00	-460,000	-0,0182
MATERIAS PRIMAS	3185525,37	509,277	0,0201
TRANSPORTE	233850,37	37,386	0,0015
COMBUSTIBLE	58358,52	9,330	0,0004
AGUA UTILIZADA	5841,18	0,934	0,0000
ENERGÍA ELÉCTRICA	3116,99	0,498	0,0000
RESIDUOS ORGÁNICOS	0,00	0,000	0,0000
EMISIONES N ₂ O	1454656,42	232,559	0,0092
EMISIONES CO ₂	100211,71	16,021	0,0006
COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	362320,47	57,925	0,0023
TOTAL	2526581,03	403,930	0,0159

La huella de carbono de los racimos de la fruta de palma aceitera es:

$$\bullet \quad 0.0159 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ RF}} \quad (7)$$

3.2.3.2 Cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite crudo de palma aplicando la metodología local desarrollada.

Después se procedió a calcular la huella de carbono del aceite crudo de palma, para lo cual se ingresaron los datos de la extractora solicitados en la hoja D_EXTRACTORA de la metodología, estos datos fueron los mismos registrados la Tabla 10.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

Tabla 18. Huella de carbono de la extractora de aceite crudo de palma calculada con la metodología local desarrollada

HUELLA DE CARBONO DE LA EXTRACTORA			
CATEGORÍA	EMISIONES EXTRACTORA (KgCO ₂ e)	EMISIONES EXTRACTORA POR RACIMO DE FRUTA (KgCO ₂ e/KgRF)	EMISIONES EXTRACTORA POR ACEITE CRUDO (KgCO ₂ e/KgCPO)
MATERIAS PRIMAS	2527722,38	0,016	0,0639
TRANSPORTE	986166,35	0,006	0,0249
COMBUSTIBLE	40416,94	0,000	0,0010
AGUA UTILIZADA	0,00	0,000	0,0000
ENERGÍA ELÉCTRICA	1414738,29	0,009	0,0358
RESIDUOS ORGÁNICOS	12742522,06	0,080	0,3223
OTROS RESIDUOS	4210973,43	0,027	0,1065
AGUAS RESIDUALES	3933927,00	0,025	0,0995
CO PRODUCTOS	-88430,34	-0,001	-0,0022
COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	253341,33	0,002	0,0064
TOTAL	26021377,45	0,164	0,6582

La huella de carbono del aceite crudo de palma es:

$$\bullet \quad 0.6582 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ CPO}} \quad (8)$$

3.2.3.3 Cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite refinado de palma aplicando la metodología local desarrollada.

El cálculo de la huella de carbono del aceite refinado de palma, para cumplir con el criterio de la metodología PAS 2050: 2011 de la “Cuna a la Puerta” (B2G), se dividió en dos cálculos, primero el cálculo de la huella de carbono del proceso y el producto sin distribuir, cuyos resultados se indican en la Tabla 20. Los datos de refinación se ingresaron en la hoja D_REFINERIA de la metodología, siendo estos datos los registrados en la Tabla 11.

Tabla 19. Huella de carbono de la refinación de aceite de palma calculada con la metodología local desarrollada (no incluye distribución)

HUELLA DE CARBONO DE LA REFINERÍA			
CATEGORÍA	EMISIONES REFINERÍA (KgCO ₂ e)	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE CRUDO (KgCO ₂ e/KgCPO)	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE REFINADO (KgCO ₂ e/KgRBD)
MATERIAS PRIMAS	94857183,54	0,800	0,8772
TRANSPORTE	3489816,80	0,029	0,0323
COMBUSTIBLE	46733,41	0,000	0,0004
AGUA UTILIZADA	0,00	0,000	0,0000
ENERGÍA ELÉCTRICA	6789415,49	0,057	0,0628
RESIDUOS	1463208,15	0,012	0,0135
AGUAS RESIDUALES	1637096,83	0,014	0,0151
COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	292933,37	0,002	0,0027
			1,0040
TOTAL	108576387,59	0,915	NO INCLUYE TRANSPORTE AL CLIENTE

Finalmente se calculó la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido de forma local y también se calculó la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa. Los datos de distribución se ingresaron en la hoja D_DISTRIBUCION de la metodología desarrollada y corresponden a los valores registrados en las Tablas 12 y 13 respectivamente.

