



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Estimación de la Huella de Carbono en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Estudio de caso**

**José Edwin Moreno García**  
**Administrador de Empresas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Bogotá D.C., Colombia

2013



# **Estimación de la Huella de Carbono en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Estudio de caso**

**José Edwin Moreno García**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magíster en Ingeniería Industrial**

Director (a):

Ph.D. Néstor Yesid Rojas Roa

Codirector (a):

Ph.D. Luis Carlos Belalcázar Cerón

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá D.C., Colombia

2013







## **Agradecimientos**

A mi madre y hermano, quienes son mi constante apoyo.

A los ingenieros Néstor Rojas y Luis Belalcázar, por sus valiosos aportes como directores del presente trabajo.

A la empresa Guaicaramo S.A., en especial al Ing. Libardo Santacruz, por facilitar el acceso a la información y acompañar el trabajo realizado en la planta de beneficio.





## Resumen

El presente trabajo de grado presenta una estimación de la Huella de Carbono que la empresa Guaicaramo S.A. generó durante el año de estudio. La metodología aplicada permitió determinar la actividad del proceso de extracción de aceite de palma que contribuye en mayor proporción al incremento de este indicador. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como una línea base para el control de emisiones por parte de la empresa. Se estimó la emisión de los gases dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, considerando sus propiedades físico-químicas y los factores de emisión para los combustibles propuestos por entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética. Se tomó como año base el 2011, teniendo en cuenta la factibilidad de obtener información real y precisa. Se realizaron las estimaciones durante el proceso de extracción para el año base, las cuales incluyeron 3 fases: las actividades de combustión fija para la generación de electricidad, el transporte interno y externo al procesamiento y el sistema de tratamiento de aguas residuales. El proceso metodológico se basó en lo establecido en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, desarrollado por el *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* y el *World Resources Institute (WRI)*. Adicionalmente, los modelos de cálculo matemático fueron realizados a partir de los parámetros del *Intergovernmental Panel on Climate Change 2006*, relacionados con los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Los resultados permitieron establecer que la huella de carbono generada por la empresa durante el 2011 fue 115.352 t CO<sub>2</sub> eq, donde el 58% corresponde a las lagunas anaerobias para el tratamiento de aguas, el 41% a los equipos de combustión fija y solo el 1% a los vehículos de la empresa. Dentro de las recomendaciones propuestas se encuentra la implementación del proyecto sombrilla para la captura del metano y la instalación de biodigestores para la generación de electricidad a partir de este gas; alternar el uso de la caldera con el de las plantas eléctricas, para lograr un consumo eficiente de los combustibles utilizados en esa sección, y revisar el uso de algunos vehículos, que presentan altos consumos de Biodiesel B7.

**Palabras Claves:** Huella de carbono, Factor de Emisión, Extracción de aceite de palma, Gases de Efecto Invernadero.

## Abstract

This grade paper presents an estimate of the carbon footprint that company Guaicaramo S.A. generated during the study year. The applied methodology allowed to determine the activity of the process of extracting palm oil contributes a greater proportion to the increase in this indicator. The results can be used as a baseline for emissions control by the company. Were estimated the emission of Carbon dioxide, methane and nitrous oxide, considering their physical and chemical properties and emission factors proposed by institutions such as *Unidad de Planeación Minero Energética* (Mining and Energy Planning Unit). 2011 was the base year due to data availability and accuracy. Three stages of the extraction process were analyzed: fixed combustion activities to generate electricity; internal and external transportation; and the system of wastewater treatment. The methodology was based on the guidelines made by the Greenhouse Gas Protocol. The mathematical calculation models were designed according to parameters proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) relating national inventories of greenhouse gas emissions. Results showed that the carbon footprint of Guaicaramo S.A. during 2011 was 115.352 t/CO<sub>2</sub> eq. 58% it relates to anaerobic ponds for water treatment; 41% to fixed combustion equipment; and only 1% corresponds to the company's vehicles. The recommendations include the implementation of an umbrella project for capturing methane and installing biodigesters in order to generate electricity from this gas; alternating the use of industrial boiler with electric plants in order to achieve an efficient use of fuels; and checking the use of some vehicles that present high consumption of B7 Biodiesel

**Keywords: Carbon Footprint, Emission Factor, Palm Oil extraction, Greenhouse Gases**

# Contenido

	Pág.
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
1.1 Contextualización del proyecto.....	18
1.2 Agroindustria Aceite de Palma .....	26
1.2.1 Generalidades del sector .....	26
1.2.2 Guaicaramo S.A. ....	28
1.2.3 Contaminación generada en el proceso.....	40
1.3 Huella de Carbono .....	42
1.3.1 Definiciones .....	42
1.3.2 Metodologías internacionales .....	45
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>48</b>
2.1 Unidad de normalización .....	50
2.2 Determinación de los límites organizacionales .....	50
2.3 Determinación de los límites operacionales.....	51
2.4 Selección del año base y seguimiento a través del tiempo.....	53
2.5 Identificación de las Fuentes de Emisión.....	53
2.6 Selección, diseño y/o ajuste del método de cálculo.....	55
2.6.1 Fuentes de combustión móvil (transporte) .....	55
2.6.2 Equipos fijos de combustión .....	67
2.6.3 Tratamiento de aguas residuales .....	72
2.7 Recolección de datos y elección de factores de emisión .....	79
2.8 Aplicación de las herramientas de cálculo .....	80
2.9 Gestión de la calidad del inventario .....	81
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>83</b>
3.1 Emisiones por fase del proceso.....	83
3.2 Emisiones por tipo de combustible .....	98
3.3 Comparativo frente a otros estudios.....	99
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>102</b>
4.1 Conclusiones.....	102
4.2 Recomendaciones.....	103

## Lista de ecuaciones

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1: Emisiones de Nivel 1 para los vehículos.....	58
Ecuación 2: Emisiones de Nivel 2 de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O para los vehículos .....	60
Ecuación 3: Emisiones de Nivel 3 de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O para los vehículos .....	61
Ecuación 4: Emisiones de GEI por Combustión Estacionaria.....	68
Ecuación 5: Emisiones de CH <sub>4</sub> de Lagunas Residuales Industriales .....	77
Ecuación 6: Factor de Emisión de CH <sub>4</sub> Aguas Residuales Industriales .....	78
Ecuación 7: Cantidad de Materia Orgánica Degradable.....	79

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Reglamentación colombiana sobre contaminación atmosférica .....	22
Tabla 2: Comportamiento histórico del sector de aceite de palma (Cifras en miles de ton) .....	27
Tabla 3: Ventas de aceite de palma colombiano por mercado: 2002 - 2011 .....	27
Tabla 4: Empresas palmeras con mayores ventas en 2007 .....	29
Tabla 5: Número de empleados y horario planta de beneficio .....	29
Tabla 6: Consumo de combustible por vehículo durante 2011 .....	36
Tabla 7: Especificaciones técnicas de las plantas generadoras de Guaicaramo en 2011	139
Tabla 8: Información del proceso y generación de electricidad de Guaicaramo 2011 .....	40
Tabla 9: Contaminación documentada para algunas etapas del proceso .....	41
Tabla 10: Principales Gases de Efecto Invernadero .....	45
Tabla 11: Identificación de fuentes de emisión de GEI .....	54
Tabla 12: Cantidad de vehículos de la empresa en 2011 y su consumo de Biodiesel B7 en m <sup>3</sup> .....	84
Tabla 13: Factores de Emisión propuestos para Combustibles Colombianos.....	85
Tabla 14: PCI y Densidad de algunos Combustibles en Colombia .....	87
Tabla 15: Equivalencias entre Unidades Energéticas .....	87
Tabla 16: Emisiones por tipo de vehículo .....	88
Tabla 17: Aporte de emisiones por cada tipo de vehículo.....	89
Tabla 18: Promedio de emisiones por tipo de vehículo.....	89
Tabla 19: Consumo de diésel de las Plantas Eléctricas durante el 2011 .....	91
Tabla 20: Toneladas de CO <sub>2</sub> e emitidas por cada planta eléctrica.....	91
Tabla 21: Cantidad estimada de biomasa consumida por la caldera .....	93
Tabla 22: Cálculo de emisiones de la Caldera.....	94
Tabla 23: Características de las lagunas anaerobias .....	96
Tabla 24: Datos del Sistema de Tratamiento de Aguas Guaicaramo S.A. ....	96
Tabla 25: Material Degradable Orgánico generado en 2011 .....	97
Tabla 26: Factor de Emisión estimado para el sistema de tratamiento .....	97
Tabla 27: Cantidad de CH <sub>4</sub> emitido por las lagunas anaerobias (Kg).....	98
Tabla 28: Total de emisiones durante el 2011 y aporte de cada fuente .....	98
Tabla 29: Emisiones por tipo de Combustible.....	99
Tabla 30: Revisión bibliográfica de estudios similares .....	100

## Lista de ilustraciones

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1: Emisiones generadas por algunos países en el 2009 .....	20
Ilustración 2: Líneas de acción de la ECDBC 2010 - 2014 .....	21
Ilustración 3: Emisiones de GEI en Gg de CO <sub>2</sub> e por fuente de generación en Colombia	24
Ilustración 4: Diagrama de proceso de Guaicaramo S.A. ....	30
Ilustración 5: Vagonetas saliendo de autoclaves.....	31
Ilustración 6: Productos elaborados por Guaicamaro S.A. y sus múltiples usos.....	34
Ilustración 7: Utilización de los vehículos durante la extracción de aceite .....	35
Ilustración 8: Diagrama del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales 2011 .....	38
Ilustración 9: Metodologías para el cálculo de Huella de Carbono .....	46
Ilustración 10: Metodología del Proyecto.....	48
Ilustración 11: Diagrama de decisión para estimar CO <sub>2</sub> por combustión de fuentes móviles .....	57
Ilustración 12: Diagrama de decisión para estimar CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O por combustión de fuentes móviles .....	59
Ilustración 13: Diagrama de decisión para estimar las emisiones por combustión de fuentes fijas.....	70
Ilustración 14: Proceso del tratamiento de aguas residuales industriales.....	74
Ilustración 15: Diagrama de decisión para estimar emisiones de CH <sub>4</sub> en lagunas de oxidación.....	76
Ilustración 16: Tanque de almacenamiento combustible en Guaicaramo S.A. ....	84
Ilustración 17: Foto de uno de los camiones de la empresa .....	88
Ilustración 18: Foto Plantas Eléctricas usadas en la empresa.....	90
Ilustración 19: Comparación porcentual entre plantas eléctricas.....	92

## Introducción

Las preocupaciones relativas al cambio climático a causa del calentamiento global inicialmente se centraban en la quema de combustibles fósiles para calefacción y transporte y en la consiguiente liberación de CO<sub>2</sub>. Se ha evidenciado claramente que existe una amplia variedad de actividades antropogénicas que también contribuyen de manera significativa a las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que lleva a pensar que no solamente el proceso desarrollado en la lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas son las que emiten este tipo de gases contaminantes.

A pesar de que las emisiones de Colombia están por debajo del promedio mundial, el Estado ha empezado a diseñar estrategias que permitan una sostenibilidad ambiental asociada a una reducción de las emisiones de GEI generadas por las industrias que actualmente se encuentran en expansión, mediante la formulación de políticas que conduzcan a lograr procesos de carbono neutro.

Dentro de esta estrategia, la agroindustria de aceite de palma juega un papel fundamental como uno de los sectores de talla mundial para la economía colombiana, a pesar de que ha sido criticada principalmente por sus impactos ambientales.

Para responder a los desafíos que enfrentan las organizaciones que agravan el problema del cambio climático, es necesario conocer que mediante un proceso de cuatro pasos, se puede obtener un estado real de emisiones a lo largo de procesos como es el caso de la extracción de aceite de palma. Este proceso consiste en cuantificar la huella de carbono de la empresa, identificar los riesgos y oportunidades que enfrenta, adaptar la empresa y emprender acciones de mejora que logren un factor diferenciador frente a los competidores (Lash & Wellington, 2007).

El objetivo del presente trabajo es contribuir a la realización del primer paso, mediante la estimación de la Huella de Carbono de una planta de beneficio que produce aceite de palma, utilizando como base metodológica los principios establecidos por la reconocida Guía Internacional para la contabilización y reporte de GEI *GHG Protocol*, y la construcción de modelos matemáticos a partir de lo establecido por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* en sus documentos del 2006.

Por tal razón, fue necesaria una revisión bibliográfica sobre los conceptos de Huella de Carbono (HC) y metodologías internacionalmente reconocidas, con el fin de recopilar las mejores prácticas para la estimación de la Huella de Carbono Corporativa (HCC) y plantear una guía de fácil aplicación a los sectores colombianos.

El trabajo permitió estimar la HCC que emitió la planta de beneficio durante el 2011 e identificó las actividades que aportaron en mayor medida a este indicador, para finalizar con una serie de recomendaciones que pueden contribuir a mejorar el desempeño ambiental que ha tenido la empresa a lo largo de los últimos años.

A partir de este caso de estudio, la empresa cuenta con información sobre las emisiones de GEI que genera su planta de beneficio en un año base, lo cual se convierte en un factor diferenciador dentro del sector, puesto que actualmente Fedepalma se encuentra realizando estudios preliminares sobre la implementación de un sistema de certificación de sostenibilidad, que les permita ingresar sus productos a mercados extranjeros.

La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO por su sigla en inglés) es una asociación sin ánimo de lucro que reúne a diversos actores en la cadena de valor palmera, con el objetivo de promover la producción y uso de aceite de palma con criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica<sup>1</sup>. La RSPO es la iniciativa más reconocida en el ámbito internacional en materia de sostenibilidad para el sector y establece en su criterio 5.6 que se deben “Desarrollar, implementar y monitorear planes para reducir la contaminación y las emisiones, incluyendo gases de efecto invernadero”.

---

<sup>1</sup> <http://web.fedepalma.org/rspo>



A raíz de esta iniciativa liderada por el Gremio, Guaicaramo S.A. se convierte en punto de referencia y genera un aporte valioso con la información presentada en este documento, por ser de gran interés para el grupo asesor ambiental de Fedepalma, quienes manifestaron interés por conocer y ampliar esta metodología de trabajo.

# 1. MARCO TEÓRICO

El marco teórico presentado en este documento fundamenta y soporta el trabajo realizado con base en la problemática ambiental identificada en el subsector agroindustrial de aceite de palma, relacionada con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas en las plantas de beneficio.

El desarrollo conceptual realizado permitió identificar vacíos de información sobre emisiones de GEI de esta industria, por lo que se propuso aplicar una metodología apropiada que permita la captura, el procesamiento y la emisión de resultados veraces y oportunos, con el fin de contar con diagnósticos para la toma de decisiones.

Para ello, se ha realizado una revisión documentada sobre la problemática de emisiones de GEI en Colombia, se revisaron las políticas y estrategias establecidas por entidades del Estado para enfrentar este acontecimiento, se estableció el aporte que realiza la agroindustria de aceite de palma en la generación de GEI y se aplicaron las teorías desarrolladas para medir y cuantificar estas emisiones, con el fin de lograr los objetivos establecidos en la propuesta metodológica, y facilitar a la empresa la toma de acciones para la reducción de emisiones de GEI.

## 1.1 Contextualización del proyecto

La contaminación atmosférica en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

A nivel mundial, se están haciendo enormes esfuerzos para reducir la emisión de GEI, dentro de los que se encuentran el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el Metano (CH<sub>4</sub>) y el Óxido

Nitroso ( $N_2O$ ), producto de la quema de combustibles fósiles y biomasa en procesos industriales, transporte y actividades domiciliarias, debido a su efecto de Calentamiento Global, que es el incremento de la temperatura promedio de la tierra asociado a la acumulación de GEI en la atmósfera.

En el Protocolo de Kioto de 1997, que tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático<sup>2</sup>, se establecieron compromisos de reducción de las emisiones de GEI de los países industrializados, con el fin de que las emisiones descendieran un 1.8%<sup>3</sup> por debajo de las registradas en 1990, en el periodo comprendido entre el 2008 y 2012 (Departamento del Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del País Vasco, 2008). Colombia, mediante la ley 629 de 2000 aprobó este protocolo y estableció su entrada en vigor el 16 de febrero de 2005.

A pesar de que estos acuerdos ambientales son apoyados por el gobierno, Colombia no ha establecido una regulación sobre los límites permisibles de emisiones de Gases de Efecto Invernadero que deben manejar las industrias. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a través de la Resolución 2734<sup>4</sup> del 29 de diciembre de 2010, presentó un marco de referencia para la formulación de proyectos de captura de GEI, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible del país, mediante el apoyo a entidades y sectores industriales que diseñen e implementen Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). La construcción de esta normatividad demuestra el esfuerzo realizado por el Estado para impulsar iniciativas de desarrollo bajo en carbono, que a su vez se transformen en ingresos económicos por emisiones reducidas.

De acuerdo a estadísticas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Colombia generó un total de 250 t CO<sub>2</sub>/millón de USD del PIB en el año 2009,

---

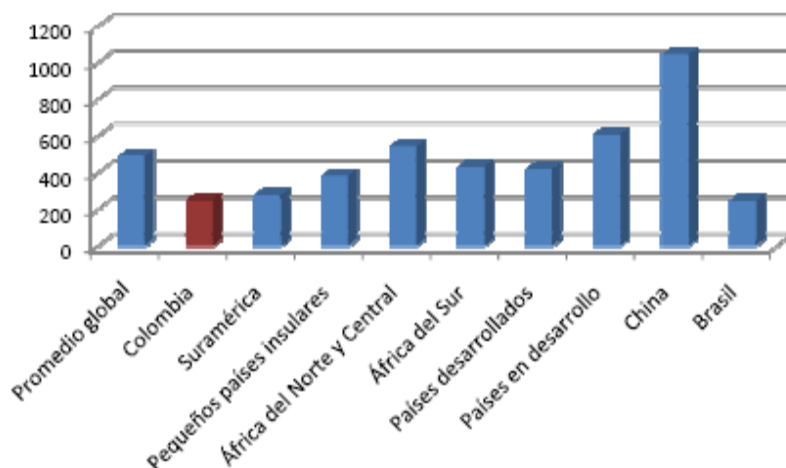
<sup>2</sup> Esta convención fue aprobada en New York el 9 de mayo de 1992, fruto de un proceso internacional de negociación a raíz de la publicación del Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

<sup>3</sup> Según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en este periodo las emisiones de GEI descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990. En la cumbre de Bonn (Julio de 2001) ese límite ha cambiado a un 1.8%, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el Protocolo no se ratificara.

<sup>4</sup> “Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL y se dictan otras disposiciones”

ubicándose por debajo del promedio global de emisiones de GEI, el cual se encontraba en ese año en 490 t CO<sub>2</sub>/millón de USD del PIB (ver Ilustración 1)

Ilustración 1: Emisiones generadas por algunos países en el 2009



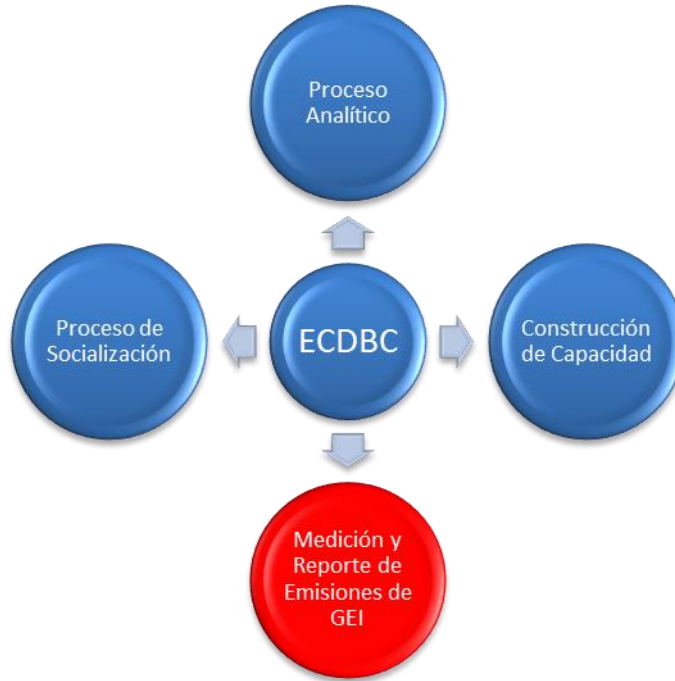
FUENTE: Herramienta para análisis de indicadores climáticos (CAIT), 2009 - MAVDT

El Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, ratificado a través de la ley 1450 de 2011, estableció en el capítulo VI, las acciones que permiten la sostenibilidad ambiental y la reducción del riesgo en el país, las cuales se resumen en:

- Implementar la Política Nacional de Cambio Climático
- Conformar el Sistema Nacional de Cambio Climático (CONPES)
- Identificar y priorizar medidas de adaptación al cambio climático, a partir de análisis de vulnerabilidad, en el marco de un Plan Nacional de Adaptación
- Fortalecer la generación de información para los análisis de vulnerabilidad sectoriales y territoriales
- Diseñar, de la mano con los sectores y las regiones, una estrategia de desarrollo bajo en carbono, que incluya la reducción de emisiones de GEI por deforestación evitada
- Identificar y valorar barreras comerciales asociadas a estándares y etiquetados internacionales de huella de carbono

En el marco de estos lineamientos del Plan de Desarrollo, el MAVDT, propuso un conjunto de lineamientos denominados “Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono” (ECDBC), con el objetivo principal de promover un crecimiento económico siguiendo la de bajas emisiones de carbono.

**Ilustración 2: Líneas de acción de la ECDBC 2010 - 2014**



FUENTE: Elaboración propia a partir de información del MAVDT

Dentro de los objetivos específicos establecidos en esta estrategia, las entidades de regulación nacional buscan potencializar la competitividad de los sectores colombianos frente a una economía global influenciada por estándares de intensidad de carbono, con el fin de posicionar productos ambientalmente eficientes en mercados que por sus barreras de entrada son de difícil acceso. Para ello, la política propuesta busca impulsar la línea de acción para realizar las mediciones y reportes de emisiones de GEI en empresas de sectores de talla mundial.

Con el fin de complementar la normatividad y los controles existentes en Colombia, la Tabla 1 resume tres decretos que reglamentan las emisiones atmosféricas de las industrias y establecen parámetros de calidad del aire.

Tabla 1: Reglamentación colombiana sobre contaminación atmosférica

<b>Decretos contaminación atmosférica</b>	<b>Título</b>	<b>Descripción</b>
Decreto 2 de 1982	Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas	Normas para control de emisiones atmosféricas y parámetros de calidad del aire
Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire	Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire
Decreto 1697 de 1997	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995, que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire	Se modifican artículos relacionados con la combustión de aceites lubricantes de desecho y el uso de combustibles en calderas y hornos.

Elaboración propia

La Tabla 1 resume el estado de las normas relacionadas con las emisiones de material particulado, lo que demuestra un avance en el control de este tipo de componentes. Sin embargo, en cuanto a regulación y normatividad, Colombia tiene grandes vacíos jurídicos y legales relacionados con el establecimiento de límites para la emisión de GEI.

## Gestión Ambiental Corporativa

Las industrias mundiales deben propender por el Desarrollo Sostenible (DS), término que aparece por primera vez de forma oficial en 1987 en el informe de Brundtland (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo) sobre el futuro del planeta y la relación entre medio ambiente y desarrollo, y se entiende como tal aquel que *satisface las necesidades presentes sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*.

A pesar de que existen muchas interpretaciones sobre esta definición, algunos autores han propuesto teorías sobre la forma en que se puede llegar al DS. Sostener los recursos naturales (Carpenter, 1991), mantener los niveles de consumo (Redclift, 1987), lograr la sostenibilidad de todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales, recursos agotables (Bojo et al, 1990), perseguir la integridad de los procesos, ciclos y ritmos de la naturaleza (Shiva, 1989) y sostener los niveles de producción (Naredo, 1990) pueden ser alternativas para lograr un Desarrollo Sostenible (Artaraz, 2002).

