

**ANALISIS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA BAJO
LA FILOSOFIA DEL ANALISIS DE CICLO DE VIDA EN LA COOPERATIVA
PALMAS RISARALDA “COOPAR”.**

MAURICIO EDUARDO CONTRERAS LOZANO

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PAMPLONA
2017**

**ANALISIS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA BAJO
LA FILOSOFIA DEL ANALISIS DE CICLO DE VIDA EN LA COOPERATIVA
PALMAS RISARALDA “COOPAR”.**

MAURICIO EDUARDO CONTRERAS LOZANO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Magister
en Ingeniería Industrial**

Director:

Oscar Orlando Ortiz Rodríguez, MSc, PhD

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
MAESTRIA EN INGENIERIA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PAMPLONA**

2017

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEORICO.....	15
5. MARCO CONTEXTUAL.....	19
5.1. PLANTA DE EXTRACCIÓN DE LA EMPRESA COOPERATIVA PALMAS RISARALDA “COOPAR”.	19
5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO / ETAPAS.....	20
5.2.1. Recepción de materia prima.....	20
5.2.2. Esterilización.	21
5.2.3. Desfrutado.....	21
5.2.4. Digestión.....	21
5.2.5. Prensado.....	22
5.2.6. Clarificación.....	22
5.2.7. Secado.....	22
5.2.8. Almacenamiento.....	22
6. MARCO LEGAL	23
7. METODOLOGIA.....	24
7.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA Y BALANCE DE MATERIA.....	24
7.2. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.....	24
7.2.1. Fase de definición del objetivo y alcance	24
7.2.2. Fase de análisis del inventario (ICV)	24
7.2.2.1. Datos de fuente primaria.....	25

7.2.2.2.	Datos de fuente secundaria	26
7.2.3.	Fase de evaluación del impacto ambiental (EICV)	27
7.2.3.1.	Potencial de calentamiento global.....	27
7.2.3.2.	Eutrofización.	27
7.2.3.3.	Toxicidad humana.....	28
7.2.4.	Fase de interpretación.....	28
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
8.1.	LEVANTAMIENTO DEL BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA, MEDIANTE DIAGRAMA DE PROCESO.....	34
8.2.	RESULTADOS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.	35
8.2.1.	Eutrofización.....	37
8.2.2.	Potencial de calentamiento global.....	38
8.2.3.	Toxicidad humana.	39
9.	ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES	43
9.1.	ENERGÍA ELÉCTRICA.....	43
9.2.	MANEJO DE AGUAS RESIDUALES.....	44
9.3.	MANEJOS DE RESIDUOS SÓLIDOS COMO RAQUIS, FIBRA, CASCARILLA Y RESIDUOS GENERADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	44
10.	CONCLUSIONES	46
11.	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFIA.....	48
	ANEXOS.....	51

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Balance de materia general.....	25
Tabla 2. Potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero (figuras IPCC TAR 2001)	27
Tabla 3. Caracterización general por etapas.....	29
Tabla 4. Resultado general por etapas del proceso de extracción	36

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Proceso de extracción de aceite crudo de palma CPO	20
Gráfica 2. Balance de materia.....	34
Gráfica 3. Comparación de los impactos por etapa del proceso de extracción de CPO.....	37
Gráfica 4. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de eutrofización.....	38
Gráfica 5. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de calentamiento global.....	39
Gráfica 6. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de toxicidad humana.....	40
Gráfica 7. Impactos ambientales de cada equipo por ecoindicador.....	41
Gráfica 8. Comparación de las diferentes fuentes de energía eléctrica	42

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de la planta de extracción de Coopar.....	19

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Sustentación del proyecto ante el Gerente de la empresa COOPAR. ..51	
Anexo B. Evidencias fotográficas.	52

GLOSARIO

BASE DE DATOS: conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso.

BIOCOMBUSTIBLE: combustible cuya producción se desarrolla a través del tratamiento químico o físico de desechos orgánicos o de plantas.

EFLUENTE: Líquido residual que fluye de una instalación.

ESTRATEGIA: Plan que especifica una serie de pasos que tienen como fin la consecución de un determinado objetivo.

EUTROFIZACIÓN: Enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas.

GEI: Gas atmosférico que absorbe y emite radiación

IMPACTO AMBIENTAL: Efecto causado por una actividad humana sobre el medio ambiente.

MITIGAR: Situación determinada que necesita ser moderadas, aplacadas o suavizadas, ya sea, a través de algún objeto o cosa en concreto.

RSPO: ROUNDTABLE FOR SUSTAINABLE PALM OIL - 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.

SOSTENIBILIDAD: Cualidad por la que un elemento, sistema o proceso, se mantiene activo en el transcurso del tiempo.

RESUMEN

La agroindustria de la palma de aceite, es una de las más promisorias en Colombia debido a su crecimiento por la necesidad local y mundial del consumo de aceites vegetales y como materia prima para la elaboración de biocombustibles. Es por ello, que a nivel mundial se han buscado mecanismos que permitan blindar al sector generando estrategias de sostenibilidad desde el ámbito económico, social y ambiental, tal como lo determina la mesa redonda de aceite de palma sostenible (RSPO por sus siglas en inglés).

Es por ello, que conocer los impactos ambientales que se generan en el proceso de extracción del aceite crudo de palma, es necesario para iniciar a contribuir con la disminución de gases de efecto invernadero (GEI), evitar pérdida de vida en las fuentes de agua y simplemente para evaluar la toxicidad humana en el proceso.

En este propósito, se llevó a cabo la presente investigación con el fin de evaluar los impactos ambientales generados en el proceso de extracción del aceite crudo de palma (CPO) en la empresa Cooperativa Palmas Risaralda COOPAR, mediante la aplicación de la metodología estandarizada en la ISO 14040 denominada Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que el mayor impacto ambiental en el proceso de extracción del aceite de palma, corresponde a la carga ambiental que conlleva a la cosecha de los racimos de fruta fresca (RFF) con el 66.11%, seguido del uso de energía eléctrica con el 29.54%. Para el caso de la categoría de toxicidad humana es de resaltar que el uso de biomasa como fuente de energía para alimentar la caldera es la segunda fuente de contaminación con una carga de 47.91 kg 1,4-DCB eq.

La investigación permitió concluir, que dando un uso adecuado a las aguas residuales del proceso, el raquis, la fibra y la cascarilla, se pueden generar impactos positivos para la empresa, buscando la sostenibilidad desde los tres ejes propuestos por la RSPO. Por tal motivo, se generaron una serie de estrategias encaminadas a mitigar los impactos ambientales generados durante el proceso de extracción del CPO, que de ser aplicadas no solo estarán enfocadas a la sostenibilidad ambiental sino también a la sostenibilidad económica y social, buscando la competitividad de la empresa Cooperativa Palmas Risaralda COOPAR en el sector agroindustrial palmero.

Palabras claves: Impacto ambiental, sostenibilidad, aceite crudo de palma (CPO), Categoría ambiental, ACV.

INTRODUCCIÓN

La producción de aceite de palma a nivel mundial se ha incrementado, gracias al crecimiento de la demanda que se enfoca principalmente a dos sectores, los biocombustibles, pues su uso se está convirtiendo en práctica mundial dado sus efectos favorables en la reducción de sustancias contaminantes y la disminución de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global [29]; y los aceites vegetales en especial el aceite de palma, pues el uso de este tipo de aceite podría implicar una ventaja competitiva para un país como Colombia que se clasifica como el primero en América con una participación del 30.9% [3].

A pesar del incremento exponencial de investigaciones realizadas con diferentes enfoques a nivel mundial, son pocos los estudios en el cual se realizan análisis de los impactos ambientales [28], los cuales existen y algunos de ellos son los residuos generados durante el proceso de extracción del aceite de palma, los cuales son racimos vacíos, cascara de la almendra, fibras generadas en el proceso de prensado y aguas residuales [22], siendo este último una fuente importante de emisiones de metano (CH₄) cuando se encuentran al aire libre [30].

En este proyecto de investigación, se aplicó la filosofía del análisis de ciclo de vida al proceso de extracción de aceite de palma, en la planta COOPAR, con el fin de determinar los impactos ambientales generados durante cada una de las etapas del proceso de extracción, con el fin de formular estrategias que permitan mitigar los impactos ambientales, concretamente de gases de efecto invernadero (GEI) generados durante dicho proceso.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia se encuentra ubicada como uno de los productores de aceite de palma más representativos en el mundo [3], y su crecimiento en las exportaciones son considerables al pasar de 98400 Ton. Registradas durante el primer semestre de 2013 a 158.300 Ton. Registradas en el primer semestre de 2014 [4], lo que sin duda convierte al sector palmicultor, como uno de los más promisorios y de expansión en Colombia debido a la necesidad de producción de aceites vegetales y sus derivados y a la producción de biocombustibles, tal como lo estima el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en el documento Conpes 3477, el cual cataloga al sector como uno de los productos con alto potencial exportador.

A pesar de los avances que se han tenido en el sector y al impulso dado por las políticas nacionales, las cuales presentan estímulos y proyectan metas ambiciosas en cuanto a la producción de biocombustibles y su mezcla con los combustibles tradicionales tal como lo estipula el Decreto 2629 del 2007, el proceso de extracción para la obtención del aceite de palma y los diferentes subproductos generados incluidos los efluentes, ocasionan desequilibrios ambientales, los cuales requieren de ser inventariados, cuantificados y mitigados con el fin de lograr una producción sostenible, tal como la captura del metano de los racimos vacíos a través de la digestión anaerobia [10] u otros usos de las biomásas como el biochar [26].

Por lo anterior, a través de la presente investigación se buscó dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Mediante la aplicación de la filosofía del análisis del ciclo de vida, es posible cuantificar los impactos ambientales generados durante el proceso de extracción del aceite de palma y ofrecer estrategias que permitan mitigar dichos impactos, los cuales conlleven a la empresa COOPAR a optimizar sus procesos?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar el proceso de extracción del aceite de palma bajo la filosofía del análisis de ciclo de vida (ACV).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar los impactos ambientales por etapas, generados en el proceso de extracción del aceite de palma, mediante la utilización del software LCA Manager.
- Generar estrategias enfocadas a mitigar los impactos ambientales, específicamente la reducción de GEI y cuya viabilidad sea óptima para la empresa Cooperativa Palmas Risaralda COOPAR.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, son pocos los estudios enfocados al análisis de la sostenibilidad del proceso de extracción de aceite de palma y especialmente aquellos en los cuales se evalúan las emisiones y los impactos ambientales [28]. En particular la evaluación del impacto ambiental, realizada bajo el análisis del ciclo de vida (ACV), se encuentra estandarizada bajo la norma internacional ISO 14040, la cual permite la obtención de datos para la posterior toma de decisiones que buscan minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [18], [19].

