

**“ANALISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA PRODUCCION DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA”. ESCENARIO: CULTIVO EN EL EJE CAFETERO POR TRANSESTERIFICACIÓN EN MEDIO ÁCIDO Y ETANOL.**

**MARCELA MONSERRATH GONZALEZ BARBA  
ROSAURA VARGAS OROZCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA  
2009**

**“ANALISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA PRODUCCION DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA”. ESCENARIO: CULTIVO EN EL EJE CAFETERO POR TRANSESTERIFICACIÓN EN MEDIO ÁCIDO Y ETANOL.**

**MARCELA MONSERRATH GONZALEZ BARBA  
ROSAURA VARGAS OROZCO**

**Trabajo Presentado como requisito para Optar al Titulo de Ingeniero  
Químico**

**Director**

**LEONARDO ACEVEDO DUARTE**

**Ingeniero Químico Ph.D**

**Codirectora**

**PAOLA ANDREA ACEVEDO PABON**

**Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

*A Dios quien ha sido es y será mi gran amigo incondicional el cual nunca me fallara  
A mi madre a quien respeto y admiro por su fortaleza, esfuerzo y siempre estuvo  
guiando mis pasos  
A mi padre quien con sus consejos me enseñó lo que soy  
A mi familia con quien he contado siempre y a mis amigos por brindarme su compañía*

*Marcela Monserrath*

*Sentir gratitud y no expresarla es como envolver un regalo y no darlo.*

*Y hoy solo quiero expresar mi gratitud hacia mi padre Reinaldo Vargas y mi madre Gloria Orozco por su amor y apoyo incondicional, a mi hermanito Andres por su amor, apoyo y espera, a mis amigas; en especial a mi querida Estefanía amiga y hermana de la vida y a todas aquellas que conocí en mi vida universitaria Andrea, Diana, Haddy, Helena, Laura, Liz, Libia, Yasneidy, y a mis amigos que siempre estuvieron ahí para mi en particular Juanito y mi Juancho.*

*ROSAURA VARGAS OROZCO*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios por ser nuestro motor, guía y darnos el don de la vida**

**A nuestras familias por el amor y el apoyo brindado**

**A nuestros amigos por su apoyo incondicional y estar siempre allí**

**Al Dr. Leonardo Acevedo Duarte por su valiosa orientación**

**A la Ingeniera Paola Andrea Acevedo Pabón por estar siempre presente y dispuesta a ayudarnos**

**A la UIS por ser nuestro hogar y hacernos pasar los mejores momentos de nuestras vidas**

## CONTENIDO

## PAG.

INTRODUCCION	13
1. MARCO TEORICO	15
1.1 Métodos de evaluación de impacto ambiental	15
1.1.1 Normas ISO 14000	15
1.1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	15
1.1.2.1 Definición	15
1.1.2.2 Etapas de desarrollo en el ACV	16
2. MARCO TEORICO PARA EL ANALISIS DE CICLO DE VIDA	18
2.1 Objetivo del estudio	18
2.2 Alcance del estudio	18
2.2.1 Sistema de producto bajo estudio	18
2.2.2 Función del sistema del producto	18
2.2.3 Unidad funcional	18
2.2.4 Limites de sistema	19
2.2.5 Procedimientos de asignación	21
2.2.6 Metodología de la evaluación del impacto de ciclo de vida y tipos de impactos	21
2.2.7 Requisitos relativos a los datos	21
2.2.8 Suposiciones	22

3. ANALISIS DE INVENTARIO	23
3.1 Análisis de inventario de la etapa de adecuación y agrícola	23
3.1.1 Limites, suposiciones y consideraciones	24
3.2 Análisis de inventario en la extracción del aceite	25
3.2.1 Limites, suposiciones y consideraciones	26
3.2.2 Asignación másica	27
3.2.3 Resultados del inventario para la extracción del aceite	27
3.3 Análisis de inventario en la transesterificación de aceite	27
3.3.1 Descripción etapa de transesterificación	27
3.4 Análisis de inventario en la distribución y uso del biodiesel	29
3.4.1 Limites, suposiciones y consideraciones	29
3.5 Resultados	29
4. INTERPRETACION DE RESULTADOS	31
4.1 Selección de categoría de impactos	31
4.2 Factores de caracterización. Clasificación	32
4.3 Asignación e interpretación de resultados del inventario a las categorías de impacto	33
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFIA	39
ANEXOS	45

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distancias recorridas para el transporte de la semilla.

Tabla 2. Factores de asignación para la extracción del aceite.

Tabla 3. Asignación Másica etapa de transesterificación.

Tabla 4. Resultados obtenidos para el análisis de inventario.

Tabla 5. Categorías de impacto.

Tabla 6. Factor de caracterización.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Etapas de un ACV Fuente. Norma ISO 14040:2006.
- Figura 2. Esquema de los procesos implicados en el sistema de estudio.
- Figura 3. Diagrama de flujo y actividad agrícola.
- Figura 4. Esquema general del proceso de extracción.
- Figura 5. Perfil medioambiental del ACV.
- Figura 6. Emisiones consideradas para la categoría de cambio climático.
- Figura 7. Emisiones consideradas para la categoría de acidificación.
- Figura 8. Emisiones consideradas para la categoría de eutrofización.
- Figura 9. Emisiones consideradas para la categoría de formación de oxidantes.  
foto-químicos y para la categoría de efectos respiratorios.

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Sistemas de análisis de ciclo de vida.

ANEXO B. Fundamentos de la higuera.

ANEXO C. Extracción del aceite de ricino.

ANEXO D. Transesterificación del aceite de ricino.

ANEXO E. Emisiones de la combustión.

ANEXO F. Resultados detallados del análisis de ciclo de vida.

## RESUMEN

**TITULO:** ANALISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA. ESCENARIO: CULTIVO EN EL EJE CAFETERO POR TRANSESTERIFICACION EN MEDIO ACIDO Y ETANOL EMPLEANDO LA METODOLOGIA “DE LA CUNA A LA CUNA”

**AUTOR:** Marcela Monserrath González Barba, Rosaura Vargas Orozco \*\*

**PALABRA CLAVES:** Análisis ciclo de vida, Biodiesel a partir de aceite de higuera, transesterificación en ácido, Impacto ambiental

**DESCRIPCION:** La preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta participación del sector transporte en el consumo total de energía primaria y en la contaminación atmosférica de los centros urbanos, se ha convertido en la fuerza que está impulsando en el mundo la investigación sobre fuentes alternas de combustibles para vehículos, especialmente las fuentes agrícolas.

Este trabajo contiene un estudio realizado en la zona del Eje Cafetero, utilizando la metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV), basada en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 con el nuevo paradigma “de la cuna a la cuna” para calcular corrientes de entrada y salida en cada etapa. En el ACV se tomo en cuenta: cultivo, cosecha, proceso de extracción, transesterificación, uso del biodiesel, así como las emisiones de cada etapa, los impactos ambientales generados en la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera, siendo estos los mas relevantes.

Las categorías de impacto a consideración para producir 80.000 ton/año de biodiesel fueron: cambio climático, acidificación, eutrofización, formación de oxidantes fotoquímicas, efectos respiratorios, y energía no renovable dando como respuesta al perfil medioambiental a partir del cual se plantearon soluciones orientadas a la reducción del consumo de energía y emisiones generadas a lo largo del ciclo de vida del biodiesel.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química  
Director: Dr. Leonardo Acevedo Duarte. Ingeniero Químico PhD.

## ABSTRACT

**TITLE: THE LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM CASTOR OIL USING THE METHODOLOGY "FROM CRADLE TO CRADLE" SCENE: SOWING IN THE FOR TRANSESTERIFICATION IN ACID WAY AND ETHANOL**

**AUTOR:** Marcela Monserrath González Barba, Rosaura Vargas Orozco\*\*

**KEY WORDS:** Life cycle assessment, biodiesel from castor oil, transesterification in acid, environmental impact.

**DESCRIPTION:** The general worry for the not renewable character of the fossil fuels and the high participation of the sector transports in the total consumption of primary energy and in the atmospheric pollution of the urban centers, it has turned into the force that is stimulating in the world the research on alternate sources of fuels for vehicles, specially the agricultural sources.

This work contains a study realized in the zone of the Eje Cafetero, using the methodology the life cycle assessment (LCA) based on the ISO procedure 14040:2006 and ISO 14044:2006 with the new paradigm " from the cradle to the cradle " to calculate currents of entry and exit in every stage . The stages included in the LCA were: cultivation, crop, oil extraction process, transesterification, biodiesel use, as well as the emission of every stage, the environmental impacts generated in the production of biodiesel from castor oil being these the most significant.

The impact categories analyzed to produce 80.000 ton/year were: climate change, acidification, eutrophication, photochemical oxidants formation, respiratory effects and non-renewable energy, giving as result the environmental profile from which it can be obtained the solutions oriented to the reduction of the consumption of energy and emission generated throughout the life cycle of the biodiesel.

---

\*Degree Work

\*\*Physical-Chemical Faculty. Chemical Engineering Department. Director. Dr. Leonardo Acevedo Duarte. Chemical Engineer PhD

## INTRODUCCION

La preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta participación del sector transporte en el consumo total de energía primaria y en la contaminación atmosférica de los centros urbanos, se ha convertido en la fuerza que está impulsando en el mundo la investigación sobre fuentes alternas de combustibles para vehículos, especialmente las fuentes agrícolas.

Debido a la contaminación generada por el uso de combustibles fósiles se ha presentado la explotación de algunos recursos no renovables. Los combustibles fósiles han llevado a un proceso de mejoramiento industrial, pero las consecuencias ambientales que se están representando y de no controlarse día a día se van a seguir presentando altos niveles de contaminación que ni los seres vivos ni la naturaleza podrían soportar, además serían la mayor causa de los desastres naturales que se están presentando.

Por esto, la problemática planteada conduce a buscar nuevas herramientas que permitan la estimación y el planteamiento de soluciones con el objetivo de aminorar el impacto ambiental de los mismos y entre las disyuntivas se encuentra el proceso de producción de biodiesel a partir del aceite de Higuierilla como una alternativa para mejorar las condiciones ambientales, debido a que esta planta además de ser de rápido crecimiento, es de rápida producción y tardan alrededor de seis meses en dar su primera cosecha, pero es el mismo tiempo en que se puede recoger semilla apta para extraer el aceite, además es de fácil plantación por las condiciones ambientales del país y la adaptación de la especie a las mismas.

Una de las herramientas disponibles en la actualidad es el Análisis de Ciclo de Vida, el cual tiene como objetivo cuantificar las corrientes de entrada y de salida como las emisiones medioambientales asociadas con la vida del producto, pasando por una serie de etapas comprendidas desde la extracción de las materia primas hasta la disposición final de los residuos ocasionados a lo largo del tiempo de servicio del producto, metodología conocida como “de la cuna a la tumba”, en la cual se debe resaltar el hecho de presentar grandes limitaciones en lo que a la definición de los límites del análisis se refiere, es decir, no presenta claridad en la ubicación de la cuna ni de la tumba por lo que se realiza arbitrariamente, dependiendo de la entidad autorizada de la investigación; asimismo, esta metodología olvida que la renovación de los procesos exigía estudiar la contabilidad desde la tumba hasta la cuna, analizando los impactos de reposición en un estado en el que los residuos vuelven a ser útiles en algún punto del proceso sin involucrar la naturaleza como una etapa más en la vida del producto impidiendo el cierre de los ciclos.

El presente proyecto tiene como objetivo aplicar la evaluación del análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera en el eje cafetero valiéndose de la metodología “de la cuna a la cuna” donde se evalúan los aspectos ambientales generados en la producción de este biocombustible y se tiene en cuenta que un porcentaje de los residuos vertidos al medio ambiente son fijados por la naturaleza gracias a los diferentes ciclos biogeoquímicos (capítulo 2), los cuales serán integrados con los modelos correspondientes a las etapas de los cultivos, del transporte y todo lo vinculado a las transformaciones industriales, del uso como combustible y de la disposición de residuos (capítulo 3); finalmente se identifican las etapas del proceso para las cuales el consumo de energía y las emisiones al medio ambiente son las más relevantes para plantear soluciones que contribuyan a la reducción del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del biodiesel producido a partir de aceite de higuera usando un modelo de catálisis ácida homogénea (capítulo 4, 5 y 6).

## **1. MARCO TEORICO**

En este capítulo se presentan los conceptos básicos relacionados con la herramienta de evaluación ambiental conocida como análisis de ciclo de vida

### **1.1 Métodos de evaluación de impacto ambiental**

#### **1.1.1 Normas ISO 14000**

Las normas que se nombran en este trabajo, hacen parte de un sistema de gestión medioambiental, en donde a su vez, presenta el enfoque que se puede aplicar para adquirir, como propuesta final, el mejoramiento y futura conservación del ambiente en todo lo que en ella involucra. Así se permite mantener las técnicas productivas que se usan y del medio que los rodea.

Asimismo, al ser las normas ISO 14000 internacionalmente certificadas como un sistema enfocado en la mejora continua además de ser consistentes con elementos claves de varios modelos de gestión ambiental, tiene como requisito actuar conforme a estas para así hacer parte de los mercados internacionales.

#### **1.1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

##### **1.1.2.1 Definición**

Se conoce como “el proceso objetivo dirigido hacia la evaluación de cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. Hacia esto será necesario identificar y cuantificar el uso de materias, energía y vertidos de entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental” (Fulana, Puig. 1997).

El análisis de ciclo de vida de un producto se considera como la historia del mismo desde el origen de sus materias primas hasta su uso final, teniendo como importancia cada una de las fases intermedias.

Es un instrumento que proporciona:

- Estimar las cargas ambientales asociadas a un proceso o actividad relacionadas con los efectos ambientales derivados del agotamiento de materias primas y energía requerida para su elaboración, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, teniendo en cuenta a su vez los efectos ambientales ocasionados por la culminación de vida del producto cuando este se consume o en su defecto no se puede emplear.
- Realizar un comparativo entre el producto o actividad que se está evaluando con otro el cual posea igualdad de alternativas u opciones de índole ambiental.

#### 1.1.2.2 Etapas de desarrollo en el ACV

El estudio del ACV comprende una serie de etapas regidas por la norma ISO 14000: 2006, las cuales pueden observarse detalladamente a continuación en la figura 1.

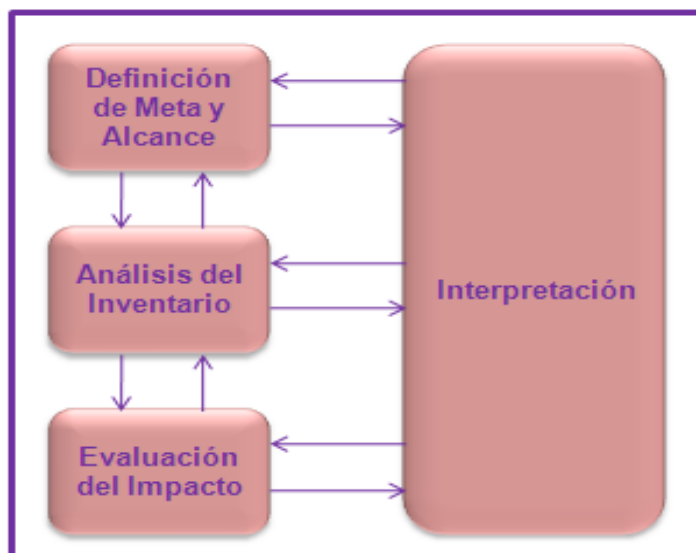


Figura 1. Etapas de un ACV Fuente. Norma ISO 14040:2006

- **Definición de los objetivos y alcance del ACV**

Los aspectos que se tendrán en cuenta son: la finalidad del estudio, los objetivos de forma global, el producto a evaluar, la distribución y el uso de los productos como también su alcance; esto a su vez puede gozar de ciertas variantes en cuanto a espacio y tiempo.

- **Análisis del Inventario**

Se cuantifican los requerimientos energéticos, materiales del sistema, eficacia energética de sus componentes y las emisiones causadas en el transcurso del proceso, tomando como datos los cálculos de entrada y salida de los procedimientos a lo largo de la vida útil del producto.

- **Evaluación del Impacto**

Utiliza resultados de análisis de inventario anteriores para valorar los impactos ambientales significativos.

- **Interpretación del ciclo de vida**

En esta etapa del desarrollo del ACV se realizan los resultados y recomendaciones para la toma de decisiones.