La teoría de Naredo se relaciona con el concepto de Producción más limpia, el cual se define como una estrategia que previene la generación de los contaminantes desde las fuentes de origen, en vez de controlarlos al final del proceso. Según (Van Hoof, Monroy, & Saer, 2008) la estrategia debe estar orientada a la disminución de costos de ineficiencia relacionados con desperdicios de materia prima, de insumos, de material en proceso, de subproductos y de producto terminado, para lo cual es necesario contar con información tomada directamente de la fuente de emisión durante el flujo del proceso.

De acuerdo con el Centro Nacional de Producción Más Limpia, los sectores industriales colombianos que utilizan tecnologías que más generan contaminación a los diferentes medios<sup>5</sup>, son (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2001):

- Papel: Las máquinas Fourdrinier, para la fabricación de varios tipos de papeles, la fabricación de pulpa química de sulfato no blanqueado (pulpa Kraft), con recuperación de productos químicos.
- Cuero: Producción del curtido mineral del cuero, con defoliación química, secado al vacío y pintura mecánica.

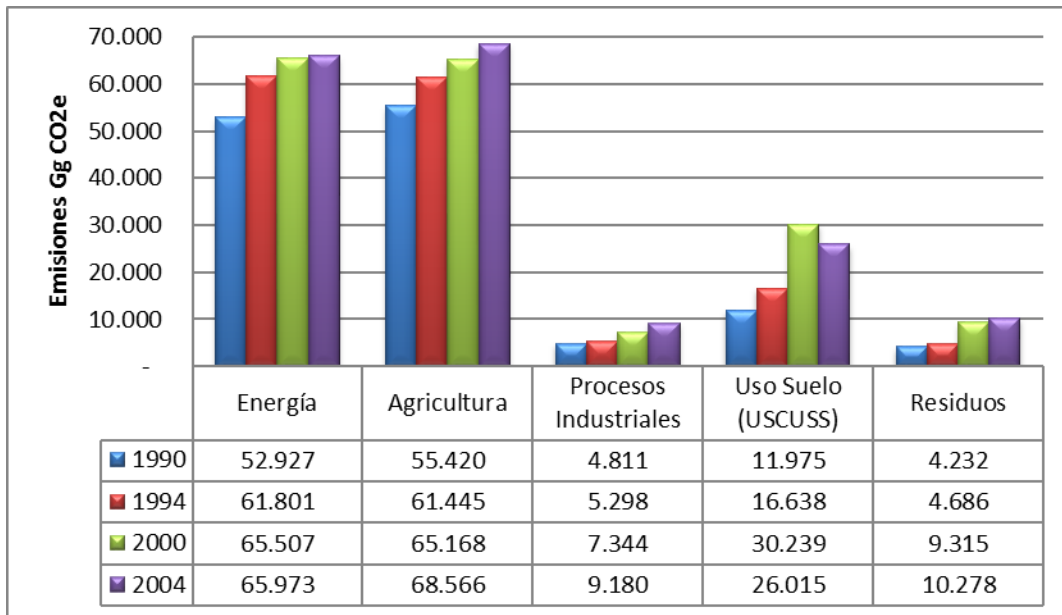
---

<sup>5</sup> Los medios a los que se refiere el documento incluyen el agua, el aire, el suelo, entre otros.

- Alimentos: Extracción de aceite vegetal mediante prensado y centrifugación de bebidas. Fabricación de alcohol etílico mediante la fermentación discontinua de la melaza, y la destilación en etapas múltiples.

El caso presentado en este trabajo, se encuentra relacionado dentro de la industria de alimentos, puesto que el aceite crudo de palma que produce la empresa del caso de estudio sirve como materia prima para la elaboración de aceite para el consumo humano, entre otros derivados.

**Ilustración 3: Emisiones de GEI en Gg de CO<sub>2</sub>e por fuente de generación en Colombia**



FUENTE: IDEAM 2001

A pesar de no ser de gran significancia, los procesos industriales son clasificados como una de las 5 fuentes principales de emisiones de GEI en Colombia. La Ilustración 3 muestra además que la tendencia creciente de este tipo de contaminación se centra principalmente en las actividades de agricultura, energía y uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS) respectivamente.

Como se ha determinado en la anterior sección, la reducción de este tipo de contaminación está enmarcada en una estrategia de gestión ambiental, que inicialmente



se ha estudiado como política gubernamental para el caso de la reducción de emisiones de carbono.

Sin embargo, una revisión de la literatura realizada por (Carmona Moreno & Magán Díaz, 2008) permite determinar que desde 1987 se ha empezado a definir el término de estrategia ambiental en el marco de la postura que toma una organización frente a una problemática ambiental identificada.

Para el caso puntual, Neuman y Breeden (1993) propusieron un modelo de estrategia ambiental corporativa basado en tres enfoques: Reactiva (enfocada en una solución parcial a corto plazo de acuerdo a fines específicos. Atienden las necesidades que les permitan cumplir con lo que establecen las autoridades ambientales), Proactiva (estrategia basada en anticiparse a las nuevas regulaciones y a la adaptación de tecnologías ambientales que permitan a la empresa obtener beneficios u oportunidades de negocio) e Innovadora (también llamada hiperactiva porque se enfoca en ir más allá de obtener ventajas competitivas, hasta el punto de influir en la regulación ambiental para beneficio propio).

Por tal razón, la implementación de iniciativas de carbono neutro o la reducción de la Huella de Carbono hace parte de una estrategia ambiental proactiva, liderada por la alta dirección de la organización y estructurada dentro de las políticas empresariales de largo plazo.

Cuando la empresa no cuenta con una estrategia ambiental proactiva, el desarrollo de estas prácticas aisladas de medición y control de emisiones solo permite identificar problemáticas y fuentes de generación, dejando a un lado la definición de planes de manejo, proyectos de innovación y la toma de decisiones para la gestión adecuada de estos contaminantes.

Actualmente las empresas del sector palmicultor están trabajando para fortalecer sus departamentos de Gestión Ambiental e implementar este tipo de estrategias, con el fin de no solamente cumplir con lo que establecen las autoridades de regulación ambiental sino de implementar prácticas innovadoras que les permitan acceder a mercados internacionales cada vez más exigentes.

## **1.2 Agroindustria Aceite de Palma**

El crecimiento de los mercados internacionales de grasas y aceites y el dinamismo de la demanda de biocombustibles han permitido una inserción exitosa de las exportaciones de aceite de palma colombiano en algunos mercados externos. Sin embargo, algunos países asiáticos han impuesto progresivamente barreras a la importación de algunos productos que consumen sus habitantes, con el objetivo de aceptar actividades industriales sostenibles con el medio ambiente y reducir el impacto generado por las emisiones de GEI.

A continuación se realiza un análisis de la importancia del sector agroindustrial de aceite de palma en Colombia, las principales fuentes y tipos de contaminación en un proceso de extracción, junto a la información organizacional de la empresa analizada.

### **1.2.1 Generalidades del sector**

La palma de aceite es de origen africano, pero actualmente es cultivada en diferentes regiones del mundo. Los mayores productores son Indonesia y Malasia, los cuales acumulan aproximadamente el 85% de la oferta mundial. Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo. La mayor parte de este producto se destina a la exportación para usos alimentarios y agroindustriales (combustible).

En Colombia, las empresas dedicadas al cultivo y procesamiento de la palma africana se encuentran agremiadas y cuentan con el liderazgo de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), entidad encargada del proceso de direccionamiento estratégico del sector.

La agroindustria palmera colombiana ha sido seleccionada como un sector de clase mundial, gracias al alto potencial de exportación que los empresarios han desarrollado a lo largo de los últimos años.

**Tabla 2: Comportamiento histórico del sector de aceite de palma (Cifras en miles de ton)**

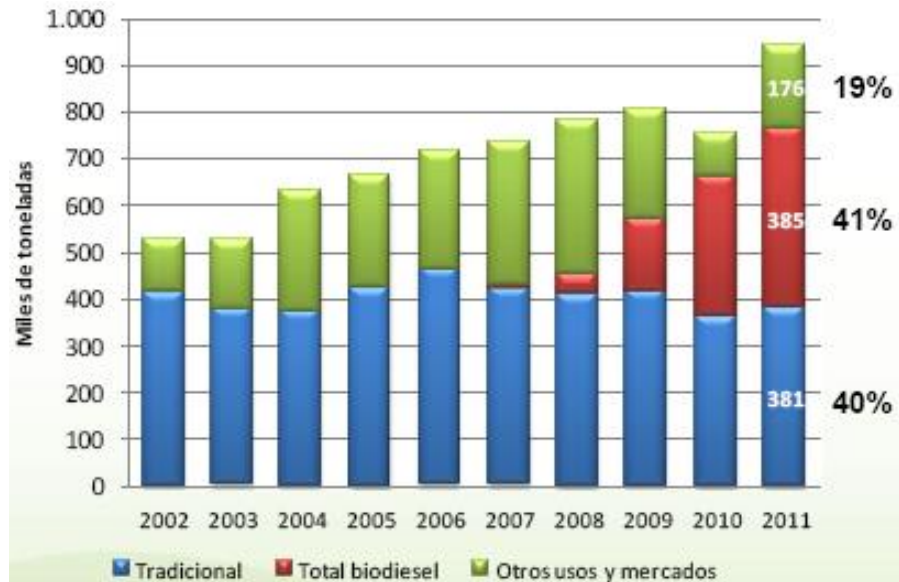
Concepto	2007	2008	2009	2010	2011	Variación (%)
a. Producción Nacional	865,5	915,2	939,0	884,4	1.096,3	24,0%
b. Importaciones	338,9	351,0	345,6	507,0	498,5	-1,7%
c. Exportaciones	400,2	377,7	296,0	171,8	225,6	31,3%
Oferta Disponible (a+b-c)	804,2	888,5	988,6	1.219,6	1.369,2	12,3%
Población (en millones)	43,9	44,5	45,0	45,5	46,1	1,3%
Oferta per cápita aceites y grasas (Kg)	18,3	20,0	22,0	26,8	29,7	10,8%
Consumo aceite de palma	445,1	476,5	629,8	774,5	870,8	12,4%
Participación aceite de palma en el consumo total de aceites y grasas (%)	55,3	53,6	63,7	62,5	63,6	1,8%

Fuente: (Fedepalma, 2012)

El crecimiento de este sector ha sido determinante para desarrollo de la economía colombiana, pues las cifras muestran una fuerte consolidación de los derivados de aceite de palma, tanto en el mercado interno como en las exportaciones (Tabla 2).

En 2011, por primera vez, la demanda de aceite de palma para biodiesel superó la demanda tradicional destinada para la elaboración de aceite y grasas comestibles, lo cual ha sido impulsado por la visión que tiene el Estado sobre el uso de biocombustibles en Colombia (Tabla 3).

**Tabla 3: Ventas de aceite de palma colombiano por mercado: 2002 - 2011**



Fuente: (Fedepalma, 2012)

El crecimiento de esta industria también está relacionado con la expansión de los terrenos destinados al cultivo de este tipo de flora. De acuerdo a estadísticas que maneja este gremio, los departamentos que poseen más área sembrada en palma de aceite son en su orden: Meta (1), Cesar (2), Santander (3), Magdalena (4), Nariño (5), Casanare (6), Bolívar (7), Cundinamarca (8) y Norte de Santander (9)<sup>6</sup>.

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora. En ella se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o palmiste, por medio de un proceso que requiere una alta tecnificación y mano de obra especializada en la operación de la maquinaria y los equipos instalados.

### **1.2.2 Guaicaramo S.A.**

#### *Generalidades*

Guaicamaro S.A. es una empresa agroindustrial ubicada en el Municipio de Barranca de Upía (Departamento del Meta), km 7 vía el Cabuyaro. Es una de las empresas líderes en el sector del cultivo de la palma de aceite y cítricos, y cuenta con una planta de beneficio para la producción de aceite de palma, palmiste y torta de palmiste.

De acuerdo a Fedepalma, en el año 2007 Guaicaramo S.A. se ubicó dentro de las 10 empresas colombianas con mayores ventas de aceite de palma, lo que demuestra la importancia económica que representa para la región la operación de su planta de beneficio.

---

<sup>6</sup> Tomado de [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org)

Tabla 4: Empresas palmeras con mayores ventas en 2007

Ranking	Empresa	Ventas en millones
1	C.I. ANDINO PRINCES	\$79,036.57
2	INDUPALMA	\$75,572.39
3	PALMERAS DE LA COSTA	\$61,453.39
4	C.I. TEQUENDAMA	\$58,139.28
5	PALMAS BUCARELIA	\$56,208.37
6	PALMERAS PUERTO WILCHES	\$49,584.33
7	OLEAGINOSAS LAS BRISAS	\$42,485.11
8	GUAICARAMO	\$38,470.60
9	PALMAS DEL CESAR	\$34,546.88
10	PALMAR DEL ORIENTE	\$34,403.18

Fuente: www.fedepalma.org

De acuerdo a la información suministrada por Guicaramo S.A., la empresa cuenta con un total de 298 trabajadores vinculados directamente (266 contratados a término indefinido y 32 por destajo). Para la operación de la planta de beneficio laboran 184 personas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 5: Número de empleados y horario planta de beneficio

Departamento	No. Empleados	Días de Funcionamiento	Horario Lun-Vie		Horario Sábado	
			Turno 1	6:00 - 16:00	Turno 1	6:00 - 16:00
Producción	64	7	Turno 2	16:00 - 2:00	Turno 2	16:00 - 2:00
			6:30 - 17:00		N/A	
Administración	120	6	6:30 - 17:00		N/A	

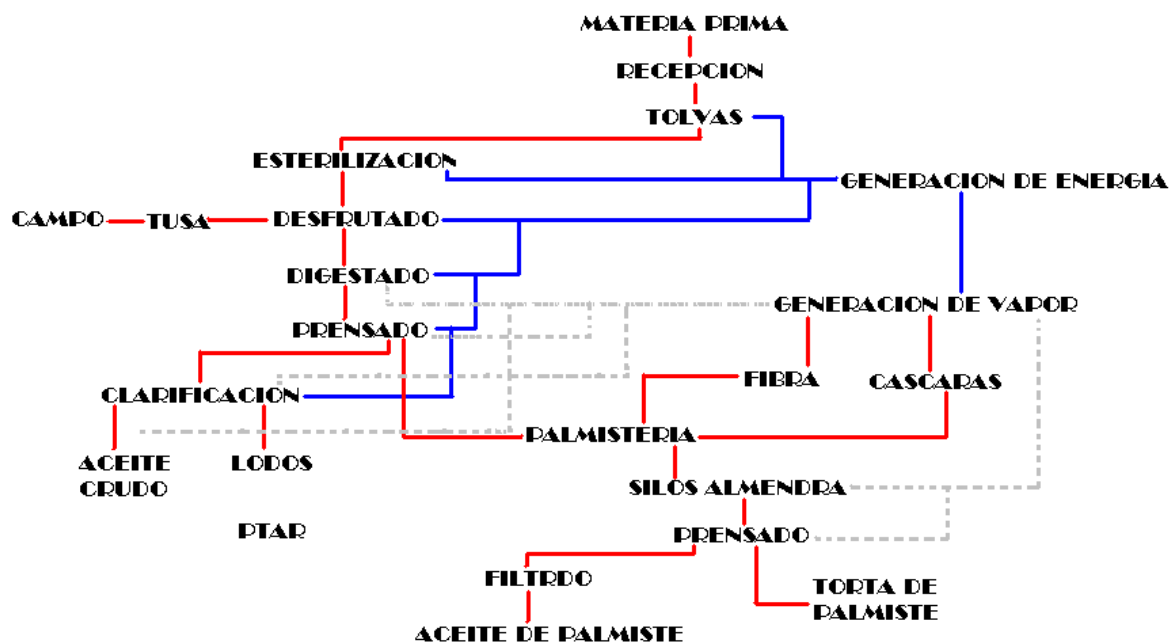
Fuente: Guaicaramo S.A.

### *Proceso de extracción*

Para la operación del proceso, la empresa cuenta con un diagrama de flujo simplificado, donde se muestran las fases que intervienen para la extracción de los aceites de palma y palmiste (Ilustración 4). Es necesario aclarar que este diagrama fue proporcionado por Guaicaramo S.A. por lo que fue necesario realizar recorridos al interior de la planta de beneficio para conocer la operación de la empresa y los equipos que intervienen en la extracción. Además, se revisó bibliografía relacionada con este tipo de procesos, para complementar esta información y recopilar datos exactos de producción que durante las visitas fueron imposible obtener.

Por tal razón, este proceso debe ser analizado de forma detallada, teniendo en cuenta que es uno de los pasos iniciales para la identificación de las principales fuentes de emisión de GEI.

**Ilustración 4: Diagrama de proceso de Guaicaramo S.A.**



Fuente: Guaicaramo S.A.

El proceso inicia con el corte, amontonamiento y la recolección de racimos frescos y debidamente maduros, los cuales son transportados en camiones de carga y carretas tiradas por tractores o por animales (búfalos). Los camiones y las carretas llegan a la planta para ser pesados en una báscula y registrar la cantidad que se procesa diariamente. Luego de pesada la carga, se procede a depositar los racimos de fruta en tolvas y se evalúa la calidad de la materia prima.

Desde las tolvas de recibo, se traspan a góndolas o vagonetas individuales, con una capacidad aproximada de 2.5 toneladas cada una, que transportan los racimos entre las diferentes etapas de procesamiento.

La primera etapa del proceso es la esterilización. Los Racimos de Fruto Fresco (RFF) de palma se someten a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales

(autoclaves), en donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño y del grado de madurez de los racimos (Ver Ilustración 5).

**Ilustración 5: Vagonetas saliendo de autoclaves**



FUENTE: Fotografía tomada en trabajo de campo

Después de la esterilización, los frutos son separados del racimo en un tambor rotatorio, para luego enviarlos al digestor mediante una banda transportadora. De esta etapa se desprende la tusa (racimo vacío), que representa alrededor del 23% de peso de todo el racimo y es llevada al campo para utilizarla como abono orgánico.

Después del desfrutado, se lleva a cabo la digestión. El digestor es un cilindro equipado con paletas con las cuales se macera el fruto por medio de la agitación circular y la utilización de vapor. Esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto y que la recuperación del aceite en el momento de la extracción por prensado sea eficiente.

La siguiente etapa del proceso es la extracción, que se lleva a cabo por prensado. Se aplica agua al fruto a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa, con el fin de lavar la fibras y lograr que la extracción del aceite sea lo más eficiente posible, manteniendo las pérdidas de aceite dentro de los estándares establecidos, además de dar la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. En

esta etapa se obtienen dos derivados del fruto: aproximadamente un 30% en torta<sup>7</sup> y un 36% en aceite crudo con respecto al racimo que entra al proceso.

A este aceite crudo se le adiciona la misma cantidad de agua de dilución para llevar a cabo la etapa de clarificación, ya que esta sustancia contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua, que deben ser removidos con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia. Este proceso requiere de vapor a una temperatura aproximada de 90° C.

Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego procesarlos en las centrifugas y así recuperar el aceite contenido en ellos (aceite recuperado). El lodo centrifugado es transportado a los florentinos, constituidos por una serie de tanques cada uno diseñado con una compuerta inferior para pasar al siguiente los lodos más pesados<sup>8</sup>. En estos florentinos se trata de recuperar el aceite residual, y el restante es conducido a las lagunas de tratamiento, que reducen la contaminación del agua mediante un proceso de oxidación anaerobia para luego verterla nuevamente a su cauce. Como primer producto, se obtiene un 22% de aceite crudo que es almacenado en tanques y luego despachado en carrotanques a las empresas que lo requieren.

Por otro lado, la torta pasa a la etapa de desfibración, en la cual un chorro de aire separa las fibras (que equivalen a un 12%) y las envía a la caldera por medio de un transportador sinfín, para ser utilizadas como combustible. La caldera produce gran cantidad de vapor, el cual es aprovechado mediante turbinas para generar aproximadamente 3 kW de energía eléctrica por cada 100 kg de racimos procesados.

Esta electricidad es aprovechada por la planta, ya que las máquinas y toda la infraestructura física la utilizan para su funcionamiento y, así, se reducen los costos de producción y se disminuyen las emisiones indirectas de la empresa por evitar el uso de energía eléctrica de la red pública.

---

<sup>7</sup> Mezcla sólida salida del prensado

<sup>8</sup> Para la recuperación se dispone de bandejas colectoras en acero inoxidable unidas por tubería elaborada en el mismo material, las cuales conducen el aceite recuperado a un tanque de donde es bombeado de regreso al sistema de clarificación.



Dentro de este proceso, Guaicaramo S.A. también produce Aceite de Palmiste, el cual es derivado de la extracción de la nuez del fruto maduro. Una vez separada la nuez (también llamada semilla o almendra), es transportada a los trituradores<sup>9</sup>, en los cuales se reduce su tamaño y posteriormente se clasifica su tamaño.

Después de quebrada la nuez, se procede a separar las almendras de las cáscaras por medio de un ciclón. Las almendras son transportadas a un secador para eliminar el exceso de agua y luego ser almacenadas con una humedad no mayor a 5%. La cáscara es conducida mediante un transportador sinfín a la caldera para ser utilizada también como combustible. La almendra producida se prensa y se extrae 40% de aceite sobre almendra, 50% de harina sobre almendra y 10% de humedad sobre almendra.

La torta y el Aceite de Palmiste son almacenados y transportados de la misma manera que el aceite crudo. El aceite extraído puede tomar varias rutas: puede exportarse directamente, o se somete a procesos de refinación y/o producción de oleoquímicos, para así generar las rutas de los subproductos derivados del aceite de palma (ver Ilustración 6).

---

<sup>9</sup> consta de un barril de extrusión e incluye una sección de drenaje donde se exprime al menos 1/3 del total del aceite disponible en las semillas. El barril presenta tornillos quebradores interruptores del flujo de producto los cuales comienzan a romper las celdas de aceite y a cocer el material para prepararlo antes de ir a los expellers.

Ilustración 6: Productos elaborados por Guaicamaro S.A. y sus múltiples usos

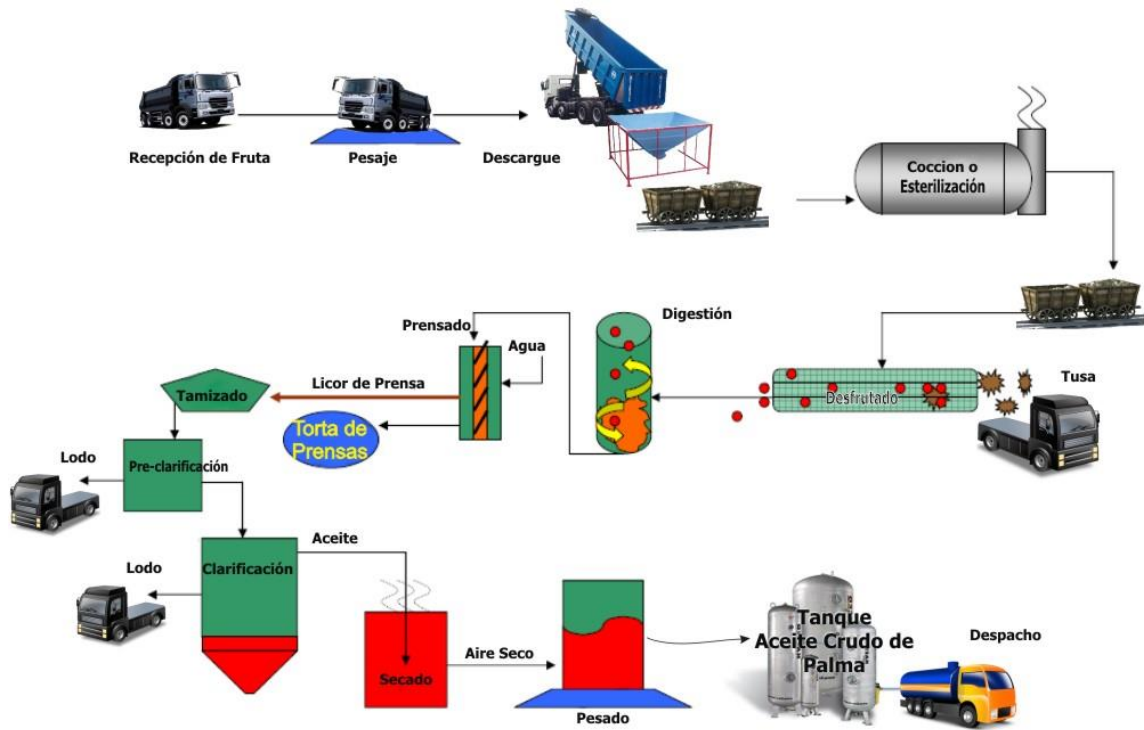


FUENTE: (Fundación Amigos de la Tierra, 2008)

### Transporte

Gráficamente, se puede visualizar que uno de los principales generadores de emisiones de GEI dentro del proceso es el transporte, utilizado en actividades tanto al interior de la planta de beneficio como en los cultivos para la recolección y traslado del fruto. La importancia de este análisis radica en el consumo de combustible que implica la utilización de los vehículos, que en gran volumen puede llegar a ser significativo para la empresa (Ver Ilustración 7).

