

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 El problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

Ecuador genera aproximadamente 500,000.00 Tm de aceite crudo de palma al año, de las cuales se exportan alrededor del 55% (FEDAPAL, 2013). La Unión Europea es uno de los principales mercados de aceite crudo de palma a nivel mundial, pero los estándares de calidad de los productos que importan son muy restrictivos. A partir del año 2015 para el aceite crudo de palma, se solicitará la certificación de la Mesa Redonda de Aceite de Palma o RSPO por sus siglas en inglés y el cálculo de la huella de carbono de su producción. Por tal motivo es sumamente importante desarrollar una metodología para el cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite crudo y refinado de palma.

1.1.1.1 Diagnóstico

En la actualidad no existen metodologías locales para el cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite crudo y refinado de palma. Únicamente existen metodologías diseñadas para el tipo de producción de aceite crudo de palma que se realiza en Malasia e Indonesia, lo cual no es aplicable para la producción de aceite de palma en el Ecuador porque los sistemas de producción y los factores de emisiones en algunos casos son diferentes, generando que los cálculos de huella de carbono no sean fiables y el aceite crudo y refinado de palma no sea atractivo para mercados internacionales importantes como el europeo.

1.1.1.2 Pronóstico

Mientras no se desarrolle y aplique una metodología local, no podremos calcular la huella de carbono del aceite crudo y refinado de palma de una manera fiable y estaremos perdiendo mercado internacional. Debido a que los países europeos prefieren importar aceite crudo y refinado de palma certificado RSPO y que posea el cálculo de la huella de carbono de su producción.

1.1.1.3 Control del pronóstico

En primer lugar, se validaron las metodologías existentes más representativas para el cálculo de la huella de carbono de la producción del aceite crudo y refinado de palma con los datos recopilados en campo y validados en gabinete.

A continuación, se diseñó una nueva metodología de cálculo de la huella de carbono en la producción de aceite crudo y refinado de palma producido en Ecuador, con las variables identificadas y validadas a través de un mapa de procesos.

Finalmente, se validó y comparó la metodología generada con las metodologías existentes. Se realizó el cálculo de la huella de carbono del aceite crudo y refinado de palma producido en Ecuador.

1.1.2 Formulación del problema

Ecuador exporta alrededor del 55% de su producción anual de aceite crudo y refinado de palma, uno de los principales mercados para el aceite refinado de palma a nivel mundial es el europeo. El mercado europeo de aceite crudo y refinado de palma, a partir del año 2015 solicitará la certificación RSPO y el cálculo de la huella de carbono para el aceite crudo y refinado de palma de importación. Actualmente no existe una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción del aceite de palma. Las metodologías existentes han sido desarrolladas para la producción de aceite crudo y refinado de palma de Malasia e Indonesia y por lo tanto, no son aplicables para la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador.

1.1.3 Sistematización del problema

¿Qué variables inciden en mayor proporción en el cálculo de la huella de carbono?

¿En qué difieren las metodologías de cálculo de huella de carbono actuales con la metodología desarrollada?

¿En qué porcentaje difieren los valores de huella de carbono del aceite crudo y refinado de palma de Ecuador que han sido calculados con diferentes metodologías?

1.1.4 Objetivo general

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

1.1.5 Objetivos específicos

1. Diseñar un mapa de proceso tomando en cuenta las variables locales que intervienen en la producción del aceite crudo y refinado de palma.
2. Validar las metodologías actuales para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma.
3. Desarrollar una metodología local para el cálculo de la huella de carbono del aceite crudo y refinado de palma.
4. Calcular la huella de carbono de la producción del aceite crudo y refinado de palma elaborado en Ecuador.
5. Comparar los resultados de huella de carbono obtenidos.

1.1.6 Justificaciones

La palma aceitera actualmente se ha convertido en el principal cultivo a nivel nacional con más de 280,000.00 hectáreas (ANCUPA 2013). El Gobierno nacional ha decidido realizar una zonificación agroecológica para el cultivo de palma aceitera, con la finalidad de identificar las zonas aptas para el cultivo. Actualmente existen modelos en los cuales el terreno apto para el cultivo de palma aceitera a nivel nacional sobrepasa las 300,000.00 hectáreas (MAE y MAGAP, 2013). Se busca incentivar al cambio de la matriz energética al elaborar biodiesel a partir del aceite crudo y refinado de palma e incrementar la balanza comercial agrícola debido a que en el año 2012 se exportó aproximadamente el 55% de la producción nacional de aceite crudo y refinado de palma.

A nivel mundial uno de los mercados más importantes del aceite crudo y refinado de palma es el mercado europeo, que gracias al trabajo y presión de los diferentes actores que conforman la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO por sus siglas en Inglés), los diferentes mercados y sobre todo el europeo empezarán a exigir la certificación RSPO y el cálculo de huella de carbono para el aceite crudo y refinado de palma de importación.

Por este motivo, es importante contar con metodologías para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma, sin embargo, actualmente no existen metodologías locales en las cuales intervengan

procesos y variables definidas propias de la producción de aceite crudo y refinado de palma en Ecuador.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema

Durante el desarrollo de esta tesis se trabajó con la información base existente sobre los siguientes temas:

1. Palma aceitera
2. Aceite de palma
3. Huella de carbono

1.2.1.1 Palma aceitera

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) es un árbol tropical perenne que se cultiva específicamente para la producción de aceite vegetal derivado, su cultivo se realiza en las tierras bajas tropicales, su origen es el oeste y centro de África (Verheyne, 2010). Debido a las condiciones agroecológicas similares que se encuentran en toda la zona tórrida del planeta, los cultivos de palma aceitera se han extendido en todas estas áreas del planeta, en los diferentes continentes como son América, Asia y Oceanía.