Tabla 20. Huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Ecuador calculada con la metodología local desarrollada

HUELLA DE CARBONO REFINERÍA DISTRIBUCIÓN LOCAL		
CATEGORÍA	EMISIONES REFINERÍA (KgCO ₂ e)	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE REFINADO (KgCO ₂ e/KgRBD)
TRANSPORTE LOCAL	2096538,85	0,0257
MATERIAS PRIMAS	81847449,27	1,0040
TOTAL	83943988,12	1,0297

Tabla 21. Huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa calculada con la metodología local desarrollada

HUELLA DE CARBONO REFINERÍA DISTRIBUCIÓN EXPORTACIÓN		
CATEGORÍA	EMISIONES REFINERÍA (KgCO ₂ e)	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE REFINADO (KgCO ₂ e/KgRBD)
TRANSPORTE EXPORTACIÓN	706481,46	0,1082
MATERIAS PRIMAS	6557697,28	1,0040
TOTAL	7264178,75	1,1122

La huella de carbono del aceite refinado de palma es:

- Aceite refinado de palma distribuido en Ecuador
 - $1.0297 \frac{Kg\ CO_2\ e}{Kg\ RBD}$ (9)

- Aceite refinado de palma distribuido a Europa
 - $11122 \frac{Kg\ CO_2\ e}{Kg\ RBD}$ (10)

3.3 Presentación y análisis de resultados

Los resultados de las huellas de carbono calculadas por la metodología local desarrollada se encuentran en la hoja RESULTADOS de la metodología. Como se indicó los resultados obtenidos del cálculo de las huellas de carbono de los productos aplicando los límites “De la cuna a la puerta” fueron:

- Racimos de fruta de palma:
 - $0.0159 \frac{Kg\ CO_2\ e}{Kg\ RF}$ (11)

- Aceite crudo de palma
 - $0.6582 \frac{Kg\ CO_2\ e}{Kg\ CPO}$ (12)

- Aceite refinado de palma distribuido en Ecuador

$$\circ \quad 1.0297 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ RBD}} \quad (13)$$

- Aceite refinado de palma distribuido a Europa

$$\circ \quad 1.1122 \frac{Kg \text{ CO}_2 e}{Kg \text{ RBD}} \quad (14)$$

3.3.1 Análisis de resultados

3.3.1.1 Huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera

La huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera se encuentra calculada a través de emisiones directas e indirectas y absorciones de GEI realizadas por el cultivo.

Tabla 22. Análisis composicional del resultado de huella de carbono de los racimos de palma aceitera

RACIMOS DE FRUTA DE PALMA ACEITERA			
GHG	CATEGORÍA	EMISIONES CULTIVO POR RACIMO DE FRUTA (KgCO ₂ e/KgRF)	PORCENTAJE (%)
EMISIONES	USO DEL SUELO	0,00000	0,00%
	MATERIAS PRIMAS	0,02010	58,95%
	TRANSPORTE	0,00148	4,33%
	COMBUSTIBLE	0,00037	1,08%
	AGUA UTILIZADA	0,00004	0,11%
	ENERGÍA ELÉCTRICA	0,00002	0,06%
	RESIDUOS ORGÁNICOS	0,00000	0,00%
	EMISIONES N ₂ O	0,00918	26,92%
	EMISIONES CO ₂	0,00063	1,85%
	COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	0,00229	6,70%
	TOTAL EMISIONES	0,03410	100,00%
ABSORCIONES	CAPTACIÓN DE CARBONO POR EL CULTIVO	-0,01816	100,00%
	TOTAL ABSORCIONES	-0,01816	100,00%
	HUELLA DE CARBONO	0,01594	Kg CO₂e / Kg RF

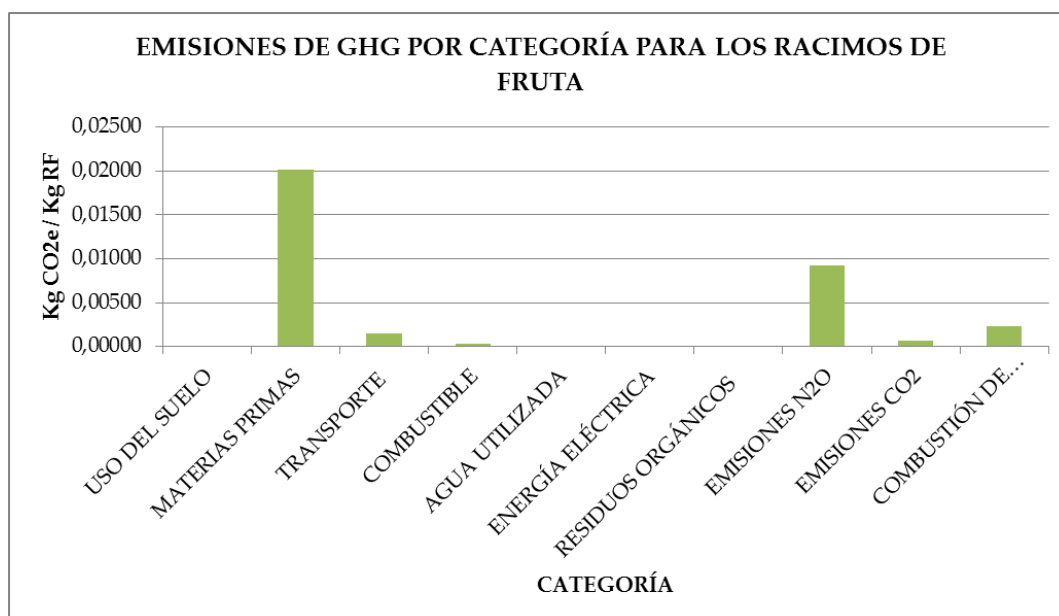
Se identificó que la variable Compostaje es la que aporta la mayor cantidad de GEI en la categoría materias primas por su cantidad aplicada en el cultivo.