Ilustración 7: Utilización de los vehículos durante la extracción de aceite



FUENTE: (Grupo Dávila & Dávila, 2013)

Al interior de la planta de procesamiento, se utilizan tractores, montacargas y camiones, para movilizar cargas pesadas, ingresar la materia prima a las tolvas o transportar producto terminado para su almacenamiento o despacho, actividades de apoyo fundamentales para realizar el proceso.

Adicionalmente, Guaicaramo S.A. realiza constantes mantenimientos a la malla vial ubicada dentro de sus terrenos, debido a que los recorridos que cubren los vehículos entre el cultivo y la planta de procesamiento deben hacerse en carreteras sin pavimentar. Debe utilizarse maquinaria de trabajo pesado para estos arreglos, produciendo por lo tanto emisiones de combustión de diésel.

Dependiendo de las distancias de transporte, los RFF (materia prima) se transportan mecánicamente o mediante el uso de animales (si es menos de 5 km) hasta la planta de extracción, con el fin de optimizar el uso de los vehículos y facilitar el rápido abastecimiento.

En este estudio sólo se consideró el transporte mecánico. La distancia promedio de transporte en camión y tractor es de 19 y 2,6 km, respectivamente (Consortio CUE, 2012)<sup>10</sup>. Debido a que se conoce el consumo total de combustible para todo el proceso (incluyendo todas las actividades), el inventario se basó en estos valores (véase Tabla 6), en lugar de dividir el consumo de combustible de las actividades individuales entre los 49 vehículos utilizados en el 2011.

**Tabla 6: Consumo de combustible por vehículo durante 2011**

<b>Tipo</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Galones</b>
BULDOZER	BULDOZER CAT D5N LX	MANTENIMIENTO	2265,6
CAMION	HINO ZOG - 298	TRANSPORTE FRUTO	86,6
CAMION	Volkswagen SLH 993	TRANSPORTE FRUTO	6574,6
CAMION	Volkswagen SLH 994	TRANSPORTE FRUTO	5380,8
CAMIONETA	CAMIONETA TOYOTA BZD 677	TRANSPORTE DIRECTIVAS	53,5
CAMIONETA	CAMIONETA TOYOTA CYB 919	TRANSPORTE DIRECTIVAS	180,5
CARGADORT300	MINI CARGADOR BOBCAT300	PLANTA	1543,9
CHIVA	Chiva WNA-133	TRANS. PERSONAL	1075,3
CAMIONETA	FAW CYA 267	TRANSPORTE DIRECTIVAS	687,4
CAMIONETA	FAW UUD 274	VARADO AL FINAL	770
RETROEXCAVADORA	HITACHI 200	RELIMPIA CANAL	7108,6
RETROEXCAVADORA	HITACHI 60	MANTENIMIENTO PISCINAS	89,6
TRACTOR	J.D 6405 MA 56	CARGUE FRUTO	1759,4
MOTONIVELADORA	MOTONIVELADORA- 670	MTTO VIAS	4273,7
TRACTOR	KUBT M1-100 - MA07	TRANSPORTE FRUTO	1096,9
TRACTOR	KUBOTA 105 S MA 77	CARGUE FRUTO	2996,3
TRACTOR	KUBOTA M 105 S 68	PREPARACION	1387,6
TRACTOR	KUBOTA M 105 S MA-70 B	CARGUE FRUTO	2633,6
TRACTOR	KUBT L 295 MA 19	MTTO ZORRILLOS	345,3
TRACTOR	KUBT L295 - MA22	CASA HACIENDA	265,1

<sup>10</sup> El consorcio Universitario Euro-Americano (CUE) presentó un informe sobre el impacto ambiental que tendría la generación y uso de biocombustibles en Colombia. En este informe se escogieron las principales áreas de cultivo de la palma de aceite, con el fin de obtener un área total muestreada del 26% entre el Oriente, Norte y Centro de Colombia.

TRACTOR	KUB. 4400 CITRI MA-72	VARADO AL FINAL	706,9
TRACTOR	KUB. 4400 SAN. MA-73	COMBUSTIBLE	597,7
TRACTOR	Kubota 4400 MA 67	VARADO AL FINAL	314,6
TRACTOR	KUBOTA L 4400 GRAVER MA 80	CARGUE FRUTO	887,2
TRACTOR	KUBOTA L 4400 MA 81	CARGUE FRUTO	683,4
TRACTOR	KUBT 6030	GANADERIA	6
TRACTOR	KUB.6030 MA 18	FERTILIZACION MECÁNICA	472,1
TRACTOR	KUBT 6030 - MA45	GANADERIA	42,8
TRACTOR	KUBT 8030 - MA50	CARGUE FRUTO	156,2
TRACTOR	KUBT 9000 - 540	FERTILIZACION MECÁNICA	14,9
TRACTOR	KUB 9000 MA -76	CARGUE FRUTO	1920,7
TRACTOR	KUB. 9000 CITRI MA-74	FERTILIZACION MECÁNICA	1588,1
TRACTOR	KUB.9000 MA-75	CASANARE	19,1
TRACTOR	Kubota 9000 MA 66	FERTILIZACION MECÁNICA	1159,3
TRACTOR	KUBOTA 9000 MA 69	CARGUE FRUTO	458
TRACTOR	KUBOTA 9000 MA-71	FERTILIZACION MECÁNICA	1569,9
TRACTOR	KUBT 9000 - 1 MA 61	VARADO AL FINAL	134,5
TRACTOR	KUBT 9000 - 2 MA 62	CÍTRICOS	538,5
TRACTOR	KUBT 9000 - 3 MA 63	GANADERIA	942,6
TRACTOR	KUBT 9000 - 4 MA 64	CARGUE FRUTO	1137,6
TRACTOR	KUBT 9000-5 MA 65	VARADO AL FINAL	119,2
MOTONIVELADORA	MOTONIV -MA 51	MTTO VIAS	53,7
RETROEXCAVADORA	RETRO CAT 310 S.E	FERTILIZACION MECÁNICA	1359,2
RETROEXCAVADORA	RETRO CAT 312	MANTENIMIENTO	2094,7
RETROEXCAVADORA	RETRO CAT 313	VARADO AL FINAL	1876
RETROEXCAVADORA	RETRO CAT 314	CARGUE MATERIAL	1710,7
RETROEXCAVADORA	RETRO CAT 315	CARGUE MATERIAL	2300,5
RETROEXCAVADORA	SKB 586 R.H VH 02	TRANSPORTE FRUTO	20
VIBROCOMPACTADOR	VIBROCOMPACTADOR	MTTO VIAS	1872,2
Total general			65389,8

FUENTE: Guaicaramo S.A.

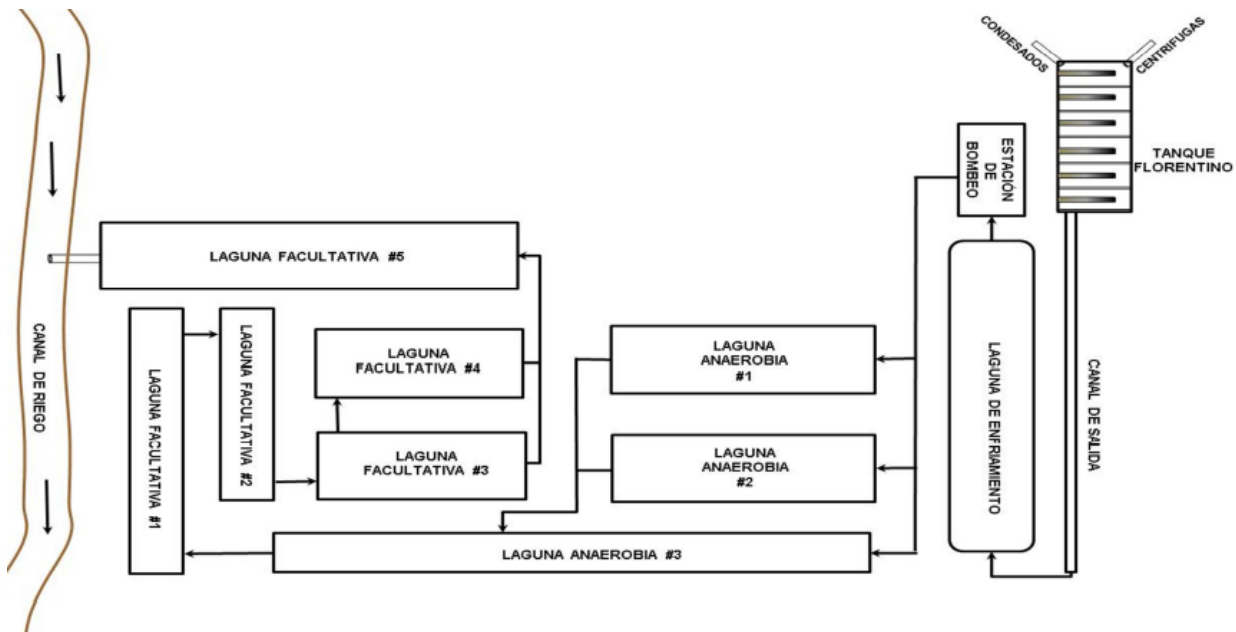
### *Tratamientos de agua*

Dentro de la gestión ambiental que realiza la empresa, se ha desarrollado un sistema de tratamiento de agua residual industrial compuesto por lagunas de oxidación anaerobias y facultativas (Ilustración 8), ocasionando la generación de Metano (CH<sub>4</sub>) a la atmósfera

causado por la digestión que realizan las bacterias. Específicamente, el sistema está conformado por:

- 2 rejillas
- 1 Desarenador (Canal)
- 1 Sedimentador primario
- 2 Trampas de sólidos
- 4 Trampas de grasas/Flotación
- 1 Laguna de Estabilización
- 3 Procesos Anaeróbios
- 4 Procesos Facultativos

**Ilustración 8: Diagrama del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales 2011**



FUENTE: Guaicaramo S.A.

El agua residual industrial sale del proceso y pasa por el tanque florentino, el cual posee varias divisiones. En esta etapa, se realiza la recuperación del aceite, sólidos y arena. Luego, por medio de una canal, es conducido a una laguna de enfriamiento para disminuir la temperatura. Posteriormente, pasa a un pozo de bombeo que conduce el efluente a las lagunas anaerobias 1, 2, y/o 3, cuya función es homogenizar las aguas y

producir una rápida estabilización de los residuos orgánicos fuertes. El efluente de la laguna 1 y 2 es conducido a la laguna 3 y enseguida es dirigido a 5 lagunas facultativas en las cuales se continua con la sedimentación de los sólidos suspendidos (Compañía de Consultoría Ambiental Ltda., 2012).

Luego de su paso por el sistema de tratamiento, el agua residual industrial es reutilizada para riego en cultivos durante la época de verano y la que no es utilizada, es conducida nuevamente al río Guadualito.

### *Consumos de energía*

La empresa consume la electricidad que genera la turbina de vapor, la cual provee la suficiente cantidad para garantizar el funcionamiento de todas las instalaciones que requieren energía, sin utilizar la red pública. Dentro de la metodología desarrollada, se deben incluir las emisiones de la generación de *electricidad adquirida*<sup>11</sup> (consumida durante las operaciones de la empresa y equipos propios o controlados) dentro del alcance dos; sin embargo, Guaicaramo S.A. no adquiere electricidad de terceros por lo que no incluyeron estos datos y solo fue posible estimar las emisiones de alcance 1.

Durante el 2011, la autogeneración de energía estuvo a cargo de 4 plantas eléctricas industriales. La siguiente tabla resume algunas de las características técnicas de operación de las dos principales plantas:

**Tabla 7: Especificaciones técnicas de las plantas generadoras de Guaicaramo en 2011**

Característica	Caterpillar 3412	Caterpillar C27	Perkins 220	Perkins (ND*)
kVA	906	906	ND	ND
kW	725	725	ND	ND
Generator (Volts)	480	480	ND	ND

\*ND: Información no suministrada por la empresa y no hallada en fuentes secundarias

FUENTE: visitas a la planta de beneficio e información de internet

<sup>11</sup> Esto corresponden a la energía eléctrica comprada a un sistema interconectado de distribución y comercialización, que dentro del proceso de generación y venta emiten GEI.

En general, la Tabla 8 resume los resultados operativos que obtuvo la Planta de Beneficio de Guaicaramo S.A. durante el 2011, en cuanto a producto procesado y la electricidad generada para su consumo.

**Tabla 8: Información del proceso y generación de electricidad de Guaicaramo 2011**

Capacidad de operación (ton RFF/hora)	42,00
Horas de Operación	6.802,00
Días de operación (días/semana)	6,00
Total de RFF procesado (ton)	174.597,74
Electricidad total utilizada en los periodos de operación (kW/año)	3.036.887,00
Electricidad de reja (kW/h)	0
Electricidad generada por tusas (kW/h)	670,00
Aceite de palma producido (ton)	35.978,73
Aceite de palmiste producido (ton)	2.575,37
Total de raquis (ton)	38.216
Rendimiento de cosecha (kg aceite crudo/ton RFF)	0,21
Rendimiento de cosecha (kg aceite palmiste/ton RFF)	0,01
Generación electricidad por Gas Natural (kw h por ton RFF)	-
Generación electricidad por desechos (kW h por ton RFF)	17,39
Total de electricidad (kW h por ton RFF)	7,39
Total de electricidad (kW h por ton AC)	84,41
Total de electricidad (kW h por ton AP)	1.179,21
RFF: Racimos de Fruto Fresco, AC: Aceite Crudo, AP: Aceite Palmiste, Tusas = Raquis	

FUENTE: Elaboración propia a partir de información de Guaicaramo S.A.

### 1.2.3 Contaminación generada en el proceso

Como se presentó en la sección anterior de este capítulo, el proceso industrial de extracción de aceite de palma permite obtener tres productos: aceite de palma, aceite de palmiste y torta de palmiste. Durante todo el proceso, se generan diversos tipos de contaminación (residuos sólidos, efluentes o emisiones atmosféricas), los cuales han sido



identificados para emprender acciones de prevención de contaminación al interior de la planta o identificar etapas donde se presentan debilidades en la gestión ambiental.

A partir de los resultados de una investigación realizada en Venezuela, se identificaron las fuentes de contaminación en las diferentes etapas de un proceso de extracción de aceite (Reinosa Pulido, 2009):

**Tabla 9: Contaminación documentada para algunas etapas del proceso**

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Tipo de Contaminación</b>	<b>Efluente</b>	<b>Destino o tratamiento</b>
Recepción de Fruta	Ruido y polvo	Impurezas de la fruta	Plantaciones, como abono
Esterilización	Ruido, olor y polvo	Líquidos por condensación	Planta de tratamiento de aguas
Desfrutado	Polvo	Raquis vacías	Se almacenan a campo abierto y luego se envían a las plantaciones como control de malezas
Prensado	Ruido	-	-
Clarificación	Ruido	Aguas y lodos residuales	Planta de tratamiento de aguas
Desfibrado	Ruido	Fibra de la palma	Combustible para la caldera
Palmistería	Ruido y polvo	Cáscara de la nuez	Combustible para la caldera
		Líquido por secado de la nuez	Planta de tratamiento de aguas
Extracción de aceite de almendra	-	-	-
Almacenamiento de aceite de palma y palmiste	-	Sedimentos del tanque	Planta de tratamiento de aguas
Empacado de la torta	Polvo	-	-
Generación de vapor	a. Material particulado (ceniza) b. Polvo y Ruido c. Riesgos en la manipulación del combustible d. Escurrimiento de sólidos desde el centro de disposición de cenizas	Cenizas	Se almacena en campo abierto

FUENTE: (Reinosa Pulido, 2009)

Reinosa describe el tipo de tratamiento que las plantas de beneficio han dado a la contaminación identificada, con el fin de conformar los costos ambientales dentro del sistema de contabilización de una empresa venezolana. Sin embargo, esto tan solo es una identificación preliminar, la cual no incluyó la emisión de GEI, que también son producidas en este tipo de proceso industrial.

En las visitas a la planta de Guaicaramo S.A. se pudo identificar que dentro del proceso existen tres tipos de actividades que generan emisiones de GEI, las cuales no han sido cuantificadas ni reducidas por la empresa.

En la sección 2.5, se describen con detalle las fuentes identificadas, con base en el consumo de diversos combustibles y tratamientos bioquímicos antes, durante y después del proceso, teniendo en cuenta el tipo de actividad que genera la emisión y el gas que se emite en cada una.

## **1.3 Huella de Carbono**

### **1.3.1 Definiciones**

De acuerdo al Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE, 2010), la Huella de Carbono (HC) es el indicador que permite cuantificar la cantidad de emisiones de GEI a la atmósfera, como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. A través del ejercicio de cálculo de la huella de carbono se identifican todas las fuentes de emisiones de GEI y es posible establecer medidas efectivas de reducción del consumo de energía y reducción de emisiones, como consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos.

Por tal motivo, la HC es tenida en cuenta como un indicador de competitividad en las organizaciones, debido a que mide si las estrategias y políticas administrativas apuntan a “reconducir los esfuerzos en la implantación de energías renovables, optimizar el transporte de mercancías, lograr la implantación de tecnologías más eficientes, reducir el

consumo de recursos, minimizar los residuos,..., en suma, la implantación de políticas que redunden en la reducción de emisiones de GEI generadas por las actividades, productos y servicios de la empresa”.

Además, la HC permite a los consumidores decidir qué alimentos comprar con base en la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado, tanto en su producción como en su comercialización (Papendieck, 2010).

Dentro de este contexto, existen dos tipos de enfoques metodológicos básicos para el cálculo de la HC: el primero de ellos centrado en la empresa y el segundo en el producto.

La Huella de Carbono Corporativa (HCC) abarca todas las operaciones y subsidiarias propias operadas por una organización y debe representar de forma fidedigna las emisiones de GEI, incluyendo las derivadas de sus procesos esenciales (Schneider & Samaniego, 2010).

La Huella de Carbono de Producto (HCP) comprende el total de emisiones de GEI de un producto a lo largo de su ciclo de vida, por lo que toma en cuenta información relacionada con la producción de materia prima y la transformación del producto hasta su uso final.

Dentro los múltiples beneficios de conocer la huella de carbono y lograr la certificación con este sello internacional, se encuentran:

- Genera una ventaja competitiva y acceso a mercados europeos y asiáticos
- Mejora las redes de negocio y el alcance comercial
- Reduce los costos operativos
- Genera un liderazgo empresarial proactivo
- Ayuda a comprender la posible exposición al riesgo
- Garantiza la tranquilidad con respecto a futuras legislaciones sobre el cambio climático
- Hace frente a las preocupaciones de consumidores, accionistas e inversionistas

- Ayuda a entender las responsabilidades inherentes a las emisiones de carbono
- Reduce el riesgo de una mala reputación y los costos asociados a ésta
- Permite presentar con confianza sus credenciales de conformidad ambiental y logros en la mitigación de GEI

La aplicación de la metodología seleccionada para medir la HC, tiene en cuenta que una de las principales causas de la contaminación del aire es la combustión, principalmente la proveniente de los combustibles fósiles (gasolina, diesel), empleados en gran medida en la industria y los automóviles, siendo estos últimos los responsables de más del 60% de la contaminación del aire en el mundo (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, 2009)

La Tabla 10 presenta los tres gases de efecto invernadero más importantes dentro de las metodologías de determinación de HC, teniendo en cuenta la fuente de generación y el Potencial de Calentamiento Global<sup>12</sup> (PCG) asociado a su nivel de impacto.

---

<sup>12</sup> Potencial de Calentamiento Global: define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO<sub>2</sub> (Colque Pinelo & Sánchez Campos, 2007).

Tabla 10: Principales Gases de Efecto Invernadero

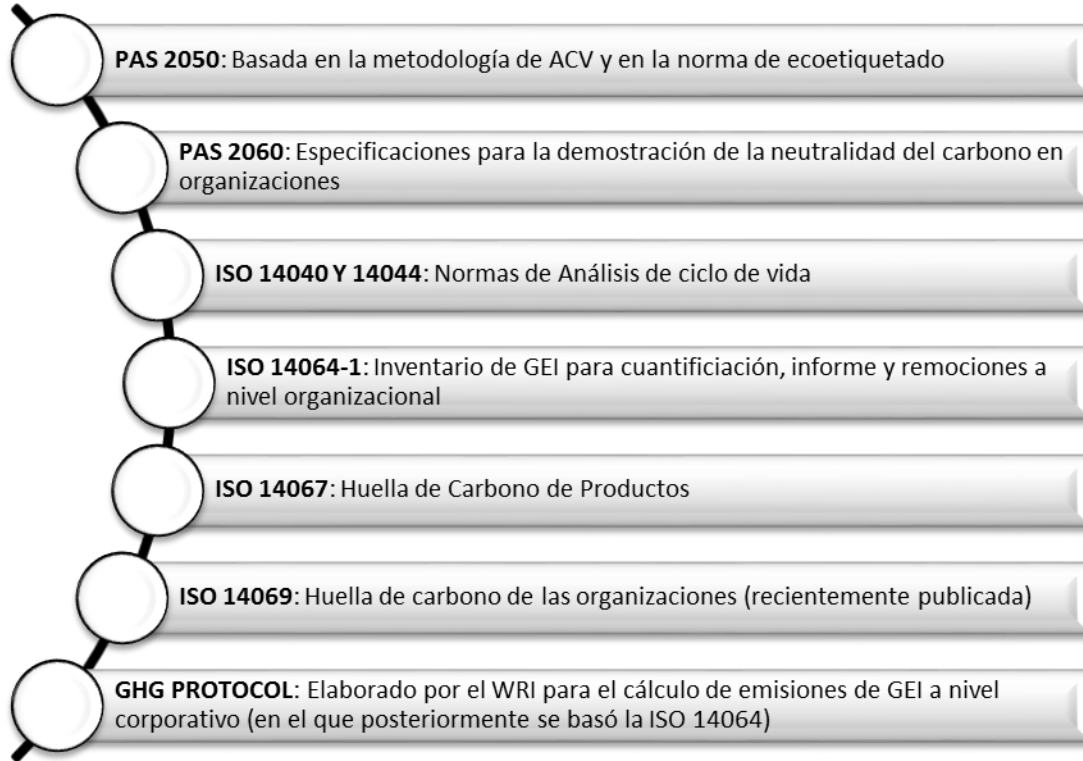
<i>Gas de efecto invernadero</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Fuente</i>	<i>PCG</i>
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc.) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra. Sin embargo, en la actualidad es responsable de casi el 76 % del calentamiento global previsto para los próximos años.	1
Metano	CH <sub>4</sub>	Al igual que el CO <sub>2</sub> , es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz, por la digestión alimenticia de los animales y por los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas	25
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	Liberado por la combustión de vehículos motorizados Diésel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados.	298

Adaptado de: (Colque Pinelo &amp; Sánchez Campos, 2007)

### 1.3.2 Metodologías internacionales

La Ilustración 9 resume las metodologías reconocidas internacionalmente que permiten realizar un inventario de emisiones de GEI, dependiendo del enfoque de HC que se desea estimar al interior de una empresa.