Los frutos que se encuentran dentro del raquis y que conforman el racimo de fruta de palma aceitera, están conformados por:

- Mesocarpio
 - Piel o cáscara
 - Fibra
- Semilla
 - Cuesco
 - Almendra

Los tipos de palma aceitera se clasifican por la estructura de la semilla del fruto, lo cual determina su valor comercial, existen los siguientes tipos:

- Macrocaria
 - Este tipo de palma no posee ningún valor comercial por su bajo o casi nulo contenido de aceite al estar conformada casi en su totalidad por la semilla que a su vez en un 90% es cuesco.

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

- Dura
 - Posee un 55% de cuesco, por tal motivo no es comercialmente atractiva por la poca cantidad de aceite que posee.
- Pisífera
 - No posee su semilla definida (no existe cuesco), por tal motivo se dificulta la obtención de aceite de este tipo de palma.
- Tenera

Posee del 1 al 30% de cuesco y es el tipo de palma con mayor valor comercial.

Los datos específicos de la palma aceitera son (MAGAP, 2013):

- Nombre vulgar:
 - Palma africana, palma de aceite, palma aceitera
- Nombre científico:
 - *Elaeis guineensis Jacq*
- Familia:
 - Palmaceae
- Origen:
 - África
- Tipo biológico:
 - Árbol
- Ciclo vegetativo:
 - Perenne
- Altura:
 - 20 metros (a los 25 años)

1.2.1.1.1 Productos

El producto obtenido del cultivo de palma aceitera los racimos de fruta fresca de palma que después de ser procesada en una Extractora de Aceite de Palma se obtienen diferentes productos derivados. El principal producto derivado es el aceite crudo de palma que se concentra en los racimos de fruta fresca con un contenido del 20 al 22% del peso total de los racimos (Verheye, 2010).

Otros productos derivados de los racimos de fruta fresca de palma aceitera son (ANCUPA, 2007):

- Aceite de palmiste
 - Del 2 a 3% del peso total del racimo
- Raquis
 - Del 20 al 22% del peso total del racimo
- Fibra

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

- Del 20 al 21% del peso total del racimo
- Cuesco o cascarilla
 - Del 6 al 7% del peso total del racimo
- Torta de palmiste
 - Del 2 a 3% del peso total del racimo
- Agua
 - Del 29 al 30% del peso total del racimo

1.2.1.1.2 Cultivo y manejo

El análisis del cultivo y manejo de las plantaciones de palma aceitera se subdivide en tres componentes:

1. Establecimiento de la plantación
2. Manejo de la plantación
3. Cosecha

1.2.1.1.2.1 Establecimiento de la plantación

El establecimiento de la plantación de palma está formada por (IICA, 2006):

1. Semillero
 - a. Para germinar, las semillas de palma aceitera deben pasar por un periodo de sesenta a ochenta días.
 - b. Las semillas en el germinador reciben las condiciones de temperatura (40 °C) y humedad adecuada (22%).
 - c. En el semillero se puede perder de un 15 a 20% de semillas que mueren o son anormales.
2. Vivero
 - a. Una vez que las semillas han germinado, se las lleva al pre-vivero en las cuales se las coloca dentro de un sustrato con los fertilizantes adecuados.
 - b. Previo al trasplante al vivero se seleccionan las mejores plántulas, eliminando las mal formadas.
 - c. Durante un periodo de 12 a 14 meses las plántulas crecen en los viveros, con un sistema de riego que aplique un promedio de 8 mm/día de agua a cada planta.
 - d. Durante los 3 primeros meses se debe reducir la cantidad de luminosidad solar directa en un máximo del 60%.

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

- e. Durante la fase de vivero las plántulas son susceptibles ante plagas y enfermedades, por tal motivo se deben realizar controles fitosanitarios continuos.
3. Adecuación del terreno y siembra:
 - a. Primero se debe establecer el área donde se desarrollará la plantación de palma aceitera en base a un estudio de factibilidad social, económica y ambiental de esta manera se establecerán los lotes o parcelas.
 - b. En segundo lugar se debe preparar el terreno, para lo cual se deben realizar trabajos de nivelación, desbroce y siembra de una leguminosa de protección de la erosión y fijación de nitrógeno en el suelo. Es importante establecer un sistema de drenaje para las zonas de depresión.
 - c. Como tercer punto se deben iniciar la siembra de las hileras de palma orientadas de preferencia de norte a sur para facilitar la insolación, la densidad óptima por hectárea es de 143 palmas que deben estar sembradas aplicando el criterio de los tres bolillos, en la cual entre dos palmas de una misma hilera deben existir 9 metros de separación y a su vez estas palmas deben estar a 9 metros de separación de la palma de la siguiente hilera, formando un triángulo equilátero. Por tal motivo, entre hileras existe una distancia de 7.80 metros.
 - d. Finalmente se deben definir los caminos que serán los límites de cada parcela o lote.

