

**EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA EN
EL EJE CAFETERO.**

CAMILO JOSÉ CASTRO ORDUZ

RHAY KENNY FIGUEROA OREJARENA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

**EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA EN
EL EJE CAFETERO.**

CAMILO JOSÉ CASTRO ORDUZ

RHAY KENNY FIGUEROA OREJARENA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director

LEONARDO ACEVEDO DUARTE

Ingeniero Químico Ph.D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

A mi madre, a mi padre y a mi hermano por su cariño

sin límite y su constante apoyo.

A mi hermosa hija Siloia Catalina quien representa toda

mi fuerza para seguir adelante.

A mis amigos por que sin ellos la historia no se contaría igual.

Camilo José Castro Orduz

A Dios ofrezco este triunfo y agradezco esta gran oportunidad

*A mi madre "Ligia Orejarena" y a mi padre "Arnulfo Figueroa" por sus grandes
esfuerzos y consejos.*

A mis hermanos por compartir todo este tiempo

*Y todas aquellas personas que de una u otra forma dieron su granito de arena para mi
formación.*

Rhay Kenny Figueroa Orejarena

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el esfuerzo que hicieron durante toda nuestra carrera

A Dios que nos permitió día a día cumplir nuestras metas y formar parte de
esta prestigiosa universidad

Al Dr. Leonardo Acevedo por su colaboración y por todos sus consejos

A la Ing. Paola Acevedo por su disposición y confianza

A nuestros amigos que en cada momento difícil siempre estuvieron dispuestos
a extender una mano para ayudar.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA	3
1.1.1 Definición	3
1.1.2 Fases del análisis del ciclo de vida	4
2. METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA EL ACV	6
2.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL ACV	6
2.2 ALCANCE DEL ACV	6
2.2.1 Función del sistema del producto	6
2.2.2 Unidad funcional	6
2.2.3 Sistema del producto a estudiar	6
2.2.4 Límites de los sistemas funcionales	7
2.2.5 Reglas de asignación	8
2.2.6 Tipos de impacto y metodología de evaluación	8
2.2.7 Requisitos de los datos	9
2.3 ANÁLISIS DEL INVENTARIO	9
2.3.1 Actividad agrícola	9
2.3.1.1 Integración de los ciclo biogeoquímicos	11
2.3.1.2 Resultados del inventario para la actividad agrícola	11
2.3.2 Extracción del aceite de ricino	11
2.3.2.1 Aplicación de las reglas de asignación	12
2.3.2.2 Resultados del inventario para la extracción del aceite	13
2.3.3 Transesterificación del aceite de ricino	13
2.3.3.1 Aplicación de las reglas de asignación	15
2.3.3.2 Resultado del inventario para la transesterificación del	15

aceite	
2.3.4 Distribución y uso final del biocombustible	15
2.3.4.1 Resultados del inventario para la distribución y uso	15
3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE INVENTARIO	16
4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	18
4.1 SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO	18
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE INVENTARIO	19
4.3 CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	19
5. CONCLUSIONES	24
6. RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	33

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distancias para el transporte de las semillas	12
Tabla 2. Factores de asignación para la extracción del aceite	13
Tabla 3. Factores de asignación para transesterificación del aceite	15
Tabla 4. Resultados obtenidos para el análisis de inventario	16
Tabla 4.1. Resultados obtenidos para el análisis de inventario (cont.)	17
Tabla 5. Categorías de impacto	18
Tabla 6. Asociación de las diferentes emisiones a las categorías de impacto	19

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases del ACV de acuerdo a la ISO 14040.	5
Figura 2. Procesos implicados en el sistema de estudio	7
Figura 3. Procesos implicados en la actividad agrícola	10
Figura 4. Esquema general del proceso de extracción	11
Figura 5. Esquema general del proceso de transesterificación	14
Figura 6. Perfil medioambiental para el ACV	20
Figura 7. Emisiones consideradas para la categoría de cambio climático	21
Figura 8. Emisiones consideradas para la categoría de acidificación	22
Figura 9. Emisiones consideradas para la categoría de eutrofización	22
Figura 10. Emisiones consideradas para la categoría de formación de oxidantes foto-químicos y para la categoría de efectos respiratorios.	23

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de ciclo de vida	33
Anexo B. Fundamentos de la higerilla	44
Anexo C. Extracción del aceite de higerilla	50
Anexo D. Transesterificación del aceite de higerilla	55
Anexo E. Integración de los ciclo biogeoquímicos	64
Anexo F. Emisiones de la combustión	67
Anexo G. Resultados detallados del análisis de ciclo de vida	69

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA EN EL EJE CAFETERO.

AUTOR: CAMILO JOSÉ CASTRO ORDUZ, RHAY KENNY FIGUEROA OREJARENA.

PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA, BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA, CATALISIS HETEROGÉNEA ÁCIDA, IMPACTO AMBIENTAL.

DESCRIPCIÓN: Los combustibles fósiles son recursos no renovables y tienen un significativo poder contaminante en nuestro planeta; el consumo de estas energías y la conciencia de su uso perjudicial ha creado la necesidad de buscar otras fuentes energéticas alternativas que frenen o disminuyan las consecuencias medioambientales que produce el uso de este tipo de combustible; para esto se han creado varias herramientas con el objetivo de evaluar estos impactos.

Una de estas herramientas que es trabajada en el presente estudio es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Esta herramienta asocia los flujos de entrada y salida de todos los procesos y sustancias involucradas en el ciclo de vida de un producto, teniendo en cuenta desde las materias primas hasta su disposición final

En esta investigación aplica el Análisis de Ciclo de Vida de la cuna a la cuna, que tiene como objetivo o función la integración de los ciclos biogeoquímicos hechos por la naturaleza, la cual es aplicada a un sistema de producción de una energía alternativa: "Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Higuierilla que toma como escenario el Eje Cafetero en Colombia". También se analiza los flujos de materias primas, los flujos de energías consumidas y sus emisiones producidas en las etapas de: adecuación del terreno, extracción y refinado del aceite de higuierilla, transesterificación del aceite, purificación del biodiesel y su distribución y uso.

Las categorías de impacto evaluadas para la producción de 80.000 ton/año de biodiesel a partir de aceite de higuierilla usando catalisis acida heterogénea durante el tiempo horizonte del ACV que se tienen en cuenta son: cambio climático, acidificación, eutrofización, formación de oxidantes fotoquímicos, efectos respiratorios y energía no renovable dando como resultado el perfil medioambiental a partir del cual se plantearon soluciones orientadas a la reducción del consumo de energía y emisiones generadas en el ciclo de vida del biodiesel.

*Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Ph.D Leonardo Acevedo Duarte. Co-director Paola Acevedo.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM CASTOR OIL AT EJE CAFETERO.

AUTOR: CAMILO JOSÉ CASTRO ORDUZ, RHAY KENNY FIGUEROA OREJARENA.

KEY WORDS: Life cycle assessment, biodiesel from castor oil, heterogeneous catalysis acid, environmental impact.

Description: The Fossil fuels are non-renewable resources and have a significant contaminant power in our planet; the consumption of these energies and the awareness of its harmful use have created the need to seek for other alternative energy sources that stop or reduce the environmental impact produced by the usage of this type of fuel. Therefore it has been created several tools with the purpose of evaluate these impacts.

One of these tools is the Life Cycle Assessment (ACV) what we work with in the current study, this tool associates the input and output flows of all processes and substances involved in the product's life-cycle, taking into account the raw materials to its final disposal.

This research applies the Life-Cycle Assessment from cradle to cradle, which has as an objective or main function, the integration of the of biogeochemical cycles made by nature, which is applied to an alternative energy production system: "Biodiesel Production from castor oil", taking the stage as in Colombia "El Eje Cafetero". It also analyzes raw material flows, consumed energy flows and emissions produced in the steps of: field alignment, extraction and refining of castor oil, oil transesterification, biodiesel purification, distribution and use.

The impact categories evaluated for the production of 80.000 ton/year of biodiesel from castor oil using heterogeneous acid catalysis during the horizon time of ACV that are take into account are: climate variation, acidification, eutrophication, photochemicals oxidants formation, respiratory effects and non-renewable energy. Showing as a result, the environmental profile from which are set out the solutions aimed at the consumption decrease of energy and emissions generated by the Biodiesel Life-cycle.

*Project of Grade

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Manager Ph.D Leonardo Acevedo Duarte. Co-Manager Paola Acevedo

INTRODUCCIÓN

La situación ambiental es fuente de crecientes preocupaciones mundiales, diferentes contaminantes han venido aumentando exponencialmente su cantidad emitida al medio ambiente generando altos niveles de contaminación dentro de las grandes ciudades y el incremento de la lluvia ácida en varias regiones del planeta. Debido a esta preocupación y a la iniciativa de mejorar la calidad de vida de las generaciones futuras deteniendo el deterioro ambiental generado por la acción humana o aunque sea tratando de compensar los daños causados, se están impulsando diferentes investigaciones a nivel mundial sobre el uso de combustibles alternativos con el objetivo de disminuir el efecto causado por el uso desmedido de combustibles fósiles.

La reducción del uso de combustibles fósiles representa la posibilidad de disminuir las emisiones de gases que aceleran el deterioro ambiental. Se sabe que la combustión del combustible fósil genera gases como el CO₂ e hidrocarburos residuales, que pueden ir a la atmósfera en estado gaseoso, a veces sin quemar, impactando negativamente al medio ambiente generando una especie de bóveda opaca sobre la superficie terrestre, que opera produciendo lo que se conoce como "efecto invernadero". Esta bóveda absorbe el calor infrarrojo reflejado en la superficie terrestre, aumentando la temperatura del aire en las proximidades de la misma. El CO₂ en concentraciones crecientes eleva el coeficiente de captación de la atmósfera, y las radiaciones solares, reflejadas en el suelo o el mar al disminuir la longitud de onda, se estrellan contra la bóveda opaca de CO₂. Si continúa el incremento de este gas o de otros que también contribuyen al efecto invernadero, como es el caso de hidrocarburos como el metano en la atmósfera, se estima que la temperatura del planeta continuará aumentando creando un impacto ambiental muy negativo. Por lo tanto la utilización de los biocombustibles representa una

alternativa para aminorar dichos efectos en reemplazo total o parcial de los combustibles derivados del petróleo. Pero para que esta iniciativa se imponga de manera generalizada debe representar una salida económicamente viable y ambientalmente sostenible.

Se denominan biocombustibles, a aquellos obtenidos a partir de la biomasa producida por los organismos vivos (para el caso específico de las plantas: azúcares, almidones, aceites, celulosa, etc.). Dicho proceso consiste en que las plantas transforman la energía solar gracias a la fotosíntesis, para almacenarla como energía química en los órganos de la misma. Partiendo de estas materias primas y mediante procesos químicos se puede obtener el biodiesel.

Entre los diferentes proyectos de investigación que se desarrollan para definir una alternativa ambientalmente sostenible, se implementan diferentes metodologías, una de estas es el análisis de ciclo de vida, el cual permite cuantificar las entradas y emisiones medioambientales asociadas con la vida de un producto o servicio, además sirve como punto de referencia en la toma de decisiones y en la comparación de las diferentes alternativas disponibles para la producción.

Lo que corresponde evaluar, entonces, es si la generación de gases que ocasionará el proyecto de producción de biodiesel a partir de aceite de higuera será inferior a la generada por el combustible fósil que reemplazará, teniendo en cuenta todas las etapas necesarias para su producción desde adecuación, extracción, refinado y transporte hasta la llegada a las bocas de expendio. Resulta necesario considerar también, los efluentes de todo tipo que puede ocasionar la producción de biocombustibles, desde la etapa agrícola hasta su arribo a los centros de distribución y consumo para cuantificar la contaminación que puede ocasionar la fabricación de los insumos que su producción demanda.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta toda la información necesaria para comprender el desarrollo de la metodología del ACV.

1.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

La creciente conciencia respecto a la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. “El Análisis de ciclo de vida, realizado de acuerdo con los procedimientos estipulados en la serie de normas ISO 14040 (1999), 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”.

1.1.1 Definición. “El análisis de ciclo de vida, ACV (LCA en nomenclatura inglesa), estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. El ciclo de vida de un producto considera toda la historia del producto desde su origen como materia prima hasta su uso final como residuo. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, hasta llegar a la disposición final del mismo” (*Antón, 2004*). El SETAC-Society for Environmental Toxic and Chemistry (1999), define el análisis de ciclo de vida como: “Aquel proceso que sirve para evaluar las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso, o actividad mediante la identificación y cuantificación del consumo de energía, materiales y de los residuos vertidos al medio ambiente, para

identificar y evaluar las alternativas que puedan suponer mejoras medioambientales”.

Según la norma ISO 14040 (1999), “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema”.

1.1.2 Fases del análisis del ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida consta de cuatro fases:

a) Definición del objetivo y alcance del estudio:

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que lleva a realizarlo. El objetivo de un estudio de ACV debe aclarar las metas a las cuales se desea llegar, es decir, debe indicar la aplicación pretendida para realizar dicho análisis, junto con el destinatario a quién se va a comunicar los resultados. Por otra parte, en la definición del alcance del ACV, se deben definir varios aspectos, tales como: las funciones del sistema del producto, la unidad funcional, el sistema del producto a estudiar, los límites del sistema del producto, las reglas de asignación, los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a realizar, los requisitos de los datos, las hipótesis, las limitaciones y los requisitos iniciales de calidad de los datos.

b) Análisis del inventario:

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica se asocian estas entradas y salidas a efectos ambientales conocidos como “carga ambiental”. Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. En esta etapa se llevan a cabo los siguientes pasos prácticos:

- Trazar un diagrama de flujo inicial del proceso que permita apreciar de forma gráfica los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios.

- Agregar al diagrama de flujo los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía.
- Realizar los refinamientos necesarios en los límites del sistema establecido
- Compilar de los datos y procedimientos de cálculo
- Validar los datos con respecto a los objetivos y alcance definidos para el estudio.

c) Evaluación del impacto ambiental:

La estructura de esta fase viene determinada por la normativa ISO 14042, distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales (ver anexo A). Tiene como objetivo valorar los resultados del análisis de inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los impactos medioambientales.

d) Interpretación:

Es la fase final del ACV, en el cual se resumen y discuten los resultados de las dos fases anteriores, con el fin de realizar una evaluación de las incertidumbres, valorar la calidad de los datos y generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

Los cuatro elementos o fases que estructuran el ACV no solo son secuenciales, sino también son iterativos entre sí, como puede observarse en la figura 1. Así, el ACV es una herramienta iterativa que permite ir incrementando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones, representando una flexibilidad para el proceso de evaluación proporcionado por esta herramienta.

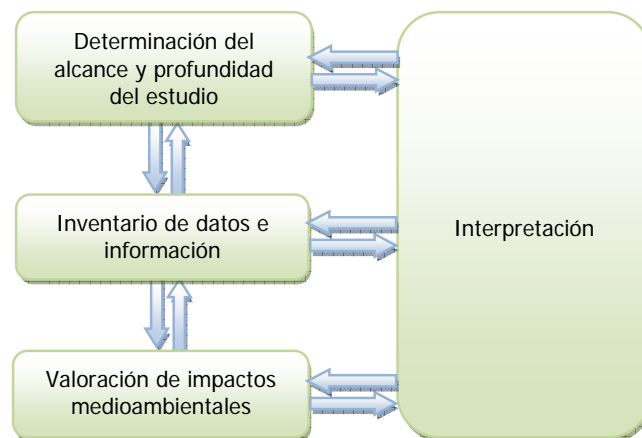


Figura 1. Fases del ACV de acuerdo a la ISO 14040.

