

**Identificación de áreas aptas para el cultivo
del Piñón (*Jatropha curcas* L.) en
Colombia, como alternativa de obtención
de biocombustible.**

José Alberto Gaona Currea

Trabajo de grado

Presentado como requisito para obtener el título de

Ecólogo

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Carrera de Ecología
Bogotá D.C.
Diciembre, 2009

Identificación de áreas aptas para el cultivo del Piñón (*Jatropha curcas* L.) en Colombia, como alternativa de obtención de biocombustible.

José Alberto Gaona Currea

Dirigido por:

Armando Sarmiento

Codirigido por:

Andres Etter

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Carrera de Ecología
Bogotá D.C.
Diciembre, 2009

Nota de aceptación: _____

Dr. Luis Miguel Renjifo

Decano académico.

Dra. Ángela Amarillo

Directora carrera de Ecología.

Armando Sarmiento.

Director.

Dr. Andrés Etter Rothlisberger.

Codirector.

Carmenza Castiblanco.

Jurado.

Alberto Villa.

Jurado.

Agradecimientos:

Un día mi abuelo me dio un libro titulado De Eros a Gaia, en donde me encontré esta frase: “Mi propósito no es imponer un acuerdo, sino provocar la discusión”, Dyson, f, 1992. Agradezco profundamente el aporte de mi abuelo en el pensamiento crítico que se ha forjado en mi interior, pilar de este proyecto de grado.

Otras personas que aportaron desinteresadamente en este proyecto y a quienes deseo agradecerle:

- Guillermo y Maria Consuelo, mis papás.
- Abuelos y abuelas, tíos y tías de las familias Gaona y Currea.
- Armando Sarmiento y Andrés Etter, director y codirector del proyecto de grado.
- Dr. Luis Fernando Campusano, director proyecto “*Jatropha* Colombia”.
- Aldo Buenahora, finquero de La Vega con algunas plantas de *Jatropha* en su propiedad.
- Dra. Ángela Amarillo, directora de la carrera de Ecología.
- Dr. Luis Miguel Renjifo, decano académico.

Mi interés por el tema de la bioenergía se forjó gracias a la práctica de realicé en GUASCOR S.A. en el País Vasco, España, en el 2008. Cada uno de mis colegas aportó para que mi conocimiento creciera.

A cada una de las personas que están en mi vida, le agradezco porque me dan la energía necesaria para levantarme cada día con más fuerza.

Nota de advertencia:

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

+ Índice

1. Resumen.....	8
2. Introducción	9
3. Descripción del problema	11
3.1. Mayor demanda energética	11
3.2. Relación decreciente reservas sobre producción de petróleo.....	13
3.3. Economía petróleo dependiente	14
3.4. Población vulnerable.....	14
4. Antecedentes	15
4.1. Biocombustibles en Colombia y el mundo.....	15
4.1.1. Emisiones de gases efecto invernadero.....	15
4.1.2. Clasificación de los biocombustibles.....	17
4.1.3. Conversión a biocombustible.....	18
4.1.4. Casos de estudio: Brasil y Estados Unidos	20
4.1.5. Costos y precios en Colombia	22
4.1.6. Uso de la tierra en Colombia.....	23
4.1.7. Conflictos socioambientales asociados.....	25
4.1.8. Objeciones de los biocombustibles.....	26
4.1.9. Desarrollo sostenible y biocombustibles	28
4.2. Políticas y marco legal de biocombustibles en Colombia	28
5. Pregunta de investigación.....	34
6. Objetivos	34
6.1. Objetivo general.....	34
6.2. Objetivos específicos.....	34
7. Marco de referencia.....	35
7.1. Caracterización de la <i>Jatropha curcas</i>	35
7.1.1. Aspectos taxonómicos.....	35
7.1.2. Distribución mundial	37