1.2.1.1.2.2 Manejo de la plantación

El manejo de la plantación de palma aceitera está conformado por (IICA, 2006):

1. Labores culturales
 - a. Se debe realizar un control de malezas a través de mecanismos mecánicos y químicos, se recomiendan dos ciclos de control anuales.
 - b. Durante el segundo año es importante realizar una resiembra para reponer las palmas muertas que pueden llegar a un 3%.
 - c. Antes de la cosecha se deben realizar podas de sanidad para eliminar racimos malformados, hojas secas y hojas bajas.
 - d. Es importante realizar la recolección del fruto caído para evitar el nacimiento de plántulas, esta actividad es conocida como coyoleo.
2. Fertilización

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

- a. Se deben diseñar programas de fertilización en base a análisis químicos del suelo, análisis foliares, rendimiento y edad de la plantación.
- b. Los análisis foliares se realizan en las hojas 9 y 17 y se poseen niveles críticos de nutrientes, cualquier valor por debajo de estos porcentajes se consideran deficiencias:
 - i. Hoja 9
 1. Nitrógeno: 2.70
 2. Fósforo: 0.16
 3. Potasio: 1.25
 4. Calcio: 0.50
 5. Magnesio: 0.23
 - ii. Hoja 17
 1. Nitrógeno: 2.50
 2. Fósforo: 0.15
 3. Potasio: 1.00
 4. Calcio: 0.60
 5. Magnesio: 0.24
- c. Los fertilizantes se aplican en círculos alrededor de las palmas y el radio del círculo se incrementa 0.50 cada año.
3. Control de plagas
 - a. Se recomienda establecer un Manejo Integrado de Plagas (MIP) que se basa en:
 - i. Sistemas de monitoreo
 - ii. Controles biológicos
 - iii. Manejo controlado de agroquímicos
 1. Aplicación puntual
 - a. Inyección sistémica en el tronco
 - b. Tratamiento a través de las raíces
 2. Mínima toxicidad
 3. Uso de equipo de protección personal
 - b. Las principales plagas de la palma aceitera son del Orden:
 - i. Himenóptero (ácaros)
 - ii. Ortóptero (saltamontes)
 - iii. Homóptero (polillas)
 - iv. Coleópteros (escarabajos)
 - v. Lepidópteros (mariposas)
 1. Defoliadores
 2. Barrenadores
4. Control de enfermedades
 - a. Las principales enfermedades que afectan a las plantaciones de palma aceitera son:

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

- i. Fusariosis
- ii. Ganoderma
- iii. Anillo rojo
- iv. Marchitez sorpresiva
- v. Pudrición de cogollo
- vi. Pudrición de flecha
- vii. Anillo clorótico
- viii. Mancha anular
- b. Para controlar las enfermedades y focos de enfermedades
 - i. Controles fitosanitarios
 - ii. Erradicación de vectores
 - iii. Erradicación de palmas enfermas

1.2.1.1.2.3 Cosecha

La cosecha se realiza cuando los frutos de los racimos adquieren un color rojo anaranjado y empiezan a desprenderse. Esta etapa se denomina óptimo grado de madurez, en la cual la acidez tiene el mínimo grado posible (1.2 a 1.5%). Los intervalos de cosechas oscilan entre 10 y 15 días, esta labor representa los mayores costos operativos en una plantación.

Para cosechar los racimos, se los debe cortar de la palma, para lo cual se utilizan diversas herramientas afiladas; una vez que se tiene los racimos, se los coloca dentro del transporte que dependiendo de la plantación puede ser de tracción motorizada o animal. La cosecha se realiza hilera por hilera para que una vez que se ha llenado el transporte se acumulan los racimos en tendales o centros de acopio temporales ubicados en las vías de cada lote o parcela para ser recolectados por un camión.

Una vez que los camiones se encuentran totalmente cargados, estos se dirigen a centros de acopio o directamente a las Extractoras de aceite crudo de palma, donde son pesados a su ingreso y salida para determinar la cantidad de racimos cosechados. Con estos datos se pueden obtener indicadores de la eficiencia de la finca.

1.2.1.1.3 Palma aceitera en el Ecuador

La palma aceitera se introdujo en Ecuador en 1952 a través del Lee Hines, propietario de la compañía UFCO en Honduras. Las primeras semillas traídas por Lee Hines fueron sembradas por los hermanos Roscoe y Leal Scott en 1953 en una plantación de palma aceitera con una extensión inferior a 40 hectáreas

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

ubicada en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo (FLACSO, 1984). Con esta plantación empírica se determinó que las condiciones agroecológicas de la zona cumplían con los requerimientos de la palma aceitera, por tal motivo este sector se convirtió en el foco de expansión de los cultivos de palma aceitera en el país.

1.2.1.1.3.1 Extensión y ubicación geográfica

En el año 2005, se llevó a cabo el censo palmero en el Ecuador a cargo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, actual MAGAP), la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) y la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional (FEDAPAL). A través de este censo con la ayuda de herramientas de representación geográfica (CAD con manejo de georeferenciación), se determinó e identificó la extensión y ubicación de los cultivos de palma aceitera en el Ecuador, el Cuadro 3 indica los resultados de extensión y ubicación geográfica de las plantaciones de palma aceitera en el Ecuador determinada en el censo palmero 2005:

Cuadro 1. Extensión y ubicación de los cultivos de palma aceitera en el Ecuador (MAG, 2005).

PROVINCIA	EXTENSIÓN (ha)
Bolívar	191.20
Cotopaxi	1,525.10
Esmeraldas	79,719.02
Guayas	3,409.80
Los Ríos	31,977.28
Manabí	1,607.50
Orellana	5,068.74
Pichincha	34,201.27
Sucumbíos	10,118.57
La Concordia*	28,476.15
Las Golondrinas*	4,070.38
Manga del Cura*	6,920.30
TOTAL	207,285.31

*Áreas sin definición política

1.2.1.2 Aceite de palma

Como se indicó en el numeral 1.2.1.1.1, el aceite crudo de palma (CPO por sus siglas en inglés) es el principal producto obtenido del fruto de la palma aceitera,

para su obtención, el fruto de palma debe ser procesado en una Extractora de aceite crudo de palma.

En la actualidad, se estima que alrededor de la mitad de los productos empaquetados que están a la venta en un supermercado como son alimento, artículos de aseo personal, artículos de aseo del hogar, artículos de belleza, entre otros contienen aceite de palma dentro de sus ingredientes. El aceite de palma es el aceite mayormente utilizado a nivel mundial, de hecho representa más del 65% del aceite vegetal comercializado internacionalmente (WWF, 2013).