## **2. MARCO TEORICO PARA EL ANALISIS DE CICLO DE VIDA**

La técnica del estudio se baso en las normas internacionales ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, aplicadas a la metodología” de la cuna a la cuna” para el ACV del biodiesel a partir de Aceite de higuera. A continuación se encuentran los objetivos que se desean cumplir con el ACV.

### **2.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO**

La intención del proyecto de grado es examinar la sostenibilidad ambiental del sistema de producción de biodiesel a partir de aceite de ricino en el eje cafetero usando catálisis ácida homogénea, a través de la técnica de análisis de ciclo de vida mediante la metodología de la cuna a la cuna, en donde se incluyen las etapas de los cultivos, los procesos industriales (extracción, transesterificación, etc.) siendo el uso final biocombustible en una mezcla B10.

Con este trabajo se pretende contribuir con los estudios que se realizan actualmente como parte del desarrollo de una tesis doctoral en la Universidad Industrial de Santander, para así ser un preámbulo para el desarrollo de los análisis de ciclo de vida utilizando esta metodología, dejando esta información pública mediante el presente texto.

El destinatario de este informe es cualquier persona interesada en el análisis del ciclo de vida.

### **2.2 ALCANCE DEL ESTUDIO**

#### **2.2.1 Sistema de producto bajo estudio**

El punto de partida del Análisis de Ciclo de Vida comprende la adecuación del cultivo e integración biogeoquímica, pasando por la extracción del aceite de higuera, transesterificación del aceite, distribución, uso del biodiesel y el ciclo del carbono que se cierra con el aditamento de gases (CO<sub>2</sub>) vía fotosíntesis, de esta forma este análisis es “de la cuna a la cuna” .Ver Figura 2

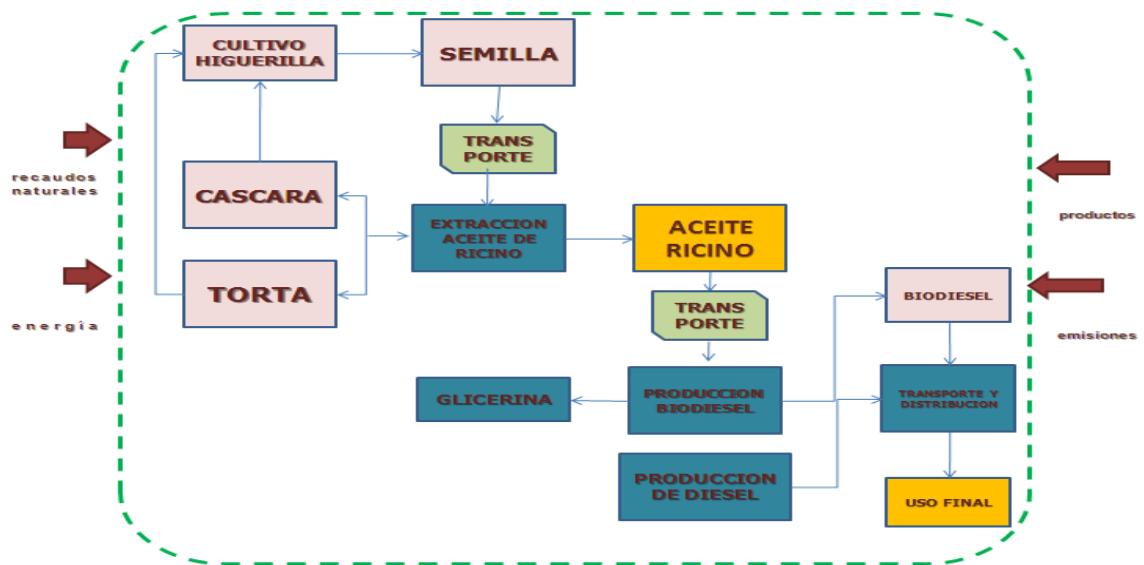


Figura 2. Esquema de los procesos implicados en el sistema de estudio.

### 2.2.2 Función del sistema del producto

El uso final del producto es ser aprovechado en una mezcla B10 con diesel para ser consumido como combustible sin que con ello se alteren los motores de los automóviles.

### 2.2.3 Unidad funcional

Como este trabajo hace parte del desarrollo de una tesis doctoral en la Universidad Industrial de Santander, en este estudio se toma como unidad funcional la capacidad de producción de la planta de biodiésel que es de 80.000 toneladas/año.

### 2.2.4 Límites de sistema

- Límites Geográficos:

La investigación se limitó al uso del biodiésel en Colombia; como también se planteó que la siembra de la higuera se implantará en varios sitios del eje cafetero, con el fin de manejar cultivos de climas, altitud y suelos de iguales características, la planta extractora de aceite y la planta productora de biodiésel se ubicaron en Pereira.

- Límites Temporales:

Se tomó como proyección 60 años, con el propósito de hacer un comparativo del análisis del ciclo de vida del biodiesel a partir de aceite de higuera con los estudios sobre este producto obtenido a partir de otros cultivos en distintos sectores de Colombia.

- Límites para el Proceso.

El escenario establecido para el análisis está conformado por los siguientes parámetros:

1. Localidad: eje cafetero: Risaralda (Apia, Marsella, Santa Rosa de Cabal, Caldas (Palestina))
2. Zona de cultivo: Húmeda, montañosa
3. Tipo de semilla a cultivar: Blanca jaspeada (CORPOICA, 2007). Ver anexo B

En el estudio, las cargas ambientales concernientes a la fabricación de la maquinaria e infraestructuras necesarias para la extracción, transporte y refinado del crudo se han excluido del análisis puesto que su aporte al balance global es mínima, menor del 1 % (*Sheehan et al, 1998, Deluchi, 1993*).

En cuanto al consumo de materias primas empleadas en los diferentes procesos que difieren a los insumos de la cadena de higuera, se analizaron las cargas ambientales obtenidas cuantificándolas, sin asociar las emisiones producidas en la fabricación de estas mismas; aplicando la metodología ACV de la cuna a la tumba a este tipo de insumos. Solo se aplicó la metodología ACV de la cuna a la cuna a la cadena de producción de la higuera.

En el manejo de las materias primas usadas en el proceso solo se tuvo en cuenta el impacto producido por su transporte desde la puerta del país debido a que el objeto de esta investigación es aplicar el ACV solamente a la producción de biodiesel; no se tuvo en cuenta las cargas ambientales ocasionadas por la producción de estos insumos y se les estableció una cuna y una tumba para no incluir datos que alteran el objetivo del estudio.

Se tendrá a consideración los impactos ambientales que se generaron en la producción de las materias primas a utilizar en el proceso (materias diferentes a las que provienen de la cadena de la higuera), y no los impactos provenientes de los elementos empleados en la fabricación de éstas.

Las emisiones para la transformación de la glicerina no se tendrán en cuenta en el estudio ya que es un proceso independiente que requiere de otros análisis.

### **2.2.5 Procedimientos de asignación**

Debido a que en las etapas de extracción y de transesterificación del aceite de higuera, se obtienen varios productos diferentes (coproductos) se hace necesaria una regla de asignación de tal forma que divida los flujos de entrada o de salida del proceso entre el sistema de producto y el de coproducto. Para ello se usó el método de asignación másica el cual consiste en representar las fracciones que hay en cada coproducto en el flujo total de salida del sistema. Para esto se tuvo en cuenta la metodología propuesta por la norma ISO 14040.

### **2.2.6 Metodología de la evaluación del impacto de ciclo de vida y tipos de impactos**

En este estudio las categorías de impacto que se analizan se clasifican de la siguiente manera: acidificación, formación de oxidantes fotoquímicos, cambio climático, eutrofización, efectos respiratorios y energía no renovable, las cuales se estimaron a partir de la técnica que propone Anton (2004).

### **2.2.7 Requisitos relativos a los datos**

Para un mejor estudio los datos han sido recopilados de los servicios básicos productivos involucrados a los procesos.

Se seleccionaron los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía sean importantes y cuyas emisiones sean notables para el medio ambiente.

Son contenidos en la asignación agrícola de la higuera, los procesos que se desarrollan en la extracción del aceite, en su transformación a biodiesel y los procedimientos en la etapa de distribución y combustión de los combustibles en los motores.

Es de importancia resaltar que para los procesos en los cuales no se encontraron datos base, se recurrió al uso de información de fuentes ya publicadas.

En el caso de las emisiones resultantes y la energía utilizada en los procesos de producción de los insumos, electricidad y vapor, al igual que los gases de combustión proveniente de los distintos medios de transporte empleados en las diversas etapas del estudio, se recaudaron datos de fuentes como CIEMAT, 2006; Sheehan j. *et al.*, 1998

### **2.2.8 Suposiciones**

Para el desarrollo de este proyecto se consideró la construcción de la planta extractora en la ciudad de Pereira, la cual obtendrá sus insumos de las ciudades de Medellín (Antioquia), Barrancabermeja (Santander) y Cartagena (Bolívar).

### 3. ANALISIS DE INVENTARIO

En esta parte del trabajo de investigación se dan a conocer los datos de los impactos ambientales, como también los consumos de energía de los diferentes procesos involucrados en el ciclo de vida del biodiesel obtenido a partir de aceite de higuierilla; para esto se construyeron los diferentes diagramas para reportar los flujos de materia y energía de los sistemas en estudio.

#### 3.1 Análisis de inventario de la etapa de adecuación y agrícola

En la figura 3 se muestra un ejemplo de las acciones contempladas en los ciclos agrícolas que generan estudio. Dentro de los límites del sistema se introdujeron todas las labores agrícolas que se realizan en la adecuación y en el cultivo, así como los procesos de producción de Diesel, el transporte de los insumos agrícolas: diesel, fertilizantes, etc.

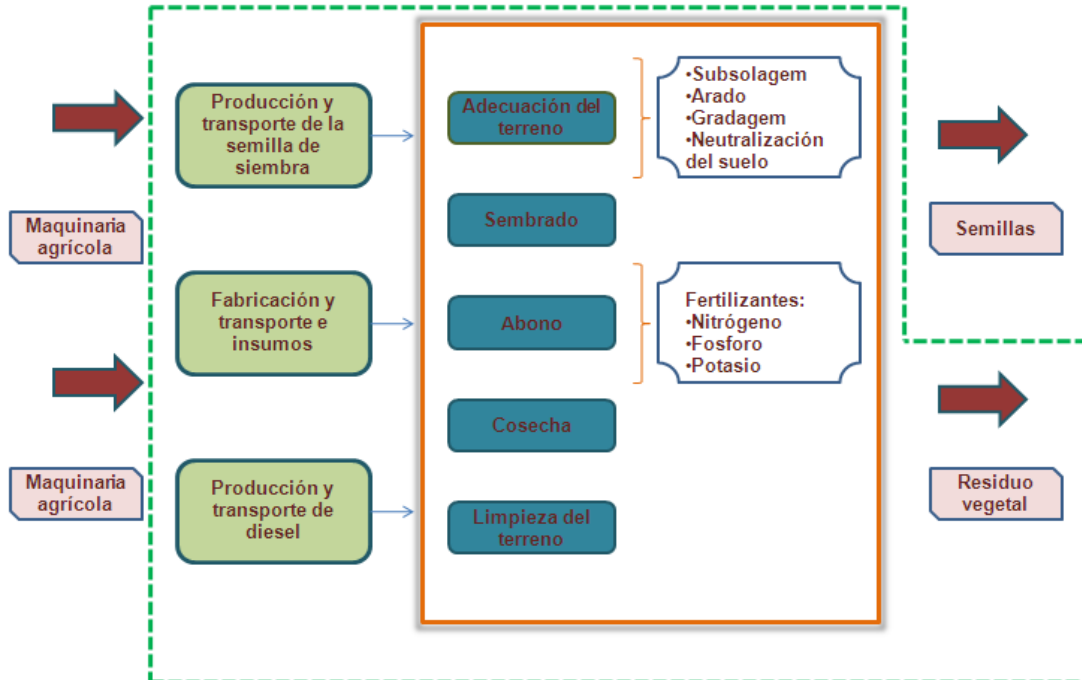


Figura 3. Diagrama de flujo y actividad agrícola

### 3.1.1 Límites, suposiciones y consideraciones

La actividad agrícola involucra un gran número de cambiantes que al ser combinados dan como resultado una variedad de escenarios a evaluar; de esta forma solo se tomó uno de éstos, el cual considera:

- La siembra se realizó mecánicamente, pero para garantizar mayor densidad de higuierilla por hectárea, la recolección de semillas se realizó de forma manual.
- El terreno en el cual se desarrolló el cultivo es de tipo montañoso y húmedo, no presenta vegetación alta. Se fijó que el terreno sería productivo durante cuatro años, después de este período se generará limpieza del terreno y se optará por cuatro años en período de recuperación, así se realiza una rotación de cultivo, la cual es aconsejable para evitar el empobrecimiento de la fertilidad del suelo y evitar que los problemas sanitarios se agudicen tornándose inmanejables. Este ciclo fue repetido hasta terminar el tiempo de estudio del ACV. Por tal motivo se decidió escoger un cultivo alternativo para suplir la producción de semilla que se dejó de obtener por el tiempo que el terreno cesó en su producción.
- En el anexo F se especifica las cantidades de semillas iniciales utilizadas, la cal necesaria para neutralizar el suelo, y los fertilizantes para la siembra; estos se adquirieron en Medellín y se transportaron en camiones recorriendo una distancia de 334 Km. Los fertilizantes fueron trasladados en camiones desde la ciudad de Cartagena hasta el terreno de producción, transitando 865 Km.
- Se despreciaron los efectos por el uso de agroquímicos (herbicidas, pesticidas, insecticidas, entre otros) debido a que no se cuenta con datos referentes a estos y según la literatura su aporte es mínimo (*Da Costa et al., 2005*); además, su uso es poco frecuente y el impacto en el estudio según la literatura sería mínimo.

### 3.1.2 Integración de los ciclo biogeoquímicos.

El trayecto más o menos periódico de los elementos químicos entre los organismos y el medio ambiente se conoce como ciclo biogeoquímico.

Es importante tener en cuenta que parte de los residuos vertidos al medio ambiente son fijados por la naturaleza gracias a los ciclos biogeoquímicos, para la etapa del cultivo de la higuierilla se considero el ciclo del carbono y del nitrógeno, la información pertinente de estos ciclos y el diagrama de cada uno para las etapas consideradas en la cadena de producción de biodiesel se encuentra explicado en el anexo E

### 3.1.3 Resultados del inventario para la actividad agrícola.

La información que se reporta en la tabla 4, recopilan los datos para las distintas entradas y salidas del sistema para así contabilizar los diferentes impactos para el tiempo de horizonte del Análisis de Ciclo de Vida.

## 3.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE

La figura 4 muestra un bosquejo de las acciones contempladas en el sistema de extracción estudiado. Dentro de los límites del sistema se incluyeron los procesos en cada etapa requeridos para llevar a cabo la extracción del aceite de higuierilla, los procesos de producción de diesel y energía, como también el transporte de las materias primas.

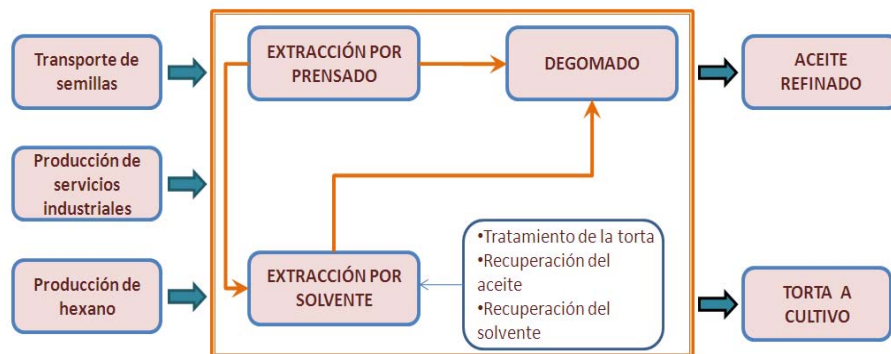


Figura 4. Esquema general del proceso de extracción

### 3.2.1 Límites, suposiciones y consideraciones

- Para el consumo energético del proceso de precalentado se tomó como referencia Becerra y Amaya, 2008. Para los requerimientos energéticos de la prensa fueron usados como referencia Barragán y Cepeda, 1979. Estos requerimientos energéticos de la extracción por solvente fueron adquiridos como referencia el proceso reportado por *Sheejan J. et. al. 1998*.
- Debido a que la extracción por prensado solo recupera el 82% del aceite total contenido en las semillas, se utiliza un sistema de extracción por solvente. Para retirar las impurezas existentes se somete el aceite crudo a un proceso de degomado.
- El análisis contiene la extracción del aceite, el procesamiento de la torta, la recuperación del aceite y del solvente.
- El cultivo se encuentra en varios municipios, por lo tanto las semillas provenientes de estos cultivos se deben transportar hasta la planta extractora ubicada en la ciudad de Pereira en camiones de capacidad de 15.5 Ton.