7.1.3.	Usos y aplicaciones.....	38
7.1.4.	Aspectos biológicos.....	41
7.2.	Cultivo de la <i>Jatropha curcas</i>	44
7.2.1.	Aspectos agronómicos.....	44
7.2.2.	Siembra.....	47
7.2.3.	Cosecha.....	49
7.2.4.	Aprovechamiento.....	50
7.3.	El método de evaluación de tierras de la FAO.....	55
8.	Metodología.....	58
8.1.	Consulta a expertos.....	58
8.2.	Ejercicio de identificar áreas potenciales.....	58
8.2.1.	Definición de mapas.....	58
8.2.2.	Definición de variables temáticas.....	59
8.2.2.1.	Variables del medio biofísico.....	59
8.2.2.2.	Variables del medio socioeconómico.....	61
8.2.3.	Formato de datos.....	62
8.2.4.	Sistema de referencia espacial.....	62
8.2.5.	Clasificación de mapas.....	62
9.	Resultados y discusión de resultados.....	63
9.1.	Evaluación de aptitud de tierras.....	63
9.2.	<i>Jatropha</i> y Palma de aceite.....	73
9.3.	Limitaciones.....	73
10.	Conclusiones.....	75
11.	Recomendaciones.....	77
12.	Bibliografía.....	78
13.	Anexos.....	84

+ Índice de figuras

Figura 1: Demanda mundial de energía primaria por fuentes.....	12
Figura 2: Participación del consumo de crudo mundial por sectores 2006 y 2030	12
Figura 3: Evolución de la relación reservas sobre producción de petróleo	13
Figura 4: Tipo de fuente primaria en Latino América para 1995 y 2005.....	15
Figura 5: Porcentajes de emisiones de CO ₂ a partir de combustibles	17
Figura 6: Proceso químico de la transesterificación	19
Figura 7: Eficiencia energética en la producción de biocombustibles	22
Figura 8: Retos y guías para el desarrollo de biocombustibles de forma sostenible.....	28
Figura 9: Hectáreas sembradas con <i>J. curcas</i> en el mundo 2008 y 2015.....	37
Figura 10: Escala de proyectos en el mundo.....	38
Figura 11: Aprovechamiento de la <i>Jatropha curcas</i>	40
Figura 12: Diferentes componentes de la <i>Jatropha curcas</i> L.	43
Figura 13: Distribución de los jornales por cosecha del cultivo de <i>J. curcas</i>	54
Figura 14: Representación esquemática de la implementación de un nuevo proyecto de evaluación de aptitud de tierras.....	57
Figura 15: Modelo metodológico para la evaluación de aptitud de tierras.....	60
Figura 16: M1; Mapa general de aptitudes.....	70
Figura 17: M2; Mapa de áreas aptas con conflicto de uso	71
Figura 18: M3; Mapa de áreas aptas sin conflicto de uso.....	72

+ Índice de tablas

Tabla 1: Emisiones de CO ₂ en el Mundo en 1996, 2001 y 2006.....	16
Tabla 2: Producción de etanol y biodiésel en el mundo, 2006	21
Tabla 3: Área sembrada del cultivo de palma africana y caña de azúcar	24
Tabla 4: Proyecciones de empleo agrícola directo.....	27
Tabla 5: Diferentes nombres de la <i>Jatropha curcas</i> L.	36
Tabla 6: Peso y longitud de algunas variedades de semillas.....	42