2. METODOLOGÍA DESARROLLADA PARA EL ACV

A continuación se presentan los objetivos que se desean cumplir en el ACV junto con el desarrollo de cada una de las diferentes fases de este análisis según la normatividad propuesta en las normas internacionales ISO 14040-14044 adaptadas a la metodología de la cuna a la cuna.

2.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL ACV

El fin de este estudio es evaluar la viabilidad ambiental del sistema de producción de biodiesel a partir de aceite de higuera usando catálisis heterogénea en medio ácido, tomando como escenario el eje cafetero, a través de la técnica del ACV mediante la metodología de la cuna a la cuna. Se establece que el uso como biocombustible es en una mezcla B10. También se busca contribuir con los estudios que se realizan actualmente en la universidad industrial de Santander como parte del desarrollo de una tesis doctoral, y permitir la publicación de esta información mediante el presente texto.

El destinatario de este informe es cualquier persona interesada en la metodología del ACV.

2.2 ALCANCE DEL ACV

2.2.1 Función del sistema del producto. El uso del producto final es ser utilizado en vehículos que trabajen una mezcla con diesel de origen fósil y de origen vegetal, manteniendo la relación de mezcla B10.

2.2.2 Unidad funcional. Para poder contribuir con el desarrollo de los estudios que se llevan a cabo en la universidad industrial de Santander se tomó la capacidad de producción de la planta de biodiesel como 80.000 toneladas/año, se asume esta como unidad funcional.

2.2.3 Sistema del producto a estudiar. Los sistemas funcionales pertenecientes en el ACV del biodiesel son: adecuación del cultivo e integración de los ciclos biogeoquímicos, extracción del aceite de higuera

usando el método de prensado y extracción por solvente, transesterificación del aceite vía catálisis heterogénea en medio ácido, distribución y uso final del biodiesel en una mezcla B10 (ver figura 2).

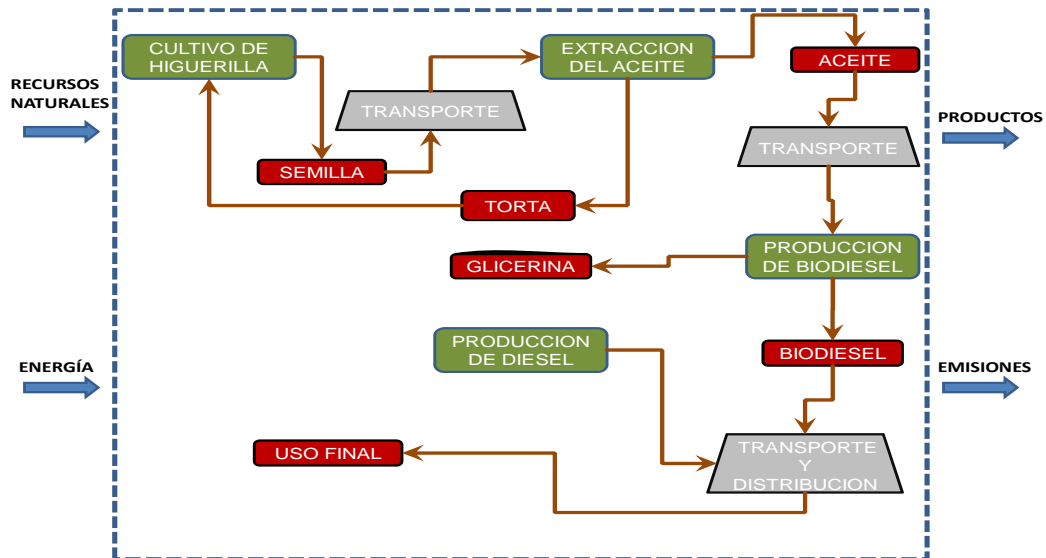


Figura 2. Procesos implicados en el sistema de estudio.

2.2.4 Límites de los sistemas funcionales.

- ❖ **Límites geográficos.** La investigación se limitó al uso del biodiesel en Colombia; también se propuso que el cultivo de la higuera se establecieran en diferentes puntos del eje cafetero, con el fin de manejar cultivos de climas y suelos similares, la planta extractora de aceite y la planta productora de biodiesel se ubicaron en Pereira-Risaralda.
- ❖ **Límites temporales.** Para hacer parte de los estudios comparativos de ACV que se desean desarrollar sobre cultivos oleaginosos en diferentes sectores de Colombia se tomó como horizonte del proyecto 60 años, con el objetivo de hacer una comparación 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 oleaginosos y en otros sectores de Colombia.
- ❖ **Límites del proceso.** El escenario establecido para el análisis está conformado por los siguientes parámetros:
 - Zona de cultivo: montañosa, húmeda.

- Localidad: eje cafetero: Risaralda (Ápia, Marsella y Santa Rosa de Cabal), Caldas (Palestina).
- Tipo de semilla a cultivar: blanca jaspeada (ver anexo C).

En cuanto al consumo de materias primas empleadas en los diferentes procesos que difieren a los insumos de la cadena de higuierilla, 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 higuierilla.

Para este estudio, las cargas ambientales relativas a la fabricación de la maquinaria e infraestructuras necesarias para la extracción, transporte y refino del crudo se han excluido del análisis porque su contribución al balance global es muy pequeña, menor del 1 % (*Sheehan et al, 1998, Deluchi, 1993*). Análogamente, las cargas ambientales relativas a la fabricación de la maquinaria agrícola, los vehículos de transporte, y las instalaciones de la transformación del cultivo oleaginoso y del aceite usado en el biodiesel quedan excluidas. Es importante señalar que en la producción agrícola los procesos de fabricación de maquinaria agrícola si pueden tener una aportación algo más significativa tal y como señalan *Audsley et al. (1997) y Deluchi (1993)*; sin embargo, se excluyen para lograr una coherencia con los demás estudios anteriormente realizados del ACV del biodiesel a partir de aceite de higuierilla.

2.2.5 Reglas de asignación. Las reglas de asignación se usan cuando en un proceso resultan varios productos (co-productos); de esta forma, cada uno tendrá una participación tanto en las entradas como en las salidas que se generan durante el proceso. De acuerdo con el procedimiento propuesto por la norma ISO 14040 para la extracción y la transesterificación del aceite se aplicó el método de asignación másica, regla basada en las fracciones presentes de cada co-producto en el flujo total de salida del sistema.

2.2.6 Tipos de impacto y metodología de evaluación. Siguiendo la metodología reportada por *Antón (2004)*, para la evaluación de los diferentes impactos ambientales se tienen en cuenta las siguientes categorías: cambio

climático, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación, eutrofización, efectos respiratorios y energía no renovable. (Ver anexo A)

2.2.7 Requisitos de los datos. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones son relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son incluidos en la producción agrícola de la semilla oleaginosa, en la extracción del aceite, en la obtención del biodiesel por medio de la transesterificación, y los procesos en la etapa de combustión del combustible en los motores. Para el caso de las emisiones resultantes y de la energía consumida en los procesos de producción de los insumos, electricidad, y vapor, al igual que los gases de combustión provenientes de los diferentes medios de transporte empleados en las distintas etapas del estudio, se utilizaron los datos de fuentes como *Sheehan J. et al., (1998)*; *CIEMAT, (2006)*. Se buscaron datos recientes y adaptados al área geográfica donde se consideraron los distintos subsistemas. Teniendo en cuenta que para los procesos en que no se encontraron datos primarios, se recurrió al uso de datos de fuentes ya publicadas.

2.3 ANÁLISIS DEL INVENTARIO

A continuación se reportan los datos de los impactos ambientales cuantificados, así como los consumos de energía de los diferentes procesos involucrados en el ciclo de vida del biodiesel obtenido a partir de aceite de higuera usando catálisis ácida heterogénea para cada etapa del proceso.

2.3.1 Actividad agrícola. En esta etapa se identifica y contabiliza los flujos ambientales y energéticos asociados con la producción de la semilla de higuera, se tiene en cuenta todas las labores relacionadas con la actividad agrícola, así como todos los procesos de producción, transporte de insumos agrícolas. (Ver figura 3)

❖ LIMITACIONES:

- El terreno en el cual se desarrollo el cultivo es de tipo montañoso y húmedo, no presenta vegetación alta. Se considero que el terreno seria productivo

durante cuatro años, después de este periodo se realizara una limpieza y se dejara el terreno por cuatro años en periodo de recuperación, por lo tanto 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” (CORPOICA, 2008). Este ciclo se repitió hasta terminar el tiempo de estudio del ACV. Se mantuvo un cultivo alternativo para suplir la producción de semilla que se dejo de obtener mientras el terreno estaba en reposo.

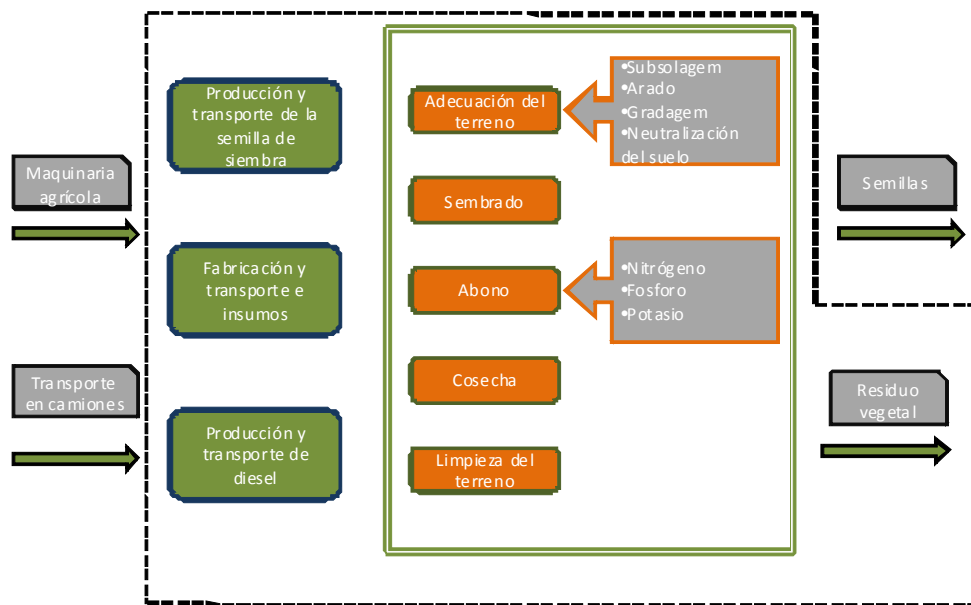


Figura 3. Procesos implicados en la actividad agrícola.

- La siembra se realizó mecanizadamente, pero para garantizar mayor densidad de higuerrilla por hectárea, la recolección de semillas fue de forma manual.
- Para el caso de los fertilizantes, la cal necesaria para neutralizar el suelo y las semillas iniciales para la siembra se adquirieron en Medellín-Antioquia, y se transportaron en camiones recorriendo una distancia de 371,41 Km. Las cantidades empleadas se encuentran reportadas en el anexo B.
- No se considero efectos por el uso de agroquímicos (herbicidas, pesticidas, insecticidas, entre otros) debido a que no se cuanta con datos referentes a estos y según la literatura su aporte es mínimo (Da Costa et al., 2005).

2.3.1.1 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 correspondiente a estos ciclos y el diagrama de flujo de cada uno, para las etapas consideradas en la cadena de producción de biodiesel se encuentra en el anexo E.

2.3.1.2 Resultados del inventario para la actividad agrícola. Para contabilizar los diferentes impactos para el tiempo de horizonte del ACV, se recolectaron los datos para las distintas entradas y salidas del sistema y se elaboro una hoja de cálculo en Excel®. Los datos se reportan en la tabla 4.

2.3.2 Extracción del aceite de ricino. En esta etapa se cuantificó los flujos de materia y energía relacionadas con el proceso de obtención de aceite refinado de semillas de higuierilla por medio de un sistema de extracción por prensado seguido de una extracción por solvente. También las emisiones correspondientes a la producción y transporte de las materias primas involucradas (ver figura 4).

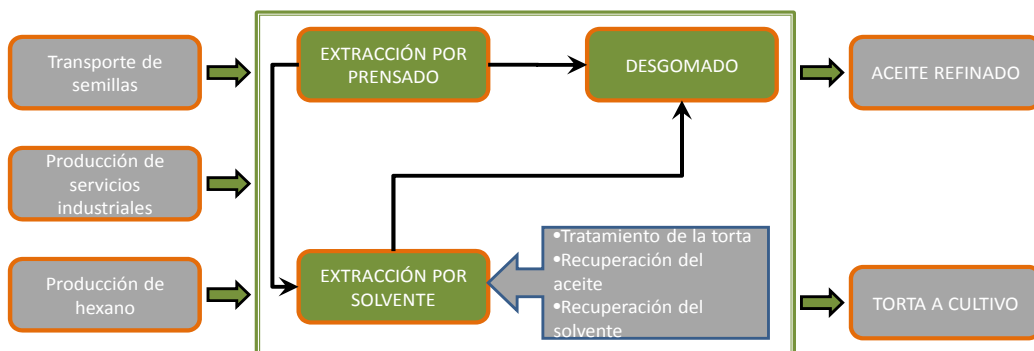


Figura 4. Esquema general del proceso de extracción.

❖ LIMITACIONES:

- El cultivo se encuentra dividido en diferentes 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; la tabla 1 muestra las distancias que deben recorrer los camiones.

- El hexano necesario para la extracción por solvente fue adquirido en la ciudad de Barrancabermeja recorriendo una distancia de 462,79 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.
- Debido a que la extracción por prensado solo recupera el 82% del aceite total contenido en las semillas, se usa también un sistema de extracción por solvente (hexano). Para retirar las impurezas existentes se somete el aceite crudo a un proceso de desgomado. En el anexo C se presenta una descripción más detallada de cada parte del proceso de extracción.
- Para el consumo energético del precalentador se tomo como referencia *BRICEÑO BUENO, 1980*. Los requerimientos energéticos de la prensa tipo expeller fueron escalados tomando como referencia Barragán y Cepeda, 1979. Los requerimientos energéticos de la extracción por solvente fueron escalados tomando como referencia el proceso reportado por *Sheejan J. et. al. 1998*. Este estudio incluye la extracción del aceite, el procesamiento de la torta, la recuperación del aceite y del solvente.

DISTANCIAS RECORRIDAS EN EL TRANSPORTE DE LAS SEMILLAS		
Municipio	Departamento	Distancia hasta Pereira (Km)
Apia	Risaralda	74,53
Marsella	Risaralda	31,36
Santa Rosa de Cabal	Risaralda	30,0
Palestina	Caldas	13,0

Tabla 1. Distancias para el transporte de las semillas.