Tabla 23. Variables que forman parte de la categoría Materias Primas del cálculo de huella de carbono del cultivo de palma aceitera

MATERIAS PRIMAS					
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN (KgCO ₂ e/Kg)	EMISIONES (KgCO ₂ e/año)	EMISIONES TOTALES (KgCO ₂ e)
Fertilizante N	136652,33	Kg/año	3,300	450952,700	3185525,37
Fertilizante P ₂ O ₅	190117,00	Kg/año	2,020	384036,340	
Fertilizante K ₂ O	189148,00	Kg/año	0,497	94006,556	
Fertilizante MgO	432670,00	Kg/año	1,050	454303,500	
Fertilizante HBO ₃	41771,00	Kg/año	0,711	29699,181	
Compost	4440732,00	Kg/año	0,332	1474323,024	
Fungicidas	9193,33	Kg/año	10,600	97449,333	
Pesticidas	3896,67	Kg/año	10,100	39356,333	
Insecticidas	3059,00	Kg/año	16,600	50779,400	
Herbicidas	10845,00	Kg/año	10,200	110619,000	

Se determinó que las materias primas representan la mayor fuente de emisiones con un 58.95%, entre todas las categorías establecidas para el cálculo de la huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera.

Figura 4. Emisiones de GEI de las categorías que conforman el cálculo de la huella de carbono de los racimos de fruta de palma aceitera



3.3.1.2 Huella de carbono del aceite crudo de palma

La huella de carbono del aceite crudo de palma se encuentra calculada a través de emisiones directas e indirectas y absorciones de GEI realizadas por la extractora.

Tabla 24. Análisis composicional del resultado de huella de carbono del aceite crudo de palma

ACEITE CRUDO DE PALMA			
GHG	CATEGORÍA	EMISIONES EXTRACTORA POR ACEITE CRUDO	PORCENTAJE (%)
EMISIONES	MATERIAS PRIMAS	0,06394	9,68%
	TRANSPORTE	0,02494	3,78%
	COMBUSTIBLE	0,00102	0,15%
	AGUA UTILIZADA	0,00000	0,00%
	ENERGÍA ELÉCTRICA	0,03579	5,42%
	RESIDUOS ORGÁNICOS	0,32232	48,80%
	OTROS RESIDUOS	0,10652	16,13%
	AGUAS RESIDUALES	0,09951	15,07%
	COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	0,00641	0,97%
	TOTAL EMISIONES	0,66044	100,00%
ABSORCIONES	CO PRODUCTOS	-0,00224	100,00%
	TOTAL ABSORCIONES	-0,00224	100,00%
HUELLA DE CARBONO		0,65821	Kg CO₂e / Kg CPO

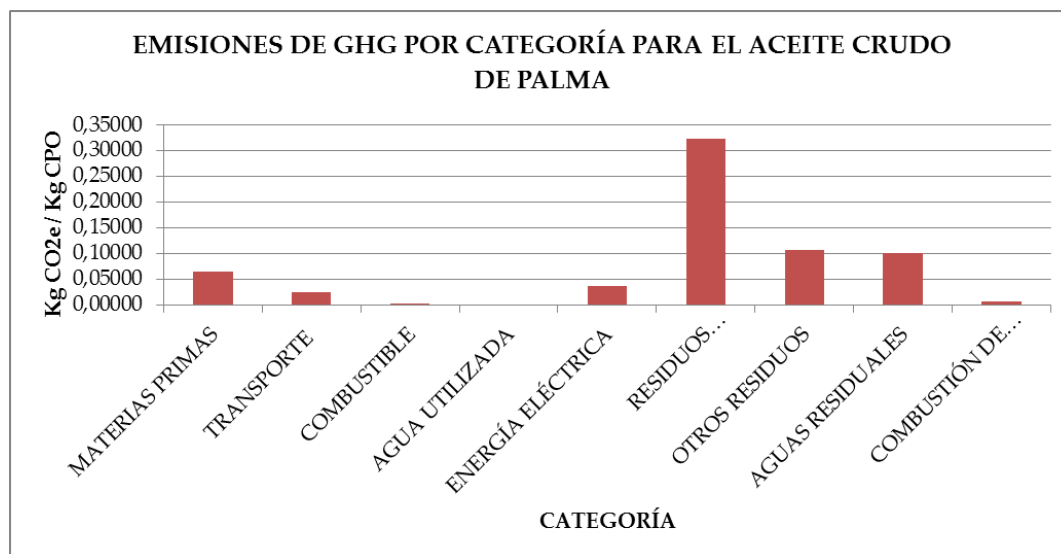
Se identificó que la variable Compostaje propio es la que aporta la mayor cantidad de GEI en la categoría residuos orgánicos por su cantidad generada.