Dichas decisiones presentan grandes complejidades, debido a la falta de un análisis adecuado al proceso de extracción del aceite de palma, especialmente lo referente a las lagunas de aguas residuales generadas durante el proceso de extracción, ya que estos efluentes son emisores de gases de efecto invernadero, especialmente de metano (CH₄), en condiciones en las que el almacenamiento se realiza al aire libre [30], ocasionando inconvenientes para el manejo adecuado y colocando una barrera en la generación de impactos más amigable con el medio ambiente, lo que sin duda generaría una contribución al sector agroindustrial palmero de Colombia.

Por lo anterior, se encuentra una oportunidad de analizar el proceso de extracción de aceite de palma, para formular estrategias que permitan mitigar los impactos ambientales partiendo de la filosofía del análisis del ciclo de vida, el cual no cuenta con estudios técnicos para la toma de decisiones que permitan la sostenibilidad ambiental y económica de la empresa COOPAR.

4. MARCO TEORICO.

El sector agroindustrial de la palma de aceite, es uno de los sectores en los cuales se han formulado grandes polémicas a nivel global por el tema de la sostenibilidad y por los impactos que genera este cultivo por el desplazamiento de bosques nativos (deforestación) y otros temas de orden político como la propiedad de tierras y el análisis del uso de suelos [28] [6]. El aceite crudo de palma (CPO) es el principal producto que se obtiene de la explotación agroindustrial de la palma africana, el cual es una materia prima importante por el gran número de productos derivados tanto para la industria alimentaria como para la industria no alimentaria en especial para la producción de biocombustibles [24]

De acuerdo con Yusoff, 2006, el desarrollo sostenible ha sido una prioridad en muchos sectores para la protección del medio ambiente [31], pero de acuerdo con estudios de las tendencias de la investigación en la palma de aceite, son pocos los estudios enfocados a determinar y cuantificar los gases de efecto invernadero generados [28] y en especial los estudios basados en el análisis del ciclo de vida.

El análisis del ciclo de vida se encuentra estandarizado bajo la norma ISO 14040 y es utilizado para evaluar los impactos ambientales y otros aspectos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto que va desde la adquisición de las materias primas hasta la disposición final. [1]

La norma ISO 14044 detalla los requisitos que se deben llevar a cabo durante un análisis del ciclo de vida y entre los aspectos relevantes encontramos 4 fases que se comprenden dentro de un ACV los cuales son: “la fase de definición del objetivo del proyecto y el alcance, la fase de análisis del inventario, la fase de evaluación del impacto ambiental y la fase de interpretación” [17]

Dentro de los estudios realizados en el cual se han realizado el análisis de los impactos ambientales en la agroindustria de la palma de aceite y que han analizado el proceso de extracción, encontramos:

Autor(es)	Propósito del artículo	Resultados
Roihatai Kaewmai, Aran H-Kittikun, Charongpun Musikavong [15]	<p>La investigación tuvo el objetivo de desarrollar una metodología para el cálculo de los gases de efecto invernadero en las plantas de extracción de aceite de palma en Tailandia por el proceso de extracción húmeda.</p> <p>El estudio fue realizado desde el cultivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las principales fuentes de emisión de GEI fueron el Cultivo, Residuos del RFF y el sistema de aguas residuales. • El valor medio de las emisiones de GEI de las

	hasta la obtención del CPO	plantas estudiadas fue de 1.198 KgCO ₂ /tonelada métrica de CPO.
Kimán Siregar, Armansyah H. Tambunan, Abdul K. Irwanto ,Soni S. Wirawan ,Tetsuya Araki [16]	Realizaron un estudio comparativos del ACV de la producción de biodiesel a partir del CPO y aceite crudo de <i>Jatropha curcas</i> desde la producción primaria hasta la obtención del biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> El cultivo de la palma de aceite genera un impacto ambiental en la producción de biodiesel del 50.46% y el potencial del calentamiento global es de 1695,36 Kg-CO₂ eq/T-BDF
Y.M. Choo, H. Muhamad, Z. Hashim, V. Subramaniam, C.W. Puah, Y. Tan [2]	El objetivo del estudio fue tener información que sirva como referencia sobre el desempeño ambiental de la industria de la palma de aceite. Se determinaron la proporción de los gases de efecto invernadero en los diferentes subsistemas de la cadena de suministro de la palma de aceite. Dentro de los datos del inventario del ciclo de vida se dividieron en todos los procesos hasta la obtención del biodiesel, respecto al proceso de extracción, se evaluó en extractoras con o sin sistemas de captura de biogás a partir de los efluentes.	<ul style="list-style-type: none"> La producción de 1 ton de CPO en un molino sin y con captura de biogás emiten 971 y 506 Kg- CO₂ eq respectivamente. En las plantas extractoras donde no se realiza la captura de biogás en las lagunas de efluentes se genera el mayor impacto correspondiente a la obtención del CPO.
Sumiani Yusof [31]	El documento describe el uso eficaz del uso de la biomasa para la generación de energías renovables, para el desarrollo de aplicaciones a gran escala. Dentro de las biomásas se realizó un análisis a los residuos generados en los procesos de la agroindustria de la palma de aceite, especialmente las fibras generadas y los efluentes generados en el proceso de extracción del CPO	<ul style="list-style-type: none"> Los residuos generados del proceso de extracción del aceite de palma genera residuos con gran potencial para la generación de energía calórica que puede ser utilizada para el funcionamiento de las calderas o para la generación de otros tipos de energía como la eléctrica, la cual ha sido experimentada en Malasia. El biogás generado por sistemas de digestión anaerobia fue calculado en 19.3 m³/1 ton de racimo de fruta fresca.
Sune Hansen Balle,	Realizo un análisis bibliométrico para determinar las tendencias globales de la	Respecto a los resultados

Et al. [28]	investigación en la sostenibilidad de la palma de aceite	de los estudios de emisiones e impactos ambientales, fueron analizados tres enfoques desde la perspectiva del análisis del ciclo de vida, los cuales fueron el balance de energía, las emisiones de GEI y la categoría multi-impacto, teniendo como resultado 1 publicación en el 2006 a 7 en el 2013, el cual demuestra que la tendencia de los estudios de emisiones e impactos no sigue la misma tendencia exponencial general de los otros temas cuyo enfoque es diferente.
Simone Pereira Souza, , Márcio Turra de Ávila, Sérgio Pacca [21]	El objetivo del estudio fue la comparación del sistema de producción de etanol a base de caña de azúcar con un sistema de producción conjunto.	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante el ACV se demuestra que es posible reducir las emisiones de GEI, reducir los impactos relacionados al uso del suelo, mediante la sinergia encontrada entre las refineras de procesamiento de etanol y de biodiesel.
S. Yacob, MA Hassan, Y. Shuirai, M. Wakisaka, S. Subash [30]	El estudio busca determinar los patrones de emisión de CH ₄ de acuerdo a la composición y el caudal de los tanques de digestión anaeróbicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Se registró durante el funcionamiento normal de la planta extractora un caudal de biogás de 5,4 l min⁻¹ m² de CH₄. • Existe una correlación entre las emisiones de CH₄ y la disponibilidad de oxígeno en 0,109 Kg de CH₄ por cada Kg de oxígeno disponible removidos.
Soni Sisbudi Harsono, Philipp Grundmann, S. Soebronto [27]	El estudio evalúa la utilización de los efluentes como materia prima para la generación de biogás a través de la digestión anaerobia.	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante el tratamiento anaeróbico de los efluente, se ofrece la posibilidad de reducir significativamente las

		emisiones de GEI
--	--	------------------

De acuerdo con la información consultada, en Colombia no se evidencian análisis profundos al proceso de extracción de aceite de palma.

Los estudios realizados se han enfocado al análisis de los impactos generados en la producción de biodiesel y frente al cambio del uso del suelo. Dentro de los estudios encontramos:

Autores	Título del artículo	Objetivo
Érica Geraldés Castanheira, Helmer Acevedo, Fausto Freire [7]	Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios	El objetivo del estudio fue determinar la intensidad de los gases de efecto invernadero producidos en una plantación y en una planta de extracción en Colombia
Marianne Salomón, María Fernanda Gomez, Andrew Martin [25]	Technical polygeneration potential in palm oil mills in Colombia: A case study	Identificar el potencial energético de los residuos sólidos del aceite de palma y viabilidad técnica para la generación de electricidad.
Yañez E, Silva E, D Costa R, Torres E [32]	The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia	El objetivo del estudio fue realizar el análisis de ciclo de vida para determinar el balance de energía del ester metílico obtenido del aceite de palma y realizar la comparación de los casos analizados en Brasil y Colombia. Dentro del estudio se resalta la disminución del impacto en las plantas en las cuales se genera energía a través de las biomásas generadas durante los procesos.

5. MARCO CONTEXTUAL.

5.1. PLANTA DE EXTRACCIÓN DE LA EMPRESA COOPERATIVA PALMAS RISARALDA “COOPAR”.

La Cooperativa Palmas Risaralda es una empresa dedicada a la extracción de aceite de palma, cuya capacidad de producción es de 10 toneladas de racimo de fruta fresca (RFF) por hora, donde se integran todas las etapas necesarias para la extracción de aceite crudo y la obtención de almendra como subproducto.

Figura 1.Ubicación de la planta de extracción de Coopar.