(Ver Anexo C)

DISTANCIAS RECORRIDAS EN EL TRANSPORTE DE LAS SEMILLAS		
Municipio	Departamento	Distancia hasta Pereira (Km)
Apia	Risaralda	66
Marsella	Risaralda	28
Santa Rosa de Cabal	Risaralda	30
Palestina	Caldas	13

Fuente: Página oficial Gobernación de Risaralda

Tabla 1. Distancias recorridas para el transporte de las semilla

- El hexano necesario para la extracción por solvente fue adquirido en la ciudad de Barrancabermeja recorriendo una distancia de 303 Km hasta la planta de extracción. No se tiene en cuenta el sistema de descascarado ya que la variedad de semilla empleada es este caso de estudio es dehiscente.
- El análisis contiene la extracción del aceite, el procesamiento de la torta, la recuperación del aceite y del solvente.

### 3.2.2 Asignación másica

En esta etapa de extracción del aceite se obtiene como resultado además del aceite de ricino refinado, co-productos los cuales tienen un porcentaje de participación en las emisiones y en el consumo energético.

Sustancia	%
Aceite ricino refinado	56,42
Torta	43,58
Total	1,00E+02

Tabla 2. Factores de asignación para la extracción del aceite

### 3.2.3 Resultados del inventario para la extracción del aceite.

Los datos obtenidos de los balances de masa y energía se llevaron a la hoja de cálculo en Excel<sup>®</sup> donde se cuantificaron las variables de estudio. La tabla 4 muestra un resumen de las emisiones y consumos energéticos

## 3.3 ANÁLISIS DE INVENTARIO EN LA TRANSESTERIFICACION DE ACEITE

### 3.3.1 Descripción etapa de transesterificación

Este proceso se fundamenta en la reacción de transesterificación del aceite de higuera con el etanol en presencia de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como catalizador, dando como resultado el etil ricinoleato (biodiesel) y la glicerina. Se consideró una pre-esterificación de los ácidos grasos libres existentes en el aceite de higuera (ver anexo C). El análisis de inventario para esta etapa tiene en cuenta todas las corrientes másicas y energéticas, también las cargas ambientales asociadas en los procesos de transformación, transporte y fabricación de materias primas (ver figura 5).

El proceso de transformación a biodiesel se basa en la reacción de transesterificación del aceite de higuera con el etanol en presencia de ácido sulfúrico como catalizador, la cual da como resultado ricinoleato de etilo y glicerina. El análisis de inventario para esta etapa tiene en cuenta las corrientes másicas y energéticas junto con las cargas ambientales asociadas tanto en el proceso de transformación como el transporte y fabricación de materias primas. En la figura 4 muestra los procesos involucrados en la transformación del aceite de ricino a biodiesel.

En el estudio realizado a lo largo del desarrollo de este proyecto de grado se pudieron observar algunos limitantes de los que se destacan:

- El proceso completo para la obtención del biodiesel fue simulado en HYSYS® 3.2, los datos de entrada son el resultado del análisis de una serie de estudios entre los que se destacan: *White Jeffery L. et. al. 2007, Vera Carlos R. et. al. 2008, Goodwin James G. Jr. et. al. 2008, Sheejan J. et. al. 1998.* (ver anexo D)
- El biodiesel se obtuvo por transesterificación del aceite de ricino empleando catálisis ácida homogénea, con ácido sulfúrico como catalizador ( $H_2SO_4$ ), y vía alcoholisis con etanol. La reacción de transesterificación se llevó a cabo a una temperatura de 80°C y una presión de 1 atm. (*Goodwin James G. Jr. et. al. 2008*). Manteniendo como se cita en la fuente una relación de alcohol-triglicérido de 6:1, y la cantidad de catalizador usado corresponde al 2% en peso total de triglicérido alimentado (triricinoleína). Para la reacción de pre-esterificación se maneja una conversión de 95% y para la reacción de transesterificación 75%. (*López Dora E. et. al. 2008*).

ASIGNACIÓN MÁSCA ETAPA DE TRANSESTERIFICACIÓN		
COPRODUCTOS	Sustancia	%
	Ácidos Grasos	3,37
	Biodiesel	90,02
	Glicerol	6,61
	Total	100

Tabla 3. Asignación Máscica etapa de transesterificación

### 3.4 Análisis de inventario en la distribución y uso del biodiesel

Para llevar a cabo este inventario se estimaron las emisiones producidas por el transporte de biodiesel así como también el uso que se le da a este carburante.

#### 3.4.1 Límites, suposiciones y consideraciones

En esta etapa se incluyen los impactos provenientes de la distribución del biodiesel, la mezcla B10 y la combustión de esta en un vehículo de carga pesada.

El biodiesel obtenido a partir de aceite de ricino en la región estudiada se transportó hasta los de almacenamiento en Bogotá recorriendo una distancia de 334 Km. en cisternas de 15 Kl; en esta ciudad se mezcla con el diesel de origen fósil.

### 3.5 Resultados

A continuación se reportan los resultados para cada etapa del análisis del inventario agrupándolos como emisiones en el aire, emisiones en el agua, y consumo energético.

Tabla 4. Resultados obtenidos para el análisis de inventario.

	Etapa	Adecuación del terreno e integración de los ciclos	Extracción del aceite	Trans esterificación	Distribución y uso	Total
<b>EMISIONES EN EL AIRE (Kg)</b>	Hidrocarburos	1,7813E+06	3,8578E+05	6,4893E+05	3,6298E+08	3,6579E+08
	CO	4,8952E+06	2,0504E+06	3,1046E+06	1,0125E+09	1,0226E+09
	NO2	2,3142E+07	2,0329E+07	8,9071E+06	1,9111E+09	1,9635E+09
	PM10	1,7839E+06	1,6328E+05	6,0196E+05	2,6909E+08	2,7164E+08
	SO2	1,3122E+06	3,5865E+07	9,9824E+07	9,1573E+08	1,0527E+09
	CH4	2,3976E+05	1,5017E+07	2,1831E+07	1,8718E+08	2,2427E+08
	N2O	6,0975E+06	1,2815E+05	5,0965E+04	1,2306E+07	1,8583E+07
	CO2	-7,2858E+10	6,2963E+09	3,1423E+09	2,3803E+11	1,7461E+11
	Hidrocarburos (sin especificar)	1,1685E+05	2,2039E+05	8,9199E+03	2,4366E+08	2,4401E+08
	Benceno	1,7528E-01	3,7098E+05	3,7098E+05	3,7079E+05	1,1128E+06
	Formaldehidos	4,6865E+03	9,2136E+02	1,6015E+03	1,1728E+06	1,1800E+06
	Particulas (sin especificar)	1,1635E+05	1,7928E+08	1,4193E+06	1,4978E+08	3,3059E+08
	HCl	2,8495E+03	1,0716E+06	5,4129E+04	3,8121E+06	4,9407E+06
	HF	1,9371E+03	1,3395E+05	6,7683E+03	7,5384E+05	8,9649E+05
	NH3	4,2121E+06	3,4624E+02	3,4716E-01	3,1732E+05	4,5297E+06
<b>EMISIONES EN EL AGUA(Kg)</b>	DBO5	9,9600E+04	1,5785E+05	1,1233E+05	1,0974E+06	1,4672E+06
	DCO	7,9732E+05	1,3195E+06	9,5058E+05	9,2860E+06	1,2353E+07
	Metales (sin especificar)	1,5331E+04	6,7057E+03	1,3903E+04	1,7888E+04	5,3828E+04
	Amonia (como N)	1,3628E+04	2,5213E+04	2,5213E+04	1,6043E+05	2,2448E+05
	Nitratos (NO3-)	1,0845E+01	1,6966E+03	2,8573E+03	2,1664E+01	4,5864E+03
	Agroquimicos (sin especificar)	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00
<b>ENERGIA (MJ)</b>	Energía Primaria	2,8850E+10	1,0640E+11	2,5337E+11	1,1463E+13	1,1852E+13
	Energía Fósil	8,1779E+09	1,0335E+11	4,0266E+10	1,1454E+13	1,1606E+13

## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para interpretar y evaluar los datos del análisis de inventario se analizó el impacto ambiental referente a las emisiones y usos de las fuentes naturales. Seleccionando, clasificando y caracterizando los resultados del análisis de inventario.

### 4.1 Selección de categoría de impactos

Se hizo una selección de las categorías del impacto basándonos en la disponibilidad de los datos y en la relevancia reportada por otros autores (Antón, 2004; CIEMAT, 2006). Posteriormente se contabilizaron las cantidades de los contaminantes producidos de acuerdo al modelo que representa la forma general para registrar cada una de las categorías. (ver Anexo A)

$$\text{Indicador categoría de impacto} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (\text{factor de caracterización de la categoría})_i$$

Donde  $m_i$  es la emisión del recurso utilizado y (factor de caracterización de la categoría) es propio para cada recurso (Antón, 2004).

Tabla 5. Categorías de impacto

Categoría de impacto	Unidades de referencia	Indicador de la categoría	Factor de caracterización
Cambio climático	Kg-eq. CO <sub>2</sub>	CCI	GWP(Kg-eq. CO <sub>2</sub> /Kg)
Acidificación	Kg-eq. H <sup>+</sup>	AI	AP (g-eq. H <sup>+</sup> /g)
Eutrofización	Kg-eq. PO <sub>4</sub>	EI	EP (g-eq. PO <sub>4</sub> /g)
Formación foto-oxidantes	Kg-eq. Etileno	POI	POCP (g-eq. Etileno/g)
Efectos respiratorios	Kg-eq. PM <sub>2,5</sub>	REI	REP (Kg-eq. PM <sub>2,5</sub> /Kg)
Energía no renovable	MJ	NREI	NREP (MJ/Kg)

## 4.2. Factores de caracterización.

**Clasificación:** En base al efecto ambiental obtenido de los datos provenientes del inventario, se hizo una clasificación de acuerdo a cada categoría de impacto; donde una categoría de impacto representa las consecuencias ambientales causadas por los sistemas de producto o los procesos.

En la tabla 6 está registrado el factor de caracterización para valorar las diferentes categorías de impacto.

Tabla 6. Factor de caracterización, TEAM 1999, IPCC 2001

SUSTANCIA	GWP	AP	EP	POCP	REP	NREP
CO <sub>2</sub>	1	n.c	n.c	n.c	n.c	n.c
CH <sub>4</sub>	7	n.c	n.c	0	n.c	n.c
N <sub>2</sub> O	156	n.c	0.27	n.c	0.1957	n.c
CO	1.57	n.c	n.c	n.c	0.001	n.c
HCl	n.c	0.0279	n.c	n.c	n.c	n.c
HF	n.c	0.05	n.c	n.c	n.c	n.c
NH <sub>3</sub>	n.c	0.059	0.35	n.c	n.c	n.c
NO <sub>2</sub>	n.c	0.022	0.13	n.c	0.1273	n.c
SO <sub>2</sub>	n.c	0.03125	n.c	n.c	0.078	n.c
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	n.c	n.c	0.095	n.c	n.c	n.c
N	n.c	n.c	0.42	n.c	n.c	n.c
NH <sub>4</sub>	n.c	n.c	0.42	n.c	0.124	n.c
DCO	n.c	n.c	0.022	n.c	n.c	n.c
Benceno	n.c	n.c	n.c	0.11	n.c	n.c
Formaldehidos	n.c	n.c	n.c	0.22	n.c	n.c
Hidrocarburos s.e.	n.c	n.c	n.c	0.194	n.c	n.c
Hidrocarburos	n.c	n.c	n.c	0.195	n.c	n.c
Partículas s.e.	n.c	n.c	n.c	n.c	0.1571	n.c
PM <sub>10</sub>	n.c	n.c	n.c	n.c	0.5357	n.c
Crude oil	n.c	n.c	n.c	n.c	n.c	45.8
Gas natural	n.c	n.c	n.c	n.c	n.c	40.3

s.e. sin especificar

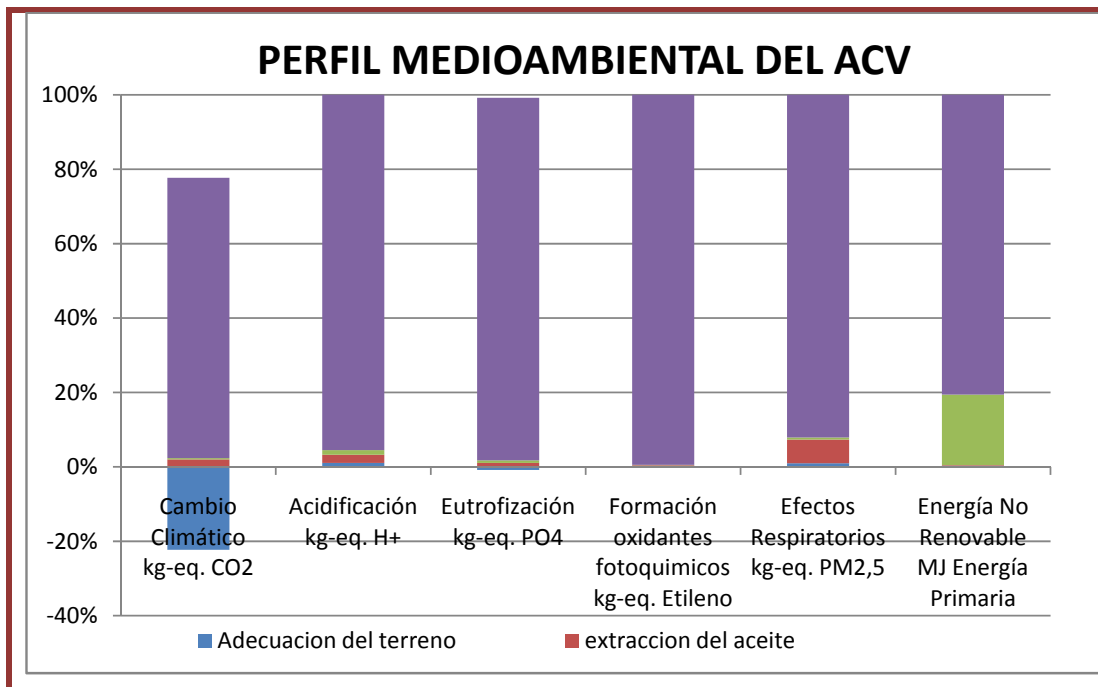
n.c no contribuye

### 4.3 Asignación e interpretación de resultados del inventario a las

#### Categorías de impacto

Después de la clasificación, se utilizó los factores de caracterización (tabla 4.2) y la ecuación del modelo con los cuales se contabilizó las categorías del impacto; y con ello se calculó el porcentaje de participación de cada una de las etapas de la producción del biodiesel en las diferentes categorías de impacto. En la figura 5. se describe el perfil medioambiental del ACV que es descrito a continuación.

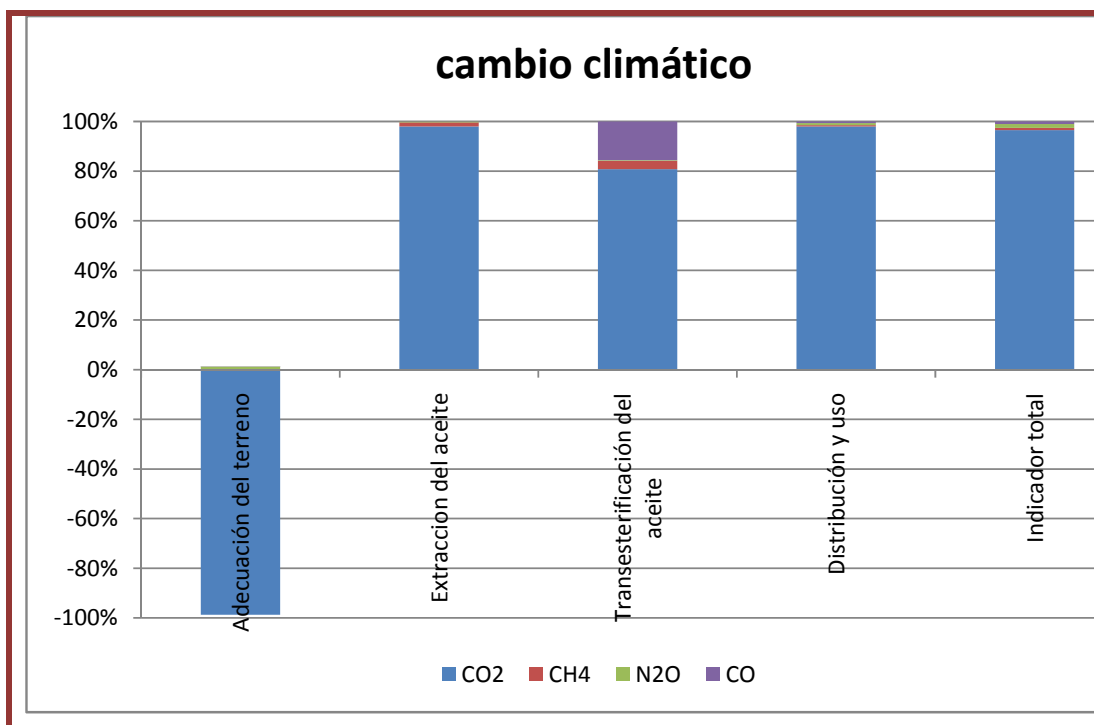
Figura 5. Perfil medioambiental del ACV



En las emisiones consideradas para la categoría de cambio climático se consideraron las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO; representadas en la figura 6.