Tabla 7: Plagas y Enfermedades Potenciales	45
Tabla 8: Requisitos biofísicos de <i>Jatropha curcas</i> L.	46
Tabla 9: Contenido de aceite en la semilla según la coloración de los frutos	49
Tabla 10: Rendimientos de diferentes materias primas - ha/año.	51
Tabla 11: Costos variables de producción de aceite de <i>J. curcas</i>	52
Tabla 12: Tabla comparativa de costos de producción, rendimiento y número de empleos de la <i>J. curcas</i> y la Palma, para Colombia.....	53
Tabla 13: Balance de egresos e ingresos de 10 años, de venta de aceite de <i>Jatropha curcas</i> (\$ constantes de 2008).....	53
Tabla 14: Origen de los mapas utilizados.....	59
Tabla 15: Variables según su nivel de aptitud.....	61
Tabla 16: Definición del nivel de aptitud de las tierras evaluadas.....	64
Tabla 17: Número de hectáreas por departamento y nivel de aptitud. Mapa general de aptitudes (M1).....	65
Tabla 18: Número de hectáreas por departamento con conflicto de uso y nivel de aptitud, Mapa de áreas aptas con conflicto de uso (M2)	66
Tabla 19: Número de hectáreas por departamento sin conflicto de uso y nivel de aptitud, Mapa de áreas aptas sin conflicto de uso (M3).....	68
Tabla 20: Requisitos biofísicos de la <i>Jatropha curcas</i>	76

+ Índice de anexos

Anexo 1: Principal normatividad vigente para biocombustibles.	84
Anexo 2: Características y composición del aceite de <i>Jatropha curcas</i>	85
Anexo 3: Índice nacional de desarrollo humano, por departamentos año 2003	86

1. Resumen

El interés por los biocombustibles no es un tema que pasa inadvertido. Se debe principalmente a temas relacionados con el cambio climático con el fin de reducir las emisiones de CO₂, así como por cuestiones geopolíticas con el objetivo de disminuir la dependencia de las naciones de los combustibles fósiles (Achten *et al.*, 2009).

Se realizó un ejercicio de evaluación de aptitud de tierras, el cual incorpora el punto de vista biofísico y socioeconómico, valorando la aptitud de las tierras para usos específicos alternativos ecológicamente sostenibles y económicamente viables (IDEAM & MAVDT, 2008). Fueron excluidas las zonas de resguardos indígenas, áreas de conservación, reservas forestales y parques nacionales, lo cual deja 77,084,656 hectáreas -ha- para ser evaluadas (el 67% del territorio nacional). Se consideraron dos tipos de variables en el análisis: biofísicas y socioeconómicas.

Se generaron tres mapas, los cuales muestran las zonas con diferentes niveles de aptitud y conflictos de uso, evaluados a partir de dos tipos de agricultura; empresarial y campesina. Los resultados muestran que: 684,619 ha (0.9%) son altamente aptas sin conflicto de uso; que 2,081,656 ha (2.7%) son moderadamente aptas sin conflicto de uso; 39,963 ha (0.05%) son altamente aptas y con conflicto de uso; 369,019 ha (0.5%) son moderadamente aptas y con conflicto de uso. Localizados en mayor porcentaje en los departamentos de Córdoba, Sucre y Cesar, respecto a los demás departamentos.

Se concluye que sí es viable proponer los cultivos de *Jatropha curcas* como alternativa para producir biodiésel y de esta forma incrementar la oferta de biocombustibles para alcanzar las metas de Gobierno para el sector de transporte.

Palabras claves

Jatropha curcas, bioenergía, evaluación de tierras, aptitud de tierras, biocombustibles, SIG.

2. Introducción

El problema del equilibrio del clima y el medio ambiente es una realidad, viéndose afectado por la emisión de gases efecto invernadero -GEI- (UNFCCC, 2009). Estos gases son causados principalmente por la combustión de derivados de origen fósil, al utilizarse básicamente en los medios transporte y la producción de energía eléctrica (CONPES, 2008).

Una de las mejores soluciones a éste problema es el uso de bioenergía, la cual consiste en producir energía a partir de materia orgánica o biomasa, para la elaboración de biocombustibles, sin generar excesos de GEI en la atmósfera (ONU, 2007).

A nivel mundial, la producción de biocombustible ha tenido un marcado crecimiento a comienzos del presente siglo; se producían 893 millones de litros en el año 2000 y se pasó a producir 3.762 millones de litros en el 2005 (Escobar *et al.*, 2008). Actualmente, el biocombustible representa cerca del 1% del consumo de combustible en transporte (FAO, 2008a); se estima que para el 2030 estará alrededor del 7% (Escobar *et al.*, 2008).