Tabla 25. Variables que forman parte de la categoría residuos orgánicos del cálculo de huella de carbono de la extractora de aceite crudo

RESIDUOS ORGÁNICOS					
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN (KgCO ₂ e/Kg)	EMISIONES ANUALES (KgCO ₂ e/año)	EMISIONES TOTALES (KgCO ₂ e)
Cogeneración	8192344,80	Kg/año	0,0230	188423,9304	12742522,06
Compostaje propio	66283517,03	Kg/año	0,1894	12554098,1252	

Se determinó que los residuos orgánicos representan la mayor fuente de emisiones con un 48.80%, entre todas las categorías establecidas para el cálculo de la huella de carbono del aceite crudo de palma.

Figura 5. Emisiones de GEI de las categorías que conforman el cálculo de la huella de carbono del aceite crudo de palma



3.3.1.3 Huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Ecuador

La huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Ecuador se encuentra calculada a través de emisiones directas e indirectas de GEI realizadas por la refinería.

Tabla 26. Análisis composicional del resultado de huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Ecuador

ACEITE REFINADO DE PALMA DISTRIBUIDO EN ECUADOR			
GHG	CATEGORÍA	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE REFINADO (KgCO2e/KgRBD)	PORCENTAJE (%)
EMISIONES	MATERIAS PRIMAS	0,87716	85,18%
	TRANSPORTE	0,03227	3,13%
	COMBUSTIBLE	0,00043	0,04%
	AGUA UTILIZADA	0,00000	0,00%
	ENERGÍA ELÉCTRICA	0,06278	6,10%
	RESIDUOS	0,01353	1,31%
	AGUAS RESIDUALES	0,01514	1,47%
	COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	0,00271	0,26%
	TRANSPORTE LOCAL	0,02572	2,50%
	TOTAL EMISIONES	1,02975	100,00%
HUELLA DE CARBONO		1,02975	Kg CO₂e / Kg RBD

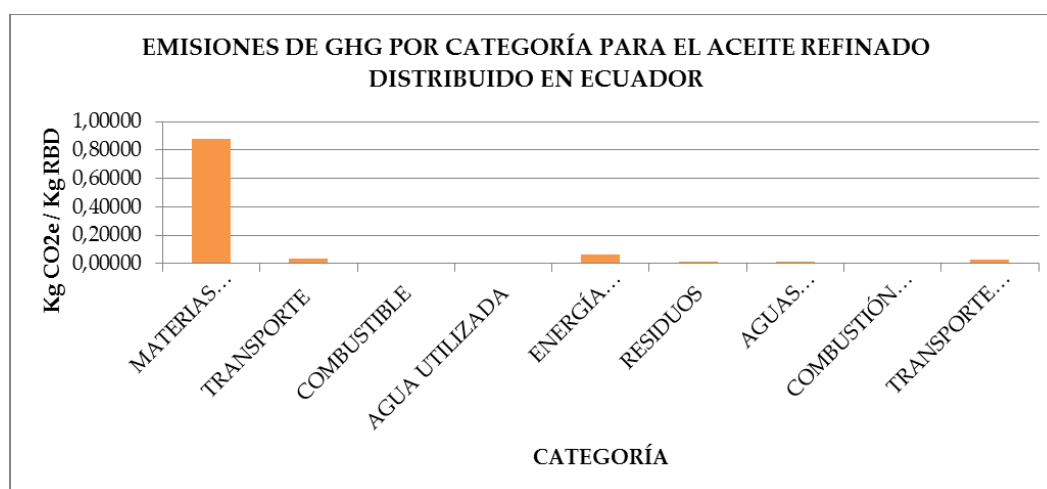
Se identificó que la variable Aceite crudo de palma es la que aporta la mayor cantidad de GEI en la categoría materias primas por la cantidad de aceite crudo que procesa la refinería.

Tabla 27. Variables que forman parte de la categoría Materias primas del cálculo de huella de carbono de la refinería de aceite de palma

MATERIAS PRIMAS					
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	EMISIONES (KgCO ₂ e/año)	EMISIONES TOTALES (KgCO ₂ e)
Aceite crudo de palma	118601346,18	Kg/año	0,6582	78064132,354	94857183,54
Hidróxido de sodio	13046148,08	Kg/año	1,1000	14350762,888	
Tierras de blanqueo	1186013,46	Kg/año	0,4950	587076,664	
Ácido cítrico	59300,67	Kg/año	1,8900	112078,272	
Nitrógeno	35580,40	Kg/año	0,4330	15406,313	
Lubricantes	1605,74	Kg/año	1,0500	1686,027	
Envases plásticos	576285,03	Kg/año	2,8900	1665463,737	
Etiquetas	48077,21	Kg/año	1,2600	60577,285	

Se determinó que las materias primas representan la mayor fuente de emisiones con un 85.18%, entre todas las categorías establecidas para el cálculo de la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido localmente.