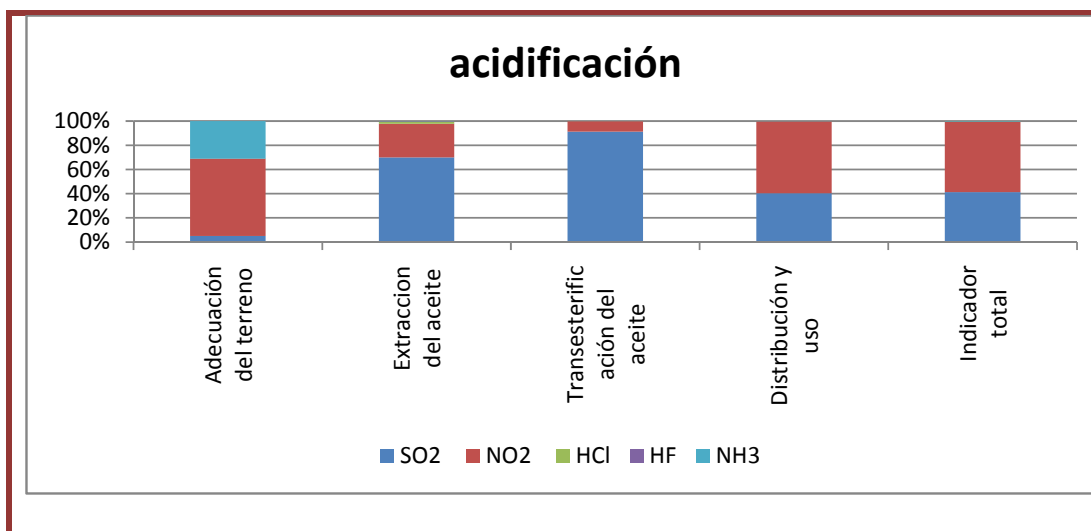
El 96,6% son emisiones al aire de CO<sub>2</sub>, seguida de un 1,7% de N<sub>2</sub>O, un 0,9% de CH<sub>4</sub> y 0,9% de CO.

Figura 6. Emisiones consideradas para la categoría de cambio climático



En la categoría de acidificación la emisión más alta es la de  $\text{NO}_2$  con un 56,43%, seguido de las emisiones de  $\text{SO}_2$  con un 42,98% respecto al total de la categoría, la contribución representada por las emisiones de HF, HCl y  $\text{NH}_3$  son no significativas para esta categoría (ver figura 7).

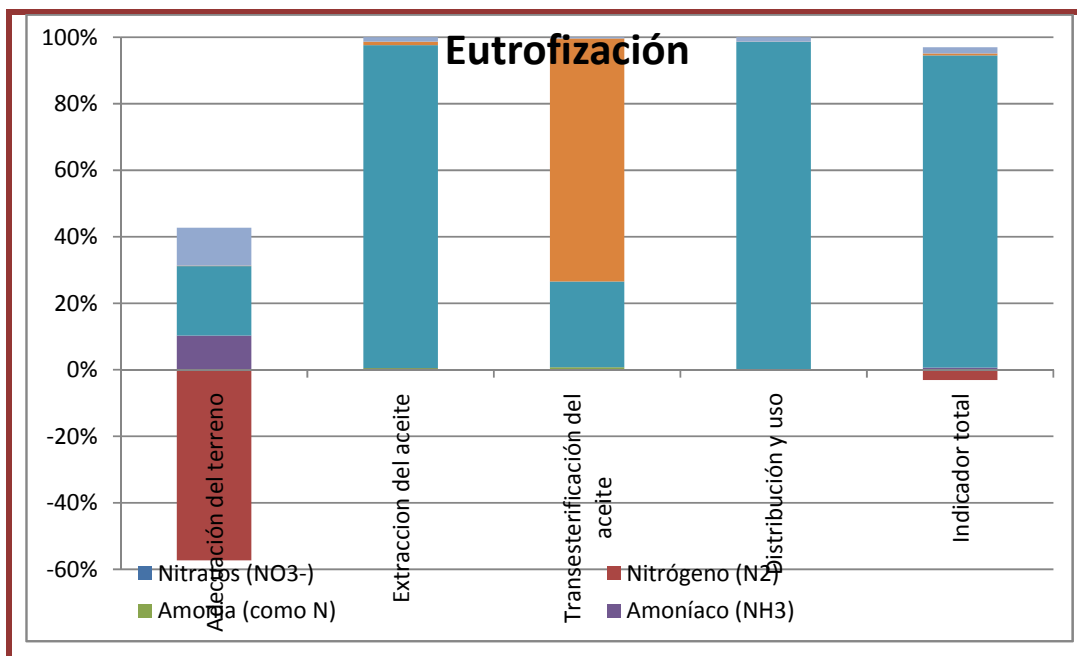
Figura 7.. Emisiones consideradas para la categoría de acidificación



En las emisiones consideradas para la categoría de eutrofización el N<sub>2</sub> tiene una alta fijación al suelo obteniendo un 3,05% y el NO<sub>2</sub> con un 94,2% tuvo una mayor incidencia por su alto porcentaje de emisión al medio ambiente, a diferencia de las demás sustancias que tuvieron una incidencia no significativo para el sistema de estudio(ver figura8 ).

En las emisiones consideradas para la categoría de formación de oxidantes foto químicos las emisiones de los diferentes hidrocarburos son la causante mayoritaria del impacto con un 59,93% para hidrocarburos y del 39,76% para hidrocarburos sin especificar. En las emisiones para la categoría de efectos respiratorios se obtuvo una alta participación de las emisiones de NO<sub>2</sub> con un 46,78%, un 27,04% para las emisiones de PM<sub>10</sub> y un 15,37% para las emisiones del SO<sub>2</sub>. El resto de emisiones tienen una contribución baja para el total de la categoría (ver figura 9 ).

Figura 8 . Emisiones consideradas para la categoría de eutrofización



Se calculó el porcentaje de participación de las emisiones en las diferentes etapas del proceso para el tiempo del ACV con asignación consideradas para la producción del biodiesel a partir del aceite de higuera (figura 10).

Figura 9. Emisiones consideradas para la categoría de formación de oxidantes foto-químicos y para la categoría de efectos respiratorios.

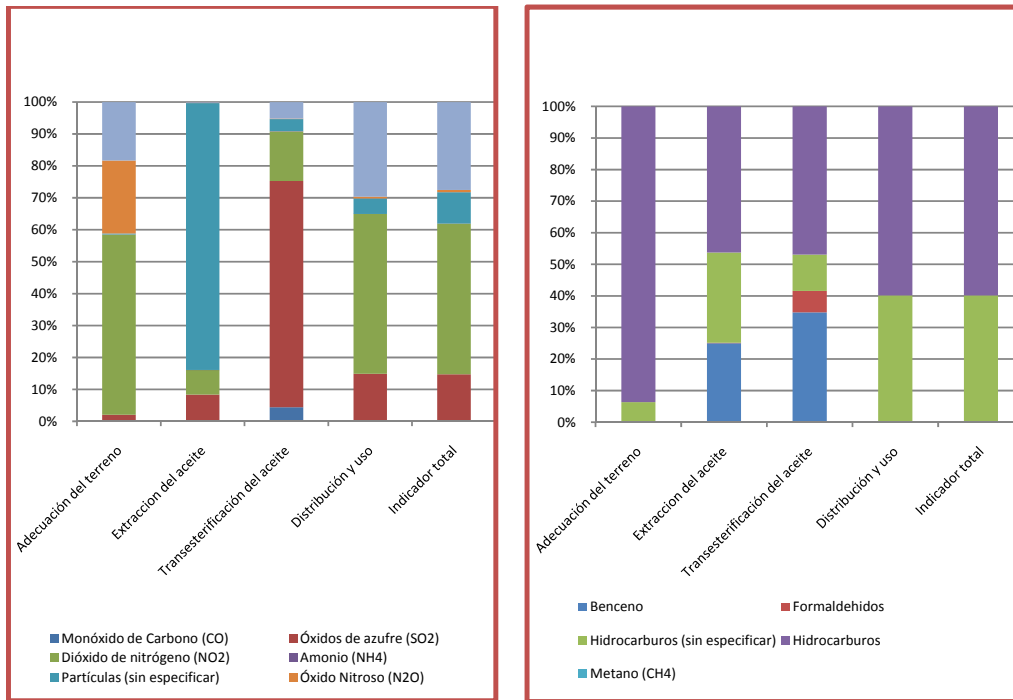
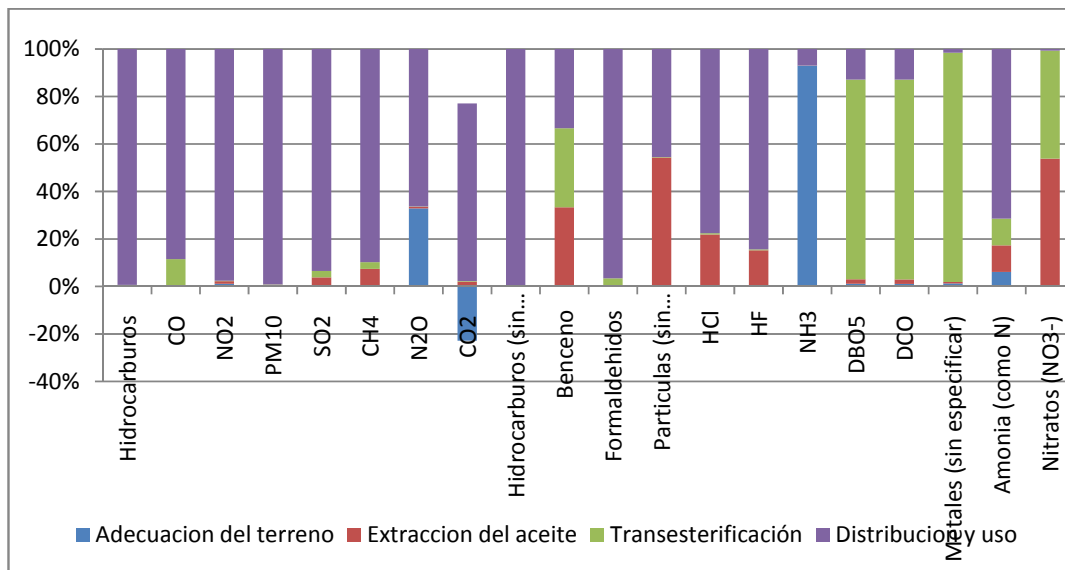


Figura 10. Porcentaje de la participación de las emisiones en las diferentes etapas del proceso para el tiempo del ACV con asignación.



## CONCLUSIONES

Al complementar las etapas estudiadas con los ciclos biogeoquímicos, la ejecución de la técnica de la cuna a la cuna en el ACV permitió valorar el impacto en el ambiente proveniente de la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera.

En la etapa de la extracción del aceite de ricino, se observa que la mayoría de las emisiones generadas en este proceso, provienen de la producción de electricidad, mientras que en las etapas tanto de la adecuación del terreno y la transesterificación, estas se deben a la producción de materia prima.

La mayoría del impacto causado por la producción de biodiesel a partir de aceite de ricino se evidencia en la distribución y uso y esto se demostró que el proceso de extracción también contribuye de manera trascendental ya que es allí donde se emite gran cantidad de  $\text{CH}_4$ .

Se puede observar que en la etapa de adecuación del terreno se generan impactos positivos para las categorías de cambio climático y eutrofización, estos se deben a la fijación alta de nitrógeno y carbono gracias a los ciclos biogeoquímicos. No obstante, las demás categorías tienen asociadas a ellas fuertes emisiones de contaminantes como  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , entre otros los cuales actúan como catalizadores para las mismas categorías. A partir de los resultados de ACV no es posible concluir la viabilidad de reemplazar el diesel fósil por diesel en su totalidad puesto que no se conocen los porcentajes de reducción de emisiones empleando biodiesel con respecto al diesel fósil, para ello se necesitaría un estudio comparativo de ACV

## RECOMENDACIONES

En los estudios de ACV realizar la etapa opcional que recomiendan las normas ISO 14040-14044 de normalizar y agrupar en un indicador los resultados obtenidos en el perfil medio ambiental, mediante el establecimiento de factores de normalización para las condiciones locales, e incluir un análisis económico de ciclo de vida del biodiesel.

En las zonas de cultivo en donde no se dispone de grandes extensiones de terreno disponibles para la siembra de la higuera, estudiar la posibilidad de una extractora in-situ tal que se reduzcan las emisiones generadas en el transporte de semillas de cada cultivo a la planta de extracción.

Es importante considerar el efecto de la utilización de otros cultivos que tengan altos rendimientos de semilla por hectárea, con el fin de realizar estudios comparativos que permitan soportar la toma de decisiones tanto en el aspecto ambiental como social

Realizar el Análisis de ciclo de vida del biodiesel a partir de aceite de higuera empleando la metodología de la cuna a la cuna para los escenarios que no fueron cubiertos en el presente estudio, incluyendo la presencia de plagas y sus métodos de erradicación para así definir las condiciones en las cuales el proceso de producción tiene el menor impacto en el ambiente

Profundizar la investigación en el campo de la fisiología del *Ricinus Communis Linnaeus*, en lo que respecta a la fijación de nutrientes tanto en la biomasa del vegetal como en el suelo como también investigar el uso de diferentes catalizadores sólidos ácidos y cuantificar las emisiones al medio ambiente producidas en la elaboración de dicho catalizador, de esta forma se logrará una apreciación más real del impacto ambiental generado en la transesterificación del aceite de higuera.

## **.BIBLIOGRAFIA**

ARDILA JAIME, Jorge Andres. Caracterización del biodiesel producido a partir de higuera y evaluación de las variables de proceso sobre el porcentaje de glicerina. 2008. Trabajo de grado (ingeniero químico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

AUDSLEY, Eric et al. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture: final report. European commission DG VI agriculture, 2003. 98 p.

ISO-14040. (1997). Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. International Organisation for Standardisation ISO. International standard. 14040. Geneva

BENAVIDES, Alirio. BENJUMEA, Pedro. PASHOVA, Veselina, el biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. Grupo Combustibles Alternativos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2007. 145 p.

BRICEÑO BUENO, Yolanda; PRADA GOMEZ, Azucena. Diseño y construcción de una planta piloto para la obtención de aceite de higuera. Bucaramanga, 1980, 140 p. Trabajo de grado (ingeniero químico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

CARRARETTO, C., MACOR, A., MIRANDOLA, A., STOPPATO, A. & TONON, S. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. Energy, 2004, 29, 2195-2211

CONCEIÇÃO, Marta M. y otros. Thermal and Oxidative Degradation of Castor Oil Biodiesel. UniVersidade Federal de Campina Grande.2006

CONCEIÇÃO, Marta M. y otros. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, 11, 964-975.

\_\_\_\_\_CORPOICA. Higuierilla: “alternativa productiva, energética y agroindustrial para Colombia”. Centro de investigaciones la selva-Rio Negro, Antioquia. Agosto 2008.

DEMIRBAS, Ayhan. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. *Energy Conversion and Management*, 2002, 43, 2349-2356

DEMIRBAS, Ayhan. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management*, 2007

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions draft technical report. Estados Unidos: EPA, 2002. 126 p.