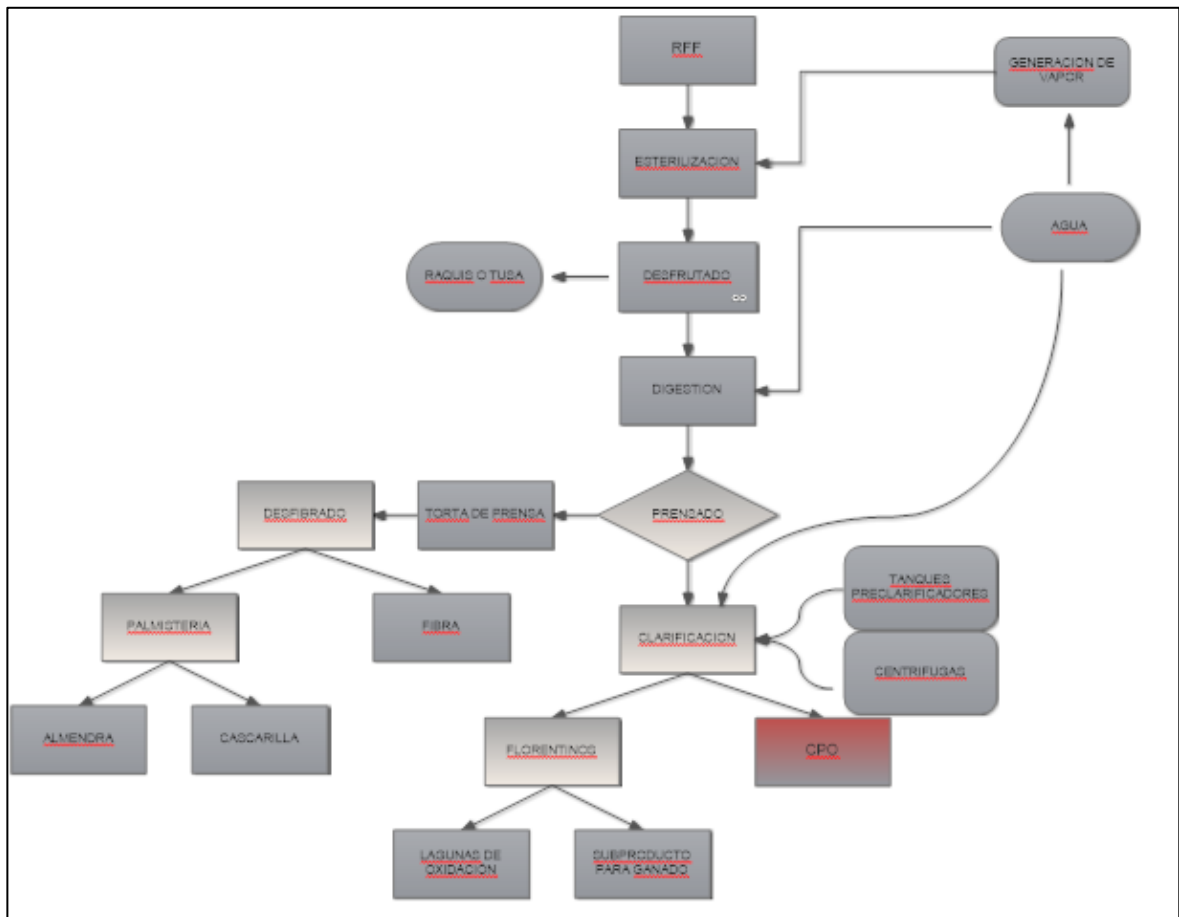


Fuente: Google Earth Pro, **Editado por:** Contreras, 2017.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO / ETAPAS.

En la gráfica 1, se observa el proceso que realiza la empresa COOPAR en la extracción de aceite crudo de palma CPO, donde se evidencia, todos los insumos, actividades y salidas que posee dicha actividad.

Gráfica 1. Proceso de extracción de aceite crudo de palma CPO



Fuente: Contreras, 2017.

5.2.1. Recepción de materia prima.

Una vez llegan a las instalaciones de la planta extractora los racimos de fruta fresca (RFF), se realizan 4 sub-operaciones, las cuales son:

- Pesaje en bascula: la materia prima es recibida principalmente en camiones, volquetas y carretas adaptadas a tractores, las cuales son pesadas una vez ingresan a la planta con la fruta y posteriormente es

pesado sin fruta, con el fin de tener la diferencia y obtener así el peso total de fruta recibida por vehículo.

- Descargue de fruta: la materia prima es descargada en los patios o tolvas destinadas para el almacenamiento de la fruta donde es necesario realizar el proceso reduciendo los daños por golpes y magulladuras principalmente
- Control de calidad: Para el control de calidad se realizan muestras aleatorias mediante un método propuesto por CENIPALMA y en el que se aceptan 0% de frutos verdes y podridos, y máximo un 6% de fruto sobremaduro.
- Cargue de vagonetas: Con el fin de facilitar el desplazamiento de los RFF hacia el proceso de esterilización, es introducida la fruta en vagonetas a través de motocargadores, las cuales son movilizadas a través de rieles, los cuales permiten la fácil introducción a las autoclaves.[23] [20]

5.2.2. Esterilización.

Los RFF son sometidos a presiones de vapor a diferentes escalas de tiempo en autoclaves por 90 minutos, con el fin de obtener un desprendimiento de los frutos y la inactivación de la enzima lipasa para el control de los ácidos grasos, lo cual facilita la separación, la extracción del aceite y desprendimiento de la almendra.

En el proceso de esterilización son generados 500 Kg de vapor que se libera a la atmosfera y aproximadamente 100 Kg de líquidos condensados, los cuales son los primeros efluentes generados en el proceso, los cuales contienen aceite, impurezas y materia orgánica.

5.2.3. Desfrutado.

Posterior al proceso de esterilización, la fruta es llevada en las vagonetas hasta una mesa de volteo, la cual alimenta a través de un transportador de cadena (redler) el tambor desfrutador, el cual mediante la acción mecánica realiza el desprendimiento del fruto, obteniéndose en este punto el raquis o tusa como subproducto.

5.2.4. Digestión.

Ya con la fruta suelta, se procede a macerarla en un cilindro vertical, el cual está dotado de espas en contraposición para formar una masa blanda homogénea lista para la extracción del aceite.

5.2.5. Prensado.

La fruta digestada es sometida a un sistema de presión mecánica, de donde es extraído el licor de prensa el cual contiene aceite, agua, lodos, y la torta de prensa compuesta por fibra y nueces de la cual se obtiene la almendra y la cascarilla.

5.2.6. Clarificación.

Una vez obtenido el licor de prensa, es sometido a un proceso el cual mediante una separación estática o dinámica, son separados los líquidos gracias a la diferencia de densidades.

5.2.7. Secado.

Con el fin de eliminar la humedad del aceite, este es sometido a calor aplicando la diferencia de puntos de ebullición del agua y del aceite.

5.2.8. Almacenamiento.

Una vez obtenido el aceite crudo de palma, es almacenado en tanques para posteriormente ser despachados a los diferentes compradores nacionales e internacionales.

6. MARCO LEGAL

La presente legislación nacional vigente, es inherente al proceso investigativo realizado y es aplicada al sector palmero de Colombia.

- **RESOLUCIÓN 909 DE 2008.** Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- **RESOLUCION 0631 DE 2015.** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- **DECRETO 2629 DE 2007.** Por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento.
- **LEY 939 DE 2004.** Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diesel y se dictan otras disposiciones.
- **LEY 138 DE 1994.** Por la cual se establece la cuota para el fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite y se crea el Fondo del Fomento Palmero.

Adicional a la legislación nacional, se relaciona a continuación un estándar global para la producción de aceite de palma con criterios de sostenibilidad económica, ambiental y social [14].

RSPO Certification systems. Sistemas de certificación de la Mesa redonda de aceite de palma sostenible (por sus siglas en ingles).

7. METODOLOGIA

7.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA Y BALANCE DE MATERIA.

La información detallada del proceso de extracción del aceite de palma fue suministrada por la Cooperativa Palmas Risaralda “COOPAR”, tomando como datos centrales los promedios de cada etapa del proceso, posteriormente la digitalización de la información mediante flujogramas fue realizado bajo el software SmartDraw, con el fin de facilitar de una manera gráfica la comprensión del flujo del proceso de extracción.

7.2. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.

El análisis del ciclo de vida (ACV) se desarrolló bajo los parámetros de la norma ISO 14040 – 14044 la cual contempla cuatro fases en el estudio [19], los cuales son:

7.2.1. Fase de definición del objetivo y alcance

El estudio estuvo enfocado en el análisis del proceso de extracción del aceite de palma bajo la filosofía del análisis del ciclo de vida (ACV), con el fin de determinar el impacto ambiental especialmente de los gases de efecto invernadero (GEI) generado en cada una de las etapas, con el fin de generar estrategias que mitiguen dichos impactos y que permitan a la empresa COOPAR una sostenibilidad económica, social y ambiental, tal como hoy lo exige el sector palmero bajo la RSPO.

7.2.2. Fase de análisis del inventario (ICV)

Para el estudio se tomó como unidad funcional 1 tonelada de racimo de fruto fresco (RFF). Los datos fueron recolectados de fuentes primarias, correspondientes a etapa de proceso de extracción mediante los informes entregados por la empresa y su verificación en campo, los cuales se resumen en la tabla 1, y los datos secundarios correspondientes a las bases de datos para el

levantamiento del inventario se utilizó la herramienta Ecoinvent, la cual tiene la complejidad de búsqueda de los datos que se requieren para el estudio en particular, lo que se convierte en una tarea de búsqueda extensa y su validación se realizó con el software LCA-Manager.