Figura 6. Emisiones de GEI de las categorías que conforman el cálculo de la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Ecuador



3.3.1.4 Huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa

La huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa se encuentra calculada a través de emisiones directas e indirectas de GEI realizadas por la refinería.

Tabla 28. Análisis composicional del resultado de huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa

ACEITE REFINADO DE PALMA DISTRIBUIDO A EUROPA			
GHG	CATEGORÍA	EMISIONES REFINERÍA POR ACEITE REFINADO (KgCO ₂ e/KgRBD)	PORCENTAJE (%)
EMISIONES	MATERIAS PRIMAS	0,87716	78,87%
	TRANSPORTE	0,03227	2,90%
	COMBUSTIBLE	0,00043	0,04%
	AGUA UTILIZADA	0,00000	0,00%
	ENERGÍA ELÉCTRICA	0,06278	5,64%
	RESIDUOS	0,01353	1,22%
	AGUAS RESIDUALES	0,01514	1,36%
	COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES	0,00271	0,24%
	TRANSPORTE EXPORTACIÓN	0,10817	9,73%
	TOTAL EMISIONES	1,11220	100,00%
HUELLA DE CARBONO		1,11220	Kg CO₂e / Kg RBD

Se identificó que la variable Aceite crudo de palma es la que aporta la mayor cantidad de GEI en la categoría materias primas por la cantidad de aceite crudo que procesa la refinería.

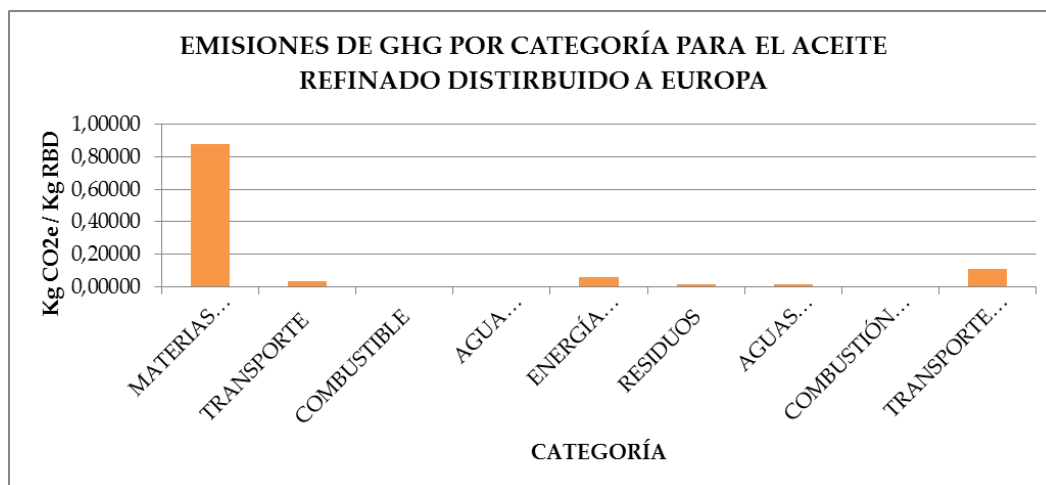
Tabla 29. Variables que forman parte de la categoría Materias primas del cálculo de huella de carbono de la refinería de aceite de palma

MATERIAS PRIMAS					
VARIABLE	VALOR	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	EMISIONES (KgCO ₂ e/año)	EMISIONES TOTALES (KgCO ₂ e)
Aceite crudo de palma	118601346,18	Kg/año	0,6582	78064132,354	94857183,54
Hidróxido de sodio	13046148,08	Kg/año	1,1000	14350762,888	
Tierras de blanqueo	1186013,46	Kg/año	0,4950	587076,664	
Ácido cítrico	59300,67	Kg/año	1,8900	112078,272	
Nitrógeno	35580,40	Kg/año	0,4330	15406,313	
Lubricantes	1605,74	Kg/año	1,0500	1686,027	
Envases plásticos	576285,03	Kg/año	2,8900	1665463,737	
Etiquetas	48077,21	Kg/año	1,2600	60577,285	

Se determinó que las materias primas representan la mayor fuente de emisiones con un 83.55%, entre todas las categorías establecidas para el cálculo de la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido en Europa.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

Figura 7. Emisiones de GEI de las categorías que conforman el cálculo de la huella de carbono del aceite refinado de palma distribuido a Europa



3.3.2 Comparación de las metodologías y resultados obtenidos.

A través de un análisis de las categorías utilizadas por las dos herramientas se realizó un análisis comparativo inicial, para cultivo de palma aceitera y para la extractora de aceite crudo de palma. No fue posible realizar una comparación con la refinería y distribución del aceite refinado de palma, porque la herramienta PalmGHG Calculator desarrollada por RSPO no calcula la huella de carbono del aceite refinado.