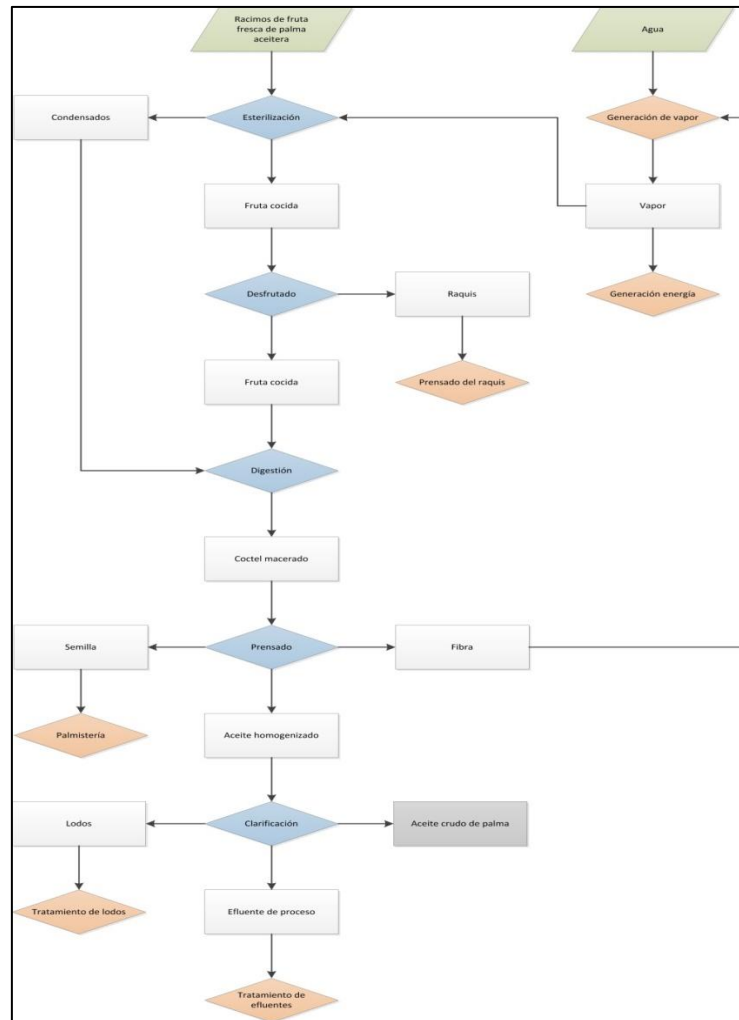
1.2.1.2.1 Producción mundial

La producción mundial de aceite de palma en el año 2012 fue de 50.56 millones de toneladas de las cuales el 86% es producido en Indonesia y Malasia (MA Perú, 2013). Debido al incremento de la población mundial y el incremento de los requerimientos globales, se estima que para el año 2020 se deberá duplicar la producción de aceite crudo de palma.

1.2.1.2.2 Extracción

Para obtener el aceite crudo de palma, es necesario procesar los racimos de fruto frescos cosechados de las plantaciones de palma aceitera. El procesamiento se realiza en plantas Extractoras de aceite que a través de un proceso físico extraen el aceite contenido en los frutos, por ese motivo el proceso se conoce como extracción.

Figura 1. Extracción de aceite crudo de palma (Creado por el autor, en referencia a la experiencia en visitas a diferentes Extractoras de aceite de palma en el país).



Los principales procesos de la extracción de aceite crudo de palma son (Fateme *et al*, 2010):

1. Esterilización

- Es el primer paso en la extracción de aceite crudo de palma, los racimos de fruta fresca son esterilizados en autoclaves con alta temperatura y alta presión.
- El propósito de la esterilización es desactivar las enzimas hidrolíticas, responsables del incremento de los ácidos grasos libres.
- La esterilización también sirve para facilitar el desprendimiento de los frutos del racimo.

2. Desfrutado
 - a. Después de la esterilización, los racimos son desfrutados a través de cilindros rotatorios.
 - b. Las semillas son acumuladas y transportadas hasta los digestores.
 - c. Los racimos vacíos son prensados para recuperar la fracción de aceite que absorben y son transportados fuera del proceso.
3. Digestión
 - a. Las semillas llegan a los digestores donde son macerados con vapor.
 - b. En la maceración se rompen las células que contiene el aceite en el mesocarpio de la fruta.
 - c. El vapor al condensarse mejora el flujo del aceite.
4. Prensado
 - a. El coctel de maceramiento pasa a través de una prensa de tornillo de doble aspa y una pantalla vibratoria.
 - b. La prensa de tornillo extrae el aceite homogenizado o fase líquido (mezcla de aceite, agua y residuos)
 - c. La pantalla vibratoria separa la fase sólida que contiene la fibra del mesocarpio y la semilla de la fruta.
 - d. El aceite homogenizado es transportado al sistema de clarificación.
 - e. La fase sólida es transportada al proceso de secado y palmistería.
5. Clarificación
 - a. El aceite homogenizado es separado en sus tres fases a través de un clarificador especializado o tricanter.
 - b. El lodo o fase sólida es transportada fuera del sistema para su gestión.
 - c. El agua o efluente separado, debe ser tratado para ser recirculado o descargado a los cuerpos de agua.
 - d. El aceite clarificado o aceite crudo de palma, es almacenado en tanques para su ser vendido localmente o exportado.