FARIAS Fernando, Aspectos ambientales de los biocombustibles en Chile Depto. Control de la Contaminación CONAMA Gobierno de Chile Cámara de Diputados Jornada Temática: “Agroenergía en Chile: un marco regulatorio” Santiago, 11 de Diciembre 2006

FRANCA, Bruno B, et al. Liquid-liquid equilibria for castor oil biodiesel+glicerol+alcohol. *J. chem. Eng. Data*. 2008.

FUKUDA, Hideki., KONDO, Akihiko & NODA, Hideo. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2001, 92 (5), 405-416

GARCIA, Carlos Mario. Simulación de una planta de producción y purificación de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol usando el simulador comercial HYSYS PLANT 3.2. Bucaramanga 2007. Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

G. BOARA, Induced Surface Heterogeneity as an Autocatalytic Way To Promote Acid-Base Heterogeneous Reactions. Dipartimento di Ingegneria Nucleare, Politecnico di Milano.1996.

GIRALDO LEON, Sonia. Extracción de aceite de higuera por medio de solventes. 1978. Trabajo de grado (ingeniero químico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

GONZÁLEZ GARNICA, Julián; MORENO MOLANO, Leonel. Producción y purificación de biodiesel y glicerina, a partir de aceites vegetales y cinética de la reacción de transesterificación. Trabajo de grado (ingeniero químico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

ISO-14041. (1998). Environmental management-Life cycle assessment-Goal and scope definition and inventory analysis. International Organisation for Standardisation ISO. International standard. 14041. Geneva

ISO-14042. (2000). Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle impact assessment. International Organisation for Standardisation ISO. International standard. 14042. Geneva

ISO-14043. (2000). Environmental management – Life cycle assessment-Life cycle interpretation. International Organisation for Standardisation ISO. International standard. 14043. Geneva

JOHNS, W. R., KOKOSSIS, A. & THOMPSON, F. A flowsheeting approach to integrated life cycle analysis. *Chemical Engineering and Processing*, 2006

KUMAR, Avinash Agarwal. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2007, 33, 233-271

KUZYAKOV, Y; DOMANSKI, G. carbón input by plants into the soil review. En: *journal of plant nutrition and soil science*. Vol. 163, N° 4 (2000). P 421-431. Original no consultado. Resumen en : WILLEY interScience.

LAURETI, Domenico. Performance of castor (*Ricinus communis* L.) cultivars in Italy. *Industrial Crops and Products*, 1998, 7, 91-93

LUNDIE, Sven., PETERS, Gregory M. & BEAVIS, Paul C. Life cycle assessment for sustainable metropolitan water systems planning (2004). *Environ. Sci. Technol*, 38, 3465-3473

MA, Fangrui & HANNA, Milford A. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 1999, 70, 1-15

MEHER, L.C., SAGAR, D. Vidya & NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2006, 10, 248-268

MOHAMAD I. Ali O. Al-Shyoukh. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. Department of Agricultural Engineering & Technology, Jordan University of Science & Technology. 2002.

OGUNNIYI, D.S. Castor Oil: A vital industrial raw material. *Bioresource Technology*, 2006, 97, 1086-1091

PEDRAZA, Fabián Eduardo, Diseño de una planta para la producción de metilesteres a partir de aceite de palma y evaluación técnica, económica y ambiental del proceso. Tesis para optar el título de Ingeniero Químico UIS, Facultad de Ing. físicoquímicas, Escuela de Ingeniería química, 2006.

PLENTZ MENEGHETTI, Simoni M, et al. Biodiesel from castor oil: comparison of ethanolysis versus methanolysis. *Energy & fuels* 2006, 20, 2262-2265.

PLENTZ, Simoni M. & otros. Biodiesel from Castor Oil: A comparison of ethanolysis versus methanolysis. *Energy & Fuels*, 2006, 20, 2262-2265

RAMIREZ, Luis Enrique; CARDENAS, Diego Leandro. Evaluación del proceso de producción de la higerilla como alternativa energética de bajo nivel de contaminación ambiental. Bogotá, 2005, 101 p. proyecto de monografía (especialista en ingeniería ambiental). Universidad industrial de Santander. Especialización en ingeniería ambiental.

Republica, C.G.d.l., Bioetanol y Biodiesel: Los Combustibles Ecológicos en Colombia. Contraloría delegada sector minas y energía, 2005.

RODUIGUEZ, Jesus E. Diseño de una planta de extracción de aceite de higerilla. 1980. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica.

SCHOLZ, Volkhard & DA SILVAL, Jadir Nogueira. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass and Bioenergy*, 2006

School of Chemistry and Materials, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

SHAHID, Ejaz M. & JAMAL, Younis. A review of biodiesel as vehicular fuel. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2007

SHEENAN, John et al. life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Estados unidos: U:S: department of energy 1998.

SZYBIST, James P., SONG, Juhun., ALAM, Mahabubul & BOEHMAN, André L. Biodiesel combustion, emissions and emission control. Fuel Processing Technology, 2007, 88, 679-691

VARMA, Mahesh N. & MADRAS, Giridhar. Synthesis of Biodiesel from Castor Oil and Linseed Oil in Supercritical Fluids. Ind. Eng. Chem, 2007, 46, 1-6

WANG, Congwei., ZHOU, Shuailin., HONG, Xuelun., QIU, Tong. & WANG, Shudong. A comprehensive comparison of fuel options for fuel cell vehicles in China. Fuel Processing Technology, 2005, 86, 831– 845

WHITE, Jeffery L. heterogeneous catalysis in solid acids. Progress in nuclear magnetic resonance spectroscopy. 2007. 139-154 p.

YOUNG JUN PARK, JUNG-WOO PARK, AND CHUL-HO JUN. Metal-Organic Cooperative Catalysis in C-H and C-C Bond Activation and Its Concurrent Recovery. Department of Chemistry and Center for Bioactive Molecular Hybrid, Yonsei University, Seoul 120-749. 2007

## ANEXOS

### ANEXO A. SISTEMAS DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA

El enfoque ambiental del ACV trata los aspectos e impactos de un sistema del producto. Los aspectos e impactos sociales, generalmente están fuera del alcance del ACV. Se pueden combinar otras herramientas con el ACV para análisis más profundos.

Tabla A1. Herramientas utilizadas en los sistemas de gestión ambiental.

<b>RA-Risk Assessment</b>	<b>Análisis del Riesgo Ambiental</b>
<b>EIA-Enviromental impact assessment</b>	Estudio del impacto ambiental
<b>Eau-Enviromental Auditing</b>	Auditoría ambiental
<b>EPE-Enviromental PerformanceEvaluation</b>	Evaluación del comportamiento ambiental
<b>SFA-Substance Flow Analysis</b>	Análisis de flujo de sustancia
<b>EMA-Energy and Material Analysis</b>	Análisis de material y energía
<b>ISCM-Integrate Substance Chain Management</b>	Gestión integral de sustancia
<b>PLA-Product line Analysis</b>	Análisis de línea de producto
<b>LCA-Life Cycle Assessment</b>	Análisis de ciclo de vida

FUENTE: SETAC, 1999

“El análisis de ciclo de vida, realizado de acuerdo con los procedimientos estipulados en la serie de normas ISO 14040, es una herramienta de gestión ambiental que brinda una base sólida para que la dirección de una organización pueda tomar decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental y que sigan realizando igualmente la función para la que fueron programados.”(Romero, 2003)

El ACV es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV utilizan resultados de las otras fases. El enfoque iterativo en y entre las fases contribuye a la integridad y coherencia del estudio y de los resultados presentados.

Las decisiones en un ACV se basan preferentemente en las ciencias naturales. Si esto no es posible, se pueden utilizar otros enfoques científicos (por ejemplo, de las ciencias económicas y sociales) o se puede hacer referencia a convenciones internacionales.

Si no existe una base científica ni una justificación basada en otros enfoques científicos o en convenciones internacionales, las decisiones se pueden basar en juicios de valor.

### **Características fundamentales del ACV.**

- Evalúa en forma sistemática los aspectos e impactos ambientales potenciales de los sistemas de un producto con relación a una medida referencial.
- Naturaleza relativa debido a que el ACV depende de la unidad funcional dentro de la metodología.
- El nivel de detalle y la duración depende de la definición y alcance del ACV.
- La metodología está abierta a la inclusión de nuevos hallazgos científicos y mejoras en el estado del arte de la técnica.
- Es un método flexible de acuerdo con la aplicación prevista y los requisitos de la organización.
- Trata los impactos ambientales potenciales; el ACV no predice impactos ambientales absolutos o precisos debido a:

El Análisis de Ciclo de Vida puede colaborar en el desarrollo de:

- La selección de indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición.
- La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida.
- El mercadeo (por ejemplo, implementando un esquema de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental, o de una declaración ambiental de producto).
- El aporte de información en la toma de decisiones en la industria, en organizaciones siendo gubernamentales o no.

## **FASES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. (Normas ISO-14040)**

### **DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y DEL ALCANCE.**

El objetivo debe establecer una aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y al público que se predice comunicar los resultados de estudio.

El alcance deberá estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y el nivel de detalle del estudio sean compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo establecido.

El alcance incluye los siguientes puntos:

- Sistema del producto a estudiar.
- Funciones del sistema del producto
- La unidad funcional.
- Procedimientos de asignación.
- Categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación; y interpretación del impacto.
- Requisitos relativos a los datos
- Las suposiciones planteadas en el caso de estudio.
- Las limitaciones.
- La calidad de los datos.

### **Unidad funcional:**

Se deben especificar las funciones del sistema de estudio y cuantificar las salidas funcionales del sistema del producto, con el fin de proporcionar una referencia para todas las entradas y salidas del proceso.

Sistema del producto:

Conjunto de procesos que permiten la presencia del producto en el mercado.

Limites del sistema:

Los límites definen los sistemas del producto como modelos que describen los elementos claves de los sistemas físicos, definen los procesos unitarios a ser incluidos en el ACV.

Reglas de asignación:

La mayoría de los procesos industriales dan varios productos, los flujos de materiales o de energía, así como las descargas que le están asociadas en el medio ambiente deben ser imputados a los diferentes productos conforme a procedimientos claramente establecidos. La norma ISO 14040 señala una jerarquía (CIEMAT,2006):

1. Evitar la asignación por medio de:
  - a. La división del proceso en subprocesos y la recogida de los datos de entrada y salida relacionada con estos procesos.
  - b. La ampliación del sistema producto hasta incluir las funciones adicionales relacionadas con los co-productos. Es lo que se denomina evitar la asignación por extensión de los límites del sistema. Este método consiste en tener en cuenta las cargas ambientales que se producen en un sistema alternativo que proporciona el mismo servicio que el que proporciona el co-producto.
  
2. Cuando no se puede evitar la asignación, ésta se realizará de forma que refleje las relaciones físicas existentes entre los diferentes co-productos (asignación en base a relaciones físicas o asignación marginal). Este método de asignación consiste en medir los efectos de las cargas del sistema a cambiar en una pequeña cantidad la salida de un co-producto manteniendo el otro constante. Cualquier cambio que se produzca en las cargas del sistema, se asignará al producto que cambia.
  
3. Cuando no sea posible concretar una relación física, se deben asignar las entradas entre los distintos co-productos de forma que reflejen las otras relaciones que guardan entre sí. En este tipo de asignación se encuentran:

a. La asignación base a la composición: en este método se determina una propiedad común de los co-productos que es representativa de su función y las cargas ambientales se reparten en función de los valores relativos de esta propiedad.

b. La asignación en base al valor económico: en este método se eligen los valores económicos de los distintos subproductos en el punto en que se separan en el sistema.

### **ANÁLISIS DE INVENTARIO:**

Es la etapa que implica la recopilación de los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema del producto.

Este análisis es un proceso iterativo. A medida que se recopilan datos y se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos y limitaciones, que requieran cambios en los procedimientos de recopilación de datos, de manera que aún se puedan cumplir los objetivos de estudio.

Recopilación de datos. Este tipo de datos puede clasificarse en:

Las entradas de energía, de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas.

Productos, co-productos y residuos

Las emisiones al aire, vertidos al agua y a los otros aspectos ambientales.

Calculo de datos. Esta etapa incluye:

Validación de los datos recopilados.

- Relación de los datos con los procesos unitarios
- Relación de los datos con el flujo de referencia de la unidad funcional.

- En los cálculos de flujos de energía se debe tener en cuenta las diferentes fuentes de combustible y electricidad utilizadas, la eficiencia de la conversión y la distribución y uso del flujo de energía.

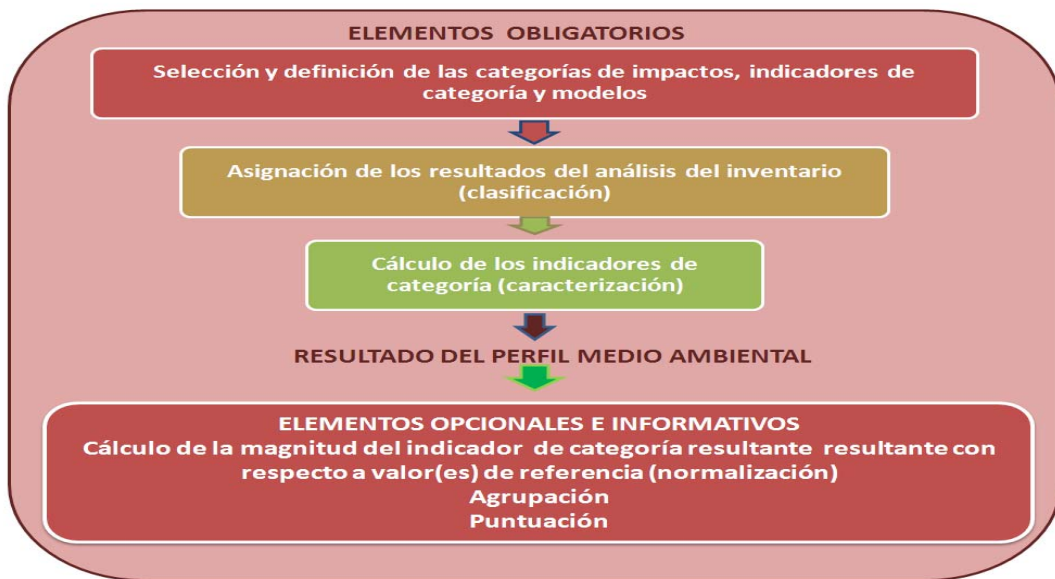
### **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV).**

Esta fase tiene como propósito evaluar los impactos ambientales potenciales más significativos utilizando los resultados del ICV. En este proceso se asocian los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de esas categorías para entender estos impactos.

Cuestiones tales como la elección, el modelado y la evaluación de categorías de impacto pueden introducir subjetividad en la fase del EICV. Por lo tanto, la transparencia es crítica en la evaluación del impacto a fin de asegurar que las suposiciones están claramente descritas e informadas.

Elementos que componen la valoración del impacto de ACV

Figura A1. Elementos de la fase EICV



Fuente. ISO 14042, 2000

En la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de la categoría y modelos de estimación, se busca definir los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema de estudio. En la asignación de los resultados del ICV se asignan con respecto a cada una de las categorías de impacto seleccionadas y en el cálculo de los indicadores de categorías (caracterización) consiste en modelar mediante los factores de caracterización de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto.

Los elementos considerados obligatorios son:

- Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.

- **Clasificación:**

Es esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.

- **Caracterización:**

Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización de los datos del inventario mediante cada una de las dichas categorías de impacto.

### **Limitaciones de la EICV**

La EICV no es una evaluación completa de todos los asuntos ambientales del sistema bajo estudio porque trata solamente los asuntos especificados en el objetivo y el alcance.

La EICV no siempre demostrará diferencias significativas entre las categorías de impacto y los resultados de sus indicadores correspondientes para diferentes alternativas de los sistemas del producto. Esto se debe a:

- Calidad inadecuada de los datos del ICV como incertidumbres o diferencias en los procedimientos de asignación y de agregación

- Desarrollo limitado de: modelos de caracterización, análisis de sensibilidad y de incertidumbre para la fase de la EICV.
- Establecimiento de los límites del sistema en la fase del ICV, que no incluye todos los procesos unitarios o entradas y salidas de cada proceso unitario.

La ausencia de dimensiones espaciales y temporales en los resultados del ICV introducen incertidumbre en los resultados de la EICV. La incertidumbre varía según las características espaciales y temporales de cada categoría de impacto.