En América Latina el potencial de producción de biocombustible es enorme. En términos geopolíticos, esto es una ventaja que podría garantizar la seguridad energética y la sostenibilidad del desarrollo a largo plazo (Posada, 2009). El mundo ha volcado su atención a países tropicales, cuna de los cultivos bioenergéticos, ya que surgen varios riesgos relacionados con la producción de biocombustibles, como son los temas económico, social y ambiental (Achten *et al.*, 2009; Demirbas *et al.*, en impresión; FAO, 2008a; ONU, 2007).

Colombia cuenta con una gran variedad de ecosistemas y enclaves ecológicos, los cuales dependen de una serie de factores como altitud, posición geográfica, hidrología, pluviometría, alteración del uso del suelo, etc (Etter, 2009; UAESPNN, 2006). Por tanto, la planificación para implementar cultivos con miras a la producción de biocombustible es una de las prioridades para no deteriorar dichos enclaves (Campuzano, 2009).

La utilización de *Jatropha curcas* L. como alternativa para producir biodiésel está en constante crecimiento (Achten *et al.*, 2008). Sin embargo, a nivel mundial las condiciones agronómicas todavía no se han entendido del todo y sus implicaciones ecológicas hasta ahora están siendo abordadas por estudios académicos, por lo que la literatura especializada hace un llamado a la

precaución antes de tomar decisiones concernientes a esta planta (Achten *et al.*, 2009; Achten *et al.*, 2008; Maes *et al.*, en impresión).

El aporte de esta investigación es evaluar en primera instancia el tamaño y ubicación de las áreas con aptitudes para cultivos de *Jatropha curcas* en Colombia, teniendo en cuenta aspectos biofísicos y socioeconómicos. Se llevará dentro del marco de evaluación de aptitud de tierras, el cual está diseñado para brindar un mejoramiento y un manejo sostenible a la tierra, para el beneficio de la gente (FAO, 2007). Según la FAO (2007) este esquema lleva a una planificación racional de la utilización de la tierra y un uso apropiado y sostenible de los recursos naturales y de los recursos humanos.

3. Descripción del problema

Hay una mayor demanda energética, la cual es suplida en su gran mayoría por fuentes fósiles; cómo el gas, el carbón y los derivados del petróleo. Existe una relación directa entre la demanda y el crecimiento económico de los países. Debido a la relación decreciente de reservas sobre producción de petróleo, se habla de una economía petróleo dependiente, punto de partida de las energías renovables

Los biocombustibles incrementan su importancia, cuando se sabe que el sector de transporte es el que consume la mayoría de la energía de un País. Cuando se opta por producir biocombustibles en un País, donde hay situaciones de pobreza preocupantes, sobre todo en el ámbito rural, es importante tener en cuenta los proyectos sociales asociados; La *Jatropha curcas* permite este tipo de proyectos con más facilidad que otros tipos de plantas para producción de biodiésel.

3.1. Mayor demanda energética

Las leyes de la termodinámica son hoy una base para entender cómo los sistemas responden a cambios en su entorno (Tipler & Mosca, 2003). A grandes rasgos, la segunda ley de la termodinámica expresa que todo lo que ocurre implica un desperdicio de energía que reduce la potencialidad energética de su entorno. Esta energía, que constantemente se está perdiendo para que los hechos puedan ocurrir y las cosas puedan ser, se convierte en calor (Barrera, 1999). Es por esta razón que las naciones buscan cada vez más energía inicial (o primaria).

La demanda energética está asociada al crecimiento y desarrollo de las naciones y es generada por la competencia tecnológica que existe entre regiones. El Plan Energético Nacional de Colombia - PEN- (UPME, 2007) habla de la rivalidad existente entre la Unión Europea y Estados Unidos. Cuando se habla de tecnología, se está invocando el uso del petróleo, principal fuente de energía primaria utilizada desde hace más de dos siglos.