1.2.1.2.3 Refinación

El aceite de palma está formado por componentes glicéridos y no glicéridos, para que los aceites puedan ser comestibles, los compuestos no glicéridos deben ser reducidos o eliminados (Affandi, 1975). Existen dos tipos de componentes no glicéricos:

- Solubles en aceite
 - Ácidos grasos libres
 - Fosfolípidos

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

- Trazas de metales
- Carotenoides
- Tocoferoles / tocotrienoles
- Esteroles
- Insolubles en aceite
 - Residuos de:
 - Fibras de fruta
 - Astillas de cuesco
 - Humedad

Para eliminar o disminuir los porcentajes de los compuestos no glicéridos del aceite crudo de palma, es necesario refinarlo. El aceite crudo de palma posee también un color y olor que no tienen atractivo comercial, motivo por el cual después de la refinación, se realiza el blanqueo y desodorización. Existen dos métodos de refinación:

- Refinación física
- Refinación química

1.2.1.2.3.1 Refinación física

La refinación física está conformada por cuatro fases para obtener el aceite refinado de palma o RBD (Hariyadi, 2012):

1. Desgomado
 - Se realiza para eliminar los fosfátidos o fosfolípidos hidratables y no hidratables.
 - Se inicia con el lavado del aceite con agua.
 - Para remover los fosfolípidos hidratables se realiza una centrifugación.
 - Se añade potasio o sodio como ion monovalente para que sustituyan a los iones divalentes de calcio y magnesio.
 - Los fosfolípidos no hidratables se transforman en hidratables.
 - Se lava nuevamente con agua y se centrifuga.
2. Blanqueado
 - En esta fase se descomponen los peróxidos, se eliminan los compuestos oxidantes, remanentes de jabones y se elimina el color.
 - El blanqueamiento se realiza a través de un material absorbente, por lo general se utilizan tierras de blanqueo. El material más utilizado es la bentonita.

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

- Se realiza una mezcla del aceite con la tierra de blanqueo y es agitada al vacío a una elevada temperatura.
- La mezcla se enfría y se centrifuga para separar los componentes.
- 3. Desacidificación
 - El proceso se lo realiza en conjunto con la desodorización.
 - Tiene la finalidad de reducir los ácidos grasos libres.
- 4. Desodorización
 - El proceso se lo realiza en conjunto con la desacidificación.
 - La finalidad del proceso es reducir los ácidos grasos libres, cetonas y aldehídos que acidifican, dan sabor y olor al aceite lo cual no le da un valor comercial.
 - El proceso se realiza a través de la destilación con vapor al vacío, el principio es remover por evaporación los compuestos no deseados que tienen un punto de ebullición que el resto de triglicéridos que componen el aceite.

1.2.1.2.3.2 Refinación química

La refinación química está conformada por tres fases para obtener el aceite refinado de palma o RBD (Hariyadi, 2012):

1. Neutralización alcalina
 - Se utiliza para separar el aceite en dos fases:
 - Fase ligera
 - Aceite neutralizado
 - Fase pesada
 - Emulsión de jabón, impurezas insolubles, gomas, fosfátidos, exceso de álcali y aceite de pérdida
 - Se añade una dosis concentrada de ácido fosfórico al aceite crudo.
 - Adicionalmente se añade una solución de sosa cáustica.
 - La mezcla es lavada con agua caliente y es centrifugada.
 - El aceite lavado y centrifugado es secado al vacío.
2. Blanqueamiento
 - Es el mismo proceso del tratamiento físico.
 - En esta fase se descomponen los peróxidos, se eliminan los compuestos oxidantes, remanentes de jabones y se elimina el color.
 - El blanqueamiento se realiza a través de un material absorbente, por lo general se utilizan tierras de blanqueo. El material más utilizado es la bentonita.

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

- Se realiza una mezcla del aceite con la tierra de blanqueo y es agitada al vacío a una elevada temperatura.
- La mezcla se enfría y se centrifuga para separar los componentes.

3. Desodorización

- Es el mismo proceso de la refinación física.
- La finalidad del proceso es reducir los ácidos grasos libres, cetonas y aldehídos que acidifican, dan sabor y olor al aceite lo cual no le da un valor comercial.
- El proceso se realiza a través de la destilación con vapor al vacío, el principio es remover por evaporación los compuestos no deseados que tienen un punto de ebullición que el resto de triglicéridos que componen el aceite.

1.2.1.2.3.3 Comparación composicional

A través del Cuadro 1 se identifican las diferencias en los valores de los parámetros composicionales del aceite crudo de palma CPO y el aceite refinado RBD:

Cuadro 2. Comparación composicional entre el aceite CPO y el aceite RBD (Mustafa, 2006)

Parámetro	CPO	RBD
Aceites ácidos libres	2- 5 %	< 0.05 %
Humedad e impureza	0.15 – 3.0 %	< 0.02 %
Valor de peróxido	1.5 – 5.0	Ausencia
Anisidina	2 - 6	< 2
Contenido de β caroteno	500 – 600 ppm	Ausencia
Índice de deterioro de la capacidad de blanqueo	2 – 3.5	Ausencia
Fósforo	10 – 18 ppm	< 3 ppm
Hierro	4 – 10 ppm	< 0.15 ppm
Cobre	< 0.05 ppm	< 0.05 ppm

1.2.1.2.4 Fraccionamiento

El aceite refinado RBD puede ser separado en sus dos fases componentes para diversificar su uso, este proceso se conoce como fraccionamiento; las dos fases del aceite son (Hariyadi, 2012):

- Oleina
 - Fase líquida de bajo punto de fusión.
 - Generalmente utilizada para fabricar aceites de cocina.

- Estearina
 - Fase sólida de alto punto de fusión.
 - Generalmente utilizada para generar margarinas y frituras industriales.

El fraccionamiento se realiza de la siguiente manera:

1. El aceite refinado es homogenizado a alta temperatura.
2. Luego es enfriado abruptamente.
3. El aceite que empieza a cristalizarse pasa por un cristizador en donde se separan las dos fases.
4. A través de un separador de boquilla se extrae la oleína.
5. La estearina pasa a un recipiente de fusión, para finalmente condensarse.