### Ilustración 9: Metodologías para el cálculo de Huella de Carbono



FUENTE: Elaboración propia a partir de revisión bibliográfica

Una de las metodologías para el cálculo de la HC de las empresas se encuentra en la norma ISO 14064: 2006 (partes 1 y 3). La Norma ISO, a diferencia de la anterior, es un estándar internacional verificable, desarrollado como guía para que las empresas puedan elaborar e informar sobre su inventario de GEI.

De acuerdo con el OSE, la parte 1 "Especificaciones y directrices a nivel de organización para la cuantificación y notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la absorción", establece requisitos específicos para solucionar algunos problemas que surgen a la hora de marcar los límites de cálculo. La Parte 2 se centra en las emisiones a nivel de proyecto y no es directamente relevante para el cálculo de la HC de la empresa. Por último, la Parte 3 "Especificaciones y directrices para la validación y verificación de las afirmaciones de gases de efecto invernadero", proporciona orientación sobre la verificación. La ISO 14064, es compatible con el GHG Protocol elaborado por el Instituto

de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD).

Frente a estas herramientas para el cálculo de HC de la empresa, existen la PAS 2050 y la ISO 14067 orientadas hacia el cálculo de la HC de producto. En este caso, el cálculo de la HC consiste básicamente en recopilar toda la información sobre los consumos de materia y energía en cada una de las etapas por las que va pasando un producto y traducirlas a emisiones de CO<sub>2</sub>. El principal problema en este caso es que los cálculos exigen técnicas muy especializadas y se exige la participación de los proveedores, lo cual puede limitar la independencia e incrementar el grado de subjetividad (Observatorio de la Sostenibilidad en España OSE, 2012).

Una vez revisadas la ISO 14064, la PAS 2050, la ISO 14067 y el *GHG Protocol*, que son las guías más utilizadas, se determinó que esta última metodología internacional permite lograr el objetivo establecido inicialmente, el cual se centra en determinar la HCC de una empresa palmera, a partir de un proceso de extracción de aceite de palma en Colombia.

## 2.METODOLOGÍA

Para realizar la cuantificación de las emisiones que Guaicaramo S.A. generó durante 2011, se realizó una aproximación basada en el enfoque de HCC, teniendo en cuenta que es un primer paso para hacer seguimiento y mejoramientos al proceso de extracción de aceite de palma.

En este capítulo, se han establecido las pautas generales básicas para elaborar un inventario de emisiones de GEI, con el fin de que los pasos que se realizaron en la empresa del estudio sirvan como una guía de fácil manejo para la cuantificación de la HCC. Estas pautas van desde la revisión de literatura e información secundaria, hasta la recopilación de datos en la fuente de la emisión, lo cual permitió aplicar los modelos que han sido ajustados a la medida y consolidar el trabajo de campo realizado entre agosto y noviembre de 2012.

Cada actividad de esta metodología propuesta inicia con una serie de recomendaciones a tener en cuenta, de acuerdo con las condiciones en las que se va a realizar la estimación de HCC, y finaliza con el criterio aplicado al caso de estudio, considerando el tipo de información disponible y las condiciones operativas de la empresa.

**Ilustración 10: Metodología del Proyecto**



FUENTE: Elaboración propia a partir del GHG Protocol



La estimación de la HC de la planta extractora de aceite de palma se basó en enfoques y principios estandarizados, reconocidos internacionalmente como el Protocolo de GEI (en inglés, *GHG Protocol*), que es una alianza multipartita de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el WRI y el WBCSD. La coalición, con sede en Ginebra (Suiza), está integrada por 170 empresas internacionales. La Iniciativa fue lanzada en 1998 con la misión de desarrollar estándares de contabilidad y reporte para empresas, aceptados internacionalmente, y promover su amplia adopción.

Junto al aporte de esta guía, se utilizaron las ecuaciones y parámetros recomendados por el IPCC en el año 2006, con el fin de diseñar modelos matemáticos que se ajustaran a la información disponible en el país, relacionada específicamente con las características del combustible colombiano.

El estándar y las guías fueron diseñados a partir de los siguientes objetivos:

- Ayudar a las empresas a preparar un inventario de GEI representativo de sus emisiones reales, mediante la utilización de enfoques y principios estandarizados.
- Simplificar y reducir los costos de compilar y desarrollar un inventario de GEI.
- Ofrecer a las empresas información que pueda ser utilizada para plantear una estrategia efectiva de gestión y reducción de emisiones de GEI.
- Ofrecer información que facilite la participación de las empresas en programas obligatorios y voluntarios de GEI.
- Incrementar la consistencia y transparencia de los sistemas de contabilidad y reporte de GEI entre distintas empresas y programas.

Considerando que lo que se mide se administra, contabilizar las emisiones puede ayudar a identificar las oportunidades de reducción más efectivas. Esto puede conducir a incrementar la eficiencia energética y al desarrollo de nuevos productos y servicios que reduzcan los impactos de GEI de clientes o proveedores. A su vez, esto puede reducir costos de producción y ayudar a distinguir a la empresa en un ámbito de mercado cada vez más consciente desde el punto de vista ambiental (World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), World Resources Institute (WRI)).

## 2.1 Unidad de normalización

Por el tamaño de las cifras con las que se trabaja en el sector palmicultor colombiano y con el fin de facilitar la realización de los cálculos en cada fase del proceso, se propuso establecer como unidad de normalización **la tonelada de dióxido de carbono equivalente** (tCO<sub>2e</sub>).

Esta unidad permite la comparación y el análisis entre la cantidad de emisiones generadas en las diferentes actividades del proceso, independientemente del tipo de gas emitido o el combustible utilizado.

Además, esta unidad de normalización es ideal para el análisis de indicadores de eficiencia ambiental dentro de los resultados obtenidos y sirve para medir cada proporción de GEI generada por tonelada de producto elaborado, independientemente si es de aceite de palma o de palmiste.

## 2.2 Determinación de los límites organizacionales

El Protocolo de GEI permite establecer dos enfoques distintos para generar reportes corporativos consolidados sobre las emisiones de GEI:

- Enfoque de participación accionaria

Bajo este enfoque, una empresa contabiliza las emisiones de GEI de acuerdo a la proporción que posee en la estructura accionaria. Generalmente es aplicado para empresas con operación conjuntas con otras empresas.

- Enfoque de control

Este enfoque permite a la empresa contabilizar el 100% de sus emisiones de GEI, atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. No debe contabilizar emisiones de GEI provenientes de operaciones de las cuales la empresa es propietaria de alguna participación pero no tiene el control de las mismas.

El control puede definirse tanto en términos financieros como operacionales. Cuando se utiliza este enfoque para contabilizar sus emisiones de GEI, las empresas deben decidir cuál criterio utilizar: control financiero o control operacional. Por lo tanto, el enfoque seleccionado permite vincular los datos de emisión a operaciones, sitios, localizaciones, unidades de negocio, procesos y propietarios específicos.

En el caso de Guaicaramo S.A., se tuvo en cuenta el enfoque de control operacional, para realizar el inventario de emisiones de las tres actividades seleccionadas, teniendo en cuenta que la planta de beneficio está bajo su control, y la información sobre las tres actividades seleccionadas está disponible para el año base.

### **2.3 Determinación de los límites operacionales**

Las emisiones directas de GEI son emisiones de fuentes que son propias de la empresa o están controladas por esta. Por el contrario, las emisiones indirectas de GEI son emisiones consecuencia de las actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad de la empresa o en las cuales no tiene control.

Un límite operacional define el alcance de las emisiones directas e indirectas para operaciones que caen dentro del límite organizacional establecido en la empresa, razón por la cual es indispensable conocer las fases que están involucradas en el proceso productivo estudiado.

El protocolo define tres alcances con el fin de clasificar las emisiones directas e indirectas, mejorar la transparencia y proveer utilidad en el establecimiento de metas empresariales.

El alcance 1 está relacionado con las emisiones directas que ocurren de fuentes que son propiedad de la empresa o están bajo su control. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc.

Como parte de la aplicación de las herramientas desarrolladas, se tomó como referencia exclusivamente la contabilización de las emisiones de este alcance, teniendo en cuenta la disponibilidad de la información en Guaicaramo S.A. Estas emisiones son

principalmente resultado de los siguientes tipos de actividades llevadas a cabo por la empresa:

- Generación de electricidad, calor o vapor
- Procesos físicos o químicos
- Transporte de materiales, productos, residuos y empleados
- Emisiones fugitivas

Las emisiones directas de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de biomasa no deben incluirse en el alcance 1, debiéndose reportar de manera separada. Sin embargo, para efectos del trabajo desarrollado, se incluyó el consumo de residuos por parte de la caldera, con el fin de contar con un indicador más completo.

El alcance 2 está asociado a las emisiones indirectas de GEI por consumo de electricidad, lo cual incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida<sup>13</sup> y consumida por la empresa. Estas emisiones ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada y son catalogadas como una categoría especial de emisiones indirectas, razones por las cuales no se tuvieron en cuenta en este estudio.

El alcance 3 (otras emisiones indirectas) es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Estas emisiones son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa. Algunos ejemplos estas actividades son la extracción y producción de materiales adquiridos; el transporte de combustibles adquiridos; y el uso de productos y servicios vendidos.

Normalmente, las empresas contabilizan y reportan emisiones de los alcances 1 y 2 de manera separada. Incluso pueden subdividir los datos de emisiones en alcances que faciliten la transparencia o la comparabilidad a través del tiempo. Por ejemplo, pueden subdividir los datos por planta o unidad de negocio, país, tipo de fuente (combustión fija,

---

<sup>13</sup> La electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa

de proceso, fugitiva), y tipo de actividad (producción de electricidad, generación o adquisición de electricidad que es vendida a los usuarios finales, etc.)

## **2.4 Selección del año base y seguimiento a través del tiempo**

Las empresas deben elegir y reportar un año base para el cual exista información confiable de emisiones; también deben especificar las razones que condujeron a la elección de ese año en particular.

Para el caso de Guaicaramo S.A. **se tomó como año base el 2011**, puesto que existía información relacionada con los consumos de combustible de la flota de transporte y las plantas generadoras de electricidad. Además, para ese año se tenían los datos del sistema de tratamiento de aguas residuales y un estimado del consumo de fibra y cascarilla por parte de la caldera industrial.

Se recomienda que las emisiones del año base sean ajustadas de manera retroactiva, para reflejar cambios significativos en la empresa. De lo contrario, se correría el riesgo de introducir distorsiones e inconsistencias en la información reportada.

Con los resultados obtenidos en este trabajo, se propone a Guaicaramo S.A. que emprenda una política de medición periódica (preferiblemente anual), con el fin de realizar seguimiento y control a las emisiones de GEI, y tomar las acciones preventivas o correctivas de manera oportuna.

## **2.5 Identificación de las Fuentes de Emisión**

Para crear un inventario exacto de sus emisiones, las empresas han encontrado útil dividir el total de sus emisiones en varias categorías específicas. Esto permite a una empresa utilizar metodologías específicamente desarrolladas para calcular con exactitud las emisiones de cada sector y categoría de fuente.

Las emisiones de GEI típicamente provienen de las siguientes categorías de fuentes:

- Combustión fija
- Combustión móvil
- Emisiones de proceso
- Emisiones fugitivas

Para el cálculo de HCC en este caso, se tuvo en cuenta lo propuesto en la sección 2.3 sobre los límites operacionales de la empresa, y se determinó que las fuentes de emisión de la planta de beneficio de Guaicaramo S.A. principalmente son:

**Tabla 11: Identificación de fuentes de emisión de GEI**

<b>Actividad generadora</b>	<b>Fuente puntual de emisión</b>	<b>Descripción de la emisión</b>	<b>GEI generado</b>
Combustión por fuentes móviles en actividades transversales al proceso	Vehículos de carga y maquinaria pesada	Ocasionada por el uso de combustibles por parte de los vehículos y maquinaria que usa la empresa.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Combustión en equipos fijos para la generación de electricidad	Plantas eléctricas generadoras y Caldera	Estas emisiones son ocasionadas por el uso de diésel para el funcionamiento de las plantas y el consumo de biomasa por parte de la caldera.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Tratamiento de Agua Residual Industrial	Proceso de oxidación llevado a cabo por bacterias anaerobias en las lagunas de tratamiento	Se generan emisiones debido a la digestión anaeróbica de compuestos orgánicos presentes en el agua	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla 11 presenta las tres principales fuentes de emisiones identificadas en el proceso de extracción de aceite de palma, con el fin de facilitar la toma de datos durante el trabajo de campo al interior de la planta de beneficio.

## **2.6 Selección, diseño y/o ajuste del método de cálculo**

Las emisiones pueden calcularse con base en un balance de masa o estequiométrico específico para una planta o proceso. Sin embargo, la aproximación más común para calcular las emisiones de GEI es mediante la aplicación de factores de emisión documentados.

Para este caso de estudio, se realizó el diseño de tres hojas de cálculo en MSExcel®, con el fin de estimar la cantidad de gases emitidos por cada fuente identificada, teniendo en cuenta los factores de emisión basados en procesos, que han propuesto entidades como el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (Ver anexos).

Se construyeron tablas formuladas con las ecuaciones propuestas por el IPCC, de acuerdo a la fuente de emisión identificada y al tipo de actividad industrial realizada por la empresa, con el fin de ingresar la información de una manera amigable con el usuario y que los resultados sean mostrados de forma inmediata.

A continuación, se describe en forma resumida cada uno de los procedimientos realizados para la estimación por categoría de fuente, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la guía elaborada por el IPCC en el año 2006 y la forma en que deben ser aplicadas las ecuaciones propuestas.

### **2.6.1 Fuentes de combustión móvil (transporte)**

Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) procedentes de la quema de diversos tipos de combustible, así como varios otros contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), el

dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el material particulado (PM) y los óxidos de nitrato (NO<sub>x</sub>), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional.

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión móvil se estiman más fácilmente por la actividad principal de transporte, es decir: terrestre, todo terreno, aéreo, ferrocarril y navegación marítima y fluvial.

Dentro del sector transporte, se han estimado las relacionadas con la categoría de transporte terrestre, la cual incluye: automóviles, camiones para servicio ligero, camiones para servicio pesado y autobuses. En el presente estudio, no se tuvo en cuenta la tecnología de adaptación para el control de emisiones por catálisis de urea<sup>14</sup>, suponiendo que este sistema no está adaptado a los modelos de vehículos que tiene la empresa, que en su mayoría son antiguos (mayor a 15 años).

Las emisiones estimadas procedentes del transporte terrestre pueden basarse en dos conjuntos de datos independientes: combustible consumido (vendido) y los kilómetros recorridos por el vehículo (KRV). Si ambos conjuntos están disponibles, es importante comprobar que sean comparables; de lo contrario, las estimaciones de los diferentes gases pueden resultar incoherentes. De lo contrario, utilizar la información del combustible consumido, registrado en las bases de datos anuales que alimentan las empresas para su control, servirá como insumo para la estimación de emisiones en esta categoría.

En general, el primer método (combustible consumido) es adecuado para el CO<sub>2</sub> y el segundo (distancia recorrida por tipo de vehículo y de carretera) contribuye al cálculo de CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, pero puede ser usado un solo método para tener una aproximación de la cantidad de emisiones de los tres gases, si no se cuenta con información específica.

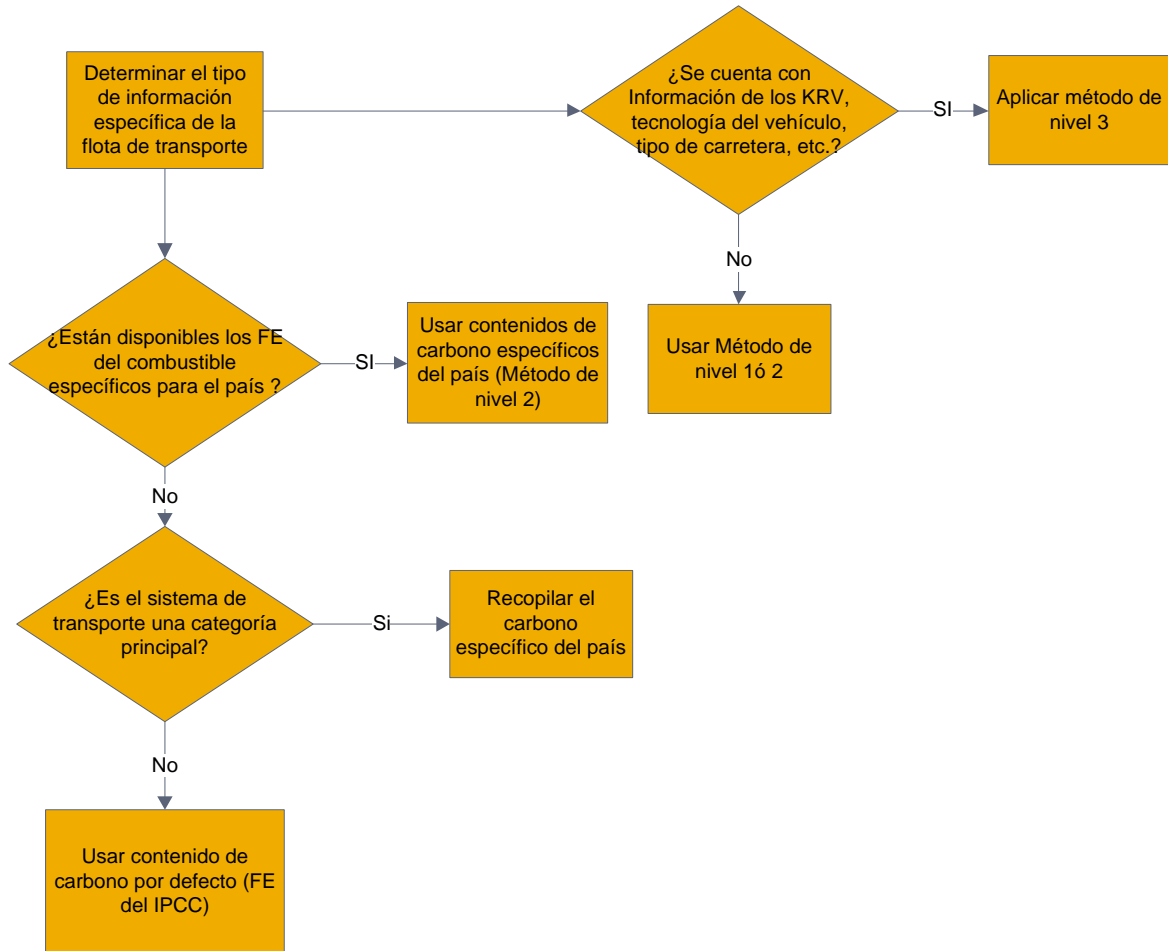
---

<sup>14</sup> Antes de salir a la atmósfera los gases de escape atraviesan un catalizador (dispositivo instalado al vehículo), donde son depurados los contaminantes mediante un proceso de reacción química y se convierten en sustancias inocuas presentes en la atmosfera tales como Nitrógeno, Agua y Dióxido de Carbono. Tomado de:  
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1133/4/CAPITULO%20III.pdf>



La mejor forma de calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> es sobre la base de la cantidad y el tipo de combustible quemado (que para el presente estudio se considera igual al combustible vendido o consumido) y su contenido de carbono. Para ello, el diagrama de decisión de la Ilustración 11 ayuda a seleccionar qué nivel debe utilizarse para estimar las emisiones procedentes de fuentes de combustión móvil:

**Ilustración 11: Diagrama de decisión para estimar CO<sub>2</sub> por combustión de fuentes móviles**



Fuente: Adaptado del IPCC 2006

El IPCC estableció tres métodos matemáticos de acuerdo al tipo de datos con los que se cuenta para realizar los cálculos. Se recomienda usar el nivel 1 cuando solo se tienen datos por defecto, o se desconoce la información técnica del combustible en el área del estudio. Por el contrario, se recomienda usar el método de nivel 3, cuando se cuenta con información específica del combustible. Los Factores de Emisión son específicos para la

ubicación geográfica del estudio y se cuenta con información sobre las distancias recorridas y tecnologías de control de emisiones con los que cuenta cada vehículo.

El método de Nivel 1 calcula las emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando el combustible estimado que se compra con un factor de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto. Se representa el método en la Ecuación 1:

**Ecuación 1: Emisiones de Nivel 1 para los vehículos**

$$Emisión = \sum_a (Combustible_a * EF_a)$$

Variable	Descripción
Emisión	Emisiones de CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> (kg)
Combustible <i>a</i>	Cantidad de energía del combustible consumido (TJ)
EF <i>a</i>	Factor de Emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12
<i>a</i>	Tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

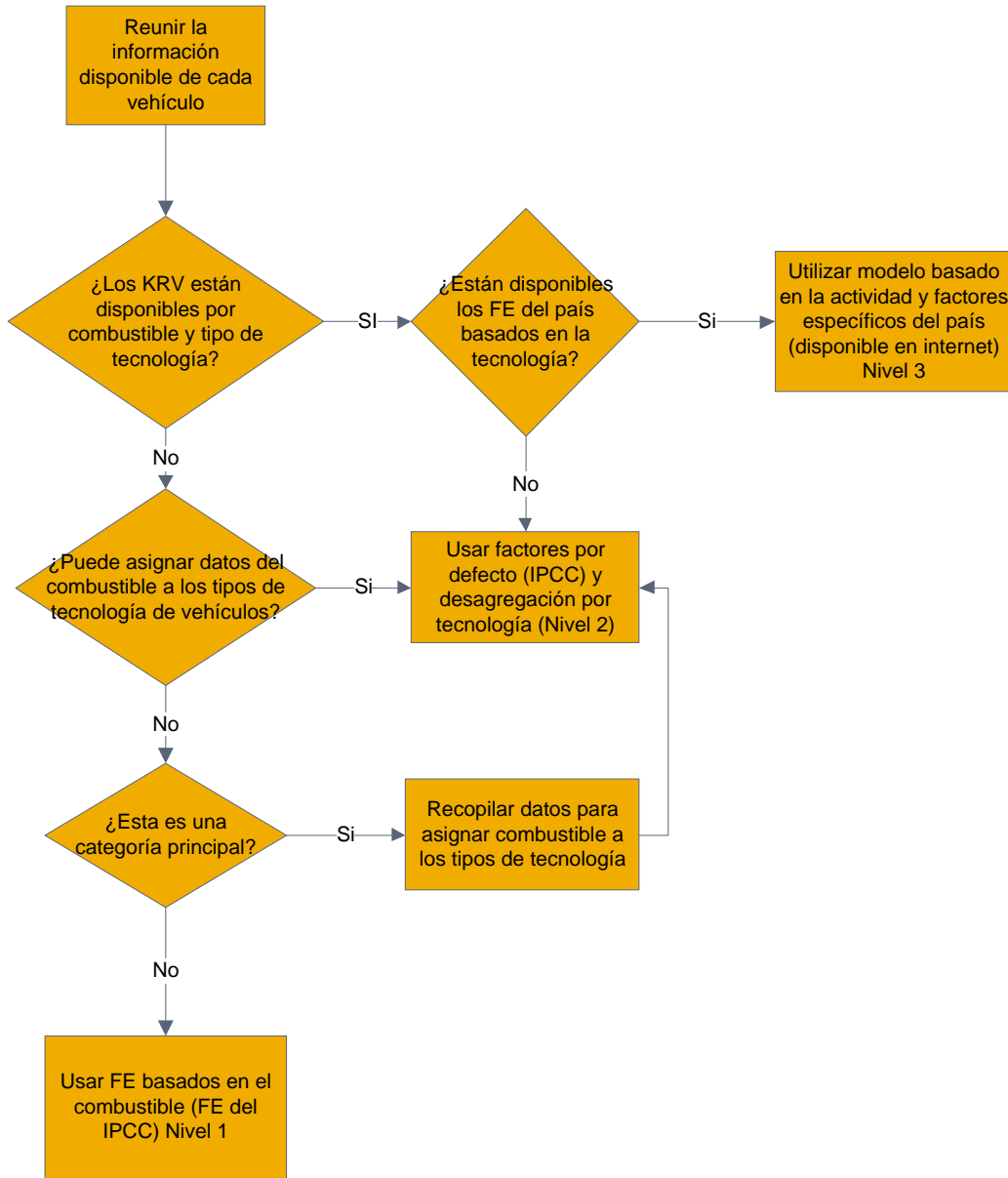
Fuente: IPCC, 2006

Para el método de Nivel 2 se puede usar la Ecuación 1, con la excepción de que se utiliza el contenido de carbono específico del país del combustible consumido por el transporte terrestre. La Ecuación 1 aún se aplica, pero el factor de emisión se basa en el contenido real de carbono de los combustibles consumidos en el país, durante el año del inventario. En el Nivel 2, es posible ajustar los factores de emisión de CO<sub>2</sub> de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas diferente al CO<sub>2</sub>.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son más difíciles de estimar con exactitud que las del CO<sub>2</sub> porque los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y de las condiciones de uso.