### **Clasificación Categorías de impacto.**

**Tabla A2. Clasificación Categorías de impacto**

<b>Categorías de impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Escala Geográfica</b>
Agotamiento recursos abióticos (entrada)	Kg SB	Global
Energía (entrada)	MJ/Kg	Global
Uso del suelo (entrada)		Local
Cambio climático	Kg-eq. CO <sub>2</sub>	Global
Agotamiento Ozono (salida)	Kg-eq. CFC11	Global
Acidificación (salida)	Kg-eq. SO <sub>2</sub> Kg-eq. H <sup>+</sup>	Continental/regional/local Global
Eutrofización (salida)	Kg-eq. PO <sup>-3</sup>	Continental/regional/local
Formación foto-oxidantes	Kg-eq. etileno	Continental/regional/local
Toxicidad humana (salida)	Kg-eq. 124 DCB Kg-eq. Pb aire	Continental/regional/local Global
Toxicidad terrestre (salida)	Kg-eq. 124 DBC Kg-eq. Zinc aire	Continental/regional/local Global
Acuática marina (salida)	Kg-eq. 124 DCB	Continental/regional/local
Acuática agua dulce (salida)	Kg-eq. 124 DBC Kg-eq. Zinc agua	Continental/regional/local Global

Sedimento agua dulce (salida)	Kg-eq. 124 DCB	Continental/regional/local
Sedimento marino (salida)	Kg-eq. 124 DCB	Continental/regional/local

Fuente: Anton, 2004

### **Agotamientos de recursos abióticos**

Define la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales incluyendo recursos abióticos y energía.

$$AR = \sum_i F_i \times m_i$$

Donde AR es el indicador de agotamiento de recursos abióticos,  $m_i$  es la cantidad del recurso utilizado, en Kg,  $m_3$  o MJ, y  $F_i$  es el factor de caracterización de este recurso. Tradicionalmente su agotamiento se calculaba como la relación entre lo usado y la cantidad total de reserva de este recurso, siendo  $F_i$  la inversa de la reserva ( $Kg^{-1}$ ).

### **Uso del suelo**

A pesar de que ésta es una de las categorías que más importancia tiene para establecer la sostenibilidad de una actividad, no existe todavía un consenso sobre de qué indicadores usar. Debido a su propia complejidad. Por esta razón los indicadores más desarrollados hasta el momento guardan relación con la biodiversidad.

### **Cambio climático**

Es el impacto que produce el fenómeno en el cual la energía radioactiva absorbida por la tierra de los rayos solares que es redistribuida por la atmósfera y los océanos y que luego es absorbida por los gases existentes (gases invernaderos), produciendo así el calentamiento global; debido a que estos gases van poco a poco acumulando energía. Estos gases son principalmente el vapor de agua y el  $CO_2$ , y otros gases como  $CH_4$ ,  $N_2O$ , y CFCs. Esta categoría de impacto afectará a las áreas de salud humana, ambiente natural y ambiente modificado por el hombre. El indicador que sirve para evaluar este cambio se expresa como CCI, (Climate Change Indicator).

Su medida se hará relativa respecto al efecto producido por un Kg de CO<sub>2</sub> y se calculará mediante la ecuación:

$$CCI = \sum_i GWP_i \times m_i$$

Donde  $m_i$  es la masa de la sustancia  $i$  expresada en Kg y GWP es el potencial de calentamiento global, un factor desarrollado para comparar las emisiones de diferentes gases invernaderos. Se define como la relación entre la contribución a la absorción de calor resultante de la emisión de 1 Kg de un gas con efecto invernadero y la emisión equivalente de CO<sub>2</sub> a lo largo de un tiempo.

### **Agotamiento del ozono**

Es la categoría que cuantifica los potenciales de agotamiento de ozono para las diferentes sustancias que ayudan significativamente al aumento de este fenómeno medioambiental. El agotamiento del ozono trae consecuencias perjudiciales a la salud humana, producción agrícola, entre otros. El indicador del agotamiento de ozono, ODI, se calcula como la suma de los potenciales de agotamiento de ozono, ODPs, para las diferentes sustancias multiplicados por la masa en Kg de cada una de ellas.

### **Formación de oxidantes fotoquímicos**

Es la generación de compuestos químicamente reactivos formados en la troposfera bajo influencia de la luz ultravioleta, a través de reacciones de oxidación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y monóxido de carbono en la presencia de óxidos de nitrógeno. Los oxidantes fotoquímicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura. Para el cálculo del indicador de formación de foto-oxidantes, POI, se utiliza como factor de caracterización, POCP, photo chemical ozone creation potentials, se mide respecto al efecto producido por 1 Kg de etileno. Los NO<sub>x</sub> actúan como catalizadores en esta reacción química, no son por tanto consumidos, pero en función de la concentración de NO<sub>x</sub> se verá afectada la producción de foto-oxidantes.

$$POI = \sum_i POCP_i \times m_i$$

POCP se define como el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de un VOC y el cambio en la concentración de ozono debido a un cambio en la emisión de etileno.

### **Acidificación**

Consiste en la disposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmosfera, en el suelo y en el agua, dónde puede variar la acidez del medio, cosa que afectará a la flora y fauna que habita en él, produce deforestación y también puede afectar a los materiales de la construcción. El indicador de esta categoría de acidificación, AI, g-eq. H<sup>+</sup> se expresa como:

$$AI = \sum_i AP_i \times m_i$$

Donde  $m_i$  es la masa en Kg de la sustancia  $i$  y AP es el potencial de acidificación. AP de una sustancia  $i$  se puede calcular como el potencial de iones H<sup>+</sup> equivalentes que puede emitir dicha sustancia  $i$ . Las diferentes emisiones podrían ser sumadas basándose en su potencial de formar iones H<sup>+</sup>.

### **Eutrofización**

En esta categoría se incluyen los impactos debidos a un alto nivel de los macronutrientes (nitrógeno y fósforo). Su aumento puede representar un incremento significativo en la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO. Este consumo puede conducir a alcanzar unas condiciones anaerobias que provocaran la descomposición causada por bacterias anaeróbicas que liberan CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> (desaparece cualquier tipo de vida aeróbica).

### **Toxicidad**

Contempla los efectos sobre los humanos y los ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente. El indicador de toxicidad humana se representa por HTI y el de toxicidad acuático por ATI.

## **INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA**

Es la fase donde se agrupan o se asocian los resultados del análisis de inventario y los de la evaluación del impacto. La fase de la interpretación debe proporcionar resultados que sean coherentes con el objetivo y el alcance definidos, que lleguen a conclusiones, expliquen las limitaciones y proporcionen recomendaciones.

La interpretación debería reflejar el hecho de que los resultados de la EICV están basados en un enfoque relativo, indican efectos ambientales potenciales, no predicen los impactos reales en los puntos finales de categoría, ni se sobrepasan los umbrales, los márgenes de seguridad ni los riesgos.

La fase de interpretación puede involucrar un proceso iterativo de revisión y de actualización del alcance de un ACV así como la naturaleza y de la calidad de los datos recopilados de modo que sean coherentes. Los hallazgos de la interpretación del ciclo de vida deberán reflejar los resultados del elemento de evaluación.

## **ANEXO B. FUNDAMENTOS DE LA HIGUERILLA**

### **Descripción General**

La Higuera es una planta la cual está distribuida desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm. Se encuentra en el borde de los caminos, de las quebradas y de los ríos, en solares, en huertas y también sembrada en cultivos comerciales con todas las normas técnicas de la agricultura moderna.

Los frutos son pequeñas cápsulas recubiertas de púas que cuando maduran se abren elásticamente y proyectan las tres semillas ovaladas y aplanadas que contienen.

Las semillas son prensadas y sometidas a extracción por solventes para obtener aceite y torta. El residuo de la semilla triturada y molida cuando ya se ha extraído el aceite (lo que se denomina "torta") contiene una albúmina vegetal (una toxialbúmina) denominada *Ricina*, que es un veneno muy tóxico que dilata los vasos sanguíneos.

Para un cultivo comercial el desarrollo normal de la planta se consigue en climas cálidos y secos con precipitación de 700 a 1200 mm anuales y con baja humedad relativa.

### **Condiciones de cultivo**

El desarrollo del cultivo se basa primordialmente por variables climatológicas y requerimientos de nutrientes. La tabla B1 describe los rangos óptimos para el buen desenvolvimiento de la higuera, los cuales se extrajeron de los estudios desarrollados por Ramírez y Cárdenas. 2005 y EMBRAPA

Tabla B1. Composición de la semilla.

<b>COMPUESTO</b>	<b>%</b>
<b>ACEITE</b>	46,58
<b>ALMIDÓN</b>	20
<b>FIBRAS LEÑOSAS</b>	20
<b>AGUA</b>	7,09
<b>GOMA</b>	4,32
<b>RESINA BRUTA Y PRINCIPIOS AMARGOS</b>	1,51
<b>ALBÚMINA</b>	0,5
<b>TOTAL</b>	100

*Fuente: Ramírez y Cárdenas.2005*

### **Clima**

Las lluvias deben ser moderadas y bien distribuidas, abundantes en la etapa de desarrollo; la maduración y la cosecha deben coincidir con la época seca para que los racimos sequen uniformemente y no se desprendan los frutos antes de la recolección. Cuando las lluvias pasan los requerimientos mencionados la planta tiende a desarrollarse mucho vegetativamente con disminución en la producción.

En estado de floración y fructificación si se presentan abundantes lluvias puede haber pudriciones que pueden bajar los rendimientos de producción. La temperatura debe ser entre 20-26°C y requiere gran luminosidad.

La higuierilla no es exigente en suelos, se desarrolla bien en distintos lugares pero requiere de un buen drenaje y materia orgánica. Presenta un buen sistema de raíces que le permite explorar áreas relativamente profundas. Requiere pH entre 5-6.5.

La planta debe ser sembrada en terrenos con una inclinación no mayor al 15%, debido a que ésta posee poca capacidad de protección contra la erosión. Además de esta característica, el suelo debe ser arcilloso, con buen sistema de drenaje y con una composición de nutrientes que garantice una fertilidad alta (Soares,2006)

Tabla B1. Condiciones cultivo de higuierilla

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Altura	De 1500 a 2100 msnm
Clima	Templado Húmedo
Temperatura	18 - 22°C
Precipitaciones	600 a 800 mm
Humedad relativa	Baja
Suelo	Franco – arenosos, franco – arcillosos y franco – limosos pH >5,5
Brillo solar	7 horas diarias
Periodo de cosecha	180 días

Fuente. CORPOICA

Tabla B2. Caracterización del Aceite de Ricino.

Análisis fisicoquímico	Resultado
Apariencia	Aceite viscoso, transparente y de color amarillo
Densidad	0,9570
Valor ácido	10,20
Índice de yodo	83,34
Índice de Hidroxilo	167,80
Viscosidad a 37,80 °C	316,0
Viscosidad a 98,90 °C	40,0
Punto de inflamabilidad °C	321,66
Índice de saponificación	177,01

Fuente. CORPOICA

## ANEXO C. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE RICINO

El aceite de higuera es un triglicérido vegetal que se extrae de la semilla de la planta "*Ricinus Communis*" que se puede encontrar en muchas áreas tropicales y subtropicales. Comúnmente se conoce como Aceite de Ricino.

Entre los métodos de extracción se destacan por presión mecánica, extracción por solvente y la combinación de ambos que fue la escogencia de este trabajo. El aceite obtenido por presión mecánica es de color claro y no contiene ácidos grasos libres. Por este método solo es posible obtener el 45% del aceite mientras que el aceite remanente en la torta puede ser extraído con solvente que en este caso fue Hexano.

### Composición y propiedades

Es un líquido viscoso con un olor desagradable característico, una alta gravedad específica que lo distingue de otros aceites, es soluble en solventes orgánicos y es relativamente menos soluble en hidrocarburos alifáticos.

Es uno de los pocos glicéridos naturales casi puros, ya que el 90% aproximadamente corresponde al ácido ricinoleico (Ricinoleína) el cual contiene un doble enlace en la posición 9,10 y un grupo hidroxilo en el carbono N° 12. se encuentra presente en el aceite en un mayor porcentaje (Aproximadamente 70%) en forma de triglicérido y el restante en forma de di glicéridos y monoglicéridos.

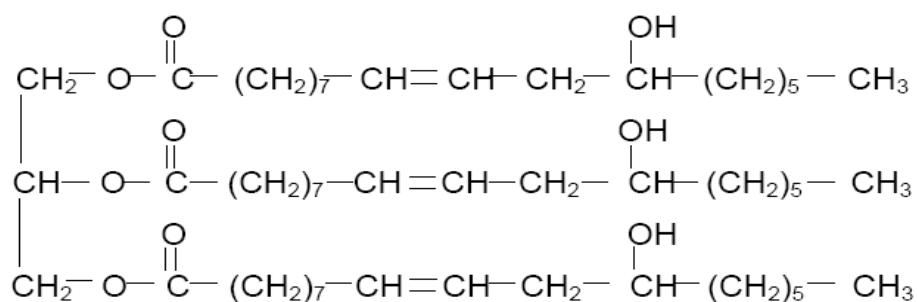


Figura C1. Estructura del Aceite de Ricino

## Molécula del triglicérido del ácido ricinoléico

El 10% restante incluye los ácidos grasos no hidroxilados como el linoleico, oleico, estearico, linolenico, palmitito y dihidroxiestearico. El ácido esteárico y el dihidroxiestearico se encuentran en pequeñas cantidades en el aceite de Higuierilla de grado industrial.

La gran propiedad química del aceite de Higuierilla o aceite de Ricino es que tiene tres grupos hidroxilos en el carbono 12 lo cual permite que sea un compuesto de fácil transformación.

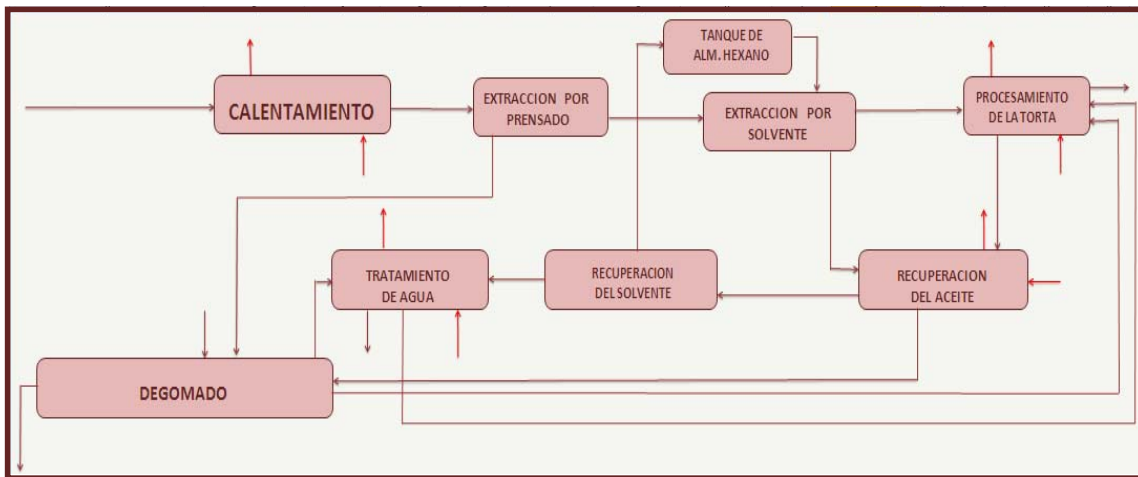


Figura C2 . Esquema general del proceso de extracción del aceite de higuierilla.

**Calentamiento:** El objetivo de este proceso es hacer que la semilla se torne más suave al dilatar sus membranas celulares. En esta etapa las semillas (178774,6149 ton/año) se colocan en contacto con aire caliente con el fin de incrementar su temperatura hasta 60°C, se siguió el proceso reportado por *RODRIGUEZ, Jesus E. (1980)*, del cual también se escalo el consumo energético.

**Extracción por prensado:** Consiste básicamente en someter a presión la semilla por medio de un equipo adecuado (prensa expeller), que permita al líquido escapar y que retenga al sólido en las superficies compresoras. Los productos obtenidos por este método son el aceite y un material seco conocido como torta. El aceite obtenido es enviado a tanques de almacenamiento y la torta resultante es enviada a la extracción por solvente con un aceite remanente del 18%.

**Extracción por solvente:** Este tipo de extracción sólido- líquido, se basa en la disolución del aceite (líquido) que forma parte de la semilla (sólido), usando un disolvente adecuado (hexano para nuestro caso en estudio), el cual es insoluble para el resto de sólidos. Se requiere fundamentalmente contacto del disolvente con el sólido a tratar para disolver el componente soluble o soluto y separación de la disolución y el inerte con la disolución adherida al mismo. El tipo de contacto empleado fue en contracorriente de varias etapas (10 etapas); para el cálculo de las etapas fue necesario conocer la curva de retención hexano-aceite GIRALDO, Sonia (1978). La torta que deja la extracción tiene un contenido de aceite de **0.9%** de aceite de higuera.