3.3.2.1 Huella de carbono del cultivo de palma aceitera

Se comparan las categorías utilizada por las dos herramientas para el cálculo de la huella de carbono a través de las dos herramientas utilizadas.

Tabla 30. Categorías utilizadas para calcular las emisiones de GEI en los procesos que forman parte del cultivo de palma aceitera según las dos metodologías comparadas

CULTIVO DE PALMA ACEITERA	
PalmGHG Calculator	Metodología local
Desmonte de tierra	Uso del suelo
Secuestro de carbón por el cultivo	Captación de carbono por cultivo
Fertilizantes	Materias primas
Óxido nitroso	Emisiones de N ₂ O
Combustibles fósiles	Combustión de combustibles
Suelo de turba	No aplica
Créditos de conservación	No aplica

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

No aplica	Transporte
No aplica	Combustible
No aplica	Agua utilizada
No aplica	Energía eléctrica
No aplica	Residuos orgánicos
No aplica	Emisiones de CO ₂

La metodología local utiliza 11 categorías mientras que la metodología PalmGHG Calculator utiliza 7. Se puede observar que la metodología desarrollada por RSPO no considera el transporte, agua, energía y residuos generados por el cultivo de palma aceitera. Se realiza el análisis de los valores de emisión de GEI obtenidos en cada categoría por cada herramienta.

Tabla 31. Análisis de las emisiones de GEI obtenidas con las dos metodologías de cálculo

CULTIVO DE PALMA ACEITERA			
PalmGHG Calculator		Metodología local	
Categorías	Emisiones GEI <i>Kg CO₂ e/Kg_p</i>	Categorías	Emisiones GEI <i>Kg CO₂ e/Kg_p</i>
Desmonte de tierra	0.0145	Uso del suelo	0.0000
Secuestro de carbón por el cultivo	-0.0181	Captación de carbono por cultivo	-0.0182
Fertilizantes	0.0040	Materias primas	0.0201
Óxido nitroso	0.0102	Emisiones de N ₂ O	0.0092
Combustibles fósiles	0.0020	Combustión de combustibles	0.0023
Suelo de turba	0.0000	N/A	N/A
Créditos de conservación	0.0000	N/A	N/A
N/A	N/A	Transporte	0.0015
N/A	N/A	Combustible	0.0004
N/A	N/A	Agua utilizada	0.0000
N/A	N/A	Energía eléctrica	0.0000
N/A	N/A	Residuos orgánicos	0.0000
N/A	N/A	Emisiones de CO ₂	0.0006
TOTAL 1	0.0126	TOTAL 2	0.0159

Se han sombreado de color azul las categorías que no modifican el resultado comparativo de las dos metodologías, de esta manera se analizarán para el cultivo de palma aceitera 7 comparaciones que modifican el valor de huella de carbono obtenida para el mismo cultivo por las dos metodologías.

1. Desmonte de tierra y uso de suelo (Diferencia 0.0145 *Kg CO₂ e/Kg_p*)

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

- a. El WG2 de RSPO considera únicamente dos tipos de suelo (mineral y turba), asignando a cada uno un factor de emisión específico.
- b. La metodología local considera los criterios del IPCC para los factores de emisión del uso de suelo, considerando 8 tipos de cambio de suelo a cultivo de palma aceitera, en este caso se pasó de un suelo de uso agrícola perenne a palma que también es un suelo agrícola perenne. Por ese motivo en la metodología local no existen emisiones de GEI en este cambio de uso de suelo.
2. Fertilizantes y Materias primas (Diferencia $0.0161 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no consideró el uso de compostaje ni de agroquímicos para el control y erradicación de enfermedades y plagas; debido a que en Malasia e Indonesia, la incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos de palma aceitera son mínimos. La fertilización en estos países es química íntegramente, debido a que los subproductos vegetales de la extractora no se utilizan para elaborar compostaje como en Ecuador, estos residuos son utilizados como materia prima para elaborar papel a través de plantas industriales de celulosa.
 - b. La metodología local considera la aplicación de agroquímicos para el control fitosanitario del cultivo de palma aceitera y la utilización de compostaje como fertilizante.
3. Emisiones de Óxido nitroso (Diferencia $0.0010 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO considera al agua residual de la extractora como fuente de emisiones directas de óxido nitroso.
 - b. La metodología local no considera al agua residual de la extractora para estos cálculos porque pertenece a otro proceso que es la extracción de aceite crudo de palma y se considera para el cálculo de la huella de carbono de extractora.
4. Combustión de combustibles fósiles (Diferencia $0.0003 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO únicamente considera el uso de diésel como combustible en el cultivo de palma aceitera.
 - b. La metodología local considera al diésel y gasolina como combustibles, debido a que en Ecuador se utilizan estos dos combustibles.
5. Transporte (Diferencia $0.0015 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO considera el transporte de las materias primas dentro del cálculo de la emisión de GEI de los fertilizantes, no considera el transporte del cultivo a la refinería.
 - b. La metodología local considera el transporte del cultivo a la extractora para cumplir con los criterios de la metodología PAS 2050:2011.