7.2.2.1. Datos de fuente primaria.

Tabla 1. Balance de materia general

ETAPA	DESCRIPCION DEL PROCESO	% RFF	PESO EN ORIGEN (Kg)
Racimos de fruta fresca	RFF	100	1000
	Racimos vacíos (raquis)	17,1	171
	Transporte (gasolina)		1,25 lt
Esterilización	RFF esterilizados y cocidos	90	900
	Condensados	10	100
	Vapor saturado a 45 psi	45	450
Desfrutado	Fruta suelta sobre racimos	72,9	729
	Fruta suelta en perdidas	0,04	0,4
Digestión y prensa	Fruta digestada	74,35	743,58
	Torta prensada	15	150
	CPO diluido con agua (licor de prensa)	85,35	853,58
Prensado	Fibra húmeda y nueces hacia el desfibrador	15	150
	Fibra húmeda hacia la caldera	9	90
	Almendra con cascarilla	6	60
	Almendra	4,5	45
	Cascarilla	1,5	15
Clarificación	CPO diluido con agua	85,35	853,58
	Aceite crudo clarificado	22,4	224
	Lodos		557,23
	Evaporación		85,35
	Afrecho		17
Secado	Aceite limpio hacia el secador de aceite		224
	CPO limpio y seco al tanque de almacenamiento		220

ETAPA	DESCRIPCION DEL PROCESO	% RFF	PESO EN ORIGEN (Kg)
Consumo de Agua	Agua cruda		1180
	Agua de alimentación a la caldera		450
	Agua al proceso		650
	Agua domestica		180
Generación de vapor combustible	Combustible (mezcla de fibra y cascarilla)		105
	Fibra		90
	Cascarilla		15
Generación de vapor	Generación de vapor de la caldera		584
	Requerimientos de vapor en esterilización		450
	Requerimientos de vapor en digestión		14,58
Efluentes	Efluentes de agua		657,23
	Desde clarificación		557,23
	Desde los condensados de esterilización		100
Energía eléctrica	Consumo total por Ton (Kw/h)		19,57
	Consumo del proceso (Kw/h)		17,33
	Consumo de alumbrado y administración (Kw/h)		2,24
Transporte	Consumo de combustible Lt/Ton/Km		0,05

Fuente: Contreras, 2017.

7.2.2.2. Datos de fuente secundaria

Debido a la complejidad de la búsqueda del inventario a través de la base de datos Ecoinvent y a la falta de información sobre cada una de las etapas de proceso de extracción de aceite de palma, se procedió a desglosar por proceso las fuentes de consumo de energía eléctrica y agua, para realizar un análisis detallado de los impactos ambientales por etapa de proceso y de esta manera poder evaluar estrategias que mitiguen los impactos y busquen la optimización en términos de sostenibilidad económica, social y ambiental.

Como resultado del proceso del inventario se obtuvo la clasificación general por etapas detallada en la Tabla 2.

7.2.3. Fase de evaluación del impacto ambiental (EICV)

La evaluación ambiental se realizó bajo la metodología CML elaborada por el instituto de ciencias ambientales de la Universidad de Leiden (LMC), la cual es una de las metodologías más utilizadas y completas [17]. La metodología CML se basa en agrupar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) en categorías de punto medio, de acuerdo con cada categoría [13]. Las categorías evaluadas en el presente estudio fueron el potencial de calentamiento global, la eutrofización y la toxicidad humana.

7.2.3.1. Potencial de calentamiento global.

El calentamiento global es causado por los gases denominados de efecto invernadero, los cuales retienen parte del calor absorbido por la tierra de la radiación solar. Estos gases son principalmente: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), fluorocarburos, clorofluorocarburos, entre otros y su potencial de calentamiento global, se encuentra establecido bajo la siguiente tabla [9]. El potencial de calentamiento global, se encuentra expresado en kg CO₂ eq.

Tabla 2. Potencial de calentamiento global de los gases de efecto invernadero (figuras IPCC TAR 2001)

Gas	PCG
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido Nitroso (N ₂ O)	296
Fluorocarburos	120 - 12 000
Clorofluorocarbonos	5 700 - 11 900
Hexafluoruro de azufre	22 200

Fuente: GreenFacts

7.2.3.2. Eutrofización.

El alto contenido de nutrientes, especialmente de macronutrientes como lo son el nitrógeno y fósforo, ocasionan en los sistemas acuáticos una disminución en la disponibilidad de oxígeno debido al aumento de biomasa, promoviendo la actividad

anaerobia e impidiendo el desarrollo normal del ecosistema [8]. La eutrofización, se encuentra expresada en kg PO₄ eq.

7.2.3.3. Toxicidad humana

Hace referencia a las sustancias tóxicas para el ser humano, presentes en el medio ambiente.

La toxicidad humana se encuentra expresada en kg 1,4-DCB eq, es decir, 1,4-diclorobenceno equivalentes / kg de emisiones.

7.2.4. Fase de interpretación

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación del impacto ambiental en el siguiente capítulo se mostrarán de manera gráfica y numérica los impactos generados por el proceso de extracción de manera general y desglosado por cada una de las etapas del mismo, con el fin de identificar las etapas con mayor impacto y así generar estrategias que permitan mitigarlos.

Dentro del marco de la investigación se proyectó que a través de las estrategias formuladas, se buscará la sostenibilidad económica, social y ambiental de la empresa COOPAR, dando un soporte para su implementación a la junta directiva de dicha cooperativa.

Tabla 3. Caracterización general por etapas.

FLUJO	VALOR	UNIDAD	FAMILIA	NOMBRE DE ACTIVIDAD / BASE DE DATOS DE INVENTARIO
ENTRADA RFF				
RFF	1000,00	kg	FRUTO	[CO] palm fruit bunch production
Transporte	1,04	Kg	COMBUSTIBLE	[RoW] diesel production, low-sulfur
<i>Consumo energetico</i>				
Motor wincher	1,72	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
DESFUTADO				
<i>Consumo energetico</i>				
Mesa de volteo	1,08	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Redler de fruta	2,35	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Tambor desfrutador	6,38	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Sinfin bajo desfrutado	1,50	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Elevador de cajilones	1,61	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Sinfin alimentador de digestores	0,92	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Redler de raquis	0,75	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Ventilador	0,22	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage

FLUJO	VALOR	UNIDAD	FAMILIA	NOMBRE DE ACTIVIDAD / BASE DE DATOS DE INVENTARIO
DIGESTION Y PRENSA				
<i>Consumo energetico</i>				
Prensa 1	4,18	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Prensa 2	5,50	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Unidad hidraulica 1	0,97	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Unidad hidraulica 2	0,48	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Digestor 1	5,72	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Digestor 2	4,51	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Transportador de torta	5,39	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Consumo de Agua	350,00	Kg	AGUA	[GLO] tap water production, artificial recharged wells
CLARIFICACION				
<i>Consumo energetico</i>				
Tamiz 1	0,64	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Tamiz 2	1,12	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba tanque preclarificador	2,02	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba tanque clarificador	2,02	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage

Motor vatidor de aceite	1,06	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba recuperadora de lodos	1,34	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba tanque secador	1,30	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba agua fria para proceso	1,28	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba agua caliente	2,29	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Consumo de agua	300,00	Kg	AGUA	[GLO] tap water production, artificial recharged wells
FLUJO	VALOR	UNIDAD	FAMILIA	NOMBRE DE ACTIVIDAD / BASE DE DATOS DE INVENTARIO
CENTRIFUGADO				
<i>Consumo energetico</i>				
Centrifuga 1	4,07	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Centrifuga 2	6,60	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Filtro cepillo 1	0,35	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Filtro cepillo 2	0,40	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
ALMACENAMIENTO				
<i>Consumo energetico</i>				
Bomba de cargue	1,30	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage

FLUJO	VALOR	UNIDAD	FAMILIA	NOMBRE DE ACTIVIDAD / BASE DE DATOS DE INVENTARIO
GENERACION DE VAPOR				
<i>Consumo energetico</i>				
Ventilador de tiro forzado	2,97	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Transportador de fibra	1,67	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba del agua 1 caldera	4,05	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba del agua 2 caldera	6,38	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Ventilador de tiro inducido chimenea	9,46	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Ventilador alimentador de fibra	1,06	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Valvula de cenizas	0,62	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Sinfin fibra cuesco	0,92	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Consumo de agua	450,00	Kg	AGUA	[GLO] tap water production, artificial recharged wells
Biomasa	1537,62	MJ	BIOMASA	[GLO] treatment of bagasse, from sugarcane, in heat and power co-generation unit, 6400kW thermal
FLORENTINOS				
<i>Consumo energetico</i>				
Bomba tanque colector de lodos	2,73	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba recolector de lodos	3,08	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage

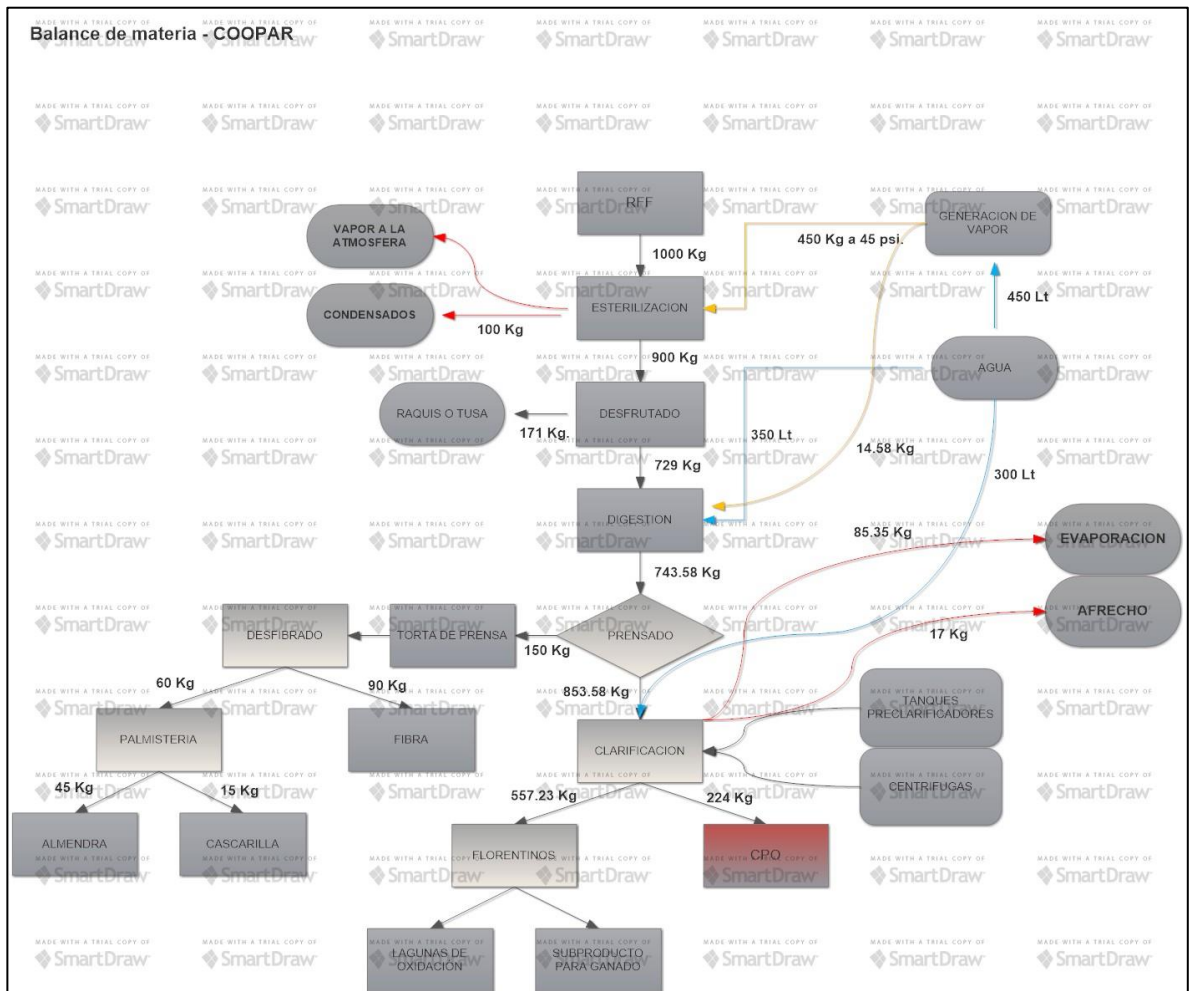
Bomba recuperador de aceite	0,90	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba cargue aceite de florentinos	1,30	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Bomba agua fria florentinos	1,67	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage
Ventilador de lodos florentinos	0,92	kWh	ELECTRICIDAD	[RoW] electricity production, hard coal/ [BR] transformation from high to medium voltage/transformation from medium to low voltage