2.3.2.1 Aplicación de las reglas de asignación. En esta etapa de extracción del aceite se obtiene como resultado además del aceite de ricino refinado, algunos co-productos los cuales tienen un porcentaje de participación en las emisiones y en el consumo energético. La tabla 2 muestra los factores de asignación para la extracción.

SUSTANCIA	%
Aceite de ricino refinado	52,79
Torta	47,21
Total	100

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

2.3.2.2 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® donde se cuantificaron las variables de estudio. La tabla 4 muestra un resumen de las emisiones y consumos energéticos.

2.3.3 Transesterificación del aceite de ricino. Este proceso se fundamenta en la reacción de transesterificación del aceite de ricino con metanol en presencia de sulfato de zirconio como catalizador (*Goodwin James G. Jr. et. al. 2008*), lo cual da como resultado el metil ricinoleato (biodiesel) y la glicerina (ver anexo D). Se consideró una pre-esterificación de los ácidos grasos libres existentes en el aceite de higuierilla. 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).

❖ LIMITACIONES:

- “Como se mencionó anteriormente el biodiesel se obtuvo mediante la reacción de transesterificación, vía alcoholísis con metanol. La reacción de transesterificación se llevó a cabo a una temperatura de 120°C y una presión de 6,8 atm. Se desarrolló una pre-esterificación de los ácidos grasos libres a una temperatura de 75°C y una presión de 4,44 atm. Manteniendo como se cita en la fuente una relación de alcohol-triglicérido de 12:1, y la cantidad de catalizador usado corresponde al 10% en peso total de triglicérido alimentado (triricinoleína). Para la reacción de pre-esterificación se manejo una conversión de 65% y para la reacción de transesterificación 74%” (*Goodwin James G. Jr. et. al. 2008*).
- En el proceso de obtención de biodiesel no se asignaron cargas ambientales y consumos energéticos a los co-productos debido a que no corresponden al sistema de estudio.

- En cuanto al catalizador utilizado en el proceso no se tomaron en cuenta los impactos ambientales producidos en su fabricación porque no se encontraron datos disponibles en la literatura sobre estos impactos, y porque la ventaja principal del catalizador sólido es que puede ser regenerado para su posterior reutilización (ver anexo C), la cual conlleva a que los impactos generados en su fabricación no se consideren pertinentes.
- El proceso completo para la obtención del biodiesel fue simulado en ASPEN HYSYS®, 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*.
- Los requerimientos fueron calculados a partir de la simulación en ASPEN HYSYS® para una planta de producción de 80.000 ton/año de biodiesel.

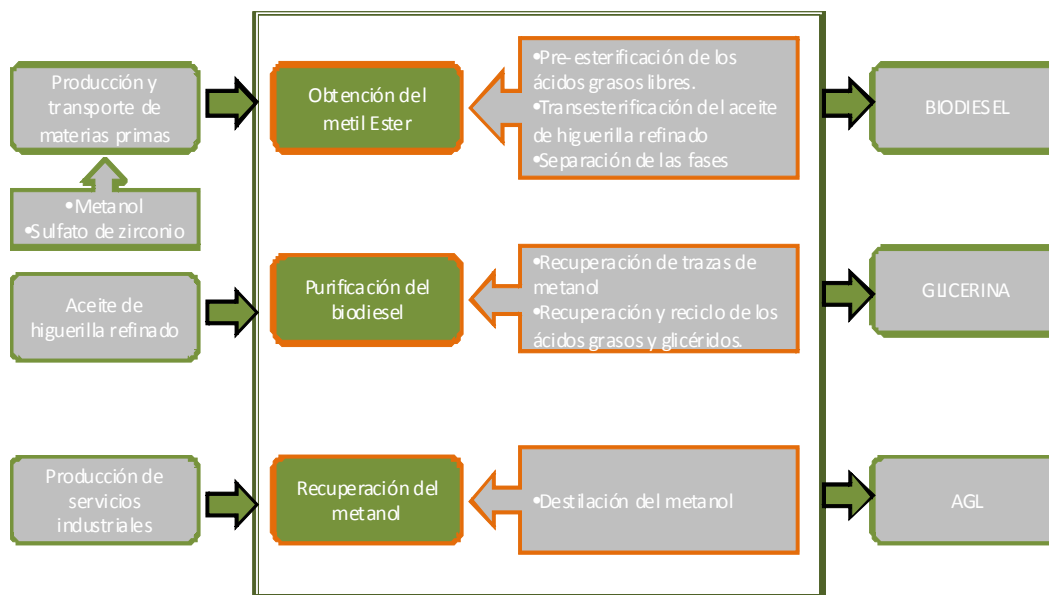


Figura 5. Esquema general del proceso de transesterificación.

- Para los insumos que requieren importación (metanol y sulfato de zirconio) se consideran únicamente las emisiones causadas por transporte en los límites geográficos del ACV. El metanol fue transportado en cisternas de capacidad 15.000 L, desde la ciudad de Cartagena una distancia de 824,46 Km. El sulfato de zirconio también es transportado desde Cartagena en camiones de 15 Ton.

2.3.3.1 Aplicación de las reglas de asignación. Las reacciones que se llevan a cabo en la obtención del biodiesel (pre-esterificación y transesterificación) dan como resultado a parte de biodiesel la glicerina, y una pequeña cantidad de ácidos grasos. Los factores de asignación másica hallados a partir de los balances de masa se encuentran en la tabla 3.

SUSTANCIA	%
Biodiesel	91,58
Glicerina	8,10
AGL	0,32
Total	100

Tabla 3. Factores de asignación para transesterificación del aceite.

2.3.3.2 Resultado del inventario para la transesterificación del aceite. Los datos obtenidos de la simulación en ASPEN HYSYS® para todas las etapas de la transformación del aceite en biodiesel fueron llevados a una hoja de cálculo en Excel® donde se procesaron. Los resultados del inventario se observan en la tabla 4.

2.3.4 Distribución y uso final del biocombustible. 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.

❖ LIMITACIONES:

- El biodiesel obtenido a partir de aceite de higuera se transportó hasta los sitios de almacenamiento en Bogotá recorriendo una distancia de 400,04 Km en cisternas de 15.000 L; en esta ciudad se mezcla con el diesel de origen fósil. El transporte hasta las estaciones de servicio se realizó igualmente en cisternas de 15.000 L.
- Para calcular las emisiones producidas en la combustión del biodiesel se aplicaron los modelos propuestos por EPA, 2002 (ver anexo F).

2.3.4.1 Resultados del inventario para la distribución y uso. En la tabla 4 se reportan los requerimientos energéticos y las emisiones para esta etapa.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE INVENTARIO

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.

Etapa		adecuación del terreno e integración de los ciclos	Extracción del aceite de ricino	Transesterificación del aceite	Distribución y uso	Total
emisiones en el aire (Kg)	Hidrocarburos	1,9016E+06	3,0906E+05	2,8952E+05	2,8492E+08	2,8742E+08
	CO	5,0200E+06	1,7560E+06	1,3117E+06	9,9871E+08	1,0068E+09
	NO2	2,3691E+07	1,8993E+07	3,8070E+06	1,9287E+09	1,9752E+09
	PM10	1,8173E+06	1,1038E+05	2,4616E+05	2,3645E+08	2,3862E+08
	SO2	2,1144E+06	3,3818E+07	3,7436E+07	8,5893E+08	9,3229E+08
	CH4	5,1849E+05	1,4199E+07	8,1940E+06	1,7521E+08	1,9812E+08
	N2O	6,2340E+06	1,1332E+05	1,9600E+04	1,1335E+07	1,7702E+07
	CO2	-1,8311E+11	5,9533E+09	1,4675E+09	2,2448E+11	4,8789E+10
	Hidrocarburos (sin especificar)	1,1407E+05	1,7253E+05	3,8934E+03	2,2879E+08	2,2909E+08
	Benceno	1,3591E+02	2,1908E+01	4,2349E+01	1,6429E+05	1,6449E+05
	Formaldehidos	2,9804E+03	2,8862E+02	5,5918E+02	9,1443E+05	9,1826E+05
	Particulas (sin especificar)	1,9342E+05	2,6589E+07	5,6589E+05	1,4037E+08	1,6772E+08
	HCl	5,8240E+03	1,0193E+06	2,1585E+04	3,3911E+06	4,4378E+06
	HF	9,9058E+02	1,2741E+05	2,6989E+03	5,2356E+05	6,5466E+05
	NH3	4,2884E+06	3,9443E+02	1,3959E-01	1,1427E+05	4,4030E+06

Tabla 4. Resultados obtenidos para el análisis de inventario.

Etapa		adecuación del terreno e integración de los ciclos	Extracción del aceite de ricino	Transesterificación del aceite	Distribución y uso	Total
emisiones en el agua (kg)	DBO5	9,7044E+04	9,6792E+04	3,3048E+04	2,9524E+07	2,9751E+07
	DCO	7,7486E+05	8,0057E+05	2,7971E+05	2,4982E+08	2,5167E+08
	Metales (sin especificar)	1,4902E+04	4,2575E+03	4,4589E+03	4,6564E+06	4,6800E+06
	Amonia (como N)	1,3236E+04	1,6103E+04	5,7407E+03	4,4333E+06	4,4684E+06
	Nitratos (NO ₃)	1,0632E+01	1,6168E+03	5,9397E+02	7,7453E+04	7,9675E+04
	Agroquímicos (sin especificar)	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00
energía (MJ)	Energía Primaria	4,9671E+10	9,7771E+10	9,4233E+10	1,0312E+13	1,0554E+13
	Energía Fósil	2,8516E+10	9,4876E+10	9,4175E+10	1,0307E+13	1,0524E+13

Tabla 4.1.Resultados obtenidos para el análisis de inventario (continuación).

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En este capítulo se reúnen los datos del análisis de inventario para evaluar el impacto ambiental asociado con las emisiones y usos de las fuentes naturales. A continuación se seleccionan, clasifican y caracterizan los resultados del análisis de inventario.

4.1 SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO

Primero deben determinarse que categorías de impacto van a ser consideradas, para posteriormente evaluar la importancia de los potenciales impactos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario. Para ello se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad de los datos y a la relevancia reportada por otros autores (*Antón, 2004; CIEMAT, 2006*). En el anexo A se encuentra la definición de cada categoría de impacto, y su respectivo método para cuantificarla. En la tabla 5 se reporta el indicador y el factor de caracterización para cada una de las categorías de impacto. Mediante el siguiente modelo se representa la forma general para contabilizar cada una de las categorías.

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

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

Tabla 5. Categorías de impacto. Fuente: Antón, 2004.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE INVENTARIO

En esta etapa se asocia cada intervención ambiental con las categorías de impacto en las que tiene efecto. La tabla 6 contiene esta asociación junto con los factores de caracterización.

Tabla 6. Asociación de las diferentes emisiones a las categorías de impacto (Antón, 2004).

SUSTANCIA	GWP	AP	EP	POCP	REP	NREP
CO ₂	1	n.c	n.c	n.c	n.c	n.c
CH ₄	7	n.c	n.c	0	n.c	n.c
N ₂ 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 ₃	n.c	0.059	0.35	n.c	n.c	n.c
NO ₂	n.c	0.022	0.13	n.c	0.1273	n.c
SO ₂	n.c	0.03125	n.c	n.c	0.078	n.c
NO ₃ ⁻	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 ₄	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 ₁₀	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 CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Con la tabla 5 y la ecuación del modelo para contabilizar las categorías de impacto, se calcula el porcentaje de participación que tiene cada una de las etapas consideradas para la producción del biodiesel en las diferentes categorías de impacto. En la figura 6 se observa el perfil medioambiental del ACV que es descrito a continuación.

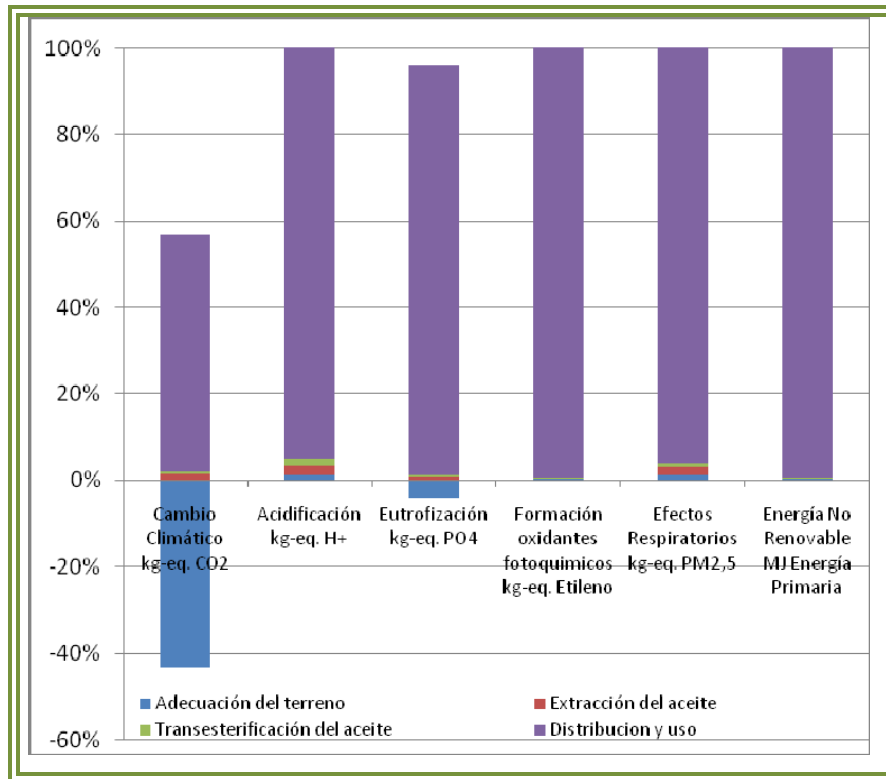


Figura 6. Perfil medioambiental para el ACV.

En cuanto al cambio climático se puede observar una participación significativa de la etapa de adecuación del terreno e integración de los ciclo biogeoquímicos, presentando un impacto positivo que se debe a la disminución de Kg-eq de CO₂ emitidos a la atmosfera. Efecto contrario que se presenta en las otras etapas obteniéndose un impacto negativo marcado por la etapa de distribución y uso.

Para mayor comprensión del impacto ambiental generado es necesario analizar con más detalle el efecto producido por cada categoría. En la siguiente gráfica se observan las diferentes participaciones que se consideraron para la categoría de cambio climático.

Esta categoría tiene en cuenta la participación de las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O y CO. Por sustancias se observa las emisiones en el aire de CO₂ una vez descontado el aporte negativo de la cantidad de CO₂ fijada por el cultivo aporta una contribución del 89,49% al total de la categoría considerada. La segunda sustancia en importancia es la emisión en el aire de N₂O que contribuye en un 5,06%. La contribución por parte de las emisiones de CH₄ y CO corresponde al 2,54% y 2,89% respectivamente (ver figura 7).