1.2.1.3 Huella de carbono

La huella de carbono fue creada para medir la cantidad de gases de efecto invernadero generados y emitidos por una empresa o un producto durante su cadena de producción o durante todo su ciclo de vida (Frohmann *et al*, 2013). Es un indicador que toma en cuenta los seis gases de efecto invernadero indicados en el Protocolo de Kioto que son:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- Perfluorocarbonos (PFC)

La unidad del indicador huella de carbono común, está definida en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e). Para obtener el valor equivalente de dióxido de carbono de los seis gases de efecto invernadero, se debe multiplicar sus emisiones en toneladas por su potencial de calentamiento global respectivo después de cien años.

El objetivo del cálculo de la huella de carbono es la reducción de las emisiones calculadas, para mitigar de esta manera el cambio climático.

1.2.1.3.1 Cambio climático

EL cambio climático ha sido definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como: “cambio del clima

atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

El cambio climático se ha atribuido a la acumulación de gases en la atmósfera que detienen la expulsión de temperatura del planeta, lo cual es conocido como el efecto invernadero. Estos gases conocidos como gases de efecto invernadero absorben la radiación que se refleja de la Tierra, atrapando el calor e impidiendo que la energía salga al espacio (Frohmann *et al*, 2013).

Los principales efectos del calentamiento global, es la estimación del incremento de la temperatura global que está estimada en el rango de 1.4 a 6.4°C para el año 2100 (Frohmann *et al*, 2013). Este incremento generaría alteraciones en el sistema climático mundial, que actualmente se pueden evidenciar en desastres naturales con mayor intensidad y que son más prolongados y frecuentes.

1.2.1.3.2 Emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura e industria alimenticia

Las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial generadas por la agricultura, representan aproximadamente el 15% y la industria alimenticia representa el 1% (Frohmann *et al*, 2013). Los principales gases de efecto invernadero generados por la agricultura son el óxido nitroso y el metano, debido al uso de agroquímicos, la gestión de residuos animales y el cambio de uso de suelo. En el caso de los alimentos, la producción de gases de efecto invernadero y su motivo, difieren del sector, empresa y producto.

1.2.1.3.3 Cálculo de la huella de carbono

La medición de la huella de carbono es un ejercicio de contabilidad de emisiones, que debe estar enfocado según los requerimientos de la empresa para medir su huella de carbono o la de un producto o proyecto. Se debe determinar la metodología a utilizar que estará definida por los requerimientos del cliente o de la empresa encargada de la medición.

1.2.1.3.3.1 Variables a medir

Para calcular la huella de carbono de un producto o una empresa se deben considerar las emisiones directas e indirectas asociadas.

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

- Emisiones directas
 - Son las emisiones que se controlan directamente en los procesos productivos como es el consumo de hidrocarburos, energía o recursos naturales.
- Emisiones indirectas
 - Son las emisiones de fuentes no controladas como el transporte, generación de materias primas o el uso de los productos.

Es importante determinar qué fuentes se consideran y qué fuentes se excluyen a través de fijar límites, para esto se utilizan tres niveles o campos de cobertura que se conocen como Scopes (Frohmann *et al*, 2013):

- Scope 1:
 - Incluye todas las emisiones directas.
- Scope 2:
 - Incluye las emisiones indirectas relacionadas al consumo energético.
- Scope 3:
 - Incluye las relaciones indirectas de los insumos y ciclo de vida de los productos.

La medición de la huella de carbono de los productos es analizada en base su ciclo de vida, existen dos enfoques:

1. “De la cuna a la tumba”
 - a. Incorpora todas las etapas de la vida de un bien, desde las materias primas hasta la gestión de los residuos de su uso.
2. “De la cuna a la puerta”
 - a. Excluye la medición de las emisiones generadas en las etapas posteriores a la llegada del producto a la puerta de destino.

1.2.1.3.3.2 Metodologías de cálculo de huella de carbono

Actualmente no existe un marco metodológico común o estandarizado para la medición de la generación de gases de efecto invernadero. Durante los últimos años se han desarrollado diferentes metodologías con la siguiente lógica (Schneider *et al*, 2011):

- Programas privados
- Herramientas elaboradas por Organismos No Gubernamentales
- Herramientas elaboradas por organismos estatales

Las metodologías pueden estar especificadas para un concepto a diferente escala, con parámetros y alcances diferentes.

A pesar de la gran cantidad de metodologías que se han generado para calcular la huella de carbono, existen metodologías que poseen reconocimiento por su integridad metodológica que serán descritos a continuación.

1.2.1.3.3.2.1 Normas ISO

La Organización Internacional de Estandarización (ISO), ha desarrollado estándares relacionados con la medición de gases de efecto invernadero, los cuales pretenden ser un marco estandarizado. Existen diferentes estándares desarrollados.

- ISO 14064 e ISO 14065
 - Dan credibilidad y confiabilidad a los reportes de emisiones y las declaraciones de su reducción o eliminación.
 - Se aplica para todos los gases de efecto invernadero.
 - La ISO 14064 se enfoca en la contabilización, reducción y verificación de emisiones de empresas y administraciones.
 - La ISO 14065 entrega confiabilidad en los procesos de verificación y validación.
- ISO 14067
 - Este estándar se enfoca en el cálculo de la huella de carbono de los productos.
 - Está basado en la metodología PAS 2050.
 - Cubre la evaluación de emisiones y la comunicación de resultados.
- ISO/WD 14069
 - Fue publicada en el año 2013.
 - Es la guía de aplicación de la norma ISO 14064.
 - Se aplica a la cuantificación y reporte de gases de efecto invernadero para organizaciones.