Aunque las emisiones de CO<sub>2</sub> del carbono biogénico no estén incluidas en los totales nacionales, la quema de biocombustibles en las fuentes móviles genera CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O antropogénicos, que deben calcularse y declararse en las estimaciones de las emisiones.

Ilustración 12: Diagrama de decisión para estimar CH4 y N2O por combustión de fuentes móviles



Fuente: Adaptado del IPCC 2006

Es posible usar tres métodos alternativos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los vehículos terrestres: el primero se basa en los kilómetros recorridos por el vehículo (KRV); el segundo tiene en cuenta el combustible consumido y el tercer método incluye datos detallados específicos del país para generar factores de emisión basados en la actividad de las subcategorías de vehículos. Este último nivel calcula las emisiones

multiplicando los factores de emisión por niveles de actividad del vehículo (p. ej., KRV) para cada subcategoría de vehículo y posible tipo de carretera.

En conclusión, las subcategorías de vehículos a las que se refiere el método de nivel tres se basan en el tipo, la antigüedad y la tecnología de control de emisiones del vehículo, y el método de Nivel 2 utiliza los factores de emisión basados en el combustible, los cuales deben ser específicos de las subcategorías de vehículos. Puede utilizarse el Nivel 1, que emplea factores de emisión basados en el combustible, si no es posible estimar el consumo de combustible por tipo de vehículo.

La Ecuación 1 también se puede usar como método de Nivel 1 para estimar el CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los vehículos terrestres teniendo en cuenta lo siguiente:

- Determinar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte terrestre, mediante datos nacionales o, como alternativa, fuentes de datos internacionales de la AIE o la ONU (deben declararse todos los valores en terajulios).
- Para cada tipo de combustible, multiplicar la cantidad de combustible consumido por los factores de emisión por defecto de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O adecuados. Los factores de emisión por defecto pueden encontrarse en la Sección 3.2.1.2 (Factores de emisión).
- Las emisiones de cada contaminante se suman en todos los tipos de combustible.

**Ecuación 2: Emisiones de Nivel 2 de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para los vehículos**

$$Emisión = \sum_{a,b,c} (Combustible_{a,b,c} * EF_{a,b,c})$$

Variable	Descripción
Emisión	Emisiones de $N_2O$ y $CH_4$ (kg)
Combustible $a, b, c$	Cantidad de energía del combustible consumido (TJ) para una actividad de fuente móvil dada.
EF $a$	Factor de Emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12
$a$	Tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)
$b$	Tipo de vehículo (p. ej., automóvil, camiones para servicio ligero, camiones para servicio pesado, autobuses, etc.)
$c$	Tecnología de control de emisiones (como conversor catalítico no controlado, etc.)

Fuente: IPCC, 2006

La Ecuación 2 debe usarse para estimar  $CH_4$  y  $N_2O$  si se cuenta con información del combustible de acuerdo al tipo de vehículo usado al interior de la empresa, especialmente si la está relacionado con la tecnología de control de emisiones.

Preferiblemente, los vehículos deben dividirse más por antigüedad (p. ej., hasta 3 años, de 3 a 8 años, más de 8 años) para permitir la categorización de los vehículos por tecnología de control (p. ej., infiriendo la adopción de tecnología como función del año de instrumentación de la política).

Si se cuenta con información específica, se puede usar el método de nivel 3, aplicando la Ecuación 3:

**Ecuación 3: Emisiones de Nivel 3 de  $CH_4$  y  $N_2O$  para los vehículos**

$$Emisión = \sum_{a,b,c,d} (Distancia_{a,b,c,d} * EF_{a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d}$$

Variable	Descripción
Emisión	Emisiones de $N_2O$ y $CH_4$ (kg)
Distancia <i>a, b, c, d</i>	Distancia recorrida (KRV) durante la fase de funcionamiento térmicamente estabilizado del motor, para una actividad de fuente móvil dada (km).
EF <i>a, b, c, d</i>	Factor de Emisión (kg/km).
C <i>a, b, c, d</i>	emisiones durante la fase de calentamiento (arranque en frío) (kg)
<i>a</i>	Tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)
<i>b</i>	Tipo de vehículo (p. ej., automóvil, camiones para servicio ligero, camiones para servicio pesado, autobuses, etc.)
<i>c</i>	Tecnología de control de emisiones (como conversor catalítico no controlado, etc.)
<i>d</i>	Condiciones de funcionamiento (p. ej., tipo de carretera urbana o rural, clima, u otros factores ambientales)

Fuente: IPCC, 2006

Quizá no sea posible dividir por tipo de carretera, en cuyo caso se debe omitir esta indicación. Muchas veces, se utilizan los modelos de emisiones como US EPA Moves Model (*Motor Vehicle Emission Simulator 2010b*<sup>15</sup>) o el Modelo Copert<sup>16</sup> de la AEMA<sup>17</sup>, Para usar estos aplicativos, se deben incluir los modelos de flotas detallados que permitan considerar las gamas de los vehículos de la empresa y tecnologías de control, así como para estimar los KRV de estos tipos de vehículos. Sin embargo, la información corresponde a datos recopilados de países en su mayoría de Estados Unidos o europeos, respectivamente, que difieren de información relacionada con las condiciones colombianas. Los modelos de emisión pueden ayudar a garantizar la coherencia y la

<sup>15</sup> Esta versión puede ser descargada desde <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm>, pero la información corresponde a las bases de datos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

<sup>16</sup> Es un software descargable en varios archivos que contiene los datos de entrada requeridos para su ejecución. De acuerdo al país, incluye un conjunto de datos relacionados con el parque automotor, el kilometraje anual del vehículo, su velocidad, etc., para una serie temporal entre el 2000 – 2030. La licencia de este programa puede ser comprada a través del vínculo: <http://www.emisia.com/copert/>

<sup>17</sup> AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente

transparencia porque los procedimientos de cálculo pueden estar fijos en paquetes de software que pueden usarse, pero estos modelos sólo proporcionan una aproximación al cálculo esperado.

Se producen emisiones adicionales cuando los motores están fríos, lo que puede ser un aporte significativo al total de emisiones de los vehículos terrestres. Se los debe incluir en los modelos del Nivel 3. Se calculan las emisiones totales sumando las emisiones de las distintas fases, es decir, el funcionamiento del motor térmicamente estabilizado (caliente) y la fase de calentamiento (arranque en frío). Los estudios han demostrado que la duración promedio aproximada del modo de arranque en frío es de 180 a 240 segundos. Por lo tanto, deben aplicarse los factores de emisión de arranque en frío solamente para esta fracción inicial del recorrido del vehículo (hasta 3 km aproximadamente) y luego deben aplicarse los factores de emisión corridos.

Si se cuenta con la información suficiente para aplicar los métodos de Nivel 2 y 3 es necesario tener en cuenta los siguientes pasos:

- Paso 1: obtener o estimar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte terrestre, usando los datos nacionales (deben declararse todos los valores en Tera julios)
- Paso 2: garantizar que se dividan los datos del combustible o de KRV en las categorías de vehículos. Se debe tener en cuenta que, típicamente, las emisiones y la distancia recorrida cada año varían según la antigüedad del vehículo; los vehículos más antiguos suelen viajar menos pero pueden emitir más CH<sub>4</sub> por unidad de actividad. Algunos vehículos pueden estar convertidos para funcionar con otro combustible que no es el del diseño original.
- Paso 3: multiplicar la cantidad de combustible consumido (Nivel 2) o la distancia recorrida (Nivel 3) por tipo de vehículo o tecnología de control por el factor de emisión adecuado a ese tipo. Es posible utilizar los factores de emisión genéricos propuestos por el IPCC como punto de partida. No obstante, se recomienda consultar otras fuentes de datos como datos disponibles en el ámbito local, antes de determinar los factores adecuados de emisiones nacionales para una subcategoría determinada.
- Paso 4: para los métodos del Nivel 3, estimar las emisiones del arranque en frío.

- Paso 5: sumar las emisiones de todos los tipos de combustibles y vehículos, incluso para todos los niveles de control de emisiones, para determinar las emisiones totales procedentes del transporte terrestre

Cuando se estiman las emisiones procedentes del uso de combustibles en fuentes móviles, es necesario tener en cuenta la disponibilidad de los datos con los que se realizarán los cálculos, para seleccionar los factores de emisión por defecto o los específicos del país donde se sitúa la empresa. Por tal razón, es necesario realizar un análisis de los factores de emisión a utilizar en este tipo de estimaciones.

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> se basan en el contenido de carbono del combustible y deben representar el 100% de oxidación del carbono combustible. Es una buena práctica seguir este método usando valores calóricos netos (VCN) específicos del país y datos del factor de emisión de CO<sub>2</sub>, si es posible. Cuando no se cuente con información específica, se puede usar los datos por defecto propuestos por el IPCC (Ver Anexo)

En el Nivel 1, los factores de emisión deben suponer que el 100 por ciento del carbono presente en el combustible se oxida durante el proceso de combustión o inmediatamente después de éste (para todos los tipos de combustible de los vehículos), independientemente de que se haya emitido el CO<sub>2</sub> como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO o COVDM, o como material particulado. A niveles más altos, es posible ajustar los factores de emisión de CO<sub>2</sub> de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas no CO<sub>2</sub>.

Los índices de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O dependen de las condiciones de combustión y de la tecnología de control de emisiones presentes en los vehículos; por lo tanto, los factores de emisión por defecto basados en el combustible, que no especifican la tecnología del vehículo, son muy inciertos. Por lo tanto, es recomendable tomar los datos de la distancia recorrida por cada vehículo, para realizar los cálculos de una manera más acertada.

Si las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de las fuentes móviles no son una categoría principal, pueden utilizarse los factores de emisión por defecto de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O



establecidos por el IPCC y presentados en los anexos si no hay disponibles datos nacionales.

Puesto que los índices de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O dependen principalmente de la tecnología de combustión y control de emisiones presente, deben utilizarse los factores de emisión específicos de la tecnología, si las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de las fuentes móviles son una categoría principal. Los Cuadros 3.2.3 y 3.2.5 presentan los factores de emisión de Nivel 2 y 3 potencialmente aplicables de los respectivos datos estadounidenses y europeos.

Es una buena práctica seleccionar o desarrollar un factor de emisión basado en todos los criterios siguientes (los Factores de Emisión seleccionados para el estudio de caso se analizan en la siguiente sección):

- Tipo de combustible (gasolina, diésel, gas natural), considerando, de ser posible, la composición del combustible.
- Tipo de vehículo (es decir, automóviles de pasajeros, camiones para servicio ligero, camiones para servicio pesado, motocicletas, etc.)
- La tecnología de control de emisiones.
- La repercusión de las condiciones de uso (p. ej., velocidad, condiciones de la carretera y patrones de conducción, que afectan la economía del combustible y el desempeño de los sistemas del vehículo).
- La consideración de que las estimaciones del factor de emisión de un combustible alternativo tiende a conllevar un alto grado de incertidumbre, dado el amplio abanico de tecnologías de motores y los pequeños tamaños de las muestras asociados con los estudios existentes.

Es posible usar los mismos datos del combustible en el Nivel 1 para el CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, mientras que los niveles superiores necesitan los kilómetros recorridos (KRV) por tipo de vehículo, de combustible y quizá hasta por tipo de carretera.

Se recomienda que la empresa realice seguimientos periódicos al sistema de transporte y el uso de sus vehículos, mediante la aplicación de una serie temporal. Este tipo de herramienta debe tomar en cuenta la inclusión gradual de vehículos a la flota de transporte de la empresa. Es posible mantener la coherencia con datos exactos acerca

de la distribución de la flota, según el motor y la tecnología del sistema de control, el mantenimiento, lo desactualizado de la tecnología de control y el tipo de combustible.

Sobre la incertidumbre de estos cálculos, hay que tener en cuenta que el CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, y el CH<sub>4</sub> aportan típicamente el 97%, 2% y 1% de las emisiones de equivalente de CO<sub>2</sub> procedentes del sector del transporte terrestre, respectivamente. Por lo tanto, aunque las incertidumbres en las estimaciones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> son mucho mayores, el CO<sub>2</sub> domina las emisiones procedentes del transporte terrestre. La utilización de datos estimados localmente reduce las incertidumbres, en particular con las estimaciones de abajo hacia arriba.

Para el CO<sub>2</sub>, la incertidumbre del factor de emisión suele ser inferior al 2 por ciento cuando se utilizan valores nacionales. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto, presentados por el IPCC para el transporte terrestre, tienen una incertidumbre del 2% al 5%, debido a la incertidumbre de la composición del combustible. La utilización de mezclas de combustibles (p. ej., que incluyen biocombustibles, o combustibles adulterados) puede aumentar la incertidumbre de los factores de emisión si la composición de la mezcla es incierta.

Otra fuente de incertidumbre puede ser la conversión del factor de emisión en unidades en las que se proporcionan los datos de la actividad (p. ej., de kg/GJ a g/km) porque exige más hipótesis sobre otros parámetros, tales como la economía del combustible, que conlleva una incertidumbre asociada.

Los datos de la actividad constituyen la fuente primaria de incertidumbre en la estimación de emisiones. Están dados en unidades de energía (p. ej. TJ) u otras unidades para distintos fines, como persona, tonelada, kilómetros, vehículos, distribuciones de longitud del viaje, eficiencias del combustible, etc.

## 2.6.2 Equipos fijos de combustión

El IPCC señala que se debe ubicar la actividad industrial que desarrolla la empresa, según el ISIC<sup>18</sup> (*International Standard Industrial Classification*). De acuerdo con esto, Guaicaramo S.A. pertenece al código 1514 “Elaboración de Aceites y Grasas de origen Vegetal y Animal” del grupo Procesamiento de Alimentos, Bebidas y Tabaco.

Para la cuantificación de emisiones de este tipo de fuentes, se presentan métodos para el abordaje por sectores en tres niveles, sobre la base de:

- Nivel 1: quema del combustible y utilización de los factores por defecto de emisión;
- Nivel 2: quema del combustible, junto con la aplicación de factores de emisión específicos del país, en lo posible, derivados de las características nacionales del combustible;
- Nivel 3: estadísticas del combustible y datos relativos a las tecnologías de combustión aplicados juntamente con los factores de emisión específicos de la tecnología; incluye el uso de modelos y datos de las emisiones del nivel de las instalaciones, si están disponibles.

Dentro del Nivel 1, se establecen los pasos necesarios para los métodos de cálculo más simples, o los métodos que requieren la menor cantidad de datos. Son proclives a proporcionar las estimaciones de emisiones menos exactas. Los métodos de Nivel 2 y 3 exigen datos y recursos más detallados (tiempo, pericia y datos específicos del país) para producir una estimación de las emisiones. Si se los aplica correctamente, los niveles superiores deben ser más exactos

En general, las emisiones de cada gas de efecto invernadero de fuentes estacionarias se calculan multiplicando el consumo de combustible por el factor de emisión correspondiente. En el método por sectores, se determina el consumo de combustible y se mide en terajulios (TJ). Los datos de consumo de combustible en unidades de masa o de volumen deben convertirse primero en el contenido de energía de estos combustibles.

---

<sup>18</sup> La ISIC es un sistema de la Naciones Unidas para la clasificación de datos económicos, que fomenta la equivalencia internacional de información.

Para aplicar una estimación de emisión de Nivel 1 es necesario disponer (para cada categoría de fuente y combustible), de los datos sobre la cantidad de combustible quemado en la categoría de fuente y un factor de emisión por defecto. Por tal razón, es necesario utilizar la Ecuación 4:

**Ecuación 4: Emisiones de GEI por Combustión Estacionaria**

$$Emisión = \sum_{\alpha} (Combustible\ quemado_{\alpha} * EF_{GEI,\alpha})$$

Variable	Descripción
Emisión	Emisiones de cada gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg GEI)
Combustible $\alpha$	Cantidad de energía del combustible quemado (TJ)
EF $\alpha$	Factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/TJ). Para el caso del CO <sub>2</sub> , incluye el factor de oxidación del carbono, que se supone es 1
$\alpha$	Tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, biomasa, etc.)

Fuente: IPCC, 2006

Para el método de nivel 2, se requiere utilizar la Ecuación 4 con un factor de emisión específico del país para la categoría de fuente y el combustible para cada gas. Es una buena práctica comparar un factor cualquiera de emisión específico del país con los factores por defecto propuestos por el IPCC.

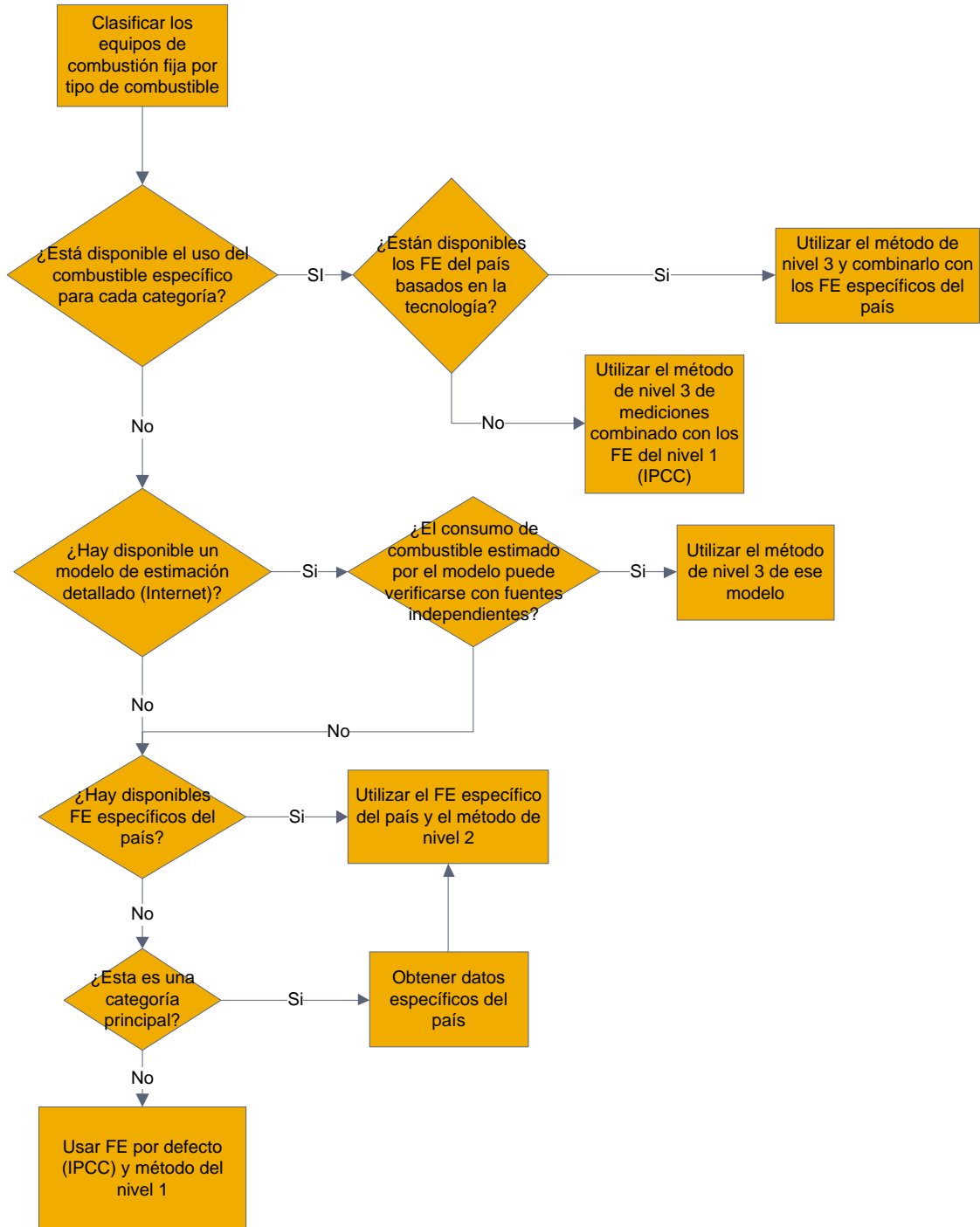
Un factor de emisión específico del país puede ser idéntico al valor por defecto, o puede diferir. Puesto que el valor específico del país debe ser más aplicable a la situación de un país dado, se espera que el rango de incertidumbre asociado con el valor específico de un país sea más pequeño que el rango de incertidumbre del factor de emisión por defecto. Esta expectativa significa que una estimación de Nivel 2 arroja una estimación de emisión con una incertidumbre inferior a la de la estimación de Nivel 1.

El método 3 permite realizar los cálculos de emisiones estacionarias de una forma más acertada, puesto que relaciona la ecuación inicial del método 1, haciendo que las variables y los parámetros dependan de la tecnología que genera las emisiones. En este caso, tecnología significa todo dispositivo, proceso de combustión o propiedad del combustible que pueda influir sobre las emisiones. Bajo estas condiciones, se recomienda aplicar la Ecuación 4 incluyendo la variable tecnológica en el estudio, similar a lo propuesto para el caso de las emisiones por fuentes móviles, en relación al método de nivel 3 (sección anterior).

Muchas veces es innecesario usar un método de Nivel 3 para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> porque éstas no dependen de la tecnología de combustión. No obstante, los datos específicos de la planta relativos a las emisiones de CO<sub>2</sub> cada vez están más disponibles y resultan más interesantes por las posibilidades que ofrecen para las operaciones de emisiones.

El nivel utilizado para estimar las emisiones depende de la cantidad y calidad de los datos disponibles. Si una categoría es principal, es una buena práctica estimar las emisiones con un método de Nivel 2 o 3. Para ello, el diagrama de decisión de la Ilustración 13 ayuda a seleccionar qué nivel debe utilizarse para estimar las emisiones procedentes de fuentes de combustión estacionaria.

Ilustración 13: Diagrama de decisión para estimar las emisiones por combustión de fuentes fijas



Fuente: Adaptado del IPCC 2006

Es una buena práctica mejorar la calidad de los datos si el cálculo inicial con un método de Nivel 1 indica una fuente principal, o si una estimación está asociada a un alto nivel de incertidumbre. Deben aplicarse el árbol de decisiones y la determinación de categoría de fuente principal a las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por separado.

Para utilizar el método de nivel 1, se debe tener en cuenta que los factores de emisión del CO<sub>2</sub> están expresados en unidades de kg CO<sub>2</sub>/TJ sobre la base del valor calórico neto y reflejan el contenido de carbono del combustible y la hipótesis de que el factor de oxidación del carbono es 1.

Difieren los factores de emisión del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para diferentes categorías de fuente debido a las diferencias en las tecnologías de combustión aplicadas en las distintas categorías de fuente. Los factores por defecto presentados para el nivel 1 se aplican a las tecnologías sin controles de emisión y suponen una combustión eficaz a alta temperatura.