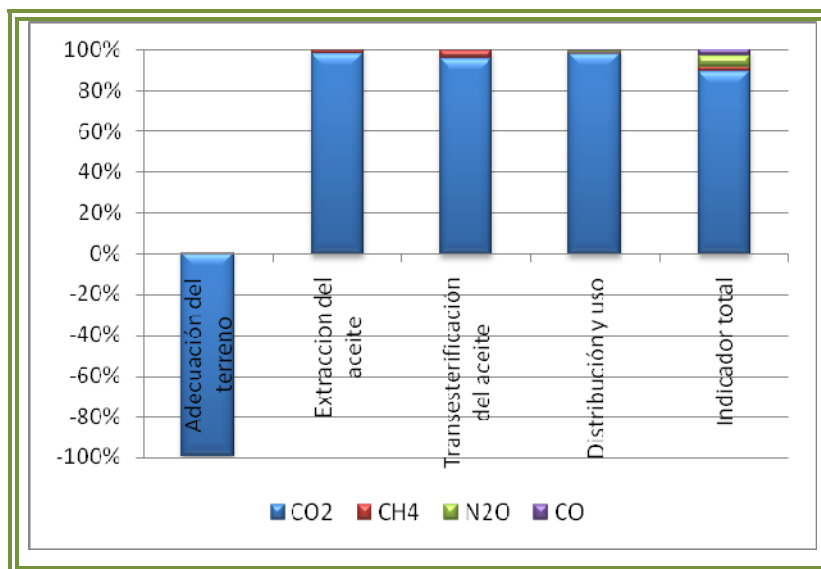


Figura 7. Emisiones consideradas para la categoría de cambio climático.

En la categoría de acidificación la participación más alta la tienen las emisiones de NO₂ con un 59,52% del total de la categoría considerada, seguido de las emisiones de SO₂ con una contribución del 39,9% respecto al total de la categoría, la contribución representada por las emisiones de HF, HCl y NH₃ son prácticamente nulas para esta categoría de impacto (ver figura 8).

En la categoría de eutrofización se observa una contribución negativa por parte del N₂, esto se debe a que representa en nitrógeno que se fija al suelo en el proceso biogeoquímico el cual fija el 6,23% al suelo del total de la categoría considerada. Las emisiones más altas están representadas por el NO₂ con una participación del 88,82%, las demás sustancias representan participaciones muy bajas (ver figura 9).

Para la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos las emisiones representadas por los diferentes hidrocarburos son la causante mayoritaria del

impacto con una contribución del 55,65% para hidrocarburos y del 44,12% para hidrocarburos sin especificar (ver figura 10).

En la categoría de efectos respiratorios se observan tres grandes contribuciones representadas por las emisiones de NO₂ con una contribución del 52,02%, un 22,45% para las emisiones de PM₁₀ y un 15,04% para las emisiones del SO₂. El resto de emisiones tienen una contribución baja para el total de la categoría (ver figura 10).

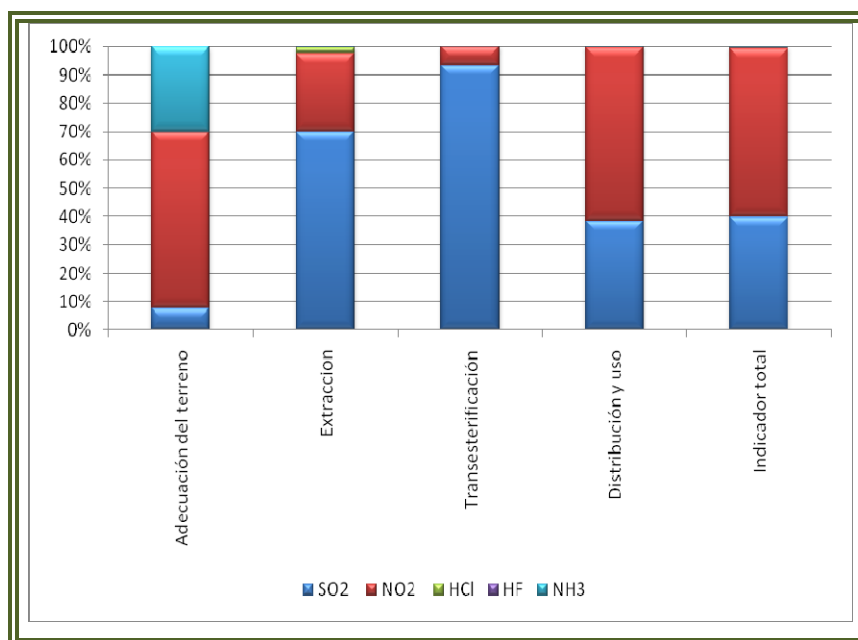


Figura 8. Emisiones consideradas para la categoría de acidificación.

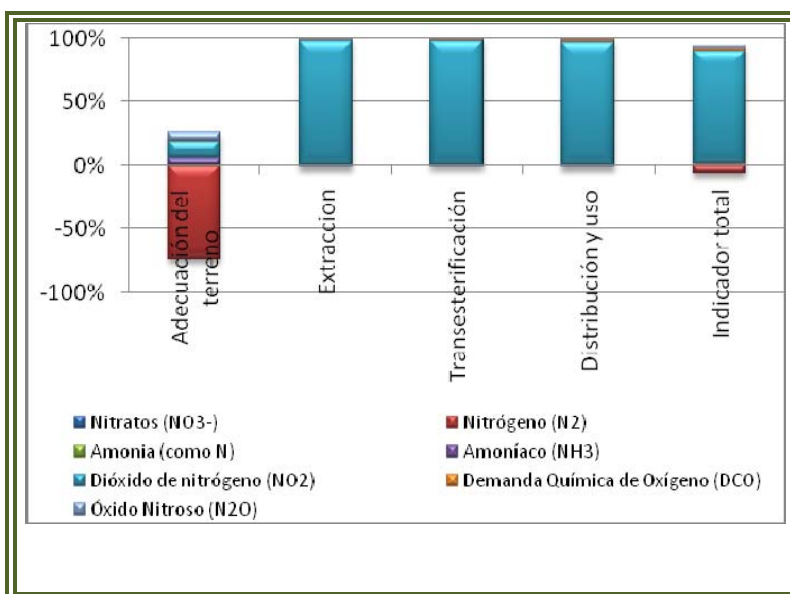


Figura 9. Emisiones consideradas para la categoría de eutrofización.

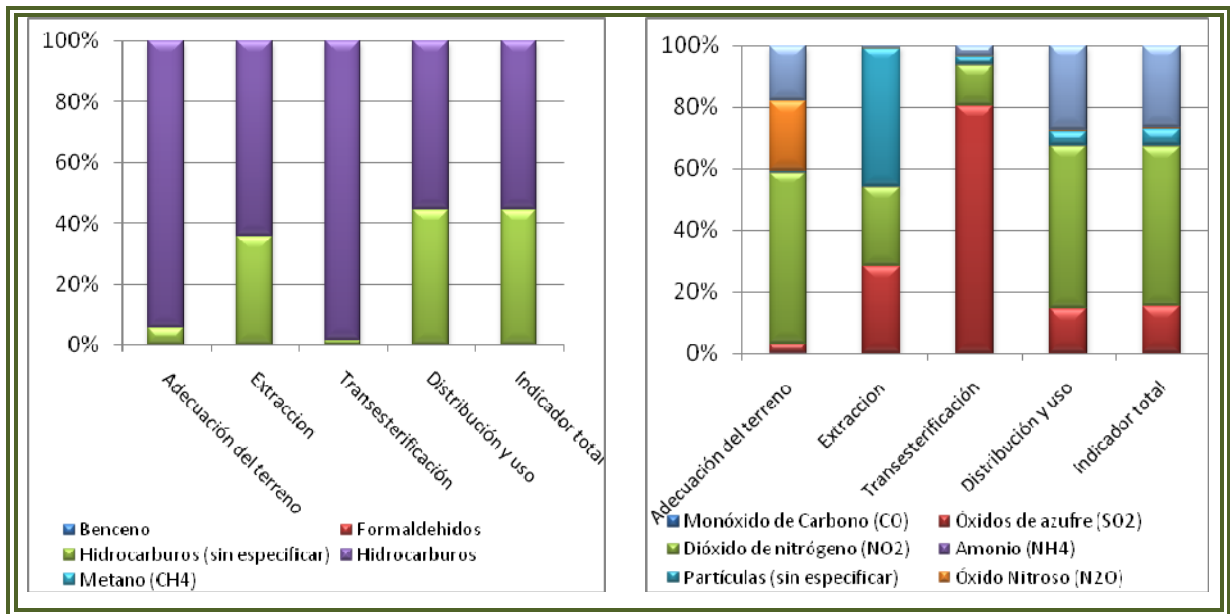


Figura 10. Emisiones consideradas para la categoría de formación de oxidantes foto-químicos y para la categoría de efectos respiratorios.

5. CONCLUSIONES

El perfil medioambiental elaborado refleja que la etapa de distribución y uso del biocombustible como mezcla B10 es la etapa cuyas emisiones generadas por la combustión del biodiesel representan el mayor aporte a las categorías de impacto ambiental estudiadas, mientras que para las etapas de adecuación del terreno e integración de los ciclos biogeoquímicos, la extracción del aceite de higuera, y la transesterificación; el mayor aporte es representado por las emisiones producidas en la elaboración de las materias primas.

La implementación de la metodología de la cuna a la cuna permite evaluar la integración de los ciclos biogeoquímicos del carbono y del nitrógeno, y consecuentemente se logra obtener un impacto ambiental real generado en la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera.

En la integración de los ciclo biogeoquímicos la fijación neta de carbono y nitrógeno en el cultivo, permite disminuir significativamente el impacto ambiental representado por las categorías de cambio climático y eutrofización.

En los procesos de producción de materias primas para cada una de las diferentes etapas, se generan grandes emisiones de NO_x , NH_3 y SO_2 , estas emisiones representan cargas importantes para las categorías de acidificación y formación de oxidantes foto-químicos generando un efecto negativo para las mismas.

6. RECOMENDACIONES

Para apreciar mejor el beneficio ambiental generado por la utilización de biocombustibles se debe realizar un análisis de ciclo de vida comparativo entre el biocombustible y el diesel fósil manejando las mismas unidades funcionales, de esta forma si será posible cuantificar la disminución de la contaminación generada por la combustión del combustible fósil respecto a la combustión del biocombustible.

Ampliar 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.

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 lograra una apreciación más real del impacto ambiental generado en la transesterificación del aceite de higuera.

Es necesario realizar estudios de ACV para diferentes proporciones de mezcla diesel-biodiesel y de esta forma poder evaluar la posibilidad de reemplazar totalmente el combustible fósil teniendo en cuenta la evaluación de todas las categorías de impacto ambiental.

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 de tal forma se reducirían las emisiones generadas en el transporte de semillas de cada cultivo a la planta de extracción.

7. BIBLIOGRAFÍA

_____. Analisis de ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II. Análisis de ciclo de vida comparativo de biodiesel y diesel. España: ministerio de medio ambiente-CIEMAT, 2006. 138p.

ABELA, Jose Eduardo. Importancia y función de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en el cultivo de soya. [Online], 2004.

ALBUQUERQUE, Mónica C.G. GONZALEZ, José Santamaría. MgM (M = Al and Ca) oxides as basic catalysts in transesterification processes. Grupo de Pesquisas em Separações por Adsorção (GPSA), Departamento de Eng. Química, Universidade Federal do Ceará – UFC. 2008.

ALLETI, Ramesh. SU OH, Woon. PERAMBUDURU, Meher. Midazolium-based polymer supported gadolinium triflate as a heterogeneous recyclable Lewis acid catalyst for Michael additions. Department of Chemistry, Missouri University of Science and Technology. 2008.

ALVAREZ, Roberto. Balance de carbono en los suelos. En: publicación miscelánea. N° 105 (2006).

AMAYA RAMIREZ, Bibian; BECERRA BAYONA, Silvia. Evaluación del análisis de ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de higuera empleando la metodología de la cuna a la cuna. 2008. Trabajo de grado (ingeniero químico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería química.

ANTON VALLEJO, M Assumpció. Utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Barcelona, España. 2004. 231 p. trabajo de grado (Doctorat Enginyeria Ambiental). Universidad Politécnica de Catalunya.

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 Organization for Standardization 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. Higuera: “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.

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.

GOODWIN, James G. Jr.; LOPEZ, Dora E. esterification and transesterification using modified-zirconia catalyst. Applied catalysis. 2008. 76-83 p.

GOODWIN, James G. Jr.;SUWANNAKARN, Kaewta; LOTERO, Edgar. Stability of zirconia and the nature of the catalytically active species in the transesterification of triglycerides. Journal of catalysis. 2008. 279-286 p.

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

KUMAR, P. Vijaya y otros. Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 88, 279-289

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 : WILEY interScience.

LAURETI, Domenico. y otros. 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

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 higuera 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.

RODRIQUEZ, Jesus E. diseño de una planta de extracción de aceite de higuera. 1980. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica.

SANTACESARIA, Elio; TESSER, Ricardo. Heterogeneous catalysts for biodiesel production. Energy & fuels 2008, 22, 207-217.

SCHOLZ, Volkhard & DA SILVA, 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.

SUWANNAKARN, Kaewta. LOTERO, Edgar. JAMES G. GOODWIN, Jr. Stability of sulfated zirconia and the nature of the catalytically active species in the transesterification of triglycerides. Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Clemson University.2008.

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

VERA, Carlos R; BUSTO, Mariana; SHIMIZU, Kiyoyuki. Influence of hydrothermal aging on the catalytic activity of sulfated zirconia. *Applied Catalysis*. 2008. 173-182 p.

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

ZHONG Kaifu, JIN Pu and CHEN Qianwang, Ni hollows Nanospheres : preparation and catalytic activity. Hefei National Laboratory for Physical Science at Microscale, Department of Materials Science & Engineering.

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La creciente conciencia con respecto a la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. Una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el análisis del ciclo de vida (ACV).

“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 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. Herramientas usadas en los sistemas de gestión ambiental.

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

FUENTE: SETAC, 1999

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.

Otras características esenciales del ACV.

- Evalúa en forma sistemática los aspectos e impactos ambientales de los sistemas de un producto.
- 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:

La expresión relativa de los impactos ambientales potenciales con relación a una unidad de referencia.

La integración de los datos ambientales en el espacio y el tiempo.

La incertidumbre inherente al modelar los impactos ambientales.

Algunos impactos ambientales posibles sean claramente impactos futuros.

El ACV puede ayudar a:

- La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida.
- La aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales (por ejemplo, para

- la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño y rediseño de productos o procesos).
- La selección de indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición.
- El marketing (por ejemplo, implementando un esquema de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental, o de una declaración ambiental de producto).

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

o DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y DEL ALCANCE.

El objetivo debe establecer una aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y al público que se prevé 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:

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

– Límites 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.

o **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.