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

6. Combustible (Diferencia $0.0004 \text{ Kg } CO_2 e / Kg_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera las emisiones de GEI producidas por el manejo de los combustibles.
 - b. La metodología local considera las emisiones de GEI producidas por el manejo de los combustibles.
7. Emisiones de CO_2 (Diferencia $0.0006 \text{ Kg } CO_2 e / Kg_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera las emisiones de CO_2 producidas por el manejo de fertilizantes.
 - b. La metodología local considera las emisiones de CO_2 producidas por el manejo de fertilizantes en referencia a la IPCC.

La diferencia de las huellas de carbono calculada por las dos metodologías es de $0.0033 \text{ Kg } CO_2 e / Kg \text{ RF}$, es decir un 26.19% con respecto a la huella de carbono calculada con la metodología PalmGHG Calculator. Encontrándose la diferencia más significativa en la consideración de materias primas.

3.3.2.2 Huella de carbono de la extractora de aceite de palma

Se comparan las categorías utilizada por las dos herramientas para el cálculo de la huella de carbono a través de las dos herramientas utilizadas.

Tabla 32. Categorías utilizadas para calcular las emisiones de GEI en los procesos que forman parte de la extractora de aceite crudo de palma según las dos metodologías comparadas

EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA	
PalmGHG Calculator	Metodología local
Efluente de extracción	Aguas residuales
Diésel de extracción de aceite crudo	Combustión de combustibles
Crédito por generación eléctrica	Energía eléctrica
Crédito por captación de metano	No aplica
Crédito por cogeneración	Residuos orgánicos
Cultivo de palma aceitera	Materias primas
Crédito por producción de co productos	Co productos
No aplica	Transporte
No aplica	Combustible
No aplica	Agua utilizada
No aplica	Otros residuos

La metodología local utiliza 10 categorías mientras que la metodología PalmGHG Calculator utiliza 7. Se puede observar que la metodología desarrollada por RSPO no considera el transporte, agua y residuos generados

por la extractora de aceite crudo de palma. Se realiza el análisis de los valores de emisión de GEI obtenidos en cada categoría por cada herramienta.

Tabla 33. Análisis de las emisiones de GEI obtenidas con las dos metodologías de cálculo

EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA			
PalmGHG Calculator		Metodología local	
Categorías	Emisiones GEI <i>Kg CO₂ e/Kg_p</i>	Categorías	Emisiones GEI <i>Kg CO₂ e/Kg_p</i>
Efluente de extracción	0.5522	Aguas residuales	0.0995
Diésel de extracción de aceite crudo	0.0069	Combustión de combustibles	0.0064
Crédito por generación eléctrica	0.0000	Energía eléctrica	0.0358
Crédito por captación de metano	0.0000	N/A	N/A
Crédito por cogeneración	-0.4568	Residuos orgánicos	0.3223
Cultivo de palma aceitera	0.0506	Materias primas	0.0639
Crédito por producción de co productos	-0.0077	Co productos	-0.0022
N/A	N/A	Transporte	0.0249
N/A	N/A	Combustible	0.0010
N/A	N/A	Agua utilizada	0.0000
N/A	N/A	Otros residuos	0.1065
N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A
TOTAL 1	0.1452	TOTAL 2	0.6582

Se han sombreado de color azul las categorías que no modifican el resultado comparativo de las dos metodologías, de esta manera se analizarán para la extractora de aceite crudo de palma 9 comparaciones que modifican el valor de huella de carbono obtenida para la misma extractora por las dos metodologías.

1. Efluentes de extracción y aguas residuales (Diferencia 0.4527 *Kg CO₂ e/Kg_p*)
 - a. El WG2 de RSPO calcula a través de una forma estandarizada la producción de efluentes de extracción, se considera que la relación entre la producción del efluente y los racimos procesados es 0.5. El factor de emisiones que utiliza RSPO es de 275.0088 *Kg CO₂ e/Kg_p*.
 - b. La metodología local permite el ingreso de la generación de efluente en el proceso de extracción, con los datos levantados, la relación entre la producción del efluente y los racimos procesados es 0.6. El factor

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

de emisiones utilizado ha sido calculado por la CEPAL aplicando la metodología del IPCC, cuyo valor es $42.1875 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$.