Estos factores son aplicables en condiciones estables y óptimas y no toman en cuenta el efecto de las puestas en marcha, las desactivaciones, ni la combustión con cargas parciales. Se fijaron estos factores de emisión tomando el dictamen de un grupo grande de expertos en inventarios, y todavía se los considera válidos. Puesto que no hay disponibles muchas mediciones de estos tipos de factores de emisión, se establecen los rangos de incertidumbre en más o menos un factor de tres.

Se puede utilizar un método de nivel 2, recopilando información de los Factores de Emisión específicos del país para cada combustible quemado en los equipos fijos de combustión al interior de la empresa.

Debido a la naturaleza de las emisiones de los GEI diferentes al CO<sub>2</sub>, se necesitan los factores de emisión específicos de la tecnología para el nivel 3. El IPCC ha establecido un conjunto de factores de emisión representativos no controlados de CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> por tecnología principal y tipo de combustible. Por lo tanto, estos datos no incluyen el nivel de

tecnología de control que pueda haber en ciertos países, puesto que se han elaborado principalmente para la comunidad Europea.

Para la combustión estacionaria, los datos de la actividad para todos los niveles son las cantidades y los tipos de combustible quemados. Las cantidades de dióxido de carbono pueden calcularse normalmente a partir de los datos de consumo del combustible y el contenido de carbono de los combustibles, tomando en cuenta la fracción del carbono sin oxidar.

Las cantidades de GEI no CO<sub>2</sub> formados durante la combustión depende de la tecnología de combustión utilizada y, por ello, se necesitan estadísticas detalladas sobre la tecnología de quema del combustible para estimar con rigurosidad las emisiones de los GEI diferentes al CO<sub>2</sub>.

### **2.6.3 Tratamiento de aguas residuales**

Esta sección se basa en los lineamientos establecidos en el volumen 5, Capítulo 6 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI. De acuerdo a lo establecido en este capítulo, las aguas residuales se clasifican de dos tipos: Domésticas e Industriales. Por la naturaleza de su procedencia, el análisis se centra en las aguas residuales industriales colectadas, que resultan del proceso de extracción de aceite de palma, descrito en la sección 1. 2. 2.

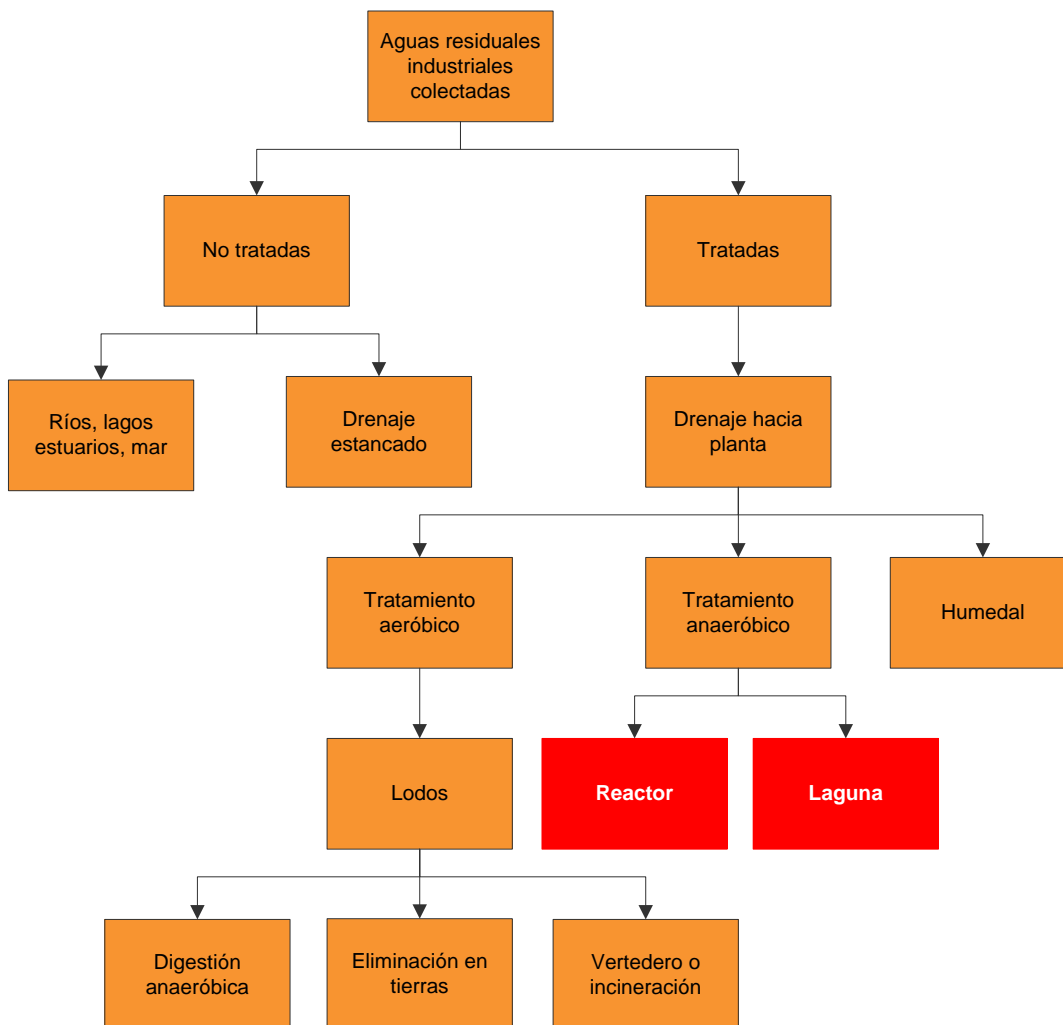
Se debe tener en cuenta que las aguas residuales pueden ser una fuente de metano (CH<sub>4</sub>) cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. Aunque también se consideran una fuente de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para efectos de este trabajo, y siguiendo las indicaciones del IPCC, no serán tenidas en cuenta este tipo de emisiones en el análisis del sistema de tratamiento de aguas con el que la empresa opera.



En general, los sistemas de tratamiento o vías de eliminación que constituyen medios anaeróbicos producen  $\text{CH}_4$ , mientras que los sistemas que ofrecen entornos aeróbicos suelen producir poco o nada de  $\text{CH}_4$ . Por ejemplo, para las lagunas sin agitación o aeración, el factor crítico para la producción de  $\text{CH}_4$  es su profundidad. Las lagunas poco profundas, con menos de 1 metro de profundidad, suelen ofrecer condiciones aeróbicas y poco o nada de producción de  $\text{CH}_4$ . Las lagunas de más de 2 ó 3 metros de profundidad ofrecen generalmente medios anaeróbicos y se puede esperar una significativa producción de  $\text{CH}_4$  (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

El proceso de tratamiento de aguas residuales industriales (Ilustración 14), muestra el tratamiento y las vías de eliminación que deben ser consideradas, de acuerdo a la disposición final que se le pretenda dar a los residuos de agua, luego de ser utilizadas durante la transformación de materias primas.

Ilustración 14: Proceso del tratamiento de aguas residuales industriales



Fuente: Adaptado del IPCC 2006

De acuerdo a esta descripción, se ha clasificado el sistema de manejo de aguas residuales con el que cuenta la empresa, para determinar si existen emisiones en esta fase del procesamiento del fruto.

Durante 2011, Guaicaramo S.A. contó con un sistema de tratamiento de aguas residuales conformado por un conjunto de lagunas, de las cuales 5 eran anaerobias, con las que se eliminaban los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente para retornarla al cuerpo de agua de donde fue tomada.

Dicho proceso permite a la planta de beneficio desarrollar sus actividades de una forma ambientalmente más eficiente y garantizar el retorno del agua que utiliza en la elaboración de sus productos a su cauce normal, con un nivel de contaminación mínimo.

Al respecto, los expertos del IPCC señalan que tanto las aguas residuales como los lodos que contienen pueden producir  $\text{CH}_4$  por degradación anaeróbica. La cantidad de  $\text{CH}_4$  producido depende principalmente de la cantidad de materia orgánica degradable contenido en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento.

El factor principal para determinar el potencial de generación de  $\text{CH}_4$  de las aguas residuales es la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas: Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Normalmente, el DBO se declara más a menudo para el caso de las aguas servidas domésticas, mientras que el DQO se utiliza de preferencia para las aguas residuales industriales (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

Para calcular este dato, existen diferentes métodos basados en la toma de muestras en la fuente y el respectivo análisis en laboratorio. Sin embargo, en estas directrices la DQO se refiere al requisito químico de oxígeno medido con el método del dicromato<sup>19</sup>. El cálculo de la DQO es un ensayo más corto, más reproducible y exacto que la DBO y menos susceptible a interferencias de materias tóxicas, lo cual lo convierte en un análisis de rutina y en un parámetro útil para el control de plantas depuradoras (Crespi Rosell & Huertas López, 1984).

En el estudio de caso, este valor es monitoreado por la empresa, para cumplir con lo establecido por la norma ambiental colombiana relacionada con el tratamiento de aguas industriales, las cuales deben ser tratadas antes de verterlas a los ríos o cauces, por lo que no fue necesario realizar análisis de laboratorio.

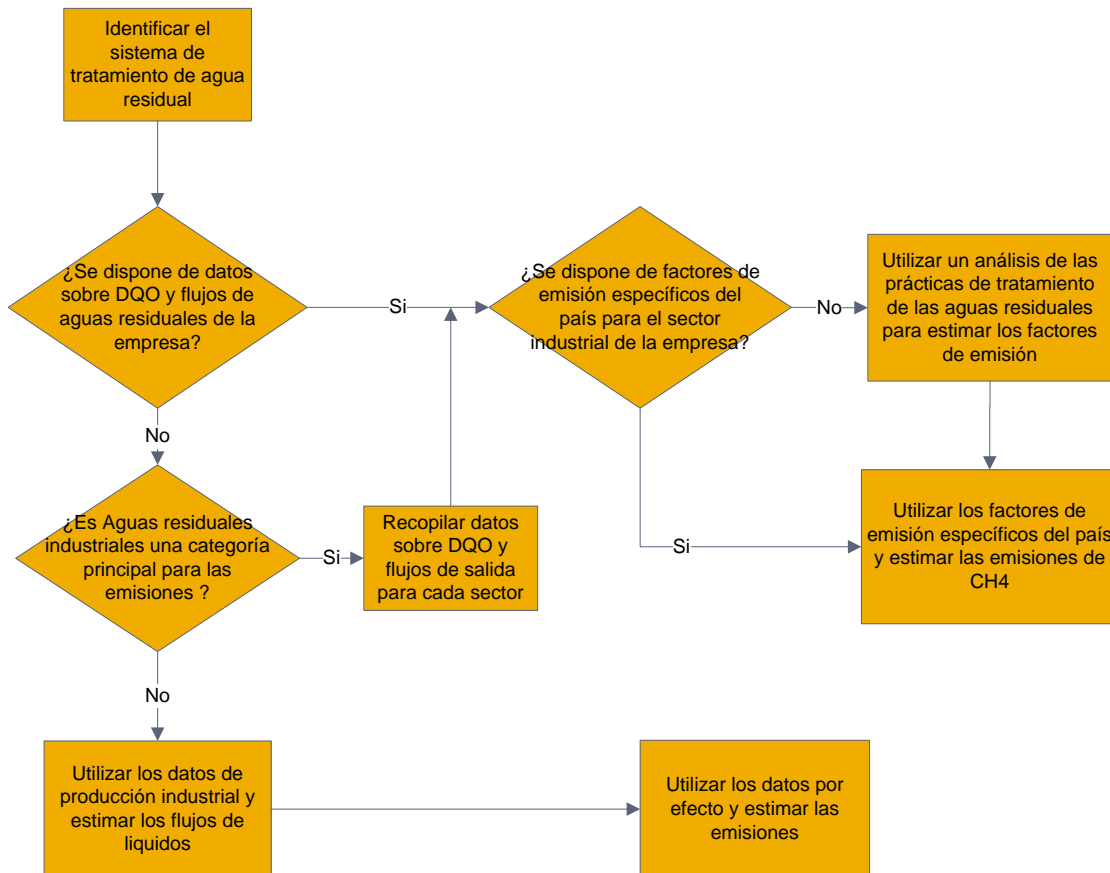
De acuerdo a la información existente en cada industria o estudio de caso que se esté abordando, es necesario tener en cuenta el procedimiento que se debe realizar para

---

<sup>19</sup> Este método utiliza los mismos reactivos y en la misma concentración que el método normalizado; sin embargo, todos los reactivos se manejan en solución y en cantidades 16'66 veces menores que el método normal.

estimar la cantidad de CH<sub>4</sub> emitido, de acuerdo al tipo de tratamiento y al sistema de lagunas que sean utilizadas para tal fin (Ilustración 15).

**Ilustración 15: Diagrama de decisión para estimar emisiones de CH<sub>4</sub> en lagunas de oxidación**



Fuente: Adaptado del IPCC 2006

Guaicaramo S.A. facilitó los datos sobre DQO y los flujos de aguas residuales de la empresa, tomados directamente en las lagunas de tratamiento de los efluentes. Además, se utilizó un enfoque de arriba hacia abajo para estimar las emisiones en esta fase del proceso productivo de la empresa, que incluyó los siguientes pasos generales:

- Usar la Ecuación 7 para estimar el total de carbono degradable de manera orgánica en las aguas servidas (TOW por sus siglas en inglés).

- Elegir la vía y los sistemas (Ilustración 14) de acuerdo al mecanismo empleado por la empresa para el tratamiento de aguas residuales. Usar la Ecuación 6 para obtener el factor de emisión para el sistema de tratamiento específico. Todas las empresas independientemente de su sector, deben estimar el factor de emisión utilizando la capacidad máxima de producción de metano y el promedio del factor de corrección para el metano específico de la industria.
- Utilizar la Ecuación 5 para estimar las emisiones, teniendo en cuenta una eventual separación de los lodos y/o recuperación de CH4, y sumar los resultados.

Se tomó como fórmula matemática base para los cálculos, la ecuación general para estimar las emisiones totales de CH4 procedentes de las aguas residuales industriales, desarrollada por el IPCC (Ecuación 5).

**Ecuación 5: Emisiones de CH4 de Lagunas Residuales Industriales**

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i \{(TOW_i - S_i) * EF_i - R_i\}$$

Variable	Descripción
Emisiones de CH4	Emisiones de CH4 durante el año del inventario (kg CH4/año)
TOW <i>i</i>	Total de la materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales de la industria <i>i</i> durante el año del inventario (kg DQO/año)
S <i>i</i>	Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (kg DQO/año)
EF <i>i</i>	Factor de emisión para la industria <i>i</i> (kg CH4/kg DQO) para la vía o sistema(s) de tratamiento y/o eliminación utilizado(s) en el año del inventario. Si en una industria se utiliza más de una práctica de tratamiento, este factor debe corresponder a un promedio ponderado
R <i>i</i>	Cantidad de CH4 recuperado durante el año del inventario (kg CH4/año)
<i>i</i>	Sector industrial

Fuente: IPCC, 2006

La Ecuación 5 está compuesta por cuatro variables que requieren de cálculos adicionales para su estimación. Es por esto, que es necesario aplicar otras operaciones matemáticas para completar la información necesaria.

Por la particularidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, no se han definido factores de emisión por defecto, por lo que se emplea una fórmula matemática que relaciona la capacidad máxima de producción de metano de cada una de las lagunas y un factor de corrección para el metano, de acuerdo al tratamiento empleado.

**Ecuación 6: Factor de Emisión de CH<sub>4</sub> Aguas Residuales Industriales**

$$EF_j = B_0 * MCF_j$$

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
$EF_j$	Factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación (kg CH <sub>4</sub> /kg DQO)
$B_0$	Capacidad máxima de producción de CH <sub>4</sub> /kg de DQO
$MCF_j$	Factor de corrección para el metano (fracción) (Ver anexo)
$j$	Cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación

Fuente: IPCC, 2006

En la revisión bibliográfica realizada sobre la capacidad máxima de producción del metano para Colombia, se determinó que no se dispone de los datos específicos para el país, por lo que se ha utilizado como buena práctica para  $B_0$  el factor de la DQO por defecto del IPCC (0,25 kg de CH<sub>4</sub>/kg de DQO).

Los datos de la actividad que se deben recopilar para esta categoría de fuente dependen de la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales ( $TOW$ ). Para medir este parámetro, es necesaria la información de la producción industrial  $P$  (toneladas/año), la generación de aguas residuales  $W$  (m<sup>3</sup>/tonelada de producto) y la  $DQO$  (Kg DQO/m<sup>3</sup>).

## Ecuación 7: Cantidad de Materia Orgánica Degradable

$$TOW_i = P_i * W_i * DQO_i$$

Variable	Descripción
$TOW_i$	Total de la materia degradable de manera orgánica en las aguas residuales de la industria $i$ (kg DQO/año)
$P_i$	Producto industrial total de la empresa $i$ (t/año)
$W_i$	Aguas residuales generadas (m <sup>3</sup> /t producto)
$DQO_i$	Requerimiento químico de oxígeno (componente industrial orgánico degradable en las aguas residuales), kg. de DQO/m <sup>3</sup>
$i$	Empresa

Fuente: IPCC, 2006

Los resultados de las ecuaciones utilizadas en esta sección se analizan en el capítulo 3, en el que se presentan las emisiones por cada una de las lagunas, de acuerdo al sistema empleado por Guaicaramo S.A. para el tratamiento del agua utilizada en la extracción de aceite de palma.

## 2.7 Recolección de datos y elección de factores de emisión

Para la mayoría de las empresas pequeñas y medianas, y para muchas grandes empresas, las emisiones de alcance 1 se calculan con base en las cantidades adquiridas de combustibles comerciales (gas natural, diésel, combustóleo, gasolina, etc.) utilizando los factores de emisión publicados. Las emisiones de alcance 2 se calculan primordialmente a partir del consumo medido de electricidad y de factores de emisión publicados por los proveedores de electricidad o por la red eléctrica local. Las emisiones de alcance 3 se calculan primordialmente a partir de los datos de las actividades de la empresa, como el uso de combustible o los kilómetros recorridos por pasajeros, y factores de emisión publicados en otros sitios. En la mayoría de los casos, si los factores específicos de emisión de la fuente o instalación están disponibles, son preferibles a factores de emisión más genéricos o generales.

Un factor de emisión (FE) es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los FE se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo general, los primeros se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o en balances de materiales. Por otro lado, los FE basados en censos se usan generalmente para estimar emisiones de fuentes de área<sup>20</sup>.

Para el caso concreto, se realizó una revisión de los factores de emisión colombianos, para que la estimación de la HCC se realizara de la manera más acertada posible. Se tomaron los FE propuestos por la UPME para algunos combustibles y se revisaron los datos propuestos por el IPCC, teniendo en cuenta que son valores de referencia y pueden ser usados para estimaciones genéricas cuando la información no está disponible.

Una vez seleccionados los Factores de Emisión, se programaron 3 visitas entre los meses de agosto y noviembre, para conocer la estructura administrativa y los procesos realizados al interior de la empresa. Se elaboraron formatos de captura de información para cada una de las fuentes de emisión identificadas en la extracción de aceite en palma y se aplicaron entrevistas al personal directivo y operativo.

La información recolectada y utilizada se presenta en la siguiente sección, junto a los criterios que se tuvieron en cuenta para elegir los datos que no fueron proporcionados por la empresa o que, para el caso Colombiano, fueron de difícil obtención en fuentes secundarias de información.

## **2.8 Aplicación de las herramientas de cálculo**

El Protocolo de GEI, ha propuesto dos categorías principales de herramientas de cálculo:

- Herramientas intersectoriales que pueden ser aplicadas a distintos sectores. Estas incluyen: combustión fija, combustión móvil, uso de HFC en refrigeración y aire acondicionado, e incertidumbre en la medición y estimación.

---

<sup>20</sup> Tomado de [www.2.ine.gov.mx/publicaciones/libros/457/estimacion3.pdf](http://www.2.ine.gov.mx/publicaciones/libros/457/estimacion3.pdf)



- Herramientas sectoriales que están diseñadas para calcular emisiones en sectores específicos, como aluminio, hierro y acero, cemento, petróleo y gas, pulpa y papel, organizaciones basadas en oficinas, etc.

Estas herramientas fueron diseñadas con información genérica y se encuentran disponibles para los usuarios en las páginas web del protocolo, para su descarga y respectiva utilización.

Sin embargo, tal como se ha mencionado en la sección *Selección, diseño y/o ajuste del método de cálculo*, se aplicaron modelos elaborados a partir de información colombiana, que se ajustan a las condiciones particulares de la empresa.

## **2.9 Gestión de la calidad del inventario**

Se necesita un marco de referencia práctico para ayudar a las empresas a conceptualizar y diseñar un sistema de gestión de calidad, y estructurar un plan de mejoras futuras. La aplicación de controles de calidad, tanto genéricos como por categorías específicas, garantiza que el manejo de datos, documentación y cálculos de emisiones, cuenten con un alto nivel de confiabilidad.

La revisión de las estimaciones y la retroalimentación al equipo responsable, permite que se minimicen los errores y se instrumenten las mejoras consecuentes. Por último, este sistema debe incluir procedimientos de registro de datos, instrucciones sobre su archivo y selección de la información que será reportada a las partes involucradas externas.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones útiles para asegurar la calidad de los datos de actividad o producción:

- Desarrollar procedimientos de recopilación de datos que permitan que la misma información pueda ser generada y colectada eficientemente en los años siguientes.
- Convertir la información del consumo de combustibles a unidades de energía antes de aplicar los factores de emisión por contenido de carbono.
- Comparar los datos actuales con tendencias históricas

- Comparar información sobre niveles de actividad proveniente de distintas fuentes de referencia.
- Analizar los datos de actividad o producción que son generados para propósitos distintos al desarrollo de un inventario de GEI.
- Verificar que los procedimientos de recálculo del año base sean ejecutados de manera consistente y correcta.
- Verificar que las decisiones sobre los límites operacionales y organizacionales se apliquen de manera correcta y consistente con la recolección de información sobre los niveles de actividad y producción.
- Indagar si los sesgos u otros problemas que pudieran afectar la calidad de los datos han sido previamente identificados y tomados en cuenta.
- Extender las medidas de gestión de calidad hasta cubrir cualquier información adicional.

Dentro de una estrategia ambiental proactiva, enfocarse en estimar las emisiones corporativas u organizacionales presenta la ventaja de ayudar a las empresas a administrar de manera más efectiva sus riesgos y oportunidades asociados a los GEI. También ayuda a canalizar recursos a actividades que resultan en reducciones de emisiones de GEI más eficientes desde el punto de vista costo-beneficio.

Difícilmente se logra obtener este tipo de ventaja, si los estudios de medición y control ambiental no están soportados dentro de políticas, objetivos o planes de gestión ambiental corporativos, que permitan sacar provecho a problemáticas ambientales basados en proyectos de reuso, transformación o disposición final de estos contaminantes.

## 3.RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo a las tres fases del proceso de extracción de aceite de palma que más inciden en la generación de emisiones de GEI, por su alta contribución en dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, a continuación se realiza un análisis de los resultados encontrados durante el proceso que realiza Guaicaramo S.A. (Ver anexos digitales)

El análisis permite realizar una comparación por tipos de gases emitidos, las fuentes de emisión y la cantidad de CO<sub>2</sub>e que aporta cada fase utilizada en el estudio: Transporte, Proceso y Tratamiento de aguas.

### 3.1 Emisiones por fase del proceso

#### 3.1.1. Flota de transporte

La información recolectada sobre la flota de transporte que la empresa tiene en operación para realizar el proceso de extracción de aceite de palma permitió determinar que existe un control desde el 2010 sobre el consumo de combustible de cada uno de los vehículos, actividad que ha sido supervisada por su taller de mantenimiento.

Con la información que existe en esa base de datos, se seleccionó el consumo de combustible de cada vehículo durante el año 2011 y se agrupó estos datos por tipo de vehículo, para facilitar el análisis de las emisiones generadas por la actividad de transporte.