Como se ilustra en la Figura 1, la canasta energética mundial está compuesta en mayor proporción de derivados de combustibles fósiles (87%), en particular la gasolina y el diésel, productos que ocasionan evidentes efectos ambientales negativos (Contraloría, 2006), como son el *smog* en las ciudades y el calentamiento global. Una de las causas del cambio climático es la combustión del petróleo (AIE, 2007; Campuzano, 2009; UNFCCC, 2008).

Aunque se ha venido hablando de este tema desde hace varias décadas, fue partir de la Convención llevada a cabo en Kioto en 1997 -de donde proviene el nombre del Protocolo de Kioto-

en la cual se establece que se deben reducir los gases efecto invernadero (entre esos el CO₂) emitidos por la combustión de cualquier derivado de origen fósil. En el protocolo, los países industrializados se comprometen a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero (UNFCCC, 2009).

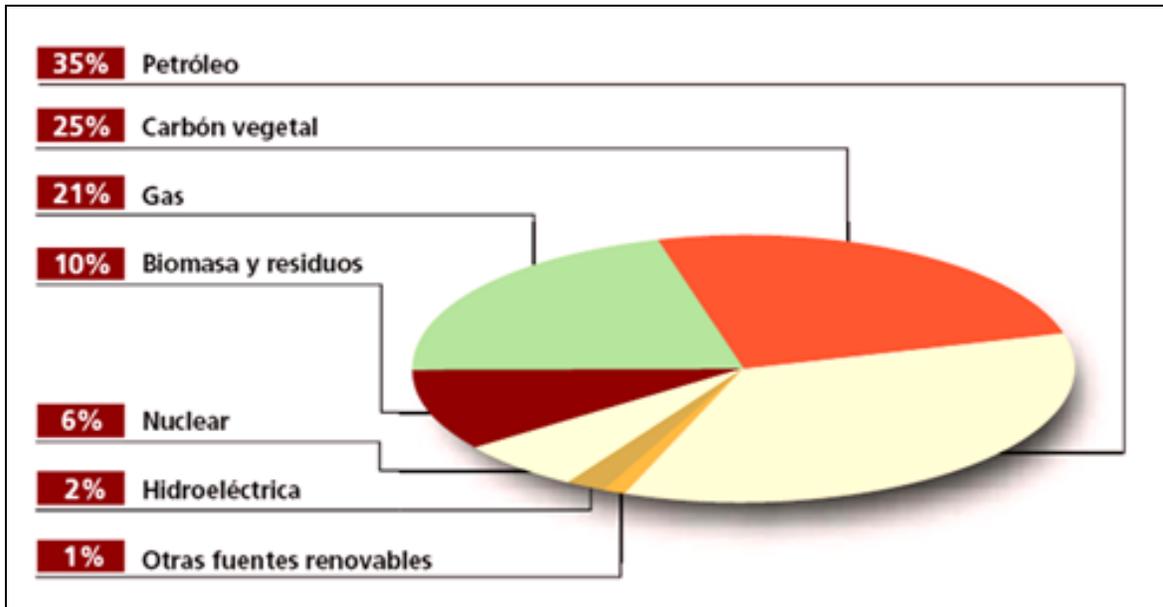


Figura 1: Demanda mundial de energía primaria por fuentes – año 2005 (FAO, 2008b).

La demanda de petróleo es liderada por el sector de transporte, la industria y la actividad de generación de energía eléctrica. En cuanto al consumo, éste se ve reflejado principalmente por el sector del transporte con un creciente aumento, según la Agencia Internacional de la Energía -AIE-, como se muestra en la Figura 2. Se pasó de un 52% de participación del consumo de crudo a nivel mundial a un 64% en un cuarto de siglo (CONPES, 2008).