2. Combustión de diésel y combustibles (Diferencia $0.0005 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera otro combustible, únicamente el diésel.
 - b. La metodología local considera el uso de gasolina y diésel, utilizando un factor de emisión específico para cada combustible.
3. Consumo y generación de energía eléctrica (Diferencia $0.0358 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO considera que la cogeneración eléctrica es suficiente para suplir con energía eléctrica a toda la extractora y podría generar energía adicional para entregar al sistema interconectado.
 - b. La metodología local considera que existen en Ecuador extractoras que no utilizan cogeneración eléctrica o que esta no produce la suficiente cantidad de energía para suplir la demanda de la extractora.
4. Uso de residuos orgánicos (Diferencia $0.7791 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO considera que todos los residuos orgánicos que generan energía eléctrica a través de cogeneración, producen una absorción de carbono por generar energía eléctrica que no provenga de la quema de combustibles fósiles como son el gas natural y el carbón en Malasia e Indonesia.
 - b. La metodología local se basa en los estudios del IPCC publicados en el año 2006, en los cuales se considera que la cogeneración eléctrica genera emisiones de GEI. También se consideran las emisiones de GEI producidas por el compostaje de los residuos.
5. Materias primas (Diferencia $0.0133 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO únicamente considera a los racimos de fruta fresca como materia prima.
 - b. La metodología local considera también a los lubricantes utilizados para el funcionamiento y mantenimiento de la extractora.
6. Absorción por la producción de co productos (Diferencia $0.0055 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO considera como factor de absorción de CO_2 de los co productos, el mismo valor del factor de emisión de los racimos de palma con valor negativo.
 - b. La metodología local considera el mismo factor que el WG2 de RSPO, pero los valores difieren porque el factor de emisión o la

Generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador

huella de carbono de los racimos de fruta difiere con las dos metodologías.

7. Transporte (Diferencia $0.0249 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera las emisiones por el transporte del aceite crudo hasta la refinería.
 - b. La metodología local considera el transporte del cultivo a la refinería para cumplir con los criterios de la metodología PAS 2050:2011.
8. Combustible (Diferencia $0.0010 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera las emisiones de GEI producidas por el manejo de los combustibles.
 - b. La metodología local considera las emisiones de GEI producidas por el manejo de los combustibles.
9. Otros residuos (Diferencia $0.1065 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_p$)
 - a. El WG2 de RSPO no considera todos los residuos generados en la extractora de palma como son las cenizas de calderos y los lodos de clarificación del aceite crudo.
 - b. La metodología local contempla el manejo de las cenizas y los lodos de clarificación.

La diferencia de las huellas de carbono calculada por las dos metodologías es de $0.5130 \text{ Kg CO}_2 \text{ e/Kg RF}$, es decir un 353.31% con respecto a la huella de carbono calculada con la metodología PalmGHG Calculator. Encontrándose la diferencia más significativa en la consideración de las emisiones de los residuos orgánicos y otros residuos.

3.3.2.3 Huella de carbono de los productos

Tabla 34. Comparación de resultados de huella de carbono de los tres productos obtenidos por las diferentes metodologías

PRODUCTO / METODOLOGÍA	PalmGHG Calculator	Metodología local
	$\text{Kg CO}_2 \text{ e/Kg}_{\text{producto}}$	
Racimos de fruta	0.0126	0.0159
Aceite crudo	0.1452	0.6582
Aceite refinado	-----	1.0297
		1.1122

3.4 Aplicación práctica

La metodología desarrollada para el cálculo de la huella de carbono de los productos de palma aceitera en Ecuador, puede ser aplicada por cualquier cultivo, extractora o refinaria de palma que requiera calcular la huella de carbono de sus productos. Esta metodología es de gran importancia para las extractoras y refinerías de aceite de palma que exporten sus productos o cuyos clientes soliciten el cálculo de las huellas de carbono como son clientes que solicita la certificación RSPO.

El cálculo de la huella de carbono, permite dotar a los usuarios de la identificación de puntos de mejora en las diferentes etapas de los procesos productivos. Esta identificación de puntos de mejora permite desarrollar medidas que no solo logran una reducción de los GEI, sino que permitirá optimizar recursos en los sistemas productivos.

Actualmente el mercado solicita que las empresas y los productos posean certificaciones, para validar su calidad o su grado de compromiso y responsabilidad con el desarrollo sostenible. Una de las certificaciones que está ganado presencia en el mercado es el certificado Carbono neutro que se obtiene a través de la cuantificación de las emisiones de GEI, su validación, su disminución y finalmente u compensación. El aplicar esta metodología ayudaría a una empresa a levantar una línea base o una auditoría interna de sus emisiones de GEI.