La Empresa operó durante el 2011 con una flota de transporte propia compuesta por 49 vehículos, agrupados en 9 tipos de acuerdo a su uso en las diferentes labores, entre ellas cargue y transporte de fruto, mantenimiento, transporte de personal, limpieza de canales de agua, mantenimiento de vías al interior de la empresa y actividades en planta de producción ([Tabla 12](#)).

Tabla 12: Cantidad de vehículos de la empresa en 2011 y su consumo de Biodiesel B7 en m3

TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD POR TIPO	CANTIDAD USADA DE COMBUSTIBLE AÑO (m3/año)
BULDOZER	1	8,576228974
CAMION	3	45,5839289
CAMIONETA	4	6,402645519
CARGADORT300	1	5,844297278
CHIVA	1	4,070453309
MOTONIVELADORA	2	16,38099102
RETROEXCAVADORA	8	62,68376962
TRACTOR	28	90,67386155
VIBROCOMPACTADOR	1	7,087047972
<b>Total general</b>	<b>49</b>	<b>247,3032241</b>

FUENTE: Cálculos basados en información proporcionada por la empresa

El combustible que han usado los diferentes vehículos de la empresa es el Biodiesel B7<sup>21</sup>, que durante el año 2012 fue comprado a la empresa Biomax® en cantidades promedio de 19.600 galones mensuales. Con el uso de este combustible, Guaicaramo ha buscado un mejor desempeño ambiental, disminuyendo la cantidad de emisiones que se generan con el uso de combustibles fósiles.

Ilustración 16: Tanque de almacenamiento combustible en Guaicaramo S.A.



<sup>21</sup> Esta mezcla permite ser usada en los motores convencionales sin que se requiera modificación alguna en los mismos. De hecho, el diésel convencional suele suministrarse mezclado con biodiésel debido a que el porcentaje incorporado es inferior al 7 % del volumen y no supone ningún riesgo el uso del mismo. Información tomada de:

(<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2012/02/24/131486>).

Este combustible es suministrado directamente a los vehículos por medio de surtidores ubicados al interior de la empresa, lo que ha permitido el control y seguimiento mediante la toma de datos de los horómetros.

Una vez se consolidó la información del combustible usado por cada vehículo para el año de estudio, fue necesario determinar los factores de emisión que se debían utilizar de acuerdo al tipo de combustible que consumido por los vehículos durante el 2011, que para este caso hace referencia al Biodiesel B7.

En la Tabla 13, se ha recopilado información relacionada con factores de emisión para los principales combustibles de Colombia, algunos de los cuales han sido tomados de entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética o se han construido con base en información del IPCC 2006.

**Tabla 13: Factores de Emisión propuestos para Combustibles Colombianos**

COMBUSTIBLE	FACTOR EMISION RECOMENDADO	FUENTE DE INFORMACION
	Kg CO2/TJ	
<b>Carbón</b>	91.5	UPME
<b>Gas Natural</b>	55.1	UPME
<b>Diesel Genérico</b>	73.9	UPME
<b>LPG</b>	65.5	UPME
<b>Petróleo Crudo</b>	79.0	UPME
<b>Biodiesel</b>	70.8	IPCC 2006
<b>Queroseno Col.</b>	74.1	UPME
<b>Queroseno Genérico</b>	74.8	UPME
<b>Biodiesel B7<sup>22</sup></b>	73.7	Propuesto por el autor

Utilizar la información recopilada y construida en la anterior tabla permite tener un dato de factor de emisión con un alto nivel de confianza para el cálculo de emisiones a partir del uso de combustibles colombianos, teniendo en cuenta que algunas características físico-químicas de los combustibles varían levemente de acuerdo al país donde es

<sup>22</sup> Dato calculado utilizando el factor de emisión para el Diésel Genérico estimado por la UPME y el establecido por el IPCC 2006 para el Biodiesel, utilizando la misma proporción de la mezcla de B7 (93% Diésel + 7% Biodiesel), es decir:  $(73.9\text{MJ/Kgx}0,93) + (70.8\text{MJ/Kgx}0,07)$

producido, y a que el IPCC recomienda reducir el nivel de incertidumbre basados en información específica del tipo de combustible.

Para el caso analizado, se tomó el factor de emisión del Biodiesel B7 (ver Tabla 13), con el fin de realizar una determinación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, de la manera más aproximada a la realidad. Sin embargo, para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se utilizó el factor de emisión por categoría de vehículo (Ver anexo), establecido por los expertos del IPCC 2006, puesto que estos datos no se han definido para los combustibles de Colombia.

Debido a que los factores de emisión son valores expresados en kgX<sup>23</sup>/Tj, es necesario que las cantidades de combustible se expresen en unidades de energía, por lo que se utilizaron los Poderes Caloríficos Inferiores (PCI) y estimar la cantidad de calor emitida por la combustión de cada tipo de combustible que llegue a ser usado en el proceso de extracción de aceite de palma.

El Poder Calorífico de un combustible es la máxima cantidad de calor que se puede obtener de él cuando se quema de forma completa y sus productos son enfriados hasta la temperatura original de la mezcla aire-combustible (Garcés Paz & Martínez Silva, 2007).

Una forma de entender el beneficio de usar el PCI en la estimación de la HC es la forma en que permanece el vapor de agua cuando se realiza la combustión, ya que este término es definido como “la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible, sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor<sup>24</sup>”.

De acuerdo a la definición de PCI, y teniendo en cuenta que es necesario contar con los combustibles en unidades de masa, se construyó una tabla a partir de diferentes fuentes

---

<sup>23</sup> Siendo X cualquiera de los 3 tipos de Gases de Efecto Invernadero analizados en este documento (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

<sup>24</sup> Tomado de [http://www.redproteger.com.ar/poder\\_calorifico.htm](http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm)

de información, que permite contar con datos relacionados con el Poder Calorífico Inferior y la Densidad para algunos combustibles colombianos (Tabla 14).

**Tabla 14: PCI y Densidad de algunos Combustibles en Colombia**

COMBUSTIBLE	PCI DEFINIDO POR UPME (MJ/Kg)	CONVERTIDO A TJ/Kg	DENSIDAD <sup>25</sup> (Kg/m3)	FUENTE DEL DATO DENSIDAD
Diésel Genérico	42,67	0,0000427	850	Empresa Ecodiesel Colombia S.A.
Biodiesel	38,00	0,0000380	880	<a href="http://www.madrimasd.org/blog/energiasalternativas/2012/02/24/131486">http://www.madrimasd.org/blog/energiasalternativas/2012/02/24/131486</a>
Biodiesel B7	42,678	0,0000427	860,5	Empresa: Esso – ExxonMobil <a href="http://combustibleylogsa.globals.com.ar/images/essogasoilb7.pdf">http://combustibleylogsa.globals.com.ar/images/essogasoilb7.pdf</a>

Para convertir las unidades del PCI, se utilizaron las equivalencias energéticas establecidas por el sistema internacional, cuyos datos se encuentran recopilados en la Tabla 15

**Tabla 15: Equivalencias entre Unidades Energéticas**

KJ	Kcal	Btu
1	0,239	0,948
4,184	1	3,967
1,055	0,252	1

Megajulio (MJ)	Terajulio (TJ)	Kilojulio (KJ)
1.000.000,0	1,0	1.000.000.000,0
1,0	0,000001	1.000,0
0,001	0,000000001	1,0

Fuente: Información recopilada de internet (Sistema Internacional)

Una vez se ha determinado la información de los combustibles que son utilizados en la flota de transporte en una empresa, incluyendo la cantidad de energía generada, se procede a realizar los cálculos basados en las ecuaciones presentadas en la sección 2.6.1 *Fuentes de combustión móvil (transporte)*.

<sup>25</sup> Se recopiló la información de los tres combustibles que usan normalmente los vehículos de carga y maquinaria pesada en Colombia.

De acuerdo al consumo de Biodiesel B7 en el 2011 por parte de los vehículos de Guaicaramo S.A., y aplicando la metodología anteriormente descrita, se estimó que la flota de transporte de la empresa emitió un total de 681 toneladas de CO<sub>2</sub>eq durante el año de estudio (Tabla 16).

**Tabla 16: Emisiones por tipo de vehículo**

Tipo de Vehículo	Vehículos por Tipo	t CO2e
CHIVA	1	11,21021016
BULDOZER	1	23,61931754
VIBROCOMPACTADOR	1	19,51804656
CARGADORT300	1	16,09545566
MOTONIVELADORA	2	45,11398072
CAMION	3	125,5401756
CAMIONETA	4	17,63317165
RETROEXCAVADORA	8	172,6339005
TRACTOR	28	249,7198635
<b>Total general</b>	<b>49</b>	<b>681,0841218</b>

FUENTE: Cálculos basados en información proporcionada por la empresa

En la empresa, el tractor es el tipo de vehículo que aporta en mayor medida al índice de HC, principalmente por ser el grupo de vehículos más grande de la flota de transporte, y cuya operación diaria es fundamental en todas las actividades que realiza la planta de beneficio.

**Ilustración 17: Foto de uno de los camiones de la empresa**





Porcentualmente, los camiones de la empresa (ver Ilustración 17) han tenido uno de los más altos consumos de combustible (18,4%), teniendo en cuenta que tan solo es el 6,12% del total de vehículos de Guaicaramo (Tabla 17).

**Tabla 17: Aporte de emisiones por cada tipo de vehículo**

Tipo Vehículo	% Vehículos	% Combustible consumido
CHIVA	2,04%	1,65%
CARGADORT300	2,04%	2,36%
CAMIONETA	8,16%	2,59%
VIBROCOMPACTADOR	2,04%	2,87%
BULDOZER	2,04%	3,47%
MOTONIVELADORA	4,08%	6,62%
CAMION	6,12%	18,43%
RETROEXCAVADORA	16,33%	25,35%
TRACTOR	57,14%	36,67%
<b>Total general</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

No se tuvo en cuenta la información tomada de los horómetros (que miden el tiempo de los recorridos) instalados en los vehículos, puesto que algunos dispositivos no funcionaron correctamente durante el 2011, lo cual podría sesgar el análisis realizado.

La Tabla 18 muestra que durante el año 2011, en promedio cada vehículo aportó un total de 13,9 toneladas de CO<sub>2</sub>e, determinando que en general cada camión (41 t), buldozer (23 t) y motoniveladora (22 t), fueron los de mayor aporte en términos de CO<sub>2</sub>e.

**Tabla 18: Promedio de emisiones por tipo de vehículo**

Tipo de Vehículo	Promedio de emisiones t CO <sub>2</sub> e
CAMIONETA	4,4083
TRACTOR	8,9186
CHIVA	11,2102
CARGADORT300	16,0955
VIBROCOMPACTADOR	19,5180
RETROEXCAVADORA	21,5792
MOTONIVELADORA	22,5570
BULDOZER	23,6193
CAMION	41,8467
<b>Total general</b>	<b>13,8997</b>

Estos resultados muestran que la maquinaria pesada usada para el mantenimiento de vías y canales de agua (Buldózer, Motoniveladora, Retroexcavadora y

Vibrocompactador) aporta la mayor contaminación emitida a la atmósfera en esta fase productiva, a pesar del bajo número de este tipo de vehículos con respecto a toda la flota de transporte de la empresa.

### 3.1.2. Equipos de Combustión Fija

Para el análisis de las emisiones generadas por los equipos de combustión fija con los que cuenta la empresa, fue necesario realizar los cálculos por cada tipo de combustible, teniendo en cuenta que las visitas realizadas a la planta de beneficio permitieron determinar dos tipos de fuentes de emisión durante el año del estudio: 4 Plantas eléctricas y 1 caldera industrial.

#### 3.1.2.1. Emisiones por plantas eléctricas

Las 4 plantas eléctricas utilizadas durante el 2011, permitían encender los equipos de la planta de beneficio, mientras la caldera comenzaba a generar el vapor suficiente para impulsar la turbina generadora de electricidad. Como se puede observar en la Ilustración 18, dos de los generadores industriales son de gran tamaño, y su capacidad alcanza los 480 Voltios<sup>26</sup>.

**Ilustración 18: Foto Plantas Eléctricas usadas en la empresa**



DESCRIPCIÓN: Izquierda: Caterpillar C27, Derecha Caterpillar C32

Mientras la caldera genera el vapor requerido, en promedio las plantas eléctricas deben permanecer encendidas aproximadamente 2 horas cada día laborado, por lo que fue

---

<sup>26</sup> Información tomada de las especificaciones técnicas que se encontraban en cada planta generadora de electricidad.

necesario establecer un valor promedio del consumo de ACPM (Diésel), tomando como referencia los valores registrados durante el año de estudio en el sistema de producción de la empresa (Tabla 19).

**Tabla 19: Consumo de diésel de las Plantas Eléctricas durante el 2011**

<b>Plantas 2011</b>	<b>GI/hora</b>	<b>GI/año</b>	<b>m<sup>3</sup>/año</b>
Caterpillar 3412	16,39	10227,36	38,71
Caterpillar C27	33,95	21184,8	80,19
Perkins 220	7,09	4424,16	16,75
Perkins	4,75	2964	11,22

FUENTE: Cálculos basados en información proporcionada por la empresa

Para determinar el consumo de combustible para todo el año, se realizó una aproximación, teniendo en cuenta el funcionamiento de las plantas eléctricas. Por tal razón se utilizó la siguiente ecuación: *Horas día x No. días laborados a la semana x No. semanas año*, lo cual permitió concluir que estos equipos trabajaron aproximadamente un total de 624 horas durante el 2011.

Además, fue necesario tomar los datos de PCI y la densidad del Diésel Genérico que se encuentra en la Tabla 14, para establecer la cantidad de energía que ha generado el total de galones consumidos por las plantas eléctricas.

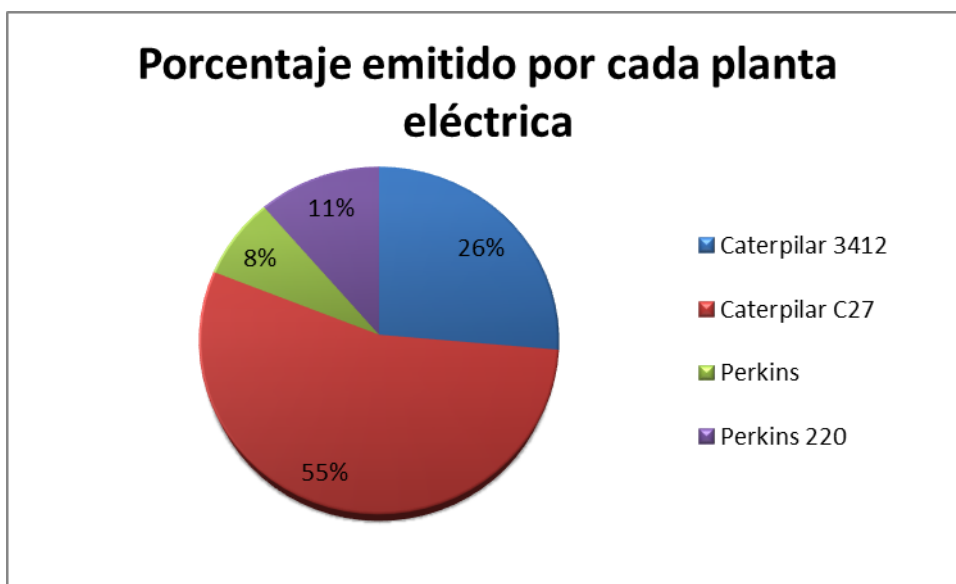
Una vez utilizados los parámetros establecidos por el IPCC para el cálculo de emisiones de este tipo de equipos, se pudo determinar que las plantas eléctricas generaron un total de 395 toneladas de CO<sub>2</sub>e durante el año 2011 (Tabla 20).

**Tabla 20: Toneladas de CO<sub>2</sub>e emitidas por cada planta eléctrica**

<b>Planta Eléctrica</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e/AÑO</b>
Caterpillar 3412	104,1
Caterpillar C27	215,5
Perkins	30,3
Perkins 220	45,1
<b>Total general</b>	<b>395</b>

En términos porcentuales, la planta Caterpillar C27 aportó cerca del 55% del total de las emisiones generadas por estos equipos, mientras que las Perkins, por su menor capacidad de generación de electricidad, sumaron el 19% de las emisiones de este grupo de equipos (Ilustración 19).

Ilustración 19: Comparación porcentual entre plantas eléctricas



Luego de estimar las emisiones atmosféricas generadas por las cuatro plantas eléctricas que la empresa utilizó durante el 2011, se realizaron los cálculos del aporte de GEI de la caldera industrial, la cual hace parte fundamental del proceso de extracción de aceite de palma, por medio del suministro de vapor a la turbina que genera toda la energía eléctrica de la empresa.

### 3.1.2.2. Emisiones por caldera generadora de vapor

Algunas características técnicas de la caldera marca Okutech fueron proporcionadas por el personal de la empresa, y se encuentran resumidas en un estudio que la empresa *Compañía de Consultoría Ambiental*<sup>27</sup> elaboró en enero de 2012 para Guaicaramo S.A. (Ver anexo).

<sup>27</sup> Documento: Evaluación de emisiones atmosféricas generadas por una caldera. Enero 2012.

La biomasa residual del fruto procesado es utilizada como combustible para la caldera, producto de la cantidad de toneladas de racimos de fruto fresco procesado durante el periodo laborado en la planta de beneficio.

Dentro del trabajo de campo realizado al interior de la empresa, se realizó un aforo para determinar la cantidad real de residuos (fibra y cascarilla) que la caldera consume bajo condiciones normales de producción, con el fin de realizar una estimación de este valor con la menor incertidumbre posible.

El aforo se realizó durante 10 minutos bajo condiciones normales de producción, tiempo en el cual fue necesario encender las plantas eléctricas para no interrumpir la producción de aceite de palma. El resultado permitió establecer que en promedio la caldera recibe alrededor de 70 kg/min entre fibra y cascarilla (también conocida como cuesco), con lo cual se pudo proyectar el consumo diario y anual de esta biomasa.

**Tabla 21: Cantidad estimada de biomasa consumida por la caldera**

BIOMASA PALMA ACEITE	Kg Utilizados/día	Kg Utilizados/año	PCI (Kcal/Kg)
Cuesco	25.200	7.862.400	3.988,00
Fibra	50.400	15.724.800	4.274,00

En la Tabla 21, se tuvo en cuenta el porcentaje equivalente a la cantidad total generada por tipo de residuo, teniendo en cuenta el rendimiento del fruto (2/3 cascarilla y 1/3 fibra del total de residuos generados). Este dato fue tomado de información publicada por Fedepalma, de acuerdo a estudios realizados por Cenipalma en sus centros de investigación.

De acuerdo a la metodología aplicada en el presente estudio, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de utilizar el Poder Calorífico Inferior de la biomasa colombiana, teniendo en cuenta las características particulares de cada uno de los residuos de los que se alimenta la caldera.

El Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia<sup>28</sup>, es el resultado de una investigación adelantada por diversas entidades públicas y “presenta el potencial energético anual por unidad de área, en el nivel departamental y municipal de la biomasa, estimado mediante el diseño de modelos matemáticos específicos”... tomando como referencia el “estudio de 96 muestras de campo realizadas en el año 2008” (Escalante Hernández, Orduz Prada, Zapata Lesmes, Cardona Ruiz, & Duarte Ortega, 2009).

El PCI utilizado para el análisis de estos dos residuos de biomasa fueron 3.988,00 Kcal/kg para cuesco y 4.274,00 kcal/kg para fibra. Estos datos se utilizaron con el fin de determinar el potencial de energía generada por la utilización de estos desechos en la caldera.

Se utilizó el factor de emisión de desecho de madera establecido por el IPCC (112.000 kg CO<sub>2</sub>/TJ), puesto que las características descritas de este combustible son similares a las de la biomasa que consume la caldera en la empresa, teniendo en cuenta que la revisión bibliográfica no arrojó un resultado exacto para Colombia. De la misma forma, el factor de emisión para el metano utilizado fue 30 kg CH<sub>4</sub>/TJ y para el óxido nitroso fue 4 kg N<sub>2</sub>O/TJ.

Con base en la información recolectada desde la fuente y a los datos existentes en documentos sobre las características de la biomasa colombiana, se estimó que la caldera generó una emisión durante el 2011 de 45.888 t CO<sub>2</sub>e (Tabla 22).

**Tabla 22: Cálculo de emisiones de la Caldera**

EQUIPO	kg CO <sub>2</sub> /AÑO	Kg CH <sub>4</sub> /AÑO	Kg N <sub>2</sub> O/AÑO	t CO <sub>2</sub> e /AÑO
Caldera	45.134.781,59	12.089,67	1.611,96	45.888,37
<b>Total general</b>	<b>45.134.781,59</b>	<b>12.089,67</b>	<b>1.611,96</b>	<b>45.888,37</b>

<sup>28</sup> Este trabajo fue posible gracias a la colaboración del Ministerio de Minas y Energía, MAVDT, UPME, IDEAM, Colciencias y la Universidad Industrial de Santander.

Para la empresa, la utilización del subproducto del proceso se convierte en un factor determinante para su productividad, lo cual genera un efecto indirecto en el incremento de GEI. Sin embargo, no toda la biomasa que se produce alimenta la caldera; una gran parte de esta materia prima es utilizada en campo como fertilizante orgánico, alternativa viable para reducir la combustión fija generada en este punto.

Por tal motivo, si se piensa desde una lógica empresarial no parece existir una disyuntiva viable que reduzca la HCC sin disminuir la combustión generada en la caldera, puesto que este equipo es parte fundamental del proceso, ya que no solo provee electricidad a la planta sino que alimenta los esterilizadores con el vapor generado.

La alternativa viable sería reemplazar una parte del tiempo utilizado por la caldera, mediante la implementación de un biodigestor que permita la generación de electricidad a partir de gas metano, pero los esterilizadores van a requerir de un equipo adicional para su funcionamiento.

### **3.1.3. Tratamiento de aguas residuales**

El modelo diseñado para la estimación de la cantidad de metano que emitieron las lagunas del sistema de tratamiento de aguas industriales de la empresa durante el año base, se realizó en cuatro hojas de MSExcel® formuladas con el objetivo de permitir el ingreso de los datos de forma fácil y obtener resultados inmediatos (Ver anexo digital).

Una vez revisada la metodología que se aplicaría para la estimación en esta fase del proceso, se determinó que el énfasis se haría en las lagunas con sistema de tratamiento anaerobio, teniendo en cuenta las indicaciones presentadas por el IPCC.

En la sección 1.2.2, se presentó el diagrama del conjunto de lagunas que conformaban el sistema de tratamiento de aguas de la empresa durante el 2011, lo que permitió centrar la investigación en las tres lagunas de oxidación anaerobia. La Tabla 23 se construyó a partir de una entrevista realizada al director de la planta de beneficio, quien proporcionó esta información.

Tabla 23: Características de las lagunas anaerobias

Tipo de laguna	Cantidad	Dimensiones	Caudal	Capacidad de tratamiento
Anaerobia	3	Largo: 117 m Ancho: 18 m Profundidad: 3,80 m	1,5 m <sup>3</sup>	30.000 m <sup>3</sup>

Fuente: Guaicaramo S.A.

Los datos obtenidos a partir de las visitas a las instalaciones de la empresa para esta actividad, fueron presentados en enero de 2012 por la empresa Compañía de Consultoría Ambiental Ltda., en un documento denominado *Estudio de Caracterización de Aguas*<sup>29</sup> y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 24: Datos del Sistema de Tratamiento de Aguas Guaicaramo S.A.

Producción aceite 2011 (ton)	174597,74
Producción mensual promedio (ton)	14549,8117
Días laborados mes	24
Caudal Promedio: Afluente entrada al sistema (l/s)	3,88
Volumen de descarga en una jornada de 24 horas (m <sup>3</sup> /jornada producción)	335,23
Volumen agua residual entrante mes (m <sup>3</sup> /mes)	8380,80
Agua residual por ton (m <sup>3</sup> /ton)	0,04800062
DBO agua sin tratar (mg/l)	29580
DQO Agua sin tratar (mg/l)	133870
DBO Agua tratada (mg/l)	1173
DQO Agua tratada (mg/l)	3831

Fuente: (Compañía de Consultoría Ambiental Ltda., 2012)

Con la información de la Producción Total durante el 2011, el agua residual generada y el DQO obtenido a partir de los análisis de laboratorio, se determinó el Material Degradable Orgánico, como primer paso dentro modelo aplicado.