Fuente: Contreras, 2017.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. LEVANTAMIENTO DEL BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA, MEDIANTE DIAGRAMA DE PROCESO.

Gráfica 2. Balance de materia.



Fuente: Contreras, 2017.

El proceso de extracción de aceite de palma crudo tiene un rendimiento aproximado del 22 al 24%, es decir, por cada tonelada de racimo de fruta fresca (RFF) que se procesa se extraen entre 220 y 240 Kg de aceite crudo de palma (CPO).

Durante el proceso de extracción son obtenidos varios subproductos, algunos de ellos empleados dentro del proceso, como es el caso de la fibra y la cascarilla, las cuales son utilizadas como fuente de energía para la producción del calor utilizada en la caldera para la generación de vapor, sin embargo, queda un excedente aproximado del 40% las cuales en algunos casos es distribuida en los lotes de producción de palma como fuente de materia orgánica y en otros casos ocasionando inconvenientes dentro de la planta por la disposición final.

Otros subproductos generados en el proceso de extracción son el raquis o tusa, las aguas residuales y la almendra que es utilizada como materia prima para la obtención del aceite de palmiste.

La utilización que actualmente se da al raquis, es como fuente de materia orgánica en cultivos de palma, sin embargo, el no realizar procesos de descomposición adecuados hacen que el proceso de compostación sea lento y poco adecuado.

Los efluentes que se van generando en las diferentes etapas de proceso, son recirculados por el proceso de clarificación, los cuales mediante la acción de las centrifugas se hace una recuperación de aceite. Otro proceso realizado con los efluentes es la circulación por los tanques florentinos, los cuales buscan recuperar partículas de aceite y sólidos no aceitosos y estos son utilizados como fuente de alimentación para las ganaderías.

Finalmente las aguas residuales son enviadas a las lagunas de oxidación ubicadas aproximadamente a 540 mts de distancia, en las cuales se busca reducir la carga orgánica y cumplir con los requerimientos de la Resolución 0631 de 2015, específicamente en lo que se refiere al DBO5, DQO, sólidos y grasas y aceites. Para esto, el sector palmero a través de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite "FEDEPALMA" ha propuesto dos vías para dar cumplimiento a la norma mencionada anteriormente, las cuales son: optimizar el diseño y operación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales (STAR) y aprovechar el contenido nutricional de los efluentes en campo en sistemas de compostaje o fertirriego, siendo esta última, una opción que evitaría hacer vertimientos a cuerpos de agua [5].

8.2. RESULTADOS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.

Los resultados de los impactos ambientales fueron tomados del software LCA Manager, posterior al suministro de la información de la base de datos de

Ecoinvent y los datos tomados de la fuente primaria, es decir, del proceso de extracción como tal. Los resultados presentados por el software por etapa del proceso de extracción del aceite crudo de palma, se ilustran en la tabla 4, en la cual se diferencian los impactos generados por cada una de las tres categorías seleccionadas.

Tabla 4. Resultado general por etapas del proceso de extracción

ETAPA DEL PROCESO	INDICADOR / UNIDAD		
	CML 2001 - Eutrofización (kg PO4 eq.)	CML 2001 - Calentamiento global (kg CO2 eq.)	CML 2001 - Toxicidad humana (kg 1,4-DCB eq.)
ENTRADA RFF	1,31	194,87	201,60
DESFRUTADO	0,03	11,95	5,98
DIGESTION Y PRENSA	0,06	21,74	10,86
CLARIFICACION	0,03	10,68	5,32
CENTRIFUGADO	0,02	9,21	4,61
ALMACENAMIENTO	0,00	1,05	0,52
GENERACION DE VAPOR	0,16	33,65	58,94
FLORENTINOS	0,02	8,56	4,28

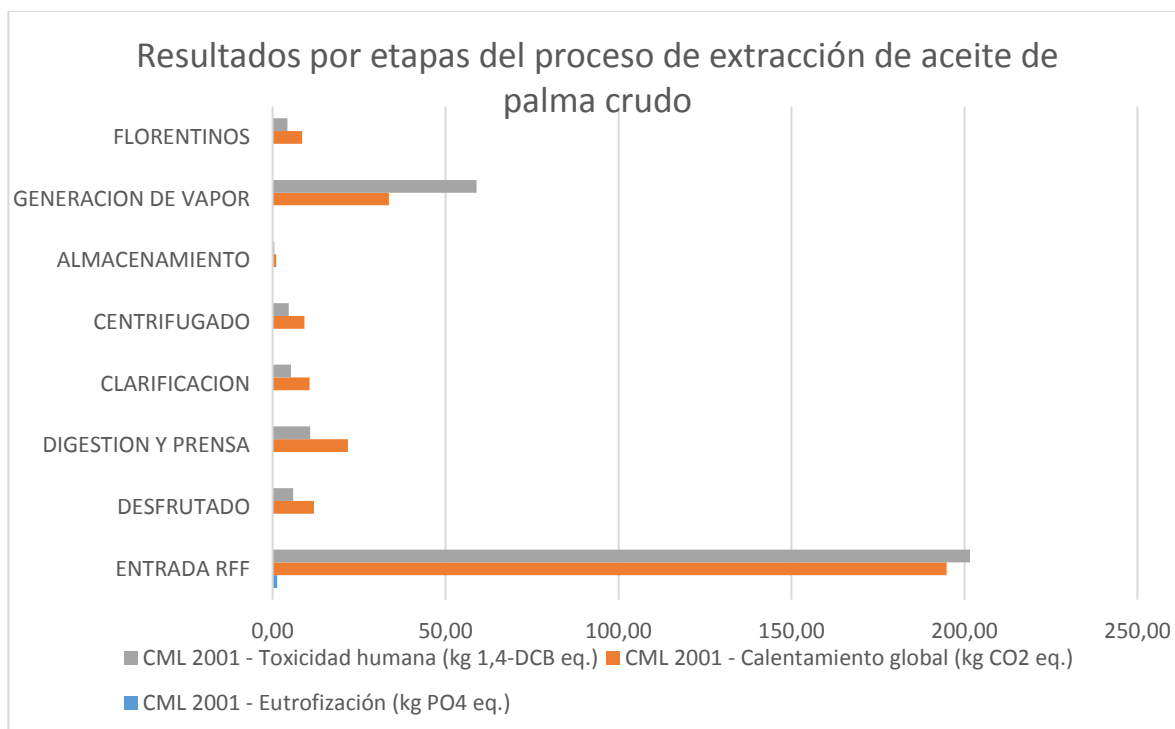
Fuente: Contreras, M. – Datos obtenidos del software LCA Manager

De los datos obtenidos, se puede concluir que el mayor impacto ambiental generado por el proceso de extracción de aceite crudo de palma, se encuentra en la etapa de recepción de los racimos de fruto fresco, debido a que los impactos ambientales evaluados para la fruta son de 1.30 kg PO4 eq. Correspondiente a la eutrofización, 192.85 kg CO2 eq. Correspondiente al calentamiento global, y 200.70 kg 1,4-DCB eq. Correspondiente a la toxicidad humana.

La etapa de proceso que sigue respecto a los impactos ambientales, es la generación de vapor, los cuales son principalmente generados por el consumo de energía eléctrica y la utilización de biomasa como fuente de combustión.

Con el fin de demostrar el orden de los impactos ambientales generados por cada etapa de proceso, en la gráfica 3 se ilustran dichos impactos en cada etapa del proceso por categoría analizada.

Gráfica 3. Comparación de los impactos por etapa del proceso de extracción de CPO.



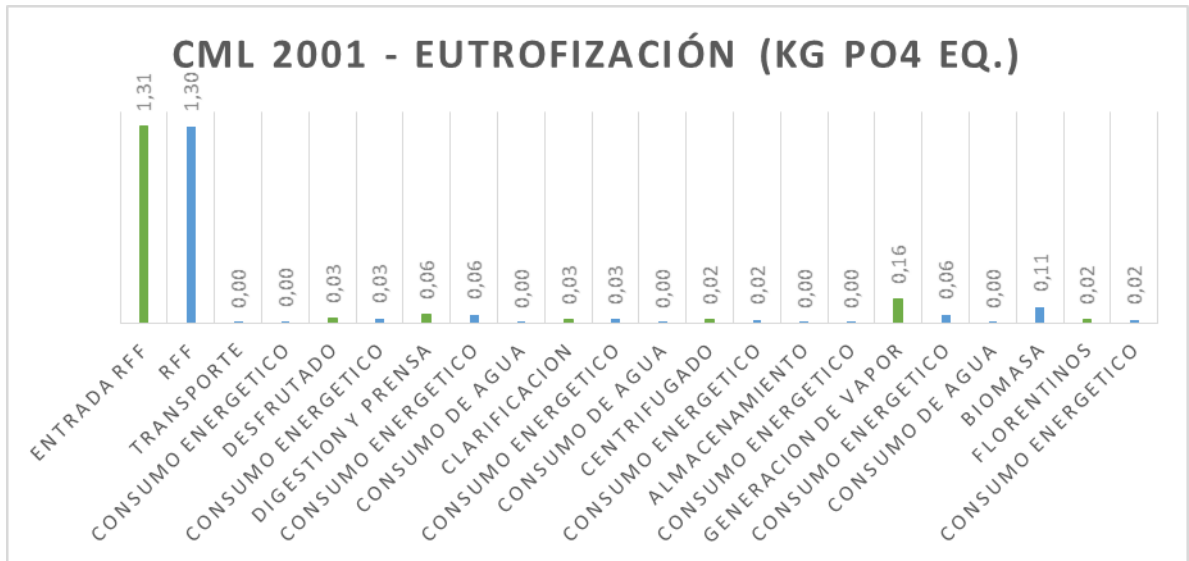
Fuente: Contreras, 2017.