1.2.1.3.3.2.2 GHG Protocol

El protocolo de gases de efecto invernadero fue una iniciativa del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible y el Instituto de Recursos Mundiales, que tiene como meta el establecimiento de un marco metodológico para la contabilización de emisiones.

La gran mayoría de marcos metodológicos se basan en el GHG Protocol, debido a que tiene un amplio reconocimiento mundial y es una de las principales referencias. Puede ser aplicado al cálculo de las emisiones en organizaciones y productos.

1.2.1.3.3.2.3 Bilan Carbone y BP X30-323

Esta metodología es desarrollada por la Agencia de Medioambiente y Gestión de la Energía de Francia ADEME y posee referencia de la norma ISO 14064 y GHG Protocol. Posee una visión generalista completa a través de módulos aplicativos.

Para utilizar y obtener los módulos, se debe seguir una capacitación de esta manera se obtiene el conjunto de herramientas Bilan Carbone y se puede realizar el análisis bajo su sello.

En el año 2009 la ADEME y la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) elaboraron un resumen de buenas prácticas conocido como BP X30-323 que aplica etiquetado ambiental incluyendo la huella de carbono.

1.2.1.3.3.2.4 PAS 2050 / 2060

Son metodologías desarrolladas por el Instituto Británico de Normalización, las siglas PAS corresponden a Publicly Available Specification (Especificación Disponible al Público). La herramienta PAS 2050 se desarrolló para calcular la huella de carbono en productos y la PAS 2060 en organizaciones.

La herramienta PAS 2050 posee dos tipos de medición en referencia a los ciclos de vida de productos:

- Business to business (B2B)
 - De la cuna a la tumba
- Business to customer (B2C)
 - De la cuna a la puerta

La metodología PAS 2060 se la utiliza como norma para la neutralización de la huella de carbono, sirve para identificar los requisitos que debe cumplir una organización para demostrar la neutralidad del carbono a través de la cuantificación, reducción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero.

1.2.1.3.3.3 Comparación de las metodologías de cálculo de la huella de carbono

Cuadro 3. Comparación de las principales metodologías de uso internacional para medir las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (Frohmann *et al*, 2013)

ORGANIZACIÓN	NOMBRE	ENFOCADO	AÑO (última versión)
Organización Internacional de Normalización (ISO)	ISO 14067	Producto	2013
	ISO 14069	Empresa	2013
Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD)	GHG Protocol Corporativo	Empresa	2004
	GHG Protocol Cadena de valor	Empresa	2011
	GHG Protocol Ciclo de vida	Producto	2011
Agencia del Medioambiente y Gestión de la Energía de Francia (ADEME)	Bilan Carbone	Empresa	2004
	BP X30 – 323	Producto	2011
Instituto Británico de Normalización (BSI) y Carbon Trust	PAS 2050	Producto	2011
	PAS 2060	Empresa	2010

1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica

Al realizar la revisión de la información, se decidió basarse en la experiencia del Grupo de Trabajo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Work Group, 2012) de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO). En la cual se realiza un cálculo (estimación) de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se libera como resultado de la producción de aceite crudo y refinado de palma.

Las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) se expresarán en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) por hectárea sembrada y por tonelada de aceite crudo de palma (CPO) producido.

Se adoptará una perspectiva de sostenibilidad, característica de la economía ecológica; de la cual nace la huella ecológica como indicador de sostenibilidad.

1.2.3 Marco conceptual

En la presente tesis se utilizan los conceptos de:

- Palma aceitera

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

- Aceite de palma
- Huella de carbono

1.2.4 Hipótesis

La generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono que incorpore las variables de los procesos utilizados en el Ecuador para cultivar palma aceitera, extraer aceite crudo y refinar aceite de palma; permitirá obtener datos fiables sobre la generación de gases de efecto invernadero en las actividades productivas relacionadas con la palma aceitera a diferencia de los datos actualmente calculados con la metodología propuesta por el grupo GHG de RSPO.

1.2.5 Identificación y caracterización de variables

Cuadro 4. Variables utilizadas en la generación de una metodología local para el cálculo de la huella de carbono de la producción de aceite crudo y refinado de palma elaborado en Ecuador

VARIABLES INDEPENDIENTES		
VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
CULTIVO DE PALMA ACEITERA		
Anterior uso del suelo	Uso del suelo	Actividad realizada: Tierras forestales Otros cultivos Industrial Residencial Comercial Recreacional
Cambio de uso del tierra		Año de implantación del cultivo
Área cultivada		Superficie de cultivo en hectáreas
Fertilizante N	Materias primas	Kilogramos anuales utilizados
Fertilizante P ₂ O ₅		Kilogramos anuales utilizados
Fertilizante K ₂ O		Kilogramos anuales utilizados
Fertilizante MgO		Kilogramos anuales utilizados
Fertilizante HBO ₃		Kilogramos anuales utilizados
Compost		Kilogramos anuales utilizados
Fungicidas		Kilogramos anuales utilizados
Pesticidas		Kilogramos anuales utilizados
Insecticidas		Kilogramos anuales utilizados
Herbicidas		Kilogramos anuales utilizados
Transporte de N	Transporte de materias	Kilómetros recorridos