<sup>29</sup> La empresa realizó una caracterización fisicoquímica en 4 puntos diferentes (afluente y efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, aguas arriba y aguas abajo del punto de vertimiento en el canal de riego) simultáneamente. La toma de muestras se llevó a cabo en forma continua mediante un muestreo compuesto, durante un periodo de ocho (8) horas y fueron llevadas a laboratorio siguiendo los protocolos establecidos y las medidas de seguridad necesarias para garantizar la confiabilidad de los resultados.



Tabla 25: Material Degradable Orgánico generado en 2011

Empresa	A	B	C	D
	Producción Total (Pi) (ton/año)	Agua residual generada (Wi) (m <sup>3</sup> /ton)	Demanda Química de Oxígeno(DQOi) (kgDQO/m <sup>3</sup> )	Material Degradable Orgánico Total en el Agua Residual (TOWi) (kgDQO/año)
Guaicaramo S.A.	174.597,740	0,5760	133,87	13.463.252

El siguiente paso consistió en hallar el Factor de Emisión adecuado para el sistema de tratamiento de la empresa, teniendo en cuenta las características de cada laguna (especialmente la relacionada con el tipo de tratamiento y su profundidad). Como se planteó en el capítulo anterior, no se pudo identificar un factor de emisión específico para el país, por lo que se utilizó el factor propuesto por el IPCC para el B0 y el MCF para lagunas con una profundidad mayor a dos metros.

Tabla 26: Factor de Emisión estimado para el sistema de tratamiento

Tipo de tratamiento o descarga	A	B	C
	Capacidad de producción Máxima de Metano (B0) (kg CH <sub>4</sub> /kg DQO)	Factor de Corrección del Metano para el Sistema de tratamiento (MCFj)	Factor de Emisión (Efj) kg CH <sub>4</sub> /kg DBO
Lagunas anaeróbica profunda (> 2 m)	0,25 <sup>30</sup>	0,8	0,2

Con los dos datos hallados anteriormente y considerando que Guicaramo no cuantificó los lodos retirados ni recuperó metano de sus lagunas durante el 2011, como tercer paso se estableció la cantidad de emisiones de Metano en kg/año.

<sup>30</sup> Dato por defecto propuesto por el IPCC

Tabla 27: Cantidad de CH4 emitido por las lagunas anaerobias (Kg)

Tipo de Tratamiento o vía de descarga	Material Degradable Orgánico Total en Agua Residual (TOWi) (kgDQO/año)	Lodo Retirado (Si) (kg DQO/año)	Factor de Emisión para cada sistema de tratamiento (EFi) (kgCH4/kgDBO)	CH4 Recuperado (Ri) (kg CH4/año)	Emisiones de Metano Neto (CH4) (kg CH4/año)
Lagunas anaeróbica profunda (> 2 m)	13.463.252,35	0	0,2	0	2.692.650,47

Al utilizar el Potencial de Calentamiento Global del Metano, se determinó que el sistema de tratamiento de agua residual industrial de la empresa generó una emisión en términos de CO<sub>2</sub>e de 67.316 toneladas.

### 3.2 Emisiones por tipo de combustible

Las tres actividades evaluadas dentro de la estimación de la huella de carbono corporativa de Guaicaramo S.A. permitieron establecer que la empresa durante el 2011 emitió un total de 115,352 t de CO<sub>2</sub>e, lo cual es considerado un indicador que requiere un análisis relacionado con la eficiencia del proceso.

Tabla 28: Total de emisiones durante el 2011 y aporte de cada fuente

Fuente de emisión	t CO2e	t CO2e/t ACP	Aporte
MEDIOS DE TRANSPORTE	681,084	0,004	1%
EQUIPOS EN PLANTA	47.354,582	0,271	41%
TRATAMIENTO DE AGUAS	67.316,261	0,385	58%
<b>TOTAL EMITIDO</b>	<b>115.351,927</b>	<b>0,660</b>	<b>100%</b>

Es claro que el sistema de lagunas anaerobias para el tratamiento de aguas es la causante de la mayor cantidad de emisiones de GEI al interior de la empresa (Tabla 28). Sin embargo, los resultados muestran que la caldera industrial, junto a las plantas eléctricas para la generación de electricidad, representa en conjunto un porcentaje preocupante dentro de los resultados obtenidos.

Un análisis por tipo de combustible (Tabla 29), permite establecer que la biomasa consumida por la caldera representa el 98% de las emisiones relacionadas con el consumo de combustibles al interior de la planta de procesamiento, lo que traduce que por cada tonelada de Aceite Crudo de Palma, la biomasa aporta 269 kg de GEI.

**Tabla 29: Emisiones por tipo de Combustible**

<b>Combustible</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e/t ACP</b>	<b>Aporte</b>
BIODIESEL B7	681,084	0,004	1%
DIESEL O ACPM	394,857	0,002	1%
BIOMASA	46.959,724	0,269	98%
<b>TOTAL EMITIDO</b>	<b>48.035,666</b>	<b>0,275</b>	100%

Estos resultados permiten realizar un análisis comparativo entre la cantidad de CO<sub>2</sub> que captura el cultivo de palma de aceite y el total de emisiones generadas durante todo el proceso de extracción de aceite de palma, con el fin de establecer en futuras investigaciones la cantidad de Carbono Neto emitido o secuestrado.

### **3.3 Comparativo frente a otros estudios**

Una vez realizado el análisis de la información recopilada y los resultados de la huella de carbono, que para el caso de Guaicaramo se estima en 115.352 t CO<sub>2</sub>e, equivalente 660 kg CO<sub>2</sub>e/ton ACP, es necesario revisar la literatura y analizar estas emisiones frente a otros casos de estudio. Por tal motivo, a continuación se presentan casos de estudio donde se aplicaron metodologías diferentes para estimar la HC en plantas de beneficio de otros países.

Tabla 30: Revisión bibliográfica de estudios similares

<i>Título del documento</i>	<i>Sector</i>	<i>VARIABLES</i>	<i>Resultado HC</i>	<i>Metodología</i>	<i>Observaciones</i>
Different palm oil production systems for energy purposes And their Greenhouse gas implications <sup>31</sup>	Producción de aceite de palma en Malasia	Producción de Biodiesel del ACP, transporte dentro de la cadena de valor y la cogeneración de electricidad a partir de gas natural	33.6 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t ACP en las lagunas. Las demás variables evaluadas no tienen relación a las desarrolladas en este documento.	Sugerida por Duthc Commission on Sustainable Biomass	Factores de emisión tomados del IPCC por defecto. Se concluye que el cambio de uso del suelo es el factor más decisivo en el promedio de emisiones de GEI en el sector
Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios <sup>32</sup>	Producción de aceite de palma en Colombia	Cambio de Uso de Suelo, Uso de fertilizantes en cultivo, extracción de aceite (Sistema de tratamiento)	Emisiones de la extracción de aceite: 0.75 kg CO <sub>2</sub> e/kg ACP. Se estimó en un horizonte de 100 años (GWP)	Se tomaron datos de una plantación colombiana de 14.000 ha. Se realizó un LCA utilizando SIMAPRO 7.1	Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar la intensidad de los GEI en diferentes escenarios y horizontes de tiempo.
Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases <sup>33</sup>	Producción de aceite de palma en el sur de Asia	Uso de combustibles fósiles, Cambio Uso del Suelo, Sistema de tratamiento de aguas	2.8 – 19.7 kg CO <sub>2</sub> e/kg ACP (incluye: Cambio Uso Suelo, quema combustibles fósiles y Tratamiento de aguas).	Las emisiones se estimaron sumando cuatro criterios: Uso de combustibles fósiles, Cambio Uso del Suelo, Sistema de tratamiento de aguas	Cerca del 60% del total de emisiones calculadas provienen del Cambio de Uso del Suelo.
Greenhouse gas emissions of palm oil mills in Thailand <sup>34</sup>	Producción de aceite de palma en Tailandia	Adquisición de materia prima, los productos químicos utilizados, la energía	El valor promedio de emisión de GEI de las 14 extractoras fue 1.198 kg CO <sub>2</sub> e/MT ACP. Para cada escenario los resultados fueron (en kg CO <sub>2</sub> e/MT ACP):	Se realizó una evaluación de la Cuna a la Puerta del Proceso en 14 extractoras de aceite de	El muestreo representó el 34.6% de la producción total de aceite de palma en Tailandia.

<sup>31</sup> (Wicke, Dornburg, Junginger, & Faaij, 2008)

<sup>32</sup> (Geraldes Castanheira, Acevedo, & Freire, 2013)

<sup>33</sup> (Reijnders & Huijbregts, 2008)

<sup>34</sup> (Kaewmai, H-Kittikun, & Musikavong, 2012)

		utilizada, el transporte y el manejo de aguas residuales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Extractora con captura de biogás: 750</li> <li>2. Extractora sin captura de biogás: 1087</li> <li>3. Media en Tailandia: 871</li> <li>4. Mejor escenario: 440</li> </ol>	Tailandia	
--	--	--	--	-----------	--

De acuerdo a los datos recopilados en la Tabla 30, es importante concluir que de acuerdo al número de variables que se consideraron en las estimaciones de HC, en términos generales Guaicaramo se encuentra levemente por debajo del promedio de emisiones que presenta la literatura para este sector industrial, sin contar con las emisiones generadas por la conversión de tierras a cultivos de palma y la utilización de agroquímicos para la fertilización de áreas sembradas, fuentes que no se incluyeron en este caso.

Sin embargo, es importante señalar que las empresas colombianas han seguido el modelo de las plantas de beneficio que existen en los países asiáticos, implementando gran parte de la tecnología usada para el procesamiento de RFF en Tailandia e Indonesia.

Por tal razón, se podría afirmar que el factor tecnológico es la variable que mejor permite explicar la similitud del resultado del presente trabajo (660 kg CO<sub>2</sub>e/t ACP), frente a lo estimado en el promedio en Tailandia 871 kg CO<sub>2</sub>e/t ACP.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

La contaminación atmosférica generada a partir de las emisiones de GEI no ha sido un tema prioritario en la legislación colombiana, pero en los últimos años se ha visto un interés creciente por parte de instituciones como el MAVDT, en generar estrategias que lleven a establecer una política de carbono neutro.

La industria de procesamiento de aceite de palma ha tenido un importante crecimiento en los mercados nacionales e internacionales, posicionándose como un sector de talla mundial dentro de la economía colombiana. Sin embargo, muy pocas investigaciones se han centrado en aplicar modelos a casos puntuales para estimar la eficiencia ambiental de este tipo de procesos.

La metodología aplicada en este trabajo permitió identificar dentro del proceso de extracción de aceite de palma tres actividades que generan emisiones de GEI: 1. Combustión generada por la flota de transporte y maquinaria pesada. 2. Generación de electricidad a partir del uso de plantas eléctricas y calderas industriales. 3. Sistema de Tratamiento de Aguas Industriales Residuales por medio de oxidación anaerobia.

Se estima que durante el 2011, la Huella de Carbono Corporativa de Guaicaramo S.A. fue de 115.352 t CO<sub>2</sub>e, lo que equivale a una emisión de 660 kg de CO<sub>2</sub>e por cada tonelada de aceite crudo de palma procesado.

Un análisis detallado permitió establecer que las actividades realizaron el siguiente aporte a la HCC estimada: Tratamiento de Aguas Residuales 58%, Equipos de Combustión Fija para generación de electricidad 41% y Vehículos de transporte y maquinaria pesada 1%. Por cada categoría de fuente, se identificó que dentro de los vehículos el camión en promedio aportó la mayor cantidad de emisiones (41,84 t CO<sub>2</sub>e), mientras que en la categoría de equipos de combustión estacionaria, la caldera industrial generó la mayor cantidad de emisiones (45.888 t CO<sub>2</sub>e).

El combustible que genera una mayor emisión al interior de la planta de beneficio es la biomasa (46.959 t CO<sub>2</sub>e), compuesta por los residuos que se generan del proceso de extracción del fruto de la palma de aceite. Dentro de estos residuos, el consumo de fibra aporta un 68% (32.020 t CO<sub>2</sub>e) del total de estas emisiones, mientras que el uso del cuesco aporta un 32% (14.939 t CO<sub>2</sub>e) de las emisiones en la caldera.

## 4.2 Recomendaciones

Como parte del proceso continuo de mejoramiento del desempeño ambiental de la empresa, se debe establecer un equipo responsable que se encargue de coordinar el sistema de gestión de calidad y desarrollar un plan de gestión ambiental, que debe incluir procedimientos para todos los niveles organizacionales y para todos los procesos que aportan al inventario, desde la recolección de datos, hasta el reporte final de emisiones.

Se recomienda implementar un sistema de seguimiento y control permanente, soportado en una plataforma virtual alimentada periódicamente. Se puede desarrollar un sistema informático básico que permita el ingreso de la información de manera ágil o adquirir una licencia de un software especializado en este tema.

El uso de horómetros en buen estado y/o sistemas GPS permitirán a la empresa realizar un análisis más profundo de las emisiones generadas por la combustión de fuentes móviles, considerando las distancias recorridas para reducir las incertidumbres de estos cálculos.

Se considera necesario realizar un análisis costo-beneficio al uso de la caldera industrial, puesto que se podría optimar el tiempo en que la caldera dura encendida para generar el suficiente vapor y reducir las emisiones por la quema de biomasa.

Es prioritaria la implementación del Proyecto Sombrilla MDL para la captura y quema del  $CH_4$  generado en las lagunas del sistema de tratamiento de aguas. Sin embargo, la empresa debe evaluar la posibilidad de generar energía mediante la instalación de plantas generadoras diseñadas para biogás, que reduciría aún más las emisiones

generadas en su proceso y disminuye el costo asociado a la compra y transporte del diésel que consumen las plantas eléctricas.

Con el fin de contar con un dato más exacto de HCC, es importante incluir las emisiones resultantes del proceso agronómico (cultivo), las cuales no fueron calculadas en este estudio por motivos de alcance y dificultad para la recolección de los datos. Estudios realizados en plantas de beneficio de Malasia concluyeron que el cambio de uso del suelo es el factor más decisivo en la cuantificación de emisiones de GEI (Wicke, Dornburg, Junginger, & Faaij, Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications, 2008) cuyos resultados deben servir para fijar metas de reducción de la Huella de Carbono de una manera más precisa.



## Bibliografía

- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11.
- Carmona Moreno, E., & Magán Díaz, A. (2008). La estrategia ambiental: Definición y Tipologías. *Management*, 541 - 555.
- Centro Nacional de Producción Más Limpia. (2001). *Informe de Evaluación Nacional: Colombia*.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Colque Pinelo, M. T., & Sánchez Campos, V. (2007). *Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?* Lima - Perú.
- Compañía de Consultoría Ambiental Ltda. (2012). *Estudio de Caracterización de Aguas Guaicaramo*. Barranca de Upía.
- Consortio CUE. (2012). *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia*. Medellín.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2009). *Programa de control de contaminación atmosférica generada por fuentes móviles*. Bogotá.
- Crespi Rosell, M., & Huertas López, J. A. (1984). Determinación simplificada de la demanda química de oxígeno por el método del dicromato. *Tecnología del Agua*, 35-40.
- Departamento del Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del País Vasco. (2008). *Oficina Vasca de Cambio Climático*. Recuperado el febrero de 2013, de Stop CO2 Euskad: [http://www.stopco2euskadi.net/documentos/Protocolo\\_Kyoto.pdf](http://www.stopco2euskadi.net/documentos/Protocolo_Kyoto.pdf)
- Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., & Duarte Ortega, M. (2009). *Atlas del potencial energético de la Biomasa Residual en Colombia*.
- Fedepalma. (2012). *Informe de Gestión 2011 del Fondo de estabilización de precios del palmiste, el aceite de palma y sus fracciones*. Bucaramanga.
- Fundación Amigos de la Tierra. (2008). *Aceite de Palma: Usos, Orígenes e Impactos*. Madrid.
- Garcés Paz, R. V., & Martínez Silva, S. V. (2007). *Estudio del Poder Calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda*. Risaralda, Colombia.

Geraldes Castanheira, É., Acevedo, H., & Freire, F. (2013). Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. *Applied Energy*.

Grupo Dávila & Dávila. (2013). *Departamento de Producción Grupo Dávila & Dávila*. Recuperado el Enero de 2013, de [http://www.grupodaviladavila.com/es/content/departamento-de-produccion\\_14.html](http://www.grupodaviladavila.com/es/content/departamento-de-produccion_14.html)

Kaewmai, R., H-Kittikun, A., & Musikavong, C. (2012). Greenhouse gas emissions of palm oil mills in Thailand. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 141 - 151.

Lash, J., & Wellington, F. (2007). Ventaja competitiva frente al calentamiento global. *Harvard Business Review*, 69-77.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (13 de Diciembre de 2012). *Doce sectores de clase mundial ya tienen estrategias de responsabilidad social empresarial*. Recuperado el 2012, de <https://www.mincomercio.gov.co/publicaciones.php?id=5248>

Observatorio de la Sostenibilidad en España OSE. (2012). *Enfoques Metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. Alcalá de Henares, España.

Papendieck, S. (2010). *La Huella de Carbono como nuevo estándar ambiental en el comercio internacional de agroalimentos*. Buenos Aires.

Reijnders, L., & Huijbregts, M. (2008). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, 477 - 482.

Reinosa Pulido, D. (2009). Costos ambientales en el proceso de extracción del aceite de palma. Estudio de un caso. *Revista Venezolana de Gerencia*, 228-247.

Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). *La Huella de Carbono en la Producción, Distribución y Consumo de Bienes y Servicios*. Santiago de Chile.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japón.

Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2008). *Producción Más Limpia - Paradigma de Gestión Ambiental*. Alfaomega, Universidad de los Andes.

Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, M., & Faaij, A. (2008). Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass and Bioenergy* 32, 1322 - 1337.

Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, M., & Faaij, A. (2008). Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass and Energy*, 1322 - 1337.

---

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), World Resources Institute (WRI). (s.f.). *Protocolo de Gases Efecto Invernadero*.

## Anexos

- Formato de Captura de información Fuentes Móviles

<b>GUAICARAMO S.A.</b> <b>Captura de información - Huella de Carbono</b> <b>Transporte</b>	<a href="#">(Logo empresarial)</a>
--	------------------------------------

Tipo de Vehículo:		Propiedad:	
Combustible:		Capacidad (Ton - pas):	
Cons. Combust (Gal/día):		Días de operación (por mes)	
Distancia recorrida (km/día)		Conductor:	
Función		Frecuencia uso (horas, diaria)	
<b>Observaciones:</b>			
_____			
_____			

Tipo de Vehículo:		Propiedad:	
Combustible:		Capacidad (Ton - pas):	
Cons. Combust (Gal/día):		Días de operación (por mes)	
Distancia recorrida (km/día)		Conductor:	
Función		Frecuencia uso (horas, diaria)	
<b>Observaciones:</b>			

Tipo de Vehículo:		Propiedad:	
Combustible:		Capacidad (Ton - pas):	
Cons. Combust (Gal/día):		Días de operación (por mes)	
Distancia recorrida (km/día)		Conductor:	
<b>Función</b>		<b>Frecuencia uso (horas, diaria)</b>	
<b>Observaciones:</b>			

- Formato de captura de información Sistema de tratamiento de aguas

<b>GUAICARAMO S.A.</b> <b>Captura de información - Huella de Carbono</b> <b>Tratamiento de aguas</b>	(Logo empresarial)
--	--------------------

No.	Tipo (facultativa, aerobia o anaerobia)	Dimensiones (largo, ancho, profundidad)	Caudal (ingreso de agua)	Capacidad de tratamiento (total de agua residual por laguna)	DBO	DQO

Información suministrada  
por:

\_\_\_\_\_

Cargo:

\_\_\_\_\_

- Formato de captura de información equipos de combustión fija

<b>GUAICARAMO S.A.</b> <b>Captura de información - Huella de Carbono</b> <b>Utilización Electricidad</b>	<b>(Logo empresarial)</b>
--	---------------------------

Información de origen en la producción de aceite de palma en 2011

Edad de la planta de beneficio (años):

GENERACIÓN Y USO DE ELECTRICIDAD EN EL PROCESO			<b>2011</b>
Capacidad de operación (ton RFF/hora)			
Horas de Operación			
Días de operación (días)			
Total de RFF procesado (ton)			
Fruto Fresco Neto procesado (ton)			
Desechos para quema (ton)			
Electricidad total utilizada en los periodos de operación (kW/año)			
Electricidad de reja (kW/h)			
Electricidad generada por tusas (kW/h)			
La utilización de la electricidad (kW por ton RFF)			
Aceite de palma producido (ton)			
Aceite de palmiste producido (ton)			
Total de raquis (ton)			
Rendimiento de cosecha (kg aceite crudo/ton RFF)			
Rendimiento de cosecha (kg aceite palmiste/ton RFF)			
Generación electricidad por Gas Natural (kw h por ton RFF)			
Generación electricidad por desechos (kW h por ton RFF)			
Total de electricidad (kW h por ton RFF)			
Total de electricidad (kW h por ton AC)			
Total de electricidad (kW h por ton AP)			

RFF: Racimos de Fruto Fresco

AC: Aceite Crudo

AP: Aceite Palmiste

Tusas=Raquis

Nombre: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Email:

- FE de CO<sub>2</sub> por Defecto del IPCC para Transporte Terrestre (kg/TJ)

Tipo de Combustible	Por defecto	Inferior	Superior
Gasolina para motores	69300	67500	73000
Gas/diesel oil	74100	72600	74800
Gases licuados de petróleo	63100	61600	65600
Queroseno	71900	70800	73700
Lubricantes	73300	71900	75200
Gas Natural Comprimido	56100	54300	58300
Gas Natural Licuado	56100	54300	58300

- Valores de MCF por defecto para las Aguas Residuales Industriales

Tipo de Vía	Sistema de tratamiento	Comentarios	MCF	Intervalo
No tratadas	Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con altas cargas de orgánicos pueden volverse anaeróbicos, pero esta situación no se considera aquí	0,1	0 - 0,2
Tratadas	Planta de tratamiento aeróbico	Debe ser bien gestionada. Puede emitir algo de CH <sub>4</sub> desde las cuencas de decantación y otros tanques	0	0 - 0,1
	Planta de tratamiento aeróbico	Mal operada. Sobrecargada	0,3	0,2 - 0,4
	Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub>	0,8	0,8 - 1,0
	Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub>	0,8	0,8 - 1,0
	Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros, recurrir al dictamen de expertos	0,2	0 - 0,3
	Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros	0,8	0,8 - 1,0
Basado en dictamen de expertos del IPCC				



- Características de la caldera industrial de Guaicaramo S.A.

<b>Característica</b>		<b>Descripción</b>
Fuente Fija (Nombre según la empresa)		Caldera
Tipo		Acuotubular
Marca		Okutech
Modelo		FWT-1831-P35-SOO
Fecha de Fabricación		2007
Uso dentro de la empresa		Generación de Vapor
Capacidad (ton/día)		18000 kg/h
Frecuencia de operación		Lunes a sábado
Presión de vapor de diseño (Bar)		34,38
Presión de vapor de trabajo máxima (Bar)		32
Datos del Combustible	Tipo	Fibras/Finos trituración
	Procedencia	Proceso extracción palma
	Consumo Nominal	4200 kg/h
	Consumo Real	3962 kg/h
	Poder Calorífico (Kcal/kg)	Fibra 2400
	Sistema de alimentación	Automático
	Tipo de almacenamiento	Silo
Equipo de control de emisiones	Control de material particulado	Multiciclones
	Tipo de limpieza	Cada 3.5 horas por turno
Frecuencia de purga y deshollinado		Tres veces por turno
Altura de chimenea desde el piso (m)		17,2
Diámetro de chimenea (m)		1,54