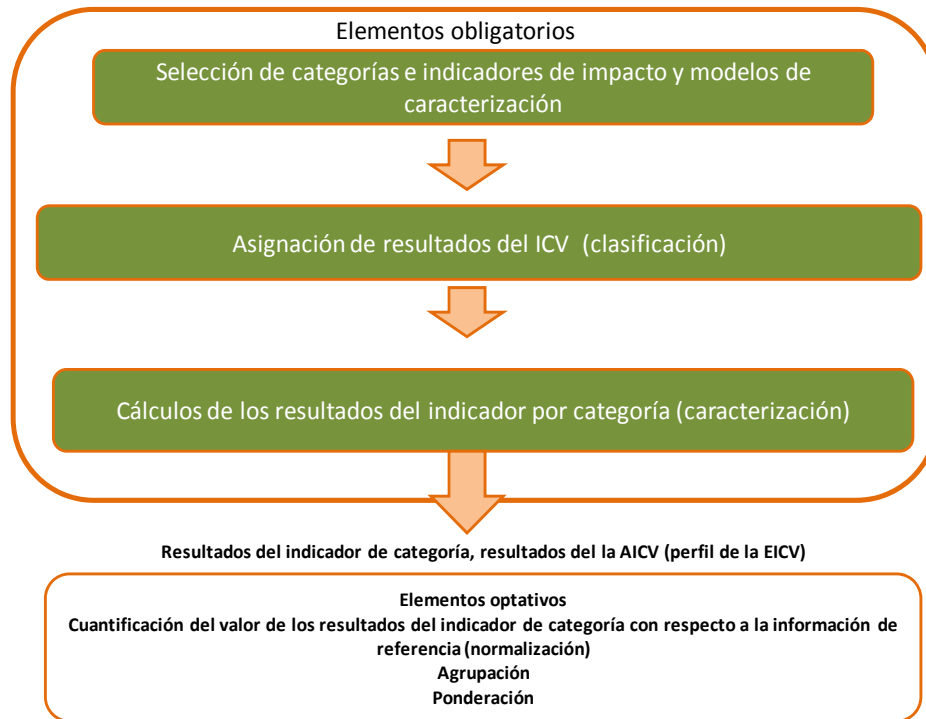
- Recopilación de datos. Este tipo de datos puede clasificarse en :
 - o Las entradas de energía, de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas.
 - o Productos, co-productos y residuos
 - o Las emisiones al aire, vertidos al agua y al suelo.
 - o Otros aspectos ambientales.
- Calculo de datos. Esta etapa incluye:
 - o Validación de los datos recopilados.
 - o Relación de los datos con los procesos unitarios.
 - o 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.

- o **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. Vurro

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.

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y del alcance del estudio de ACV:

- ❖ **Normalización.** Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto a un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.
- ❖ **Agrupación.** Clasificación y posible catalogación de los indicadores.
- ❖ **Ponderación.** Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de único índice ambiental global del sistema.
- ❖ **Análisis de calidad de los datos.** Ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del análisis del ACV. Se considera obligatorio en análisis comparativos.

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:

- 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.

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

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.

Categorías de impacto	Unidades	Escala Geográfica
Agotamiento recursos abióticos (entrada)	Kg SB	Global
Energía (entrada)	MJ/Kg	Global
Uso del suelo (entrada)		Local
Cambio climatico	Kg-eq. CO ₂	Global
Agotamiento Ozono (salida)	Kg-eq. CFC11	Global
Acidificación (salida)	Kg-eq. SO ₂ Kg-eq. H ⁺	Continental/regional/local Global
Eutrofización (salida)	Kg-eq. PO ⁻³	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: Antón, 20004

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 que 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 atmosfera 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_2 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_2 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_x actúan como catalizadores en esta reacción química, no son por tanto consumidos, pero en función de la concentración de NO_x 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 atmósfera, en el suelo y en el agua, donde 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⁺ 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^+ equivalentes que puede emitir dicha sustancia *i*. Las diferentes emisiones podrían ser sumadas basándose en su potencial de formar iones H^+ .

Eutrofización: en esta categoría se incluyen los impactos debidos a un alto nivel de los macro nutrientes (nitrógeno y fosforo). 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_4 , H_2S y NH_3 (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

LA HIGUERILLA.

La Higuierilla cuyo nombre científico es *Ricinus communis* Linnaeus, pertenece a la familia Euphorbiaceae, posiblemente originaria de India o de África; es un arbusto que generalmente se encuentra en estado silvestre y alcanza una altura entre los 2- 4 metros, está conformado principalmente por un tallo hueco y ramificado, hojas en forma de estrella, flores de color blanco y frutos. La higuierilla es una oleaginosa cuyo aceite se utiliza en la industria de motores de alta revolución, en pinturas, lacas, barnices, plásticos, fertilizantes, para uso antiparasitario en humanos, etc.; en total se utiliza en más de ciento ochenta productos. Tiene gran capacidad de adaptación y hoy día es cultivada prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales, aunque es típica de regiones semiáridas. Su origen es muy discutido y algunos la consideran originaria de Asia y otros como nativa de América, pero se cree que Afrecha es su cuna.

Descripción botánica:

Raíz. Es pivotante y puede alcanzar hasta 3 m de profundidad constituyéndose el anclaje principal de la planta. Presenta raíces secundarias numerosas y oblicuas, situadas a poca profundidad.

Tallo. La planta está dotada de un tallo principal recto seccionado por entrenudos, hueco en su parte interior lo cual facilita la eliminación de la soca. Su color depende de la variedad puede ser verde, rosado o caoba. El tallo principal termina en el primer racimo (inflorescencia), siendo este el más grande de la planta. A partir del cuarto nudo empiezan a aparecer las ramas secundarias que producen a su vez ramas adicionales observándose en ambas producción de racimos.

Hojas. Alternas, pecioladas, palmeadas con 7 a 11 lóbulos, dentadas, con nerviación palmatinervia. Peciolos redondos de 8 a 50 cm de largo y de 10 a 20 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lamina, dos glándulas en la unión con el peciolo; la lamina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color que va de verde a rojo.

Flores. Están agrupadas en una panícula terminal de 10 a 40 cm de largo, la cual es monoica, las flores femeninas están localizadas en la parte superior y las masculinas en la parte inferior de la inflorescencia. Las flores masculinas están en cimas de 3 a 16 flores de pedicelo de 0.5 a 1.5 cm de largo, de 3 a 5 sépalos verdes de 5 a 7 cm de largo, pétalos ausentes, estambres numerosos de 5 a 10 mm de largo con muchos filamentos ramificados, cada filamento termina en una antera pequeña esférica y de color amarillo claro. Las flores femeninas en cimas de 1 a 7 flores, pedicelo de 4 a 5 mm de largo de 3 a 5 sépalos de color verde de 3 a 5 mm de largo los cuales se caen rápidamente; ovario superior con tres celdas, un óvulo por cada celda, la pared del ovario cubierta con espinas verdes y suaves, cada una termina en un punto transparente, el cual se cae cuando el fruto se desarrolla, estilo muy corto que se divide en tres estigmas bien definidos de color rojo, suaves papilados y persistentes.

Frutos. Es una cápsula globosa con pedicelo alongado con tres lóculos de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, generalmente espinoso. Los frutos inmaduros son generalmente verdes y algunas veces rojos, se vuelven cafés en la maduración, los estigmas permanecen en el fruto en forma leñosa. La cápsula puede abrirse y soltar las semillas que son tres, estas pueden ser negras o jaspeadas.

Semillas. De forma oval aplastada, redondeadas en un extremo y con una excrescencia en el otro llamada carúncula, de superficie brillante y lisa, de color variable que suele ser gris con manchas rojizas y parduzcas de tamaño variable que va de 0.5 a 1.5 cm de largo; la semilla tiene una cubierta dura y quebradiza exterior y otra inferior muy fina de color blanquecino, ambas protegen la semilla, la cual consta de un embrión pequeño con sus dos cotiledones delgado y el albumen que es blando, compacto y aceitoso, el

albumen es el que contiene el aceite. La semilla contiene toxinas que son ricina (albúmica) y la ricenina (alcaloide) las cuales quedan en el bagazo o torta que sobra en la extracción del aceite.

Tabla B1. Composición de la semilla.

COMPUESTO	%
Aceite	46,58
Almidón	20
Fibras leñosas	20
Agua	7,09
Goma	4,32
Resinas brutas y principios amargos	1,51
Albúmina	0,5

Clima. 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.

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.

Suelos. La higuerrilla 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.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Altura	Nivel del mar hasta los 2700 msnm
Clima	Calientes y secos
Temperatura	24- 30 °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

Tabla B2. Condiciones del cultivo.

Preparación del suelo: se necesita un arado muy superficial para establecer los surcos y soltar un poco el suelo (10 cm). Se acostumbra hacer los surcos orientados perpendicularmente a la dirección del viento. Esta planta prospera bien en suelos con altas cantidades de nutrientes y con pH sobre 5.5 (optimo 6-7), aunque no soporta la alcalinidad. En el país se fertiliza de la siguiente forma, a la siembra se adicionan entre 50 y 70 kg/ha de fósforo y entre 30 y 50 kg/ha de potasio y nitrógeno; a los veinticinco días se aplican 50 kg/ha de nitrógeno y a los cincuenta días otros 50 kg/ha de nitrógeno.

Preparación de la semilla: la semilla se debe dejar remojar mínimo 12 horas para hidratarla y ganar unos días en la germinación, se debe inocular con hongos antagonistas evitando ataques posteriores.

SIEMBRA Y COSECHA

Siembra: es recomendado utilizar el método de siembra directa, introduciendo 2 semillas por hoyo, una semilla por metro. Con profundidad de 5 cm cuando hay humedad y cuando no a 8 cm, espaciamento entre surcos de 1.2 m, generalmente los distanciamientos entre hoyos son de 1.2*1.2 m para un total de 6944 plántulas por hectárea.

Manejo de la plantación: Cuando la planta germina (entre el día 5 a 10) presenta las hojas falsas, después comienza a desarrollar las hojas verdaderas y cuando este a la altura de la rodilla se debe realizar la primer poda de crecimiento, estas podas de deben repetir hasta que la planta comience a florecer para desarrollar a edades tempranas mas brazos productivos y mejorar el fenotipo del arbusto (no dejarlo muy alto). Después que comienza la floración, la planta producirá grano para extracción constantemente, La recolección debe realizarse cuando el racimo presente 60% de madurez y ojalá en época seca, evitando llevar humedad a la extracción.

Cosecha: La cosecha de esta plana se inicia a los 120 días cuando las variedades son precoces y a los 150 días en las más tardías. En las variedades cuyo fruto no se abre (indehiscente), la cosecha se hace cuando todos los frutos están secos, por lo que la mayoría de las veces se hace una sola recolección, las cápsulas indehiscentes y las hojas deben eliminarse ya sea natural o artificialmente con defoliantes.

Combate de malezas: Se puede realizar con herbicidas químicos, en pre o pos emergencia o bien por medios mecánicos. El cultivo debe permanecer limpio, sobre todo en la fase de crecimiento. Se recomienda el uso de trifluralin (Treflán en dosis de 1 a 3 l/ha) incorporado antes de la siembra y se complementa su acción con un pase de cultivadora una vez establecido el cultivo.

Secado y extracción de la semilla. La semilla de higuierilla producidas en la cosecha se someten a un proceso de descascarado y secado. Al ser el tipo de semilla sembrado dehiscente (la cáscara exterior de la semilla se cae sin necesidad de someterla a fricción), las semillas se secan aprovechando la energía suministrada por la luz solar durante un tiempo aproximadamente a 36 horas. Las semillas ya secas se transportan hasta la planta de extracción de aceite.

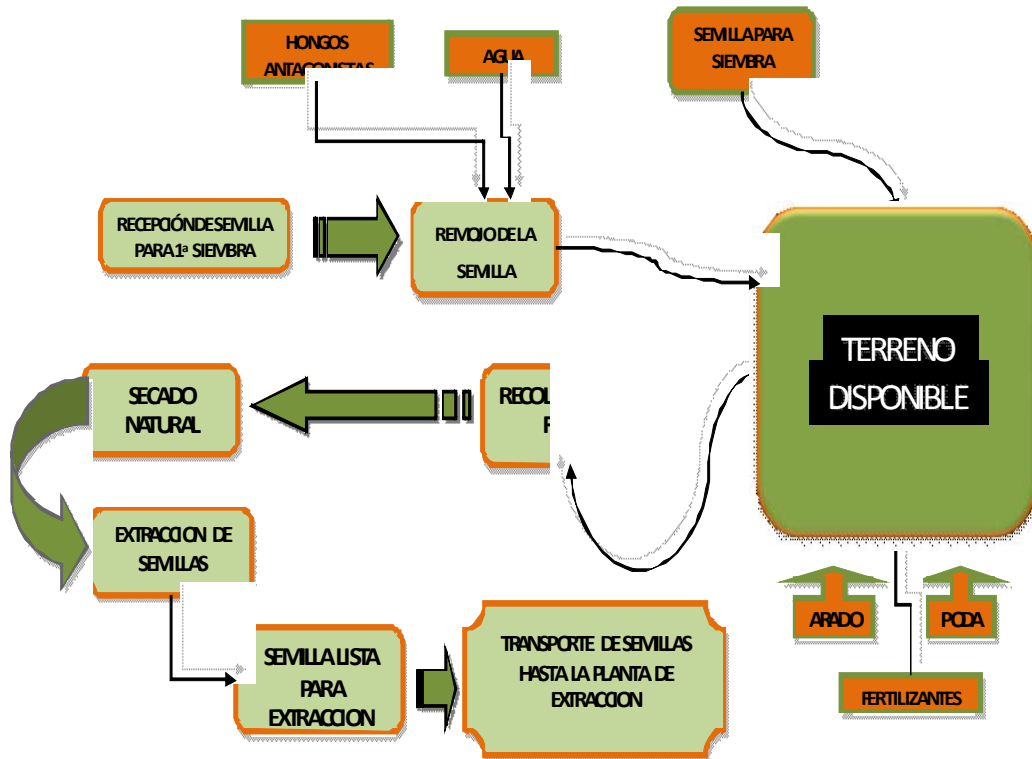


Figura B1. Diagrama de procesos para la producción de semillas

ANEXO C. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA

ACEITE DE RICINO.

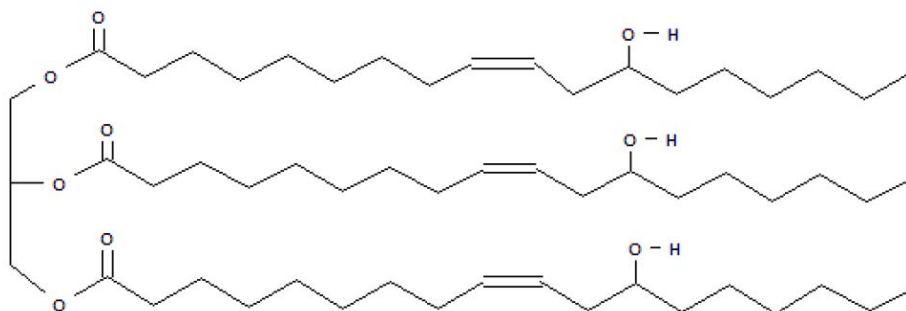
El aceite de ricino o aceite de castor como es conocido proviene de las semillas que se encuentran dentro de las capsulas de los frutos; tiene como característica principal que más de un 90% de su composición corresponde al triglicérido del ácido ricinoléico, a continuación se presenta la ficha técnica de la variedad de semilla escogida para el proceso.