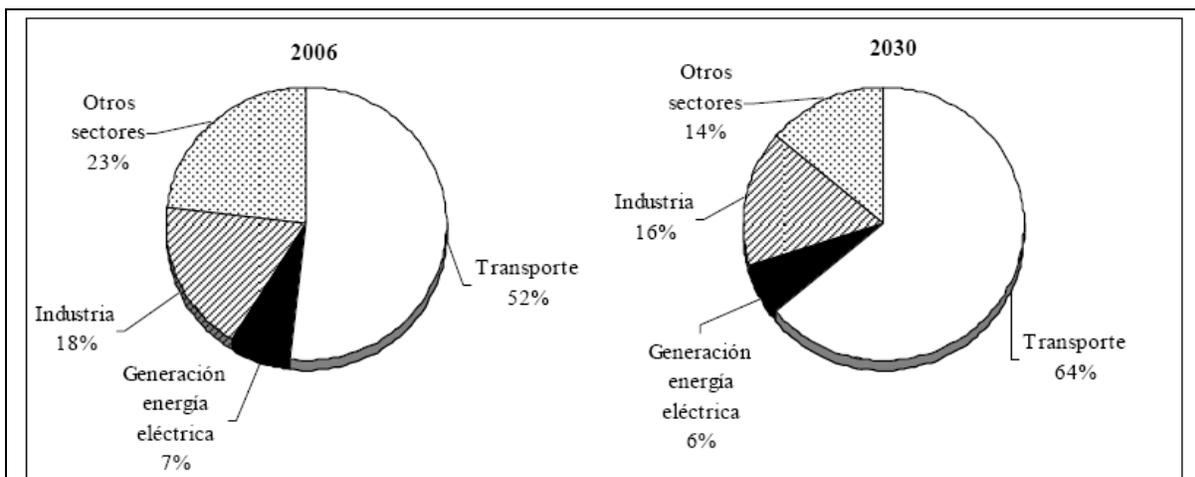


Figura 2: Participación del consumo de crudo mundial por sectores 2006 y 2030 (AIE, 2007 en CONPES, 2008).

3.2. Relación decreciente reservas sobre producción de petróleo

Se menciona en el Plan Energético Nacional (UPME, 2007) acerca de las reservas internacionales de petróleo, gas y carbón. En el caso del petróleo, según varios organismos, se pronostica un pico de producción para antes de mitad de este siglo. En cuanto a gas natural, se habla de unas reservas un poco mayores. En el caso del carbón, la relación reservas/producción se estima que será de 300 años.

La relación reservas sobre producción (R/P) es el cociente de las reservas de la materia prima sobre la producción de este bien, que indica el número de años durante el cual se puede producir algún derivado con las reservas disponibles (CONPES, 2008). La oferta de crudo medida en la relación reservas sobre producción (R/P) está pronosticada para el año 2006 de 38.8 años, inferior al periodo 1998-2006, en donde las cifras oscilaron entre 39 y 42 años (CONPES, 2008). Como se puede observar en la Figura 3, cada vez hay más consumo y producción. La relación R/P es marginalmente decreciente. El crecimiento demográfico y la dependencia industrial son los principales causantes de esto (Campuzano, 2009).