A continuación, se hace un desglose de los impactos generados en cada etapa del proceso de extracción de aceite de palma por cada ecoindicador.

8.2.1. Eutrofización.

De acuerdo con la gráfica 4, en la cual se analizan los impactos ambientales generados de acuerdo con el ecoindicador de eutrofización, podemos concluir que el mayor impacto generado durante todo el proceso es el generado en el obtención de la materia prima (RFF), el cual tiene un impacto de 1.30 kg PO4 eq. El segundo impacto ambiental es el consumo de energía eléctrica con 0.22 kg PO4 eq. Posteriormente sigue el impacto ambiental generado por la biomasa utilizada en la generación de vapor con 0.11 kg PO4 eq., y por último el consumo de agua y el transporte de la materia prima hacia la planta, con una cifra casi nula 0.00 kg PO4 eq.

Gráfica 4. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de eutrofización.

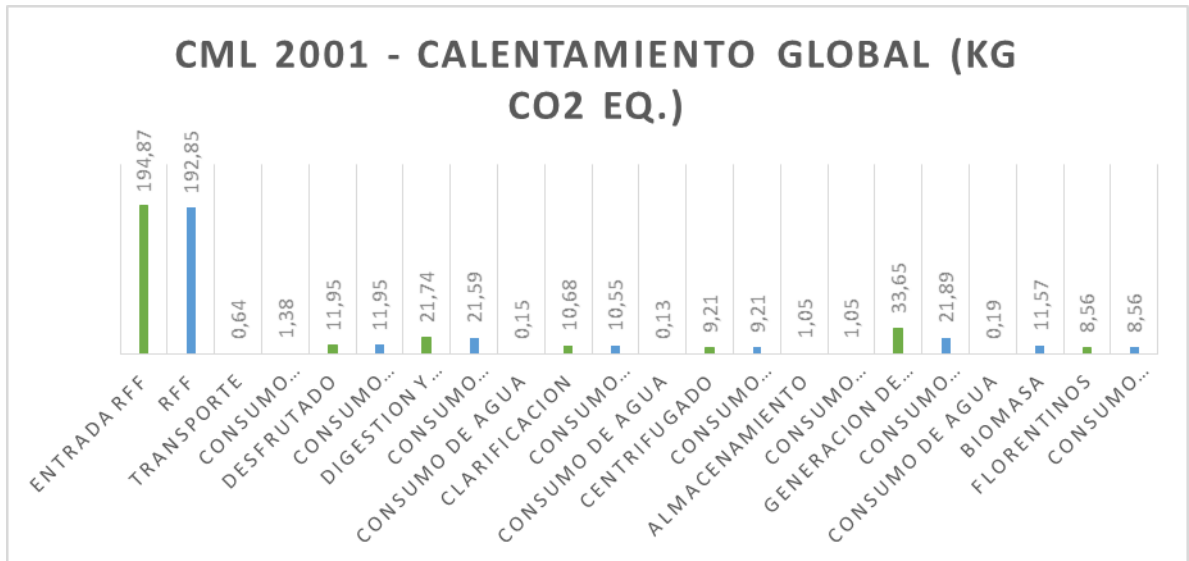


Fuente: Contreras, 2017.

8.2.2. Potencial de calentamiento global.

De acuerdo con la gráfica 5, en la cual se analizan los impactos ambientales generados de acuerdo con el ecoindicador de calentamiento global, podemos concluir que el mayor impacto generado durante todo el proceso es el generado en el obtención de la materia prima (RFF), el cual tiene un impacto de 192.85 kg CO₂ eq. El segundo impacto ambiental es el consumo de energía eléctrica con 86.18 kg CO₂ eq. Posteriormente sigue el impacto ambiental generado por la biomasa utilizada en la generación de vapor con 11.57 kg CO₂ eq., seguido del impacto generado por el transporte de la materia prima del cultivo hasta la planta con 0.64 kg CO₂ eq., y por último el consumo de agua, con una cifra casi nula 0.47 kg CO₂ eq.

Gráfica 5. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de calentamiento global.

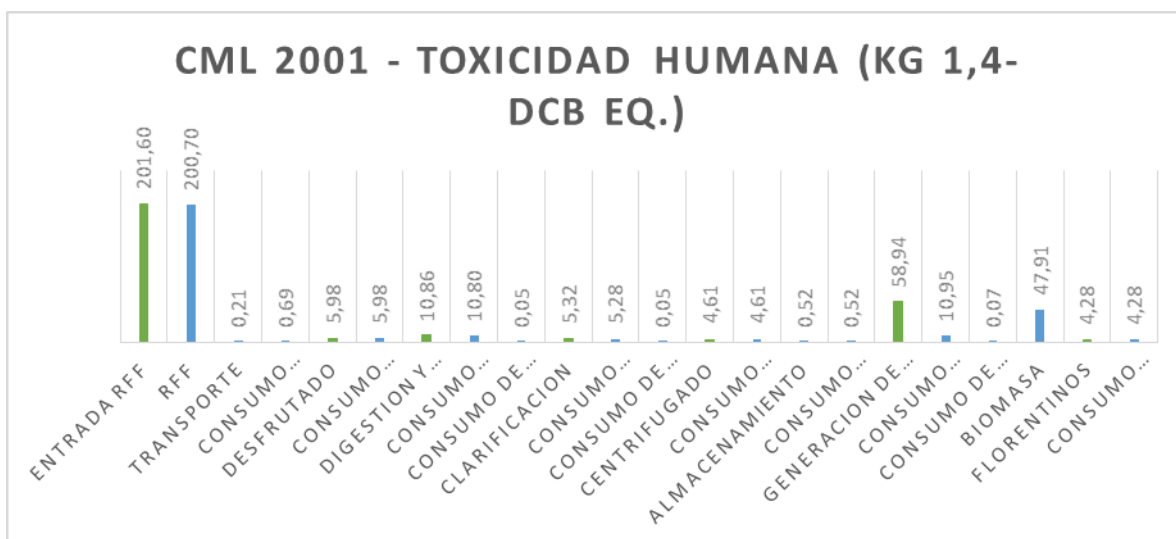


Fuente: Contreras, 2017.

8.2.3. Toxicidad humana.

De acuerdo con la gráfica 6, en la cual se analizan los impactos ambientales generados de acuerdo con el ecoindicador de toxicidad humana, podemos concluir que el mayor impacto generado durante todo el proceso es el generado en el obtención de la materia prima (RFF), el cual tiene un impacto de 200.70 kg 1,4-DCB eq. El segundo impacto ambiental es el consumo de energía eléctrica con 43.12 kg 1,4-DCB eq. Posteriormente sigue el impacto ambiental generado por la biomasa utilizada en la generación de vapor con 47.91 kg 1,4-DCB eq., seguido del transporte de los RFF hasta la planta con 0.21 kg 1,4-DCB eq., y por último el consumo de agua, con una cifra casi nula 0.17 kg 1,4-DCB eq.

Gráfica 6. Impactos ambientales en el proceso de extracción de aceite de palma, de acuerdo con el ecoindicador de toxicidad humana.



Fuente: Contreras, 2017.

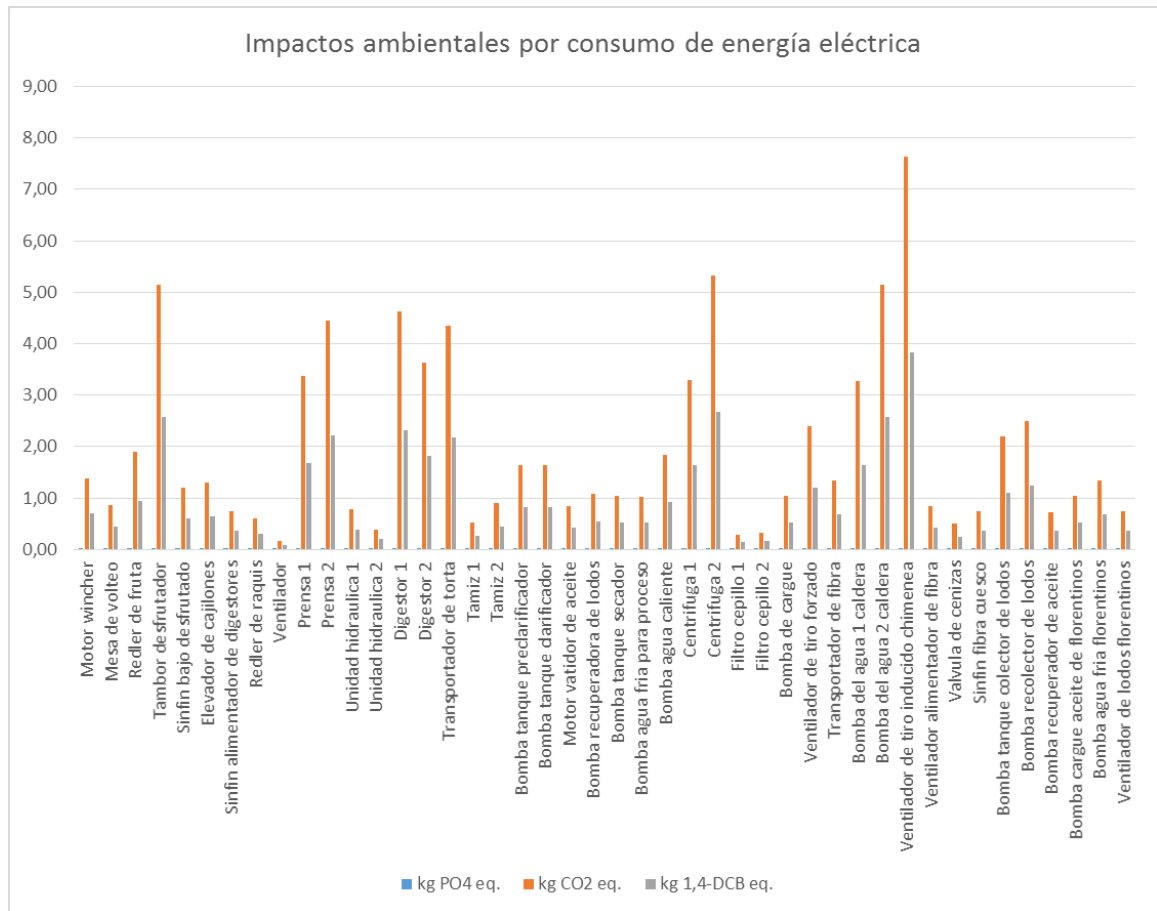
Resulta oportuno resaltar que el impacto ambiental generado en las labores culturales para la obtención del fruto de la palma de aceite, es el mayor impacto ambiental del proceso de extracción del aceite de palma, ya que no podemos omitir las cargas ambientales que se generan en la obtención de la materia prima del proceso analizado.