 ELAVORADO POR:  de Colombia	
NOMBRE:	BLANCA JASPEADA
CODIGO:	VCR-01/00
ORIGEN LOTE:	ANTIOQUIA (ORIENTE)
CONTENIDO DE ACEITE	48%
SEMILLAS POR KG.	900 - 950
PESO POR SEMILLA (gr. promedio)	1.08
COLOR	BLANCO CON VETAS MARRON
ALTURAS CULTIVABLES	800 - 2000 MSNM
CICLO VEGETATIVO MEDIO (días)	180
PRODUCTIVIDAD MEDIA (Kg./ha/ año)	7500
PRODUCTIVIDAD POTENCIAL (Kg./ha/ año)	9000
FRUTOS	DEHISCENTES
RECOLECCIÓN	PARCELADA
PODAS	3
HÁBITO DE CRECIMIENTO	ARBUSTIVO
ALTURA MEDIA DE LA PLANTA (m)	2
TOLERANCIA A LA HUMEDAD	ALTA
FORMATO DE LAS SEMILLAS	OVALADO
TIEMPO DE GERMINACION (días Prom.)	10

Tabla C1. Ficha técnica de la higuierilla. Fuente: *HIGUEROIL*, 2006

La fórmula molecular del ácido triricinoléico es $C_{57}H_{104}O_4$, su estructura molecular se muestra a continuación.


Figura C1. Estructura molecular ácido triricinoléico. Fuente:



Por otra parte, el aceite de ricino cuenta con una serie de propiedades gracias a su composición química (presencia de triglicéridos), entre las que se encuentran su elevada densidad y viscosidad, además de su solubilidad en alcohol, benceno, cloroformo y bisulfuro de carbono y, en pequeñas proporciones en éter de petróleo y aceites minerales; otras características del aceite de castor es que resiste muy bajas temperaturas sin congelarse lo que hace posible el uso en motores de altas revoluciones en los cuales se requiere resistencia a las variaciones de presión y temperatura.

Tabla C1. Composición del aceite de higuera. Fuente:

Compuesto	Porcentaje (%)	Fórmula molecular	Estructura
Acido palmítico	0.9	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	
Ácido esteárico	1.1	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	
Ácido oleico	3.0	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	

Ácido linoleico	4.6	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CHCHCH}_2\text{CHCH}(\text{CH}_2)_7\text{C}$ OOH	
triricinoleina	90.4	$(\text{CH}_3)_3[\text{CH}_2]_{41}(\text{CH})_4(\text{OH})_3(\text{CH}=\text{CH})_3$ (COO) ₃	

Con la necesidad que el aceite de higuera cumpla los requerimientos mínimos para ser usado como materia prima para la producción de biocombustible la semilla de higuera debe pasar por diferentes etapas de pre tratamiento para la obtención del aceite, a continuación se explican detalladamente:

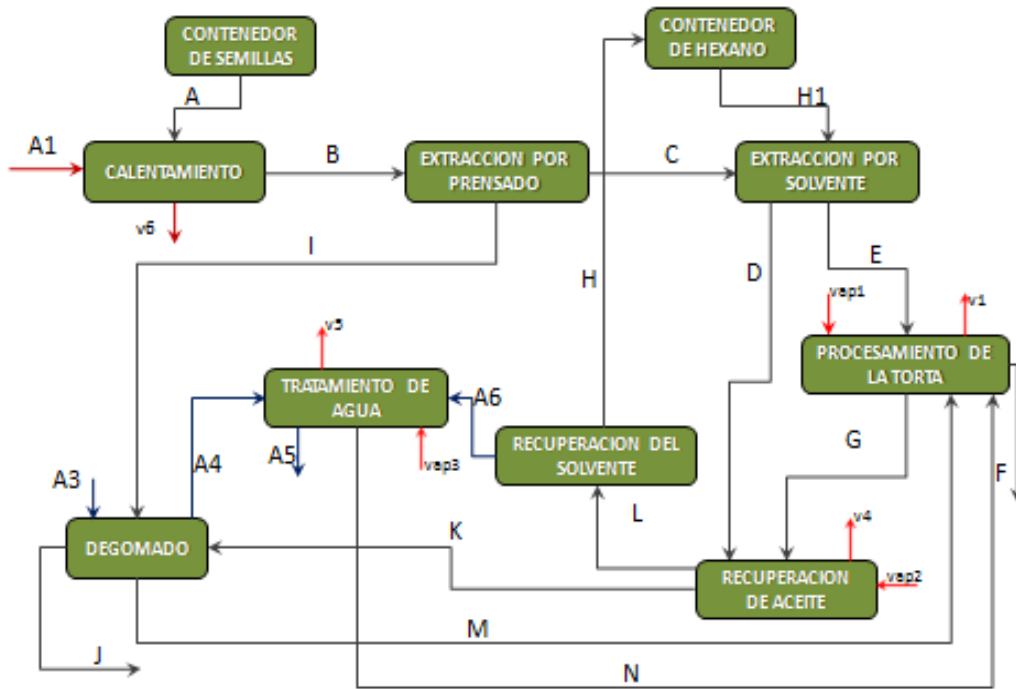


Figura C2. Esquema general del proceso de extracción del aceite de higuera.

Calentamiento: El objetivo de este proceso es hacer más frágil la semilla 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 continua 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 HIGUERILLA

Es el método más usado para la obtención del biodiesel, esta reacción se ve influenciada por diferentes variables, entre ellas la temperatura de reacción, el nivel de agitación, el tiempo de reacción, la concentración del catalizador, la pureza de la materia prima. La reacción de transesterificación ocurre en tres etapas consecutivas y balanceadas como se presenta a continuación:

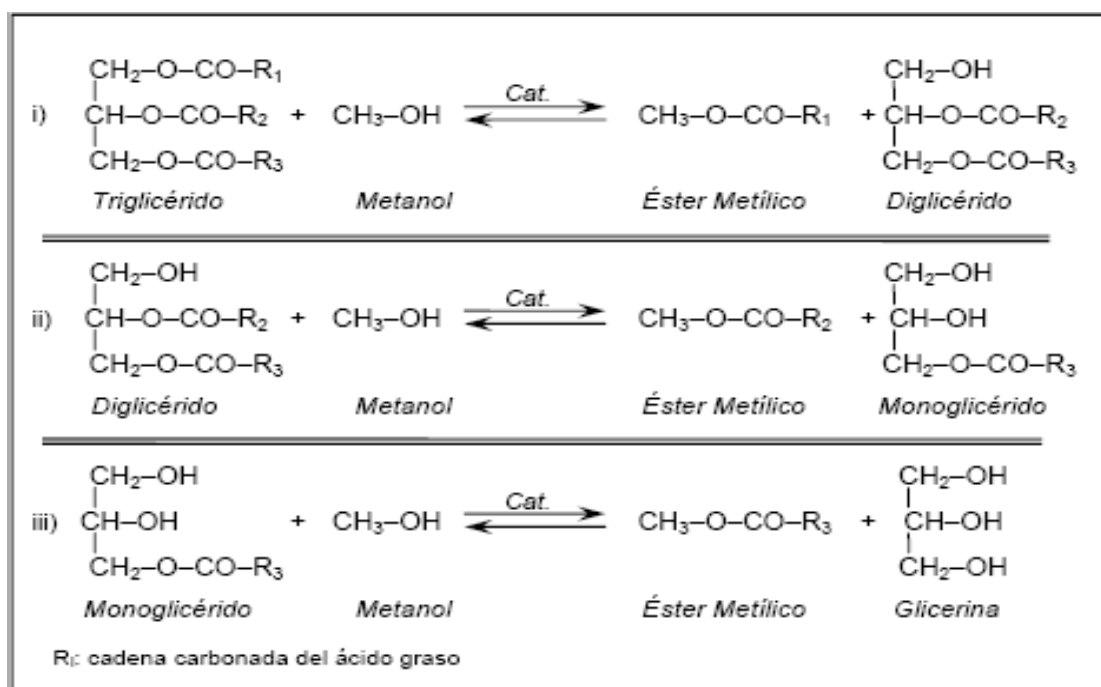


Figura D1. Etapas de la reacción de transesterificación.

En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, R-SO₃), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO₄/ZrO₂, WO₃/ZrO₂, zirconias modificadas), básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), 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.

➤ CATÁLISIS ÁCIDA HETEROGÉNEA

En las investigaciones recientes guiadas a encontrar una solución integral a muchos de los problemas operacionales y ambientales que presenta la producción de biodiesel se muestra la catálisis heterogénea como una excelente alternativa. El método más utilizado para la síntesis del biodiesel es la transesterificación, esta puede ser catalizada por catalizadores básicos o ácidos. Sin embargo la velocidad de reacción usando catalizadores básicos se ha reportado como 4000 veces más rápida que aquella usando catalizadores ácidos. El uso de catalizadores básicos para obtener biodiesel necesita un proceso de refinación para la materia prima, asegurando el bajo contenido de agua (<0.5 wt%) y también un bajo contenido de ácidos grasos (<1 wt%); lo que incrementa el costo para la producción de biodiesel. En los procesos industriales se prefieren los catalizadores sólidos para las transformaciones químicas debido a su fácil separación de la mezcla de reacción y su potencial para ser regenerados, además de que estos catalizadores son ambientalmente aceptables. Permitiendo así, su múltiple reutilización y evitando pocas emisiones de residuos liberados al ambiente. En el caso específico que se está estudiando sobre la producción de biodiesel, para las materias primas con contenidos de ácidos grasos libres es aconsejable el uso de catalizadores sólidos ácidos por que permiten simultáneamente la esterificación de los ácidos grasos libres y la transesterificación de los triglicéridos, bajo condiciones adecuadas de reacción, sin la formación de jabón y de esta manera evitando etapas de purificación tanto para la materia prima como para el producto final.

Uno de los catalizadores sólidos ácidos más estudiados es el sulfato de zirconio (SO_4/ZrO_2), el cual ha ganado gran interés en los últimos años. La ventaja de este tipo de catalizador es que en su primer ciclo de reacción obtiene altas conversiones para el triglicérido, y al ser regenerado obtiene buenas conversiones después de su primer ciclo. Al ser calcinado conserva sus propiedades físicas como su área superficial específica (ver tabla D1). Para este estudio se utilizó este catalizador, el sulfato de zirconio utilizado tiene 1,73 wt% de sulfuro, un área superficial específica 155 m^2/g .

CATALIZADOR	TEMPERATURA DE CALCINACIÓN (°C)	PROPIEDADES		
		Área superficial (m ² /g)	Volumen de poro (cm ³ /g)	Diámetro promedio de poro (nm)
SZ	400	252	0,24	3,3
	500	152	0,16	4,1
	600	145	0,17	3,7
	700	74	0,12	4,7
	800	13	0,04	8,1
	900	2	0,07	77,7

Tabla D1. Propiedades físicas del catalizador. Fuente: *Goodwin Jr. et al. 2008*

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

Para la producción de biodiesel se tomó como materia prima principal el aceite de higuera previamente refinado que es almacenado para luego ser llevado a los reactores de pre-esterificación y transesterificación; posteriormente los productos obtenidos (biodiesel y glicerina) son llevados a procesos de recuperación y purificación.

A continuación se detalla cada una de las etapas del proceso mostrado en la figura D2, este proceso fue simulado en ASPEN HYSYS[®], utilizando el modelo UNIQUAC como paquete termodinámico base para la simulación (*GARCIA, Carlos Mario. Bucaramanga 2007*). Se emplearon datos de los coeficientes binarios de interacción calculados mediante el modelo UNIQUAC para el biodiesel de aceite de higuera, el glicerol, y el metanol a 298 K y 1 atm de presión (*FRANCA, Bruno B, et al. 2008*).

Almacenamiento del aceite refinado. El aceite proveniente de la extracción es almacenado en tanques provistos de un sistema de calentamiento y agitación con el objetivo de garantizar su homogeneidad.

Sistema de pre-esterificación. El aceite almacenado es calentado y mezclado con metanol y llevado al sistema de pre-esterificación (catalizado por sulfato de circonio) con el fin de hacer reaccionar los ácidos grasos libres en sus condiciones óptimas de reacción (74°C y 4.4 atm). *Goodwin Jr. et al. 2008*;

obteniéndose una conversión del 65%. Esto cumple con los siguientes objetivos:

- Aprovechar aun más la materia prima.
- Disminuir procesos de purificación para eliminación de ácidos grasos que son restringidos en la calidad del biodiesel como producto final.

El agua producida en este proceso se elimina por medio de evaporadores y se evita al máximo la entrada de agua al sistema de transesterificación, se debe evitar el flujo de agua en el sistema de transesterificación debido a que esta sustancia envenena al catalizador disminuyendo significativamente las conversiones en esta etapa (proceso primordial para la obtención de biodiesel) y produciendo lixiviación de iones de sulfuro.

. La reacción desarrollada en este proceso es la siguiente:

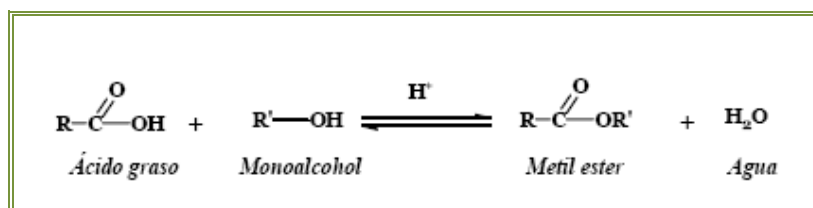


Figura D2. Esterificación de ácidos grasos.

Sistema de transesterificación. La reacción de transesterificación se lleva a cabo con el triglicérido proveniente del aceite de higuera y metanol (relación molar 1: 12) utilizando como catalizador sulfato de zirconio (al 10% en peso del triglicérido de entrada al proceso), bajo condiciones de temperatura de 120°C y una presión de 6.8 atm la conversión trabajada fue 74%, *Goodwin Jr. et al. 2008*. El sistema consta de dos reactores (con tiempo de residencia de 1 hora). En el primer reactor la mezcla entra libre de contenido de agua y muy bajo porcentaje de ácidos grasos y una cantidad apreciable de metil-esteres de los respectivos ácidos grasos libres anteriormente tratados; posteriormente a este proceso se lleva a cabo una decantación donde se obtienen dos fases, la fase rica en biodiesel y la fase rica en glicerina.

La materia prima que no reaccionó se recuperó y se llevó a un segundo reactor con las mismas condiciones de reacción, luego se decantó el producto y cada corriente se mandó a la purificación y recuperación de biodiesel y aceite respectivamente.

Es necesario tener en cuenta el envenenamiento del catalizador no solo por la presencia de sustancias indeseadas, si no por también disminución de su actividad catalítica, por lo tanto se hace necesario tener en cuenta el proceso para regenerar el mismo. Dicho proceso consta de tres etapas generales, la primera es bañar el catalizador con metanol, etapa que por la alta relación de metanol usado no es necesaria; la segunda etapa consiste en una calcinación con una corriente de aire a 500 °C, *Goodwin Jr. et al. 2008*; por último se baña al catalizador con ácido sulfúrico para reactivar el catalizador totalmente y evitar la disminución de su actividad catalítica debido a la lixiviación de los iones sulfuro.

Purificación del biodiesel. El flujo que sale del segundo reactor se decanta y el biodiesel impuro se envía a una torre de destilación donde se le retira el metanol sin reaccionar y luego algunas trazas de glicerina. Con el objetivo de cumplir las normas de calidad presentadas a continuación.