**Procesamiento de la torta.** La torta de salida de la etapa de extracción por solvente se coloca en contacto con vapor con el objetivo de inactivar algunas enzimas que lleva y retirarle el hexano que arrastra de la extracción con solvente y aceite en pequeñas cantidades, este vapor es condensado mediante un sistema de condensadores totales en los que se recupera el hexano y el agua. Luego la torta es enfriada con aire y enviada a la sección de almacenamiento para un posterior uso como abono orgánico para el cultivo de higuera.

**Recuperación del aceite.** La cantidad de aceite presente en la micela resultante de la extracción es concentrada por medio de evaporadores de efecto múltiple, dando un aceite de higuera crudo con pequeñas trazas de hexano y agua.

**Recuperación del solvente.** El hexano proveniente de las etapas de procesamiento de la torta y de la recuperación de aceite es enviado a un tanque sedimentador. De esta forma el solvente recuperado (fase liviana) es bombeado al tanque de almacenamiento del hexano puro, mientras que la fase pesada (agua) es bombeada a la sección de tratamiento de agua de la planta.

**Desgomado del aceite.** El material no saponificable (gomas) y los fosfátidos presentes en el aceite crudo deben ser removidos. Esto es hecho al mezclar el aceite con agua caliente, seguido por una remoción continúa de las gommas hidratadas en una centrífuga. El aceite se seca al vacío y las gommas colectadas en la fase acuosa son separadas del agua y retornadas al procesamiento de la torta.

## ANEXO D. TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE RICINO

El método más conocido y utilizado para sintetizar el biodiesel es la transesterificación, reacción entre un alcohol de bajo peso molecular y un triglicérido de un ácido graso. Esta reacción está influenciada por diferentes variables como lo son: la temperatura de reacción, el nivel de agitación, el tiempo de reacción, la concentración del catalizador y la pureza de la materia prima. La reacción se puede llevar mediante cuatro métodos básicos, los cuales se diferencian por el tipo de catálisis usada en la reacción: catálisis ácida, básica, enzimática o alcohol supercrítico. El empleo de los catalizadores en la reacción de transesterificación permite optimizar la velocidad de reacción y el rendimiento final de la misma.

El método conocido como catálisis básica es el más utilizado actualmente para sintetizar el biodiesel, debido a que reporta una velocidad de reacción mayor a la presentada usando catálisis ácida, y hay mayor facilidad de adquisición de la materia prima. Actualmente se conocen las limitaciones principales de la catálisis básica que corresponden a su bajo contenido de agua en la materia prima (<0.5 wt%), y también su bajo contenido de ácidos grasos (<1 wt%). Esto implica la necesidad de usar procesos adicionales de purificación de la materia prima, por lo tanto se eleva el costo y consumo energético en la producción de biodiesel, debido a que si se utiliza catálisis básica y no se dispone de un medio anhidro, la presencia de agua conllevará a la hidrólisis del triglicérido, es decir a la formación de ácidos grasos y no a la transesterificación de este; debido principalmente a que la constante de velocidad es mayor para el agua que para el alcohol. Y refiriéndose a la presencia de ácidos grasos libres, estos pueden reaccionar con el catalizador básico produciéndose la reacción indeseada de saponificación la cual implica más procesos de purificación posteriores.

Por lo tanto se estudia la posibilidad de usar catalizadores ácidos ya que presentan la ventaja de que no dependen del contenido de agua ni de ácidos grasos libres en la materia prima; su uso disminuye principalmente los procesos de purificación tanto de la materia prima como del producto final representando beneficios no solo económicos si no energéticos y ambientales. Como se mencionó, en la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, sin el cual no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, R-SO<sub>3</sub>), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO<sub>4</sub>/ZrO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>), básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: Candida, Penicillium, Pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. La reacción de transesterificación ocurre en tres etapas consecutivas y balanceadas como se muestra a continuación:

**Reacción Global**

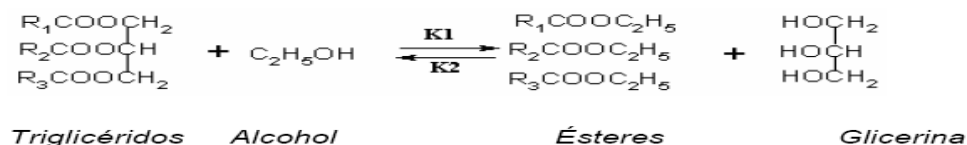


Figura D1. Reacción global de transesterificación. Fuente:

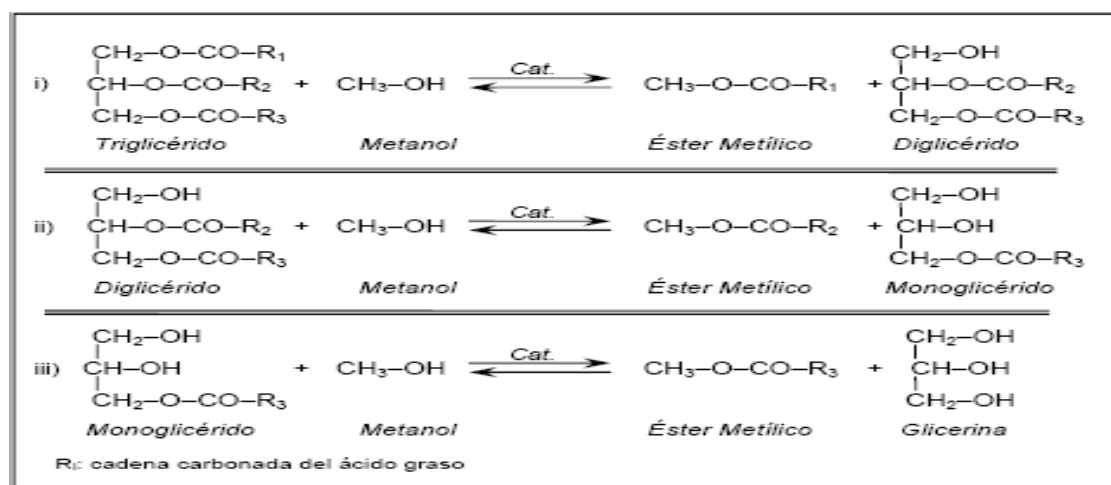


Figura D2. Reacción de transesterificación por etapas. Fuente:

## **CATÁLISIS ÁCIDA HOMOGÉNEA**

La reacción de transesterificación de aceites vegetales con alcoholes ligeros se ha de llevar a cabo bajo la acción de un catalizador que puede ser homogéneo, tanto ácido como básico, o heterogéneo. Los catalizadores ácidos homogéneos proporcionan un elevado rendimiento en estrés de ácidos grasos, pero la reacción es muy lenta, y requiere condiciones de temperatura y presión muy elevadas. Este tipo de catálisis es adecuada para el procesamiento de materias primas que contienen altos niveles de ácidos grasos libres, tales como las grasas animales y los aceites usados.

Los catalizadores ácidos simultáneamente pueden llevar a cabo las reacciones de esterificación (transformación de los ácidos grasos libres) y transesterificación. Los tiempos de reacción son mucho más lentos en comparación con la catálisis alcalina, hecho que se constituye en una limitante importante. Catalizadores en fase homogénea, el más investigado es el ácido sulfúrico, aunque también se han estudiado opciones como el HCl, BF<sub>3</sub> y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Los catalizadores homogéneos conllevan una serie de problemas por los aspectos de corrosión y las dificultades relacionadas con la separación y purificación de los productos. Por lo anterior se ha mostrado un interés creciente en el desarrollo de catalizadores sólidos entre los que se encuentran: compuestos orgánicos de estaño y titanio, acetatos alcalinos, ácidos de Lewis, carbonatos alcalinos, y carbonatos alcalinotérreos. Se utiliza bastante como un proceso de pre-esterificación. Utilización del glicerol para la obtención de aditivos (éteres de glicerol) que mejoren las propiedades del biodiesel.

## **ETANOL. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

En un sentido amplio, la transesterificación implica tres grupos diferentes de reacciones según un éster reaccione con un alcohol (alcohólisis), con un ácido carboxílico (acidólisis) o con otro éster (interesterificación).

La alcoholólisis implica la sustitución del grupo alquilo del éster por otro grupo alquilo, a través de la reacción del éster con un alcohol.

Las reacciones se describen en términos del alcohol reaccionante: metanólisis, etanólisis, etc. Para el alcohol escogido para la transesterificación, etanol, se presentan algunas ventajas muy notables frente al uso del metanol como lo son:

- Produce biodiesel con mayor índice de cetano y mayor lubricidad comparado con el biodiesel metílico.
- Se produce a partir de biomasa, por lo tanto produce un combustible 100% renovable.
- No es tan tóxico como el metanol
- Menor riesgo de incendios

Pero también presenta algunas desventajas como:

- Los ésteres etílicos poseen mayor afinidad a la glicerina dificultando las etapas de separación
- Posee azeotropía, cuando se mezcla con agua, con esto su deshidratación requiere mayores gastos energéticos y más equipos
- Los equipos del proceso de la planta con ruta metílica son cerca de un cuarto de volumen de los equipos para ruta etílica, para una misma producción y cantidad.

Una de las variables más importantes que afectan el rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiometría requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de biodiesel y un mol de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir el equilibrio al lado derecho (producción de ésteres).

## **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL**

Para la producción de biodiesel se tomó como materia prima el aceite de higuera que fue refinado en un proceso anterior.

Se inicia el proceso de obtención del biodiesel con el almacenamiento del aceite de higuera refinado para luego hacerlo reaccionar con un alcohol de bajo peso molecular, en este caso el "etanol", en presencia de un catalizador ácido homogéneo como lo es el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Este proceso de la obtención del biodiesel fue simulado en HYSYS 3,2<sup>®</sup>, utilizando el modelo UNIQUAC como paquete termodinámico, a continuación se describe detalladamente cada etapa del proceso simulado en HYSYS 3,2<sup>®</sup>.

### **Sistema de transesterificación.**

Para la reacción se tomó como referencia las relaciones reportadas por *Plentz Meneghetti, Simoni M. (2006)*. Tomando una relación molar aceite-catalizador, correspondiente a 10:2, con una temperatura de reacción de 80°C a 1 atm de presión. Para lograr esto se tiene que calentar el aceite en un intercambiador de tubo y carcasa, también se debe mezclar el ácido sulfúrico con el metanol previamente para que entren como una sola corriente al reactor de transesterificación. Este reactor tiene una línea adicional de energía la cual asegura que la temperatura del reactor siempre esté en 80°C para lograr la conversión más alta para esta reacción. Con el objetivo de asegurar altas conversiones y de desplazar el equilibrio de la reacción hacia el lado derecho se toma como relación molar de alcohol-aceite el valor de 30:1, obteniendo con estas condiciones de reacción una conversión de 75% (*Goodwin, James G., 2005*).

**Sistema de separación de fases.** Mediante un decantador se logra separar las dos fases que se obtienen después de la reacción de transesterificación que son la fase rica en biodiesel y la fase rica en glicerol.

Esta separación se logra gracias al uso de los coeficientes de binarios de interacción calculados mediante el modelo UNIQUAC, para el biodiesel de aceite de higuera el etanol, y la fase de glicerol (FRANCA, Bruno B, et 2008).

**Purificación de la fase rica en biodiesel.** La fase rica en biodiesel es enviada a una columna de destilación, en donde se recupera más del 98% de etanol que se presentaba en esta fase, y mediante un sistema de evaporadores se logra separar el biodiesel obtenido de la materia prima que aun no ha reaccionado y de las trazas de glicerol aun existentes en esta fase; gracias a un sistema de decantadores que precede este proceso de evaporación. Obteniendo un biodiesel de alta pureza (97%) y que cumple con la norma ASTM-D-6751

Tabla D1. Propiedades del Biodiesel

Propiedad	Unidad	Especificaciones	Método
<b>Propiedades como combustible</b>			
Densidad a 15°C	g/cm <sup>3</sup>	0.86-0.90	En ISO 3675 En ISO 12185
Viscosidad cinemática 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3.5-5.0	En ISO 3104
Punto de inflamación	°C	>101	ISO/CD 3679
Punto de obstrucción del filtro(POFF)	°C verano °C invierno	Max. 0 Max. < -15	DIN EN 116
Azufre	mg/Kg	Max. 10	
Residuo carbonoso conradson (10% residuo destilación)	% p/p	Max. 0.30	En ISO 10370
Índice de cetano	-	Min 51	En ISO5165
Contenido de cenizas	% p/p	Max. 0.02	ISO 3987
Contenido de agua	mg/Kg	Max. 500	ISO 12937
Partículas sólidas	g/m <sup>3</sup>	Max. 20	DIN 51416
Corrosión al cobre (3h/50°C)	-	Max. 1	ISO 2160
Estabilidad a la oxidación (110°C)	horas	6	Pr En 14112
<b>Propiedades como éster</b>			
Índice de acidez	mg KOH/g	Max. 0.5	Pr EN 14104
Contenido de metanol	% p/p	Max. 0.2	Pr EN 14110

<b>Contenido en monoglicéridos</b>	% p/p	Max.0.8	Pr EN 14105
<b>Contenido en di glicéridos</b>	% p/p	Max.0.2	Pr EN 14105
<b>Contenido en triglicéridos</b>	% p/p	Max.0.2	Pr EN 14105
<b>Glicerina ligada</b>	% p/p	Max. 0.2	Cálculo
<b>Glicerina libre</b>	% p/p	Max. 0.02	Pr EN 14105  Pr EN 14106
<b>Glicerina total</b>	% p/p	Max. 0.25	Pr EN 14105
<b>Índice de yodo</b>	-	Max. 120	Pr EN 14111

**Purificación de la fase rica en glicerol.** La fase rica en glicerol es enviada a un sistema de destilación en serie, representado por dos columnas de destilación las cuales se encargan de recuperar el 98% del etanol presente en esta fase. No se considero el sistema de purificación de la corriente de glicerol ya que no es este el sistema de estudio, y al intentar mejorar la pureza de esta fase el consumo energético de los equipos será mucho más alto. Mediante un sistema de evaporadores se logra separa el glicerol del material que no reacciono representado por monoglicérido y diglicérido

**Recuperación del etanol.** Teniendo en cuenta que la relación que se utilizo de alcohol aceite maneja un exceso bastante considerable de alcohol se hace necesario para el beneficio de todo el proceso recuperar ese alcohol y reciclarlo para mantener siempre la misma relación de alcohol, se mezclan las tres corriente provenientes de las dos torres de destilación de recuperación de alcohol de la fase rica en glicerol, y la corriente proveniente de la torre de destilación de la fase rica en biodiesel. Posteriormente se reciclan estas corrientes y se mezclan con la corriente de alcohol fresca, usando una bomba para asegurar la condición de presión de 1 ATM necesaria para la reacción.



## ANEXO E. EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN

### EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL DIESEL

La combustión del biodiesel produce emisiones, las cuales difieren del tipo de medio de transporte en el cual se causen. En la tabla E1 se registran las emisiones producidas en un camión de carga pesada.