Después de lo anterior expuesto, podemos resaltar que los impactos ambientales generados excluyendo la materia prima en orden descendente es el siguiente:

1. Consumo energético
2. Biomasa
3. Transporte de la materia prima desde el cultivo hasta la planta extractora
4. Consumo de agua

Para entrar en detalle del impacto ambiental generado por el consumo eléctrico, en la gráfica 7 se evidencia el impacto generado por cada equipo o motor.

Gráfica 7. Impactos ambientales de cada equipo por ecoindicador.



Fuente: Contreras, 2017.

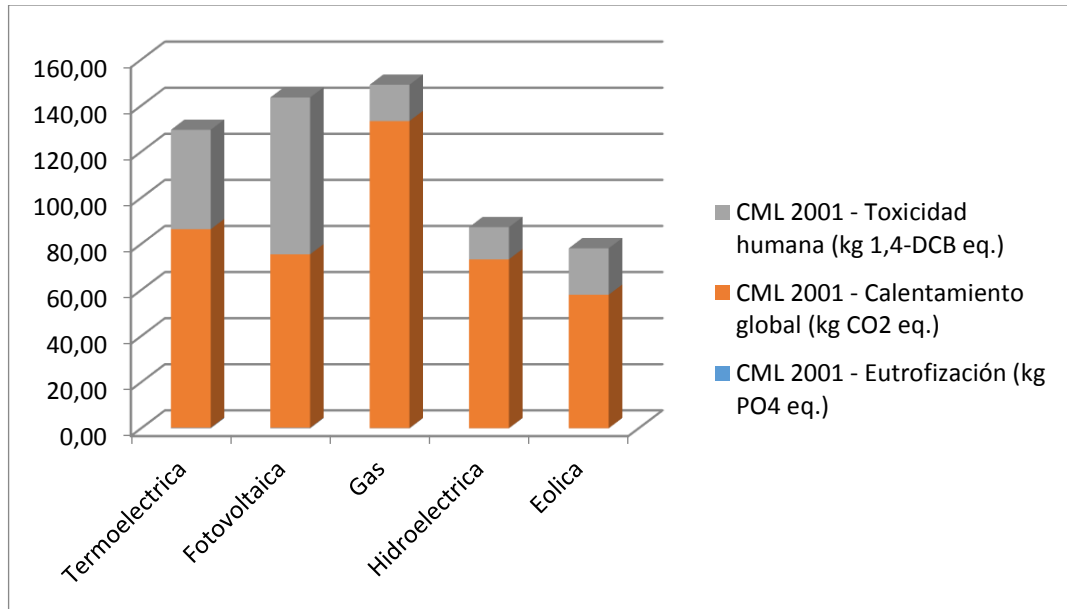
De acuerdo con la gráfica anterior, se evidencia que los equipos que más impactos ambientales generan, de manera descendente son:

1. Ventilador de tiro inducido chimenea
2. Centrifuga 2
3. Tambor desfrutador
4. Bomba del agua 2 calderas
5. Digestor 1
6. Prensa 2
7. Transportador de torta

Siguiendo el orden de los resultados obtenidos anteriormente, a continuación en la gráfica 8 se presenta la comparación del impacto ambiental generado por el consumo de energía (la fuente de suministro de energía eléctrica a la empresa Coopar proviene de una termoeléctrica (combustión de carbón)) frente a otras

fuentes de obtención de electricidad como lo son la Eólica, Fotovoltaica, Hidroeléctrica y a partir de la combustión de Gas.

Gráfica 8. Comparación de las diferentes fuentes de energía eléctrica



Fuente: Contreras, 2017.

En la gráfica anterior se puede apreciar que la utilización de energía eólica sería la alternativa más amigable con el medio ambiente, ya que su ponderación de impacto ambiental evaluado en los tres indicadores ambientales frente al resto de fuentes de energía es el menor, para esto se debería estudiar a fondo la viabilidad, puesto que para implementar un sistema de estas características se tendría que contar con estudios de velocidad y dirección de vientos y ubicación idónea de los aerogeneradores. Por otra parte se evidencia que la utilización de energías convencionales provenientes de hidroeléctricas y termoeléctricas son viables ambientalmente pero no garantizan una disponibilidad constante ya que pueden verse afectadas por disponibilidad de recurso o por factores de seguridad como lo son atentados terroristas a la red de suministro; de igual manera la energía fotovoltaica presenta el segundo mayor impacto ponderado resaltando que el indicador de toxicidad humana es el más alto; por otra parte la obtención de energía eléctrica a partir de gas es la fuente con mayor huella pero con la mejor proyección de implementación, ya que, la empresa puede convertir una de sus problemáticas como lo son la generación de aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica en la materia prima para la obtención de biogás y de esta manera producir energía eléctrica para el suministro de la operación de la planta extractora y así de esta manera la Cooperativa Palmas Risaralda sea auto sostenible.

9. ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando sobre los impactos ambientales generados en el proceso de extracción del aceite crudo de palma, se abordaran las estrategias que permitan mitigar los impactos generados por el consumo de energía eléctrica y la búsqueda de ayudas que permitan mitigar impactos ambientales generados por subproductos como lo son el raquis o tusa, fibra, cascarilla y aguas residuales.

Todo lo anterior en el marco propuesto para el sector agroindustrial de la palma de aceite por la RSPO, el cual se enmarca en la sostenibilidad económica, social y ambiental.

9.1. ENERGÍA ELÉCTRICA.

Como ya se ha resaltado anteriormente, en los países como Indonesia y Malasia se han realizado múltiples estudios enfocados a la búsqueda de la sostenibilidad de las agroindustrias de la palma de aceite. En dichos estudios se resalta el adecuado manejo de las plantas de tratamiento de aguas residuales mediante métodos anaerobios con el fin de obtener dos beneficios, por un lado se obtiene la reducción de la carga de materia orgánica que se ve reflejada en factores como DBO y DQO y por otro lado se obtiene el biogás (metano CH₄), el cual según el estudio realizado por S. Harsono et.al., sobre el tratamiento anaeróbico de efluentes de las fábricas de aceite de palma [11], la cantidad que se genera de biogás es suficiente para generar energía eléctrica para la planta extractora y queda un excedente de biogás que se puede utilizar para ofrecer una fuente de energía para las familias que viven en el sector de influencia de la empresa, dando así una solución no solo para los impactos ambientales y económicos que se generan por la compra de la energía eléctrica a la red nacional, sino también una solución social.

Debido a que dentro de la empresa se cuenta con la posibilidad de dar tratamiento a las aguas residuales y de esa manera dar solución al eje de aguas y a la cogeneración de energía eléctrica a través de la captura de biogás, no se evaluaron otras fuentes no convencionales para la generación de la energía eléctrica.

Enfocado a lo anterior se propone: Determinar e implementar el mejor método anaerobio para el tratamiento de las aguas residuales de acuerdo con las características de la planta de COOPAR y su proyección de crecimiento, con microorganismos obtenidos en el medio en el cual se encuentra la planta extractora y el cultivo de palma, con el fin de que la cepa microbiana (nativa) sea asimilada de manera óptima y la descomposición de la materia orgánica sea

rápida, con el fin de que se genere la cantidad de biogás necesario para la generación de la energía que se requiere para el funcionamiento de la planta extractora.

Dentro del marco de la anterior estrategia se resalta que la cepa microbiana caracterizada para el tratamiento de las aguas residuales, puede ser utilizada para determinar su poder de descomposición de materiales como el raquis, fibra y cascarilla, con el fin de obtener un proceso de compostación óptimo para los residuos sólidos generados durante la extracción del aceite crudo de palma.

9.2. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES.

En la actualidad, la mayoría de plantas extractoras han implementado sistemas de tratamientos de aguas residuales de encharcamiento, en la cual se destacan las lagunas de estabilización y lagunas de oxidación, sin embargo, estos sistemas a pesar de ser económicos, de fácil mantenimiento, requieren grandes extensiones de tierra y periodos prolongados de retención.

Por otro lado se han venido estudiando e implementando sistema combinados con la utilización de biorreactores que han resultado mostrar una mayor eficiencia, logrando demostrar en muchos casos una mejor sostenibilidad desde el ámbito económico y ambiental.

Por lo anterior se propone: Determinar e implementar sistemas de tratamientos de aguas residuales combinados, con la inclusión de biorreactores con aireación extendida, el cual permita a la planta dar cumplimiento con lo establecido en la Resolución 0631 de 2015 y entregar un agua en óptimas condiciones físico-químicas ya sea para la reutilización en planta, en la zona de cultivo o simplemente para su disposición final en la fuente hídrica.