Propiedad	Unidad	Especificaciones	Método
Propiedades como combustible			
Densidad a 15°C	g/cm ³	0.86-0.90	En ISO 3675 En ISO 12185
Viscosidad cinemática 40°C	mm ² /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 ³	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

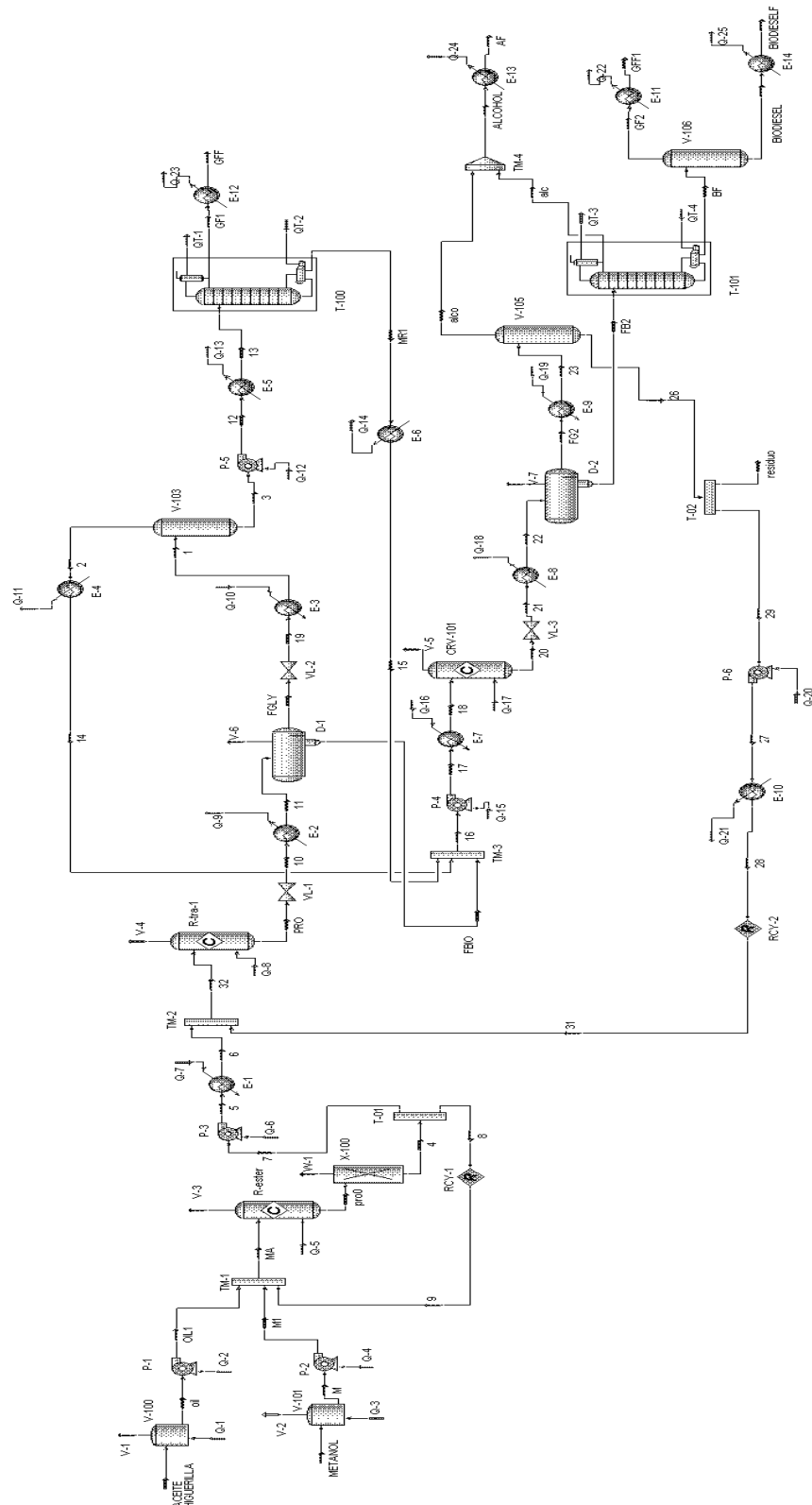
Propiedades como éster			
Índice de acidez	mg KOH/g	Max. 0.5	Pr EN 14104
Contenido de metanol	% p/p	Max. 0.2	Pr EN 14110
Contenido en monoglicéridos	% p/p	Max.0.8	Pr EN 14105
Contenido en di glicéridos	% p/p	Max.0.2	Pr EN 14105
Contenido en triglicéridos	% p/p	Max.0.2	Pr EN 14105
Glicerina ligada	% p/p	Max. 0.2	Cálculo
Glicerina libre	% p/p	Max. 0.02	Pr EN 14105 Pr EN 14106
Glicerina total	% p/p	Max. 0.25	Pr EN 14105
Índice de yodo	-	Max. 120	Pr EN 14111

Tabla D2. Especificaciones según norma ASTM D-6751. Fuente (CASTILLO. Liliانا. Primer congreso sobre combustibles y energías renovables. 2007)

Para nuestro caso en estudio se tuvo más en cuenta las propiedades del biodiesel como éster debido a que estas fueron más fáciles de medir por los medios de cálculos utilizados.

Recuperación del metanol. Para evitar que la reacción de transesterificación se dirija en sentido contrario se eligió separar hasta mayor instancia el metanol de los demás componentes de las corrientes. La tecnología empleada fue la destilación, mecanismo que debe garantizar que la composición del metanol de salida sea del 99%.

Figura D4. Diagrama general del proceso de obtención del biodiesel simulado en ASPEN HYSYS®.



ANEXO E. INTEGRACIÓN DE LOS CICLO BIOGEOQUÍMICOS

❖ **Ciclo del carbono.** El crecimiento del cultivo supone un importante sumidero de CO_2 atmosférico debido a la fijación de este gas en el proceso de fotosíntesis de las plantas para formar compuestos de carbono orgánicos utilizados en su crecimiento. El CO_2 fijado en la parte del cultivo que se exporta del terreno tiene dos destinos finales. La parte fijada en la biomasa que se cosecha (semillas) y la parte fijada en la biomasa que queda en el terreno (rastrosos y raíces) (ver figura E1).

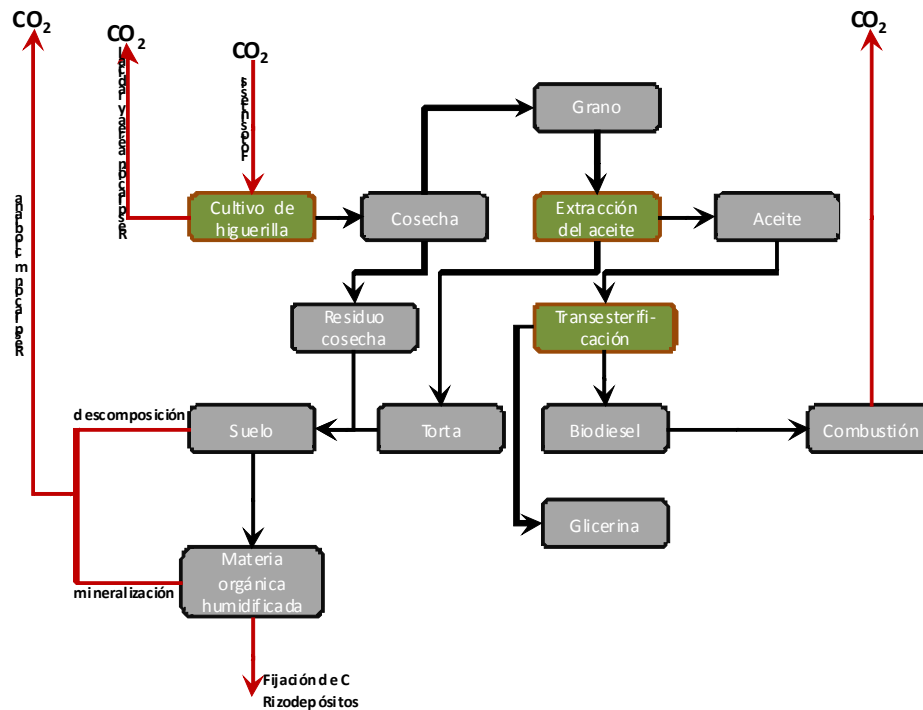


Figura E1. Ciclo del Carbono para la cadena de producción de biodiesel.

La parte fijada en la semilla se transforma a su vez en 1) Carbono contenido en el biodiesel que se quemara en los motores de los vehículos emitiendo entonces las correspondientes cantidades de CO_2 , 2) Carbono contenido en los co-productos de la extracción de aceite (torta de la extracción) y 3) Carbono contenido en la glicerina co-producida en la transesterificación del aceite. Una parte del carbono absorbido por las plantas se transfiere al suelo en forma de rizodepósitos. Estos depósitos son formas inmovilizadas de C que no se

transforman de nuevo a CO_2 y por lo tanto se considera como una fijación neta de CO_2 atmosférico por el cultivo (CIEMAT, 2006). Las cantidades de CO_2 emitidas provenientes del uso del resto de los co-productos y de los diversos mecanismos de respiración no se contabilizaron como emisiones y se han considerado cero (CIEMAT, 2006). La fijación neta de C en el suelo representada como un porcentaje del CO_2 incorporado por la planta se asume con el valor de 56.8% (Amaya R. Vivian H. et al., UIS 2008). La fijación de CO_2 para el rastrojo se consideró de 56.8% (Kuzakov,y. Domanski, 2000).

❖ **Ciclo del nitrógeno.** El nitrógeno podemos encontrarlo en varios compartimientos, en la planta, en los residuos vegetales, en el nitrógeno mineral, y en la materia orgánica humidificada. Los flujos de entrada de nitrógeno entre estos compartimientos y también con el medio fuera de ellos se ven representados por la fijación biológica de nitrógeno, la fertilización y el ingreso por lluvia. Los flujos de salida de mayor magnitud son la exportación, volatilización, desnitrificación y lixiviación (Alvarez, 2006). Se consideró que existe una fijación neta de nitrógeno en el suelo debida a la presencia de bacterias no simbióticas que no superan los 15 Kg/ha año (Abela, 2004). Las emisiones debidas al uso de los fertilizantes (N_2O) se calcularon de acuerdo a lo propuesto en la metodología IPCC; esta metodología expresa las perdidas de nitrógeno en forma de oxido nitroso como un porcentaje del nitrógeno aplicado, Audsley et al (2003) propone esta metodología en función del tipo de fertilizante y la época de aplicación. También se tomo como referencia ECETOC, (1994) para estimar las emisiones de NH_3 y NO_x (ver figura E2).

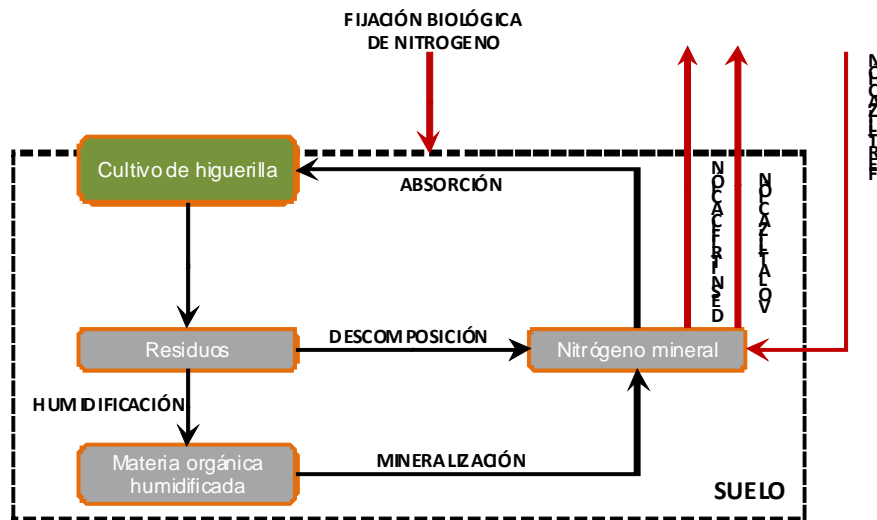


Figura E2. Ciclo del Nitrógeno para la cadena de producción de biodiesel.

ANEXO F. EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN

EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL DIESEL

Las emisiones producidas por la combustión del diesel varían dependiendo del tipo de medio de transporte en el cual se estén originando. Así la tabla F1 reporta las emisiones generadas en un camión de carga pesada.

CONTAMINANTE	EMISIÓN (g/MJ quemado)
Hidrocarburos	0.085
CO	0.32
NO _x	0.89
PM ₁₀	0.041
SO ₂	0.12
CH ₄	0.042
N ₂ O	0.0019
CO ₂	75.5

Tabla F1. Emisiones de combustión del diesel para un camión de carga pesada

Fuente: universidad de Chile, 2007.

EMISIONES DE LA COMBUSTIÓN DEL BIODIESEL

En un estudio desarrollado por la EPA sobre emisiones producidas a causa de la combustión del biodiesel en diferentes medios de transporte; se evaluaron para el transporte pesado las correlaciones básicas de emisiones de los óxidos de nitrógeno, del material particulado, del monóxido de carbono y de los hidrocarburos. Las correlaciones obtenidas por la EPA involucran la concentración del biodiesel con el porcentaje de cambio en las emisiones, y se reportan de la siguiente forma:

$$\% \text{cambio en emisiones} = \{ \exp[\alpha \times (\% \text{ biodiesel})] - 1 \} \times 100$$

La tabla F2 reporta los valores del coeficiente “a” para cada uno de los contaminantes.

CONTAMINANTE	COEFICIENTE “a”
NO _x	0.0009794
PM	-0.006384
HC	-0.011195
CO	-0.006561

TABLA F2. Coeficientes para las correlaciones de emisión del biodiesel (EPA 2002).

ANEXO G. RESULTADOS DETALLADOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

ANÁLISIS DE INVENTARIO.

❖ ACTIVIDAD AGRÍCOLA

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
relación alcohol/aceite de ricino	10	molar
CÁLCULOS(en base a 100 Kg de semilla)	CANTIDAD	UNIDADES
aceite no extraído por prensado	8,64	Kg
aceite no extraído por el solvente	0,07776	Kg
cantidad de aceite recuperado	47,92224	Kg

Tabla G1. Datos conocidos de la variedad de semilla utilizada

DATOS CALCULADOS	CANTIDAD (Kg/h)	CANTIDAD (Ton/año)
Aceite requerido para la transesterificación	9780	85672,8
Aceite requerido para la extracción	9795,869308	85811,81514
cantidad de semillas	20408,06106	178774,6149

Tabla G2. Cantidad de aceite requerido

Inicialmente se necesita calcular el número de hectáreas necesarias a cultivar, para ello se parte de la cantidad de aceite necesario para obtener 80.000 ton/año de biodiesel (dato obtenido de la simulación desarrollada en ASPEN HYSYS®), y se tiene en cuenta los porcentajes de aceite que se puede extraer en cada etapa, para calcular la cantidad de semilla necesaria para el proceso, y con la productividad media de la higuera se calcula el número de hectáreas que corresponde a un valor de 23 836,6 ha.