Tabla E1. Emisiones de combustión del diesel para un camión de carga pesada

CONTAMINANTE	EMISIÓN (g/MJquemado)
Hidrocarburos	0,085
CO	0,32
No <sub>x</sub>	0,89
PM10	0,041
SO <sub>2</sub>	0,12
CH <sub>4</sub>	0,012
N <sub>2</sub> O	0,0019
CO <sub>2</sub>	75,5

Fuente: Universidad de Chile, 2007

### EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL BODIESEL

La EPA realizó un estudio de las emisiones producidas por la combustión del biodiesel en diferentes medios de transporte; en el cual se correlacionan para el transporte pesado las emisiones del material particulado (PM), del monóxido de carbono (CO), de los hidrocarburos (HC) y de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). En el estudio llevado a cabo por la EPA se obtuvo las correlaciones que implican la concentración de biodiesel con el porcentaje de cambio en las emisiones, y fue:

$$\% \text{ Cambio en emisiones} = [\exp(a * (\%v/v \text{ biodiesel})) - 1] * 100$$

La tabla E2 reporta los valores del coeficiente "a" para cada uno de los cuatro contaminantes

Tabla E2. Coeficientes para las correlaciones de emisión del biodiesel (EPA 2002)

CONTAMINANTE	COEFICIENTE "a"
NO <sub>x</sub>	0.0009794
PM	-0.006384
HC	-0.011195
CO	-0.006561

## ANEXO F. RESULTADOS DETALLADOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

### ANÁLISIS DE INVENTARIO

- ACTIVIDAD AGRICOLA

Tabla F1. Datos de la semilla

VARIEDAD DE SEMILLA	BLANCA JASPEADA	
DATOS	CANTIDAD	UNIDADES
CONTENIDO DE ACEITE EN LAS SEMILLAS	48	%
contenido de aceite en la torta de prensado	18	%
contenido de aceite en la torta de Ext. por ste.	0,9	%
productividad media	7,5	Ton.semilla/ha/año
semillas por Kg	950	semillas/Kg
relacion alcohol/aceite de ricino	30:1	molar
factor de correccion	1,000029769	
CALCULOS(en base a 100 Kg de semilla)	CANTIDAD	UNIDADES
aceite no extraido por prensado	8,64	Kg
aceite no extraido por el solvente	0,07776	Kg
cantidad de aceite recuperado	47,92224	Kg

Tabla F2. Cantidad de aceite requerido

DATOS CALCULADOS	CANTIDAD (Kg/h)	CANTIDAD (Ton/año)
Aceite requerido para la transesterificaciòn	9621,586975	84285,1019
Aceite requerido para la extracciòn	9637,199238	84421,86532
cantidad de semillas	20044,97286	175593,9623

Tabla F3. Cantidad de combustible gastado en la adecuaciòn del terreno

Etapas	h/ha	Gasto de combustible (gal/ha)	Gasto total de combustible (gal/adecuacion)	Total para el tiempo del estudio del ACV (gal)
Subsolagem	4	1,775E+01	4,156E+05	6,234E+06
Arado	4	1,775E+01	4,156E+05	6,234E+06
Gradagem	3	1,331E+01	3,117E+05	4,676E+06
Neutralizaciòn	0,5	2,219E+00	5,195E+04	7,793E+05
Sembrado	0,3	1,331E+00	3,117E+04	4,676E+05
Total combustible gastado en las diferentes etapas	16,8	7,456E+01	1,746E+06	2,618E+07

Tabla F4. Diesel consumido en el transporte en la etapa de adecuación del terreno

Distancia	Unidades	Cantidad	Diesel consumido [L/aplicación]	Total para el tiempo del estudio del ACV (L)
Transporte fertilizantes	km	3,714E+02	7,413E+04	8,895E+06
Transporte semillas	km	3,714E+02	1,192E+06	1,789E+07
Transporte Cal Dolomita	km	3,714E+02	3,180E+05	4,770E+06
Transporte combustible maquinaria	km	1,059E+02	1,322E+04	1,983E+05
<b>Total</b>	<b>km</b>	<b>1,220E+03</b>	<b>1,598E+06</b>	<b>3,175E+07</b>

Tabla F5. Resultados obtenidos para la adecuación e integración de los ciclos

Categoría	Asignación	Adecuación del terreno e integración de los ciclos	Extracción del aceite de ricino	Transesterificación del aceite	Distribución y uso del biocombustible	Total
Cambio Climático kg-eq. CO2	CO2	-72858346363	6300999514	1011313128	2,38031E+11	1,72485E+11
	CH4	1678302,351	105507731,1	41849235,67	1310247226	1459282495
	N2O	951216290,7	20716412,5	4016380,454	1919746138	2895695222
	CO	7685413,506	3159994,089	195139732,9	1589691673	1795676814
	Total	-71897766356	6430383651	1252318477	2,42851E+11	1,78636E+11
Acidificación kg-eq. H+	SO2	41005,53774	1126705,303	842346,5015	28616417,39	30626474,73
	NO2	509133,3885	446308,6163	79728,92435	42043598,28	43078769,21
	HCl	78,07704219	29385,85663	733,3639985	104452,1146	134649,4122
	HF	96,85253203	6702,95248	167,3035963	37691,81853	44658,92714
	NH3	248512,8197	20,42833491	0,01859618	18721,77263	267255,0393
Total	798826,6755	1609123,157	922976,1121	70820881,37	74151807,32	
Eutrofización kg-eq. PO4	Nitratos (NO3-)	1,030254013	161,1813264	137,1088837	2,058035612	301,3784998
	Nitrógeno (N2)	-8259943,519	0	0	0	-8259943,519
	Amonia (como N)	7358,888247	13618,49292	13618,49292	86630,53893	121226,413
	Amoniaco (NH3)	1474228,592	121,1850376	0,110316321	111061,363	1585411,25
	Dióxido de nitrógeno (N2O)	3008515,477	2637278,187	471125,4621	248439444,4	254556363,5
	Demanda Química de Oxígeno (DCO)	17541,00249	29037,02807	1335847,089	204291,6174	1586716,737
	Óxido Nitroso (N2O)	1646335,888	35855,32933	6951,427708	3322637,547	5011780,191
	Total	-2105962,642	2716071,404	1827679,691	252164067,5	254601855,9
Formación oxidantes fotoquímicos kg-eq. Etileno	Benceno	0,019281078	40801,70507	40801,70507	40787,06717	122390,4966
	Formaldehidos	1031,032318	270,3444141	7929,872303	258016,508	267247,7571
	Hidrocarburos (sin especificar)	22668,82194	46544,32464	13566,84915	47270075,55	47352855,54
	Hidrocarburos	347356,0055	75465,81523	55004,7227	70780313,9	71258140,45
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0
Total	371055,8791	163082,1894	117303,1492	118349193	119000634,2	
Efectos Respiratorios kg-eq. PM2,5	Monóxido de Carbono (CO)	5111,953842	2101,8705	129797,22	1057383,633	1194394,678
	Óxidos de azufre (SO2)	102349,8222	2812256,437	2102496,868	71426577,81	76443680,93
	Dióxido de nitrógeno (NO2)	2945700,319	2582214,137	461288,7766	243252247,2	249241450,4
	Amonio (NH4)	1287,048356	2381,835181	2381,835181	15151,43171	21202,15042
	Partículas (sin especificar)	18283,93123	28064586,61	111441,9269	23536263,55	51730576,02
	Óxido Nitroso (N2O)	1193375,749	25990,371	5038,865587	2408472,719	3632877,705
	PM10	955663,392	81115,3529	153683,5998	144156038,1	145346500,5
	Total	5221772,216	33570646,62	2966129,092	485852134,4	527610682,4
Energía No Renovable MJ Energía	Crude Oil	39879920314	18548602133	2,50313E+12	1,06063E+13	1,31679E+13
	Gas Natural	0	0	0	0	0
	Total	39879920314	18548602133	2,50313E+12	1,06063E+13	1,31679E+13

- **EXTRACCION DEL ACEITE**

Tabla F6. Datos calculados para la extracción del aceite

DATOS CALCULADOS		
CALCULO	CANTIDAD	UNIDADES
cantidad de hectareas requeridas	23412,53832	ha
aceite extraido del prensado	7889,70132	Kg/h
	69113,78356	Ton/año
aceite extraido por el solvente	1910,606818	Kg/h
	16736,91573	Ton/año
torta que sale del prensado	10152,77876	Kg/h
	88938,3419	Ton/año
torta de la extracción por solvente	1397,134608	Kg/h
	12238,89917	Ton/año

Tabla F7. Consumo de diesel para el transporte de insumos

Tipo de Transporte	Unidades	Distancia	Diesel consumido [L/año]	Total para el tiempo del estudio del ACV (L)
Transporte semillas a la planta	km	2,250E+02	7,224E+05	4,334E+07
Transporte H2SO4	km	2,250E+02	7,224E+05	4,334E+07
Transporte Hexano	km	4,628E+02	1,134E+06	6,806E+07
Total		9,128E+02	2,579E+06	1,547E+08

TablaF8. Consumo de energía

Proceso	Consumo Energético			Total ACV [Kw.H]
	kW	kJ/año	kW.h/año	
Calentamiento		1,41E+10	3,92E+06	2,35E+08
Extracción por prensado	2,640E+04	8,212E+11	2,281E+08	1,369E+10
Extracción por solvente			4,009E+05	2,405E+07
Procesamiento de la torta			2,223E+06	1,334E+08
Recuperación del aceite			4,231E+04	2,539E+06
Recuperación del solvente			5,788E+04	3,473E+06
Tratamiento de agua			0,000E+00	0,000E+00
Degomado			1,882E+05	1,129E+07
Total			2,350E+08	1,410E+10

Tabla F9 . Consumo de vapor

Proceso	Cantidad [Ton/año]	Total ACV [Ton]
extraccion por pensado	0,000E+00	0,000E+00
<i>extraccion por solvente</i>	<i>0,000E+00</i>	<i>0,000E+00</i>
Procesamiento de la torta	6,959E+03	4,175E+05
Recuperación del aceite	2,841E+03	1,705E+05
Tratamiento de agua	2273,20912	1,364E+05
Degomado	0,00E+00	0,000E+00
total	1,207E+04	7,244E+05

Tabla F10. Resultados obtenidos para la extracción del aceite

ETAPA	EXTRACCIÓN				
	Combustión	Producción vapor	Producción electricidad	Producción materias primas	
EMISIONES EN EL AIRE	Hidrocarburos[kg]	1,81E+05	3,63E+02	4,98E+04	1,54E+05
	CO [kg]	6,40E+05	1,06E+04	1,36E+06	4,04E+04
	NO2 [kg]	1,09E+06	4,32E+04	1,90E+07	1,58E+05
	PM10 [kg]	1,61E+05	7,63E+02	0,00E+00	1,95E+03
	SO2 [kg]	0,00E+00	2,45E+05	3,50E+07	6,30E+05
	CH4 [kg]	0,00E+00	5,25E+04	1,48E+07	1,68E+05
	N2O [kg]	0,00E+00	1,45E+02	1,13E+05	1,47E+04
	CO2 [kg]	8,76E+07	3,18E+07	6,14E+09	3,94E+07
	Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	2,17E-01	1,62E+05	5,85E+04
	Benceno [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,99E+01
	Formaldehidos [kg]	0,00E+00	3,03E-11	3,20E-04	9,21E+02
	Particulas (sin especificar) [kg]	0,00E+00	1,94E+01	2,79E+07	8,46E+04
	HCl [kg]	0,00E+00	1,03E-02	1,07E+06	2,57E+03
	HF [kg]	0,00E+00	1,28E-03	1,34E+05	3,21E+02
	NH3 [kg]	0,00E+00	5,94E-06	7,28E+00	3,39E+02
EMISIONES EN EL AGUA	Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	DBO5 [kg]	0,00E+00	2,58E-02	2,56E+04	1,32E+05
	DCO [kg]	0,00E+00	2,18E-01	2,17E+05	1,10E+06
	Metales (sin especificar) [kg]	0,00E+00	1,26E-03	1,62E+03	5,09E+03
	Amonia (como N) [kg]	0,00E+00	3,81E-03	6,31E+03	1,89E+04
	Nitratos (NO3-) [kg]	0,00E+00	3,26E-05	1,69E+03	1,79E+00
ENERGIA	Energía Primaria	0,00E+00	5,61E+08	9,73E+10	8,49E+09
	Energía Fósil	0,00E+00	5,61E+08	9,43E+10	8,48E+09

- **TRANSESTERIFICACION DEL ACEITE DE HIGUERILLA**

**Tabla F11. Consumo de energía**

<b>ENERGÍA ELECTRICA</b>				
<b>Proceso</b>	<b>Consumo Energético</b>			<b>Total ACV</b>
	<b>kW</b>	<b>kJ/año</b>	<b>kW.h/año</b>	<b>[Kw.H]</b>
Obtención del etilester	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Purificación del etilester	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Recuperación etanol	4,886E-02	1,541E+06	4,280E+02	2,568E+04
<i>Total</i>	<i>4,886E-02</i>	<i>1,541E+06</i>	<i>4,280E+02</i>	<i>2,568E+04</i>

**TablaF12. Consumo de vapor**

<b>VAPOR CONSUMIDO</b>		
<b>Proceso</b>	<b>cantidad de vapor</b>	<b>Total ACV [Ton]</b>
	<b>(Ton/año)</b>	<b>(Ton)</b>
Obtención del etilester	1,0102E-08	6,0613E-07
Purificación del etilester	1,0620E-06	6,3720E-05
Recuperación etanol		
<i>Total</i>	<i>1,0721E-06</i>	<i>6,4326E-05</i>

**Tabla F13.** Resultados obtenidos para la transesterificación del aceite de ricino

ETAPA		TRANSESTERIFICACIÓN			
		Producción vapor	Producción electricidad	Producción materias primas	Combustión
EMISIONES EN EL AIRE	Hidrocarburos [kg]	5,15E-08	1,45E-01	3,15E+04	6,17E+05
	CO [kg]	1,50E-06	3,95E+00	9,28E+05	2,18E+06
	NO2 [kg]	6,12E-06	5,53E+01	5,20E+06	3,70E+06
	PM10 [kg]	1,08E-07	0,00E+00	5,55E+04	5,46E+05
	SO2 [kg]	3,47E-05	1,02E+02	9,98E+07	0,00E+00
	CH4 [kg]	7,43E-06	4,30E+01	2,18E+07	0,00E+00
	N2O [kg]	2,06E-08	3,29E-01	5,10E+04	0,00E+00
	CO2 [kg]	4,51E-03	1,78E+04	2,84E+09	2,98E+08
	Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	3,07E-11	4,71E-01	8,92E+03	0,00E+00
	Benceno [kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,22E+02	0,00E+00
	Formaldehidos [kg]	4,29E-21	9,29E-10	1,60E+03	0,00E+00
	Particulas (sin especificar) [kg]	2,74E-09	8,10E+01	1,42E+06	0,00E+00
	HCl [kg]	1,46E-12	3,11E+00	5,41E+04	0,00E+00
	HF [kg]	1,82E-13	3,88E-01	6,77E+03	0,00E+00
	NH3 [kg]	8,42E-16	2,12E-05	3,47E-01	0,00E+00
EMISIONES EN EL AGUA	Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	DBO5 [kg]	7,28E-04	7,44E-02	1,12E+05	0,00E+00
	DCO [kg]	6,16E-03	6,30E-01	9,51E+05	0,00E+00
	Metales (sin especificar) [kg]	3,58E-05	4,70E-03	1,39E+04	0,00E+00
	Amonia (como N) [kg]	1,08E-04	1,83E-02	2,08E+04	0,00E+00
	Nitratos (NO3-) [kg]	9,21E-07	4,93E-03	2,86E+03	0,00E+00
ENERGIA	Energía Primaria [MJ]	7,95E-02	2,83E+05	2,53E+11	0,00E+00
	Energía Fósil [MJ]	7,95E-02	2,74E+05	4,03E+10	0,00E+00

**Tabla F14.** Resultados obtenidos en la distribución y uso

ETAPA		DISTRIBUCIÓN Y USO		
		Producción materias	Combustión	Uso
EMISIONES EN EL AIRE	Hidrocarburos [kg]	3,59E+07	7,38E+05	3,26E+08
	CO [kg]	7,49E+07	2,60E+06	9,35E+08
	NO2 [kg]	2,40E+08	4,43E+06	1,67E+09
	PM10 [kg]	3,29E+06	6,53E+05	2,65E+08
	SO2 [kg]	9,16E+08	0,00E+00	0,00E+00
	CH4 [kg]	1,87E+08	0,00E+00	0,00E+00
	N2O [kg]	1,23E+07	0,00E+00	0,00E+00
	CO2 [kg]	9,44E+10	3,56E+08	1,43E+11
	Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	2,44E+08	0,00E+00	0,00E+00
	Benceno [kg]	3,71E+05	0,00E+00	0,00E+00
	Formaldehidos [kg]	1,17E+06	0,00E+00	0,00E+00
	Particulas (sin especificar) [kg]	1,50E+08	0,00E+00	0,00E+00
	HCl [kg]	3,81E+06	0,00E+00	0,00E+00
	HF [kg]	7,54E+05	0,00E+00	0,00E+00
	NH3 [kg]	3,17E+05	0,00E+00	0,00E+00
EMISIONES EN EL AGUA	Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	DBO5 [kg]	1,10E+06	0,00E+00	0,00E+00
	DCO [kg]	9,29E+06	0,00E+00	0,00E+00
	Metales (sin especificar) [kg]	1,79E+04	0,00E+00	0,00E+00
	Amonia (como N) [kg]	1,60E+05	0,00E+00	0,00E+00
	Nitratos (NO3-) [kg]	2,17E+01	0,00E+00	0,00E+00
ENERGIA	Energía Primaria [MJ]	1,15E+13	0,00E+00	0,00E+00
	Energía Fósil [MJ]	1,15E+13	0,00E+00	0,00E+00