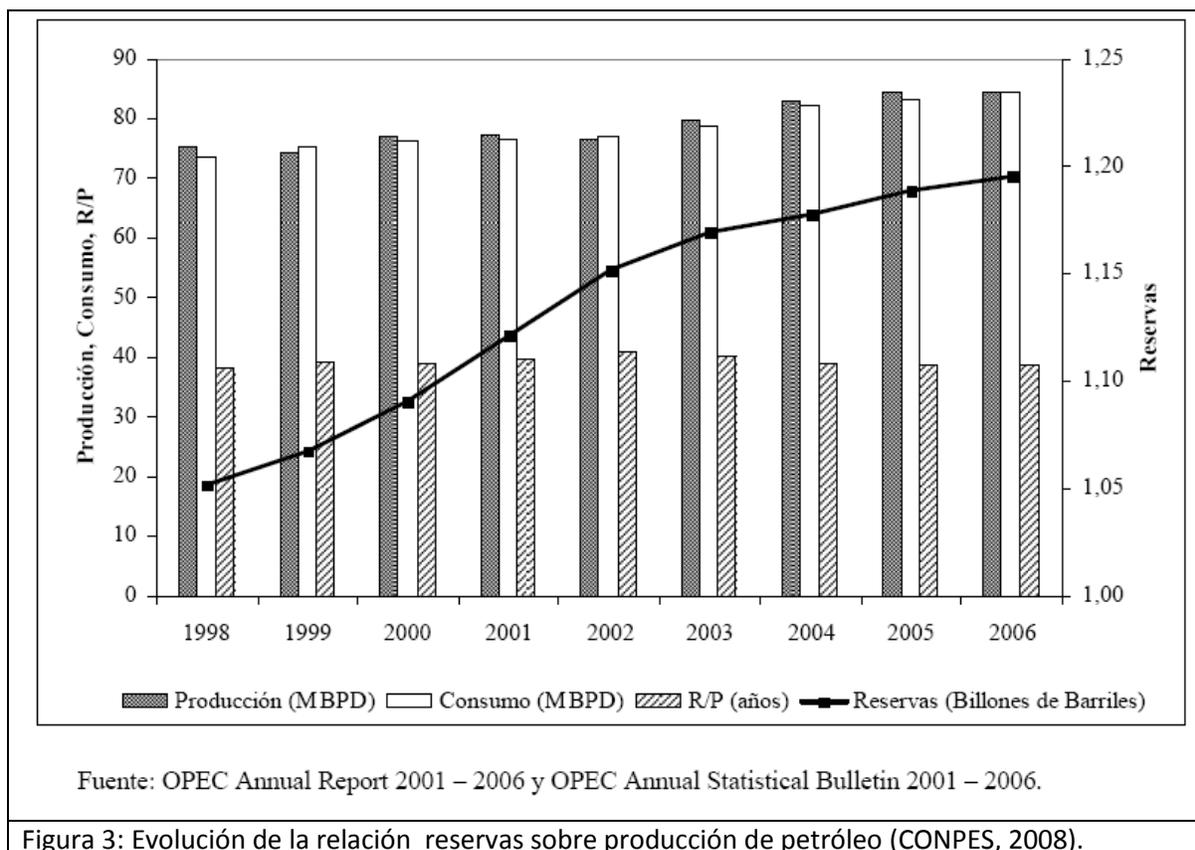


Figura 3: Evolución de la relación reservas sobre producción de petróleo (CONPES, 2008).

3.3. Economía petróleo dependiente

Lo anterior refleja una dependencia hacia los países productores de carbón y petróleo (Achten *et al.*, 2009). Teniendo en cuenta estas cifras, se puede hablar de la constitución de una economía dependiente del petróleo, la cual por muchos años va a seguir obedeciendo a los mercados de este hidrocarburo.

Ya empiezan a detectarse diferentes alternativas como el carbón, el gas, diferentes tipos de biomasa, entre otras. Las energías renovables son una de estas alternativas, éstas consisten en energía que es producida o se deriva de fuentes que se renuevan indefinidamente, tales como las energías hídrica, solar y eólica, o fuentes producidas de forma sostenible, tales como la biomasa (FAO, 2008a). Una de ellas es el biocombustible, el cual busca complementar la demanda mundial de energía (Campuzano, 2009), evaluada en 11.400 millones de toneladas equivalentes de petróleo – mtep (AIE, 2007). Los principales factores que estimularán la competitividad de las fuentes de energía renovables serán los precios más altos de los combustibles fósiles y las políticas y programas gubernamentales en apoyo del desarrollo de las energías alternativas (FAO, 2008a).