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

Transporte de P ₂ O ₅	primas	Kilómetros recorridos
Transporte de K ₂ O		Kilómetros recorridos
Transporte de MgO		Kilómetros recorridos
Transporte de HBO ₃		Kilómetros recorridos
Transporte de compost		Kilómetros recorridos
Transporte de fungicidas		Kilómetros recorridos
Transporte de pesticidas		Kilómetros recorridos
Transporte de insecticidas		Kilómetros recorridos
Transporte de herbicidas		Kilómetros recorridos
Maquinaria agrícola	Maquinaria	Kilogramos anuales consumidos
Consumo de agua	Agua utilizada	Metros cúbicos consumidos al año
Origen del agua		Origen: Red No red
Tipo de agua		Tipo: Potable Descalcificada Desionizada
Consumo eléctrico	Energía eléctrica	Kilovatios hora consumidos anualmente
Gasolina	Combustible en otros procesos	Kilogramos anuales utilizados
Residuos orgánicos generados	Residuos orgánicos	Kilogramos anuales generados
Compostaje propio		Porcentaje de residuos utilizados
Reincorporación		Porcentaje de residuos utilizados
Racimo de fruta fresca	Producto	Kilogramos anuales producidos
EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA		
Racimos de fruta fresca	Materias primas	Kilogramos anuales procesados
Lubricantes		Kilogramos anuales utilizados
Transporte de racimos de fruta fresca	Transporte de materias primas	Kilómetros recorridos
Transporte de lubricantes		Kilómetros recorridos
Consumo de agua	Agua utilizada	Metros cúbicos consumidos al año
Origen del agua		Origen: Red No red
Tipo de agua		Tipo: Potable Descalcificada Desionizada
Consumo eléctrico	Energía eléctrica	Kilovatios hora consumidos anualmente
Gasolina	Combustibles	Kilogramos anuales utilizados
Gasóleo		Kilogramos anuales utilizados
Residuos orgánicos generados	Residuos orgánicos	Kilogramos anuales generados
Cogeneración propia		Porcentaje de residuos utilizados
Compostaje propio		Porcentaje de residuos utilizados

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

Cenizas	Otros residuos generados	Kilogramos anuales generados
Vertedero de cenizas		Porcentaje de residuos utilizados
Compostaje propio de cenizas		Porcentaje de residuos utilizados
Lodos		Kilogramos anuales generados
Gestión externa (incineración)		Porcentaje de residuos utilizados
Gestión propia (compostaje)		Porcentaje de residuos utilizados
Agua residual	Aguas residuales	Metros cúbicos anuales generados
Gestión propia		Porcentaje de agua residual procesada
Gestión externa		Porcentaje de agua residual procesada
Torta de palmiste	Co productos	Kilogramos anuales producidos
Aceite de palmiste		Kilogramos anuales producidos
Aceite crudo de palma	Producto	Kilogramos anuales producidos
REFINERÍA DE ACEITE DE PALMA		
Aceite crudo de palma	Materias primas	Kilogramos anuales procesados
Hidróxido de sodio (NaOH)		Kilogramos anuales utilizados
Tierras de blanqueo (bentonita)		Kilogramos anuales utilizados
Ácido cítrico		Kilogramos anuales utilizados
Nitrógeno (N ₂)		Kilogramos anuales utilizados
Lubricantes		Kilogramos anuales utilizados
Envases plásticos		Kilogramos anuales utilizados
Etiquetas		Kilogramos anuales utilizados
Aceite crudo de palma	Transporte de materias primas	Kilómetros recorridos
Hidróxido de sodio (NaOH)		Kilómetros recorridos
Tierras de blanqueo (bentonita)		Kilómetros recorridos
Ácido cítrico		Kilómetros recorridos
Nitrógeno (N ₂)		Kilómetros recorridos
Lubricantes		Kilómetros recorridos
Envases plásticos		Kilómetros recorridos
Etiquetas		Kilómetros recorridos
Consumo de agua	Agua utilizada	Metros cúbicos consumidos al año
Origen del agua		Origen: Red No red
Tipo de agua		Tipo: Potable Descalcificada Desionizada
Consumo eléctrico	Energía eléctrica	Kilovatios hora consumidos anualmente
Gasolina	Combustibles	Kilogramos anuales utilizados

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

Gasóleo		Kilogramos anuales utilizados
Cenizas	Otros residuos generados	Kilogramos anuales generados
Confinación externa		Porcentaje de residuos utilizados
Compostaje propio de cenizas		Porcentaje de residuos utilizados
Tierras de blanqueo usadas		Kilogramos anuales generados
Gestión externa (incineración)		Porcentaje de residuos utilizados
Gestión propia (compostaje)		Porcentaje de residuos utilizados
Agua residual	Aguas residuales	Metros cúbicos anuales generados
Gestión propia		Porcentaje de agua residual procesada
Gestión externa		Porcentaje de agua residual procesada
Aceite refinado de palma	Producto	Kilogramos anuales producidos
DISTRIBUCIÓN DEL ACEITE CRUDO Y REFINADO		
País	Destino final 1*	Nombre del país
Tipo de aceite		Aceite crudo o aceite refinado
Cantidad de aceite		Kilogramos anuales distribuidos
Transporte hasta el puerto de despacho		Kilogramos recorridos
Transporte de puerto a puerto		Kilogramos recorridos
VARIABLES DEPENDIENTES		
VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
HUELLAS DE CARBONO		
Huella de carbono de los racimos de fruta	Cálculo de huellas de carbono	Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de racimo de fruta generado en el año.
Huella de carbono del aceite crudo de palma (sin distribución)		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite crudo de palma generado en el año.
Huella de carbono del aceite refinado de palma (sin distribución)		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite refinado de palma generado en el año.
Huella de carbono de la distribución del aceite crudo		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite crudo de palma distribuido en el año.
Huella de carbono de la distribución del aceite refinado		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite refinado de palma distribuido en el año.

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

Huella de carbono del aceite crudo de palma		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite crudo de palma generado y distribuido en el año.
Huella de carbono del aceite refinado de palma		Kilogramos de dióxido de carbono equivalente anuales por kilogramo de aceite refinado de palma generado y distribuido en el año.