9.3. MANEJOS DE RESIDUOS SÓLIDOS COMO RAQUIS, FIBRA, CASCARILLA Y RESIDUOS GENERADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Realizar una caracterización de las materias a trabajar en un compostaje, es el punto de partida para determinar el tratamiento a seguir y buscar su mayor potencial a un costo reducido.

Por lo anterior se propone: Realizar un estudio que permita identificar la diversidad microbiana existente en las materias a descomponer y hacer pruebas pilotos del comportamiento fisicoquímico de los materiales en una descomposición controlada, con el fin de determinar las ventajas y desventajas particulares.

Posteriormente se debe hacer un ajuste en la prueba piloto con el fin de evaluar la efectividad del proceso de compostaje y una vez hechas las correcciones y verificada su sostenibilidad económica y ambiental, implementar el sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la empresa COOPAR.

10. CONCLUSIONES

Los impactos ambientales generados en el proceso de extracción de aceite crudo de palma, están relacionados con la obtención del fruto (labores culturales) y en el consumo de energía eléctrica, la cual para el caso de la empresa COOPAR, es generada principalmente a través de la combustión del carbón (termoeléctrica), sin embargo estos dos impactos ambientales son generados de manera indirecta.

En un menor porcentaje, hay un impacto que debe ser controlado por la empresa el cual es el uso de biomasa para la generación de energía utilizada en la combustión de la caldera ya que esta presenta un índice de toxicidad humana, que de no ser controlada puede ocasionar el deterioro de la salud de los operarios que laboran en el sector de la caldera y una quema excesiva de esta generará emisiones de gases a la atmosfera.

A través del análisis realizado al proceso de extracción del aceite crudo de palma, se pudo identificar que la sostenibilidad ambiental, económica y social de la empresa, se puede alcanzar con el manejo adecuado de las aguas residuales y los residuos sólidos generados durante el proceso industrial, ya que estos son una buena fuente para la generación de energía eléctrica a través de la captura de biogás y una fuente de ingreso por la venta de fertilizantes para el sector agrícola de Colombia.

El Análisis del ciclo de vida permite a través de los impactos ambientales que se generan en un proceso, buscar mecanismos que conlleven a la optimización del mismo.

11.RECOMENDACIONES

La aplicación del análisis del ciclo de vida a un proceso industrial, depende de la veracidad y rigurosidad de los datos del proceso, por lo tanto, cualquier desviación en dicha información conlleva a errores en los cálculos e interpretación de los mismos. Por lo anterior, una de las desventajas que se presentaron en la aplicación de esta metodología, es que en la mayoría de bases de datos de los inventarios, sus datos son globales, lo que no necesariamente expresa la realidad particular del proceso analizado, llevando hacer ajustes en los mismos para acercar a la realidad del estudio los datos a procesar.

La aplicación de las estrategias formuladas en este estudio, deberán ser analizadas e investigadas a fondo antes de su puesta en marcha, ya que una de las particularidades de la agroindustria de la palma de aceite, es la investigación continua que se realiza a nivel mundial y local en búsqueda de la sostenibilidad social, ambiental y económica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Análisis del ciclo de vida ISO 14040. Conservación y carbono. Consultado en: <http://www.conservacionycarbono.com/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040> (noviembre de 2015)
- [2] Choo, Y.M. Muhamad, H. Hashim, Z. Subramaniam, V. Puah, C.W. Tan, Y. 2011. Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. Vol 16. Pp 669-681
- [3] Fedepalma. 2013. Seminario: “La agroindustria de la palma de aceite: un negocio sostenible e inclusivo”. Consultado en: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Panoramaagroindustria_palmeraretosyopportunidades_opt.pdf. Julio de 2015
- [4] Fedepalma. 2014. Boletín económico área de economía y de gestión comercial estratégica. Consultado en: [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Balance%202014%202Q\(2\).pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Balance%202014%202Q(2).pdf). Octubre de 2015
- [5] FEDEPALMA. 2016. Publicación de cartilla sobre Resolución 0631 de 2015 acerca de vertimientos. El Palmicultor. Edición 534. Pp. 10-11.
- [6] Feintrenie, L. Chong, W.K. Levang, P. 2010. Why do farmers prefer oil palm? Lessons learnt from Bungo District, Indonesia. Small Scale Forest., Vol 9 , pp. 379–396
- [7] Gerald C, Acevedo H, Freire F. 2014. Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. Applied Energy. Vol 114. Pp 958-967.
- [8] GreenFacts. Eutrofización. Consultado en: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/eutrofizacion.htm>. (Enero de 2017)
- [9] GreenFacts. Potencial del calentamiento global. Consultado en: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/potencial-calentamiento-global.htm>. (Enero de 2017).
- [10] Hansen, SB. Olsen, SL. Ujang, Z. 2012. Greenhouse gas reductions through enhanced use of residues in the life cycle of Malaysian palm oil derived biodiesel. Bioresource Technology, Vol 104, pp 358 – 366.
- [11] Harsono, S. et.al., Grundmann, P. Soebronto, S. 2014. Anaerobic treatment of palm oil mill effluents: potential contribution to net energy yield and reduction of greenhouse gas emissions from biodiesel production. Journal of Cleaner Production. Vol 64. Pp 619-627.

- [12] Herramientas y métodos de evaluación del ciclo de vida (LCA), consultado en: http://www.solidworks.es/sustainability/sustainable-design-guide/3007_ESN_HTML.htm. 2015.
- [13] Impact Assessment Methodologies. Consultado en: <http://www.solidworks.com/sustainability/sustainable-design-guide/appendix-c-the-hannover-principles.htm>. (Enero de 2017).
- [14] Interpretación Nacional para Colombia del Estándar RSPO 2013 de Principios y Criterios (P&C) para la Producción de Aceite de Palma Sostenible. Consultado en: <http://web.fedepalma.org/node/2154>. (Enero de 2017).
- [15] Kaewmai R, H-Kittikun A, Musikavong C. 2012. Greenhouse gas emissions of palm oil mills in Thailand. Vol 11. pp. 141-151.
- [16] Kiman Siregar, Armansyah H. Tambunan, Abdul K. Irwanto, Soni S. Wirawan, Tetsuya Araki. 2015. A Comparison of Life Cycle Assessment on Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) as Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia. Vol. 65. Pp 170-179.
- [17] Norma técnica Colombiana NTC – ISO 14040, consultado en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/NTC-ISO%2014040.pdf>. 2015.
- [18] Ortiz, O; Castells, F; Sonnemann, G. 2010. Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Review Science of the Total Environmental*, Vol. 408, 2435–2443p.
- [19] Ortiz, O; Castells, F; Sonnemann, G. 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Review Construction and Building Materials*, Vol. 23: 28-39 p.
- [20] Palma de aceite. Consultado en: <http://palmaceite.tripod.com/palma.htm> (septiembre de 2016).
- [21] Pereira S, Turra M, Pacca S. 2012. Life cycle assessment of sugarcane ethanol and palm oil biodiesel joint production. *Biomass and Bioenergy*. Vol 44. Pp 70-79
- [22] Prasertsan, S. Prasertsan, P. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: an overview on quantity and potential usage. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 11, pp. 387-395
- [23] Proceso de extracción del aceite crudo de palma. Consultado en: <http://www.cooparcolombia.com/home.php?id=2> (septiembre de 2016)

- [24] Reijnders, L. Huijbregts, M.A.J. 2008. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. Vol 16, pp. 477-482.
- [25] Salomón M, Gomez M, Martin A. 2013. Technical polygeneration potential in palm oil mills in Colombia: A case study. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Vol 3. Pp 40-52.
- [26] Sieng-Huat Kong, Soh-Kheang Loh, Robert Thomas Bachmann, Sahibin Abdul Rahim, Jumat Salimon. 2014. Biochar from oil palm biomass: A review of its potential and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 39, pp 729 – 739.
- [27] Sisbudi H, Grundmann P, S. Soebronto. 2014. Anaerobic treatment of palm oil mill effluents: potential contribution to net energy yield and reduction of greenhouse gas emissions from biodiesel production. Journal of Cleaner Production. Vol 64. Pp 619-627.
- [28] Sune Hansen Balle, Et al. 2015. Trends in global palm oil sustainability research. Journal of Cleaner Production. Vol 100, 140-149 p.
- [29] Unidad de Planeación Minero Energética, UPME et al., 2003.
- [30] Yacob, S. MA Hassan, Shuirai, Y. Wakisaka, M. Subash, S. 2005. Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. Chemosphere, Vol. 59, pp. 1.575 hasta 1.581
- [31] Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste. J. Clean. Prod., Vol 14, pp. 87–93
- [32] Yañez E, Silva E, D Costa R, Torres E. 2009. The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. Renewable Energy. Vol 34. Pp 2905-2913.

ANEXOS

Anexo A. Sustentación del proyecto ante el Gerente de la empresa COOPAR.



COOPERATIVA PALMAS RISARALDA LTDA
NIT: 800.159.103-6



CERTIFICACIÓN

Con la presente hacemos constar que el señor **MAURICIO EDUARDO CONTRERAS LOZANO** identificado con la cédula de ciudadanía N° 1.098.634.028 de Bucaramanga, socializó los resultado del Proyecto de Investigación titulado ANALISIS DEL PROCESO DE EXTRACCION DEL ACEITE CRUDO DE PALMA BAJO LA FILOSOFIA DEL ANALISIS DEL CICLO DE VIDA para la empresa COOPERATIVA PALMAS RISARALDA LTDA.

Los resultados fueron presentados al gerente Julio Omar Rivera y al asistente técnico Omar Hernando Flórez de manera satisfactoria.

Se expide la presente certificación a los 30 días del mes de Enero de 2017 a solicitud del interesado.

Atentamente,


OMAR HERNANDO FLOREZ
Asistente Técnico

Km 7 Via Tibú - Zulia (Norte de Santander)
Cel.: 318 350 11 51
dirtalentohumano@cooparcolombia.com
Norte de Santander

Anexo B. Evidencias fotográficas.



Planta extractora COOPAR



Raquis o Tusa



Lagunas de tratamiento de los efluentes



Fibra



Efluentes generados



Bombeo de efluentes hacia tanques florentinos



Centrifugas



Tanque de pérdida de humedad del CPO



Sustentación de resultados ante la gerencia de COOPAR



Sustentación de resultados ante la gerencia de COOPAR