En la adecuación del terreno se utilizó un camión, un tractor agrícola y un camión cisterna para transporte de insumos.

Especificaciones	Tipo	Potencia neta (hp)	Revoluciones (rpm)	Consumo combustible (L/h)	Capacidad
Tractor Agrícola	John Deere	105	2300	16,8	
	6415 Cab				
Camión	Mercedes Benz	208	2600	0,2834 L/Km	15,5 Ton
	L 1620/51				
Camión cisterna	Mercedes Benz	208	2600	0,2834 L/Km	15000 L
	L 1620/51				

Tabla G3. Vehículos utilizados en la adecuación del terreno.

En el desarrollo de la actividad agrícola es necesario llevar a cabo una descompactación del suelo seguida del procesos de arado, y posteriormente eliminar los sólidos gruesos y neutralizar el suelo, estas etapas van encaminadas a lograr las condiciones que necesita el terreno para el cultivo de la higuera.

Etapas	h/ha	Gasto de combustible (gal/ha)	Gasto total de combustible (gal/adecuación)	Total para el tiempo del estudio del ACV (gal)
Subsolagem	4	1,775E+01	4,232E+05	6,347E+06
Arado	4	1,775E+01	4,232E+05	6,347E+06
Gradagem	3	1,331E+01	3,174E+05	4,760E+06
Neutralización	0,5	2,219E+00	5,289E+04	7,934E+05
Sembrado	0,3	1,331E+00	3,174E+04	4,760E+05

Tabla G4. consumo de combustible en adecuación del terreno y sembrado.

	Unidades	Cantidad	Total para el tiempo de estudio del ACV (Ton)
Absorción de CO2 de la atm	ton CO2/ha * año	3,46000E+01	4,94848E+07
Carbono que fija la planta en el suelo	%	5,68000E+01	2,81074E+07
Absorción de CO2 por el rastrojo	ton CO2/ha * año	6,84400E+01	9,13572E+07
Carbono que fija el rastrojo al suelo	%	5,68000E+01	1,60840E+08
Nitrogeno que se fija al suelo	kg / ha año	1,50000E+01	4,29059E+04
Volatilización de NH3	% N aplicado	2,00000E+00	3,82067E+03
Emisión de N2O	% N aplicado	1,25000E+00	6,18049E+03
Emisión de NOx	% N2O-N	1,00000E+01	6,46143E+02

Tabla G5. integración de los ciclos biogeoquímicos.

Tabla G6. Resultados obtenidos para adecuación del terreno y integración de los ciclos.

ETAPA	Combustión	Producción	Cultivo
Hidrocarburos [kg]	4,71E+05	1,36E+06	7,14E+04
CO [kg]	1,71E+06	3,04E+06	2,69E+05
NO2 [kg]	3,77E+06	1,85E+07	1,39E+06
PM10 [kg]	3,32E+05	1,45E+06	3,44E+04
SO2 [kg]	2,97E+05	1,72E+06	1,01E+05
CH4 [kg]	1,04E+05	3,79E+05	3,53E+04
N2O [kg]	4,71E+03	4,70E+04	6,18E+06
CO2 [kg]	3,13E+08	5,46E+09	-1,89E+11
Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	1,14E+05	0,00E+00
Benceno [kg]	0,00E+00	1,36E+02	0,00E+00
Formaldehidos [kg]	0,00E+00	2,98E+03	0,00E+00
Particulas (sin especificar) [kg]	0,00E+00	1,93E+05	0,00E+00
HCl [kg]	0,00E+00	5,82E+03	0,00E+00
HF [kg]	0,00E+00	9,91E+02	0,00E+00
NH3 [kg]	0,00E+00	4,68E+05	3,82E+06
Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO5 [kg]	0,00E+00	9,70E+04	0,00E+00
DCO [kg]	0,00E+00	7,75E+05	0,00E+00
Metales (sin especificar) [kg]	0,00E+00	1,49E+04	0,00E+00
Amonia (como N) [kg]	0,00E+00	1,32E+04	0,00E+00
Nitratos (NO3-) [kg]	0,00E+00	1,06E+01	0,00E+00
Energía Primaria	0,00E+00	4,97E+10	0,00E+00
Energía Fósil	0	28515703138	0

❖ EXTRACCIÓN DEL ACEITE

CALCULO	CANTIDAD	UNIDADES
cantidad de hectáreas requeridas	23836,61532	ha
aceite extraído del prensado	8032,612833	Kg/h
	70365,68842	Ton/año
aceite extraído por el solvente	1565,418331	Kg/h
	13713,06458	Ton/año
torta que sale del prensado	10171,37763	Kg/h
	89101,26805	Ton/año
torta de la extracción por solvente	18299,63052	Kg/h
	160304,7634	Ton/año

Tabla G7. Datos obtenidos para la extracción del aceite.

Transporte semillas hasta Pereira	Distancia [Km]	Diesel consumido [L/año]	Total para el tiempo del estudio del ACV (L)
APIA(RISARALDA)	7,4530E+01	1,0330E+05	6,1977E+06
PALESTINA(CALDAS)	3,1360E+01	6,7536E+04	4,0521E+06
MARSELLA(RISARALDA)	3,0000E+01	1,1766E+04	7,0594E+05
SANTA ROSA DE CABAL(RISARALDA)	1,3000E+01	2,9075E+03	1,7445E+05

Tabla G8. Consumo de diesel para el transporte de semillas.

Especificación Transporte	Distancia [Km]	Diesel consumido [L/año]	Total para el tiempo del estudio del ACV (L)
Transporte Hexano	4,6279E+02	1,3858E+06	2,7716E+07

Tabla G9. Consumo de diesel para el transporte de insumos.

PROCESO	CONSUMO ENERGETICO			TOTAL ACV
	kW	kJ/año	kW.h/año	(KW/h)
calentamiento		1,437269E+10	3,992413E+06	2,395448E+08
Extracción por prensado	2,688092E+04	8,361041E+11	2,322511E+08	1,393507E+10
Extracción por solvente			4,081294E+05	2,448776E+07
Procesamiento de la torta			2,262851E+06	1,357710E+08
Recuperación del aceite			4,308032E+04	2,584819E+06
Recuperación del solvente			5,893228E+04	3,535937E+06
Tratamiento de agua			0,000000E+00	0,000000E+00
Desgomado			1,915941E+05	1,149564E+07

Tabla G10. Consumos energéticos.

VAPOR CONSUMIDO		
Proceso	Cantidad [Ton/año]	Total ACV [Ton]
Extracción por prensado	0	0
Extracción por solvente	0	0
Procesamiento de la torta	7085,658692	425139,5215
Recuperación del aceite	2892,642241	173558,5345
Recuperación del solvente	0	0
Tratamiento de agua	2404,08	144244,8
Desgomado	0	0

Tabla G11. Consumo de vapor.

Anteriormente se ha descrito con detenimiento los procesos llevados a cabo en esta etapa de extracción del aceite, los consumos energéticos se han escalado según *Sheejan J. et. al. 1998*.

Tabla G12. Resultados obtenidos para la extracción del aceite.

	Sustancia (Kg)	Combustión	Producción vapor	Producción electricidad	Producción
emisiones en el aire	Hidrocarburos	1,23E+05	3,49E+02	4,74E+04	1,38E+05
	CO	4,34E+05	1,02E+04	1,30E+06	1,59E+04
	NO2	7,40E+05	4,15E+04	1,81E+07	7,44E+04
	PM10	1,09E+05	7,32E+02	0,00E+00	5,66E+02
	SO2	0,00E+00	2,35E+05	3,33E+07	2,48E+05
	CH4	0,00E+00	5,04E+04	1,41E+07	5,25E+04
	N2O	0,00E+00	1,40E+02	1,08E+05	5,21E+03
	CO2	5,95E+07	3,05E+07	5,85E+09	1,62E+07
	Hidrocarburos (sin especificar)	0,00E+00	2,08E-01	1,54E+05	1,83E+04
	Benceno	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,19E+01
	Formaldehidos	0,00E+00	2,91E-11	3,04E-04	2,89E+02
	Particulas (sin especificar)	0,00E+00	1,86E+01	2,66E+07	2,94E+04
	HCl	0,00E+00	9,86E-03	1,02E+06	8,06E+02
	HF	0,00E+00	1,23E-03	1,27E+05	1,01E+02
NH3	0,00E+00	5,70E-06	6,94E+00	3,87E+02	
emisiones en el agua	Agroquimicos (sin especificar)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	DBO5	0,00E+00	1,24E-02	2,44E+04	7,24E+04
	DCO	0,00E+00	1,04E-01	2,06E+05	5,94E+05
	Metales (sin especificar)	0,00E+00	6,07E-04	1,54E+03	2,72E+03
	Amonia (como N)	0,00E+00	1,83E-03	6,01E+03	1,01E+04
	Nitratos (NO3-)	0,00E+00	1,56E-05	1,61E+03	2,14E+00
	Energía Primaria	0,00E+00	5,39E+08	9,27E+10	4,49E+09
ENERGIA	Energía Fósil	0,00E+00	5,39E+08	8,98E+10	4,49E+09

❖ TRANSESTERIFICACION DEL ACEITE DE HIGUERILLA

INSUMO	distancia [Km]	Diesel consumido [L/año]	Total ACV (L)
Transporte Metanol	824,46	7,142E+05	4,285E+07
Transporte SZ	824,46	1,148E+05	4,592E+05

Tabla G13. Transporte de insumos.

Proceso	Consumo Energético			Total ACV
	kW	kJ/año	kW.h/año	[Kw.H]
Obtención del metilester	4,869E+00	1,536E+08	4,265E+04	2,559E+06
Purificación del metilester	1,433E+00	4,519E+07	1,255E+04	7,531E+05
Recuperación metanol	5,841E+00	1,842E+08	5,116E+04	3,070E+06

Tabla G14. Consumos energéticos.

Proceso	cantidad de vapor	Total ACV [Ton]
	(Ton/año)	(Ton)
Obtención del metilester	8,0009E+03	4,8005E+05
Purificación del metilester	6,3704E+04	3,8222E+06
Recuperación metanol	8,6711E+03	5,2026E+05

Tabla G15. Consumo de vapor para la transesterificación del aceite

Los consumos energéticos y el consumo de vapor para esta etapa fueron obtenidos de la simulación realizada en ASPEN HYSYS®.

Tabla G16. Resultados obtenidos para la transesterificación

Sustancia	Producción vapor	Producción electricidad	Producción materias	Combustión
Hidrocarburos [kg]	3,93E+03	1,29E+02	3,84E+04	2,47E+05
CO [kg]	1,15E+05	3,52E+03	3,23E+05	8,71E+05
NO2 [kg]	4,67E+05	4,92E+04	1,81E+06	1,48E+06
PM10 [kg]	8,24E+03	0,00E+00	1,93E+04	2,19E+05
SO2 [kg]	2,65E+06	9,05E+04	3,47E+07	0,00E+00
CH4 [kg]	5,67E+05	3,83E+04	7,59E+06	0,00E+00
N2O [kg]	1,57E+03	2,93E+02	1,77E+04	0,00E+00
CO2 [kg]	3,44E+08	1,59E+07	9,89E+08	1,19E+08
Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	2,34E+00	4,19E+02	3,47E+03	0,00E+00
Benceno [kg]	0,00E+00	0,00E+00	4,23E+01	0,00E+00
Formaldehidos [kg]	3,27E-10	8,26E-07	5,59E+02	0,00E+00
Particulas (sin especificar) [kg]	2,09E+02	7,21E+04	4,94E+05	0,00E+00
HCl [kg]	1,11E-01	2,77E+03	1,88E+04	0,00E+00
HF [kg]	1,39E-02	3,46E+02	2,35E+03	0,00E+00
NH3 [kg]	6,42E-05	1,88E-02	1,21E-01	0,00E+00
Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO5 [kg]	1,39E-01	5,77E+01	3,30E+04	0,00E+00
DCO [kg]	1,18E+00	4,88E+02	2,79E+05	0,00E+00
Metales (sin especificar) [kg]	6,83E-03	3,65E+00	4,46E+03	0,00E+00
Amonia (como N) [kg]	2,06E-02	1,42E+01	5,73E+03	0,00E+00
Nitratos (NO3-) [kg]	1,76E-04	3,82E+00	5,90E+02	0,00E+00
Energía Primaria	6,07E+09	7,17E+07	8,81E+10	0,00E+00
Energía Fósil	6,07E+09	6,95E+07	8,80E+10	0,00E+00

❖ DISTRIBUCIÓN Y USO FINAL DEL BIOCOMBUSTIBLE

Datos Generales	Unidades	Cantidad
Destino del Biodiesel		Bogotá
Distancia	Km	400,04
Cantidad de biodiesel	Ton/año	80000
Biodiesel en la mezcla	%v/v	10
Cantidad de diesel	Ton/año	647914,646
Diesel en la mezcla	% v/v	90

Tabla G17. Datos para la distribución.

USO	UNIDADES	CANTIDAD	Diesel consumido	Total ACV
			(L/año)	(L)
Transporte Biodiesel	km	400,04	6,51630E+05	3,90978E+07
Transporte mezcla B10	km	100	1,62891E+06	9,77347E+07

Tabla G18. Transporte de biodiesel y transporte de mezcla.

Tabla G4. Resultados obtenidos en la distribución y uso

Sustancias		Producción	Combustión	Uso
EMISIONES EN EL AIRE	Hidrocarburos [kg]	3,34E+07	7,42E+05	2,51E+08
	CO [kg]	7,02E+07	2,62E+06	9,26E+08
	NO2 [kg]	2,25E+08	4,45E+06	1,70E+09
	PM10 [kg]	2,90E+06	6,57E+05	2,33E+08
	SO2 [kg]	8,59E+08	0,00E+00	0,00E+00
	CH4 [kg]	1,75E+08	0,00E+00	0,00E+00
	N2O [kg]	1,13E+07	0,00E+00	0,00E+00
	CO2 [kg]	8,87E+10	3,58E+08	1,35E+11
	Hidrocarburos (sin especificar) [kg]	2,29E+08	0,00E+00	0,00E+00
	Benceno [kg]	1,64E+05	0,00E+00	0,00E+00
	Formaldehidos [kg]	9,14E+05	0,00E+00	0,00E+00
	Particulas (sin especificar) [kg]	1,40E+08	0,00E+00	0,00E+00
	HCl [kg]	3,39E+06	0,00E+00	0,00E+00
	HF [kg]	5,24E+05	0,00E+00	0,00E+00
	NH3 [kg]	1,14E+05	0,00E+00	0,00E+00
	EMISIONES EN EL AGUA	Agroquimicos (sin especificar) [kg]	0,00E+00	0,00E+00
DBO5 [kg]		2,95E+07	0,00E+00	0,00E+00
DCO [kg]		2,50E+08	0,00E+00	0,00E+00
Metales (sin especificar) [kg]		4,66E+06	0,00E+00	0,00E+00
Amonia (como N) [kg]		4,43E+06	0,00E+00	0,00E+00
Nitratos (NO3-) [kg]	7,75E+04	0,00E+00	0,00E+00	
ENERGIA	Energía Primaria	1,03E+13	0,00E+00	0,00E+00
	Energía Fósil	1,03E+13	0,00E+00	0,00E+00