3.4. Población vulnerable

El crecimiento demográfico demanda cada vez más energía. Se estima que el rápido incremento de la inflación, en particular la de alimentos, así como el desplazamiento de población a espacios urbanos, ha empeorado la distribución del ingreso, ha incrementado la pobreza y disminuido el acceso a agua potable (FAO, 2008c; UPME, 2007).

La crisis energética y la de producción agrícola han sido factores decisivos para que surjan iniciativas al crecimiento y el mercado de biocombustibles (Contraloría, 2006). Algunas iniciativas para disminuir la pobreza en la población vulnerable han surgido sobre todo con proyectos bioenergéticos de pequeña escala (FAO & PISCES, 2009).

En Colombia se realizó un estudio con el fin de actualizar las cifras de empleo, pobreza y desigualdad, encontrando que el coeficiente de Gini ha permanecido estable en los últimos seis años, en 0,59 (la variable fluctúa entre 0 y 1). Cuando el indicador es cero es porque hay plena igualdad, esto quiere decir que la desigualdad del ingreso sigue siendo muy alta en Colombia y una de las más elevadas de América Latina (MESEP, 2009).

Aunque Colombia ocupa el puesto 77 en el listado del indicador social de desarrollo humano -IDH-, haciendo parte de los países con alto desarrollo humano (UNDP, 2009), internamente y sobre todo en las poblaciones más alejadas las condiciones de pobreza son preocupantes (Pérez, 2005).

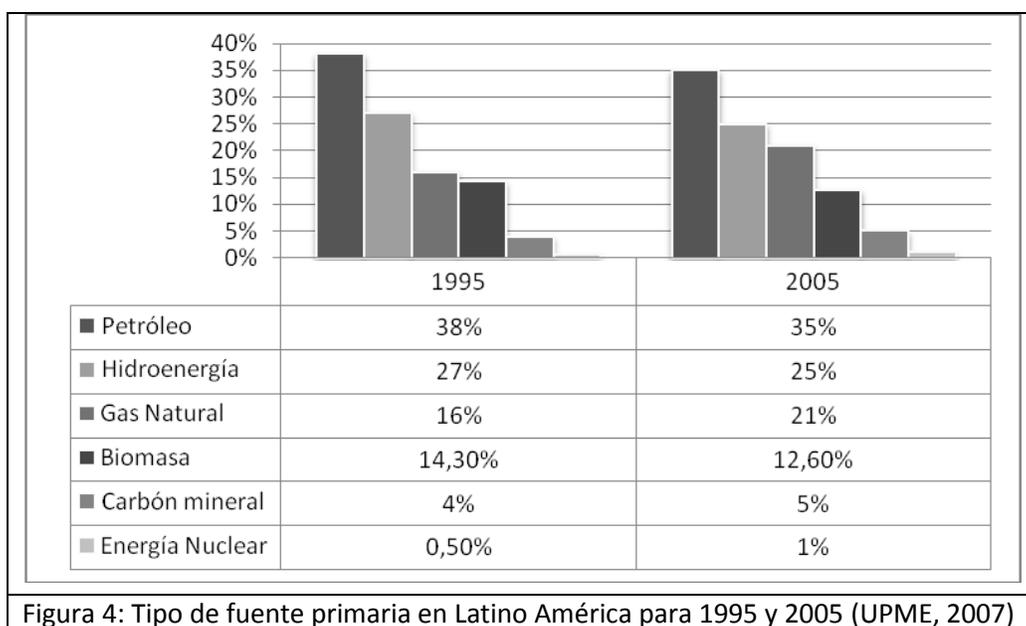
4. Antecedentes

4.1. Biocombustibles en Colombia y el mundo

4.1.1. Emisiones de gases efecto invernadero

Los gases efecto invernadero son la principal causa por la que la temperatura de la tierra se incrementa con el pasar de los años, es por esto que el interés a nivel mundial es cada vez más creciente. Algunos estimativos indican que efectivamente va a haber un aumento en la temperatura de la superficie terrestre (IPCC, 1997), la cual induciría muchos cambios en el sistema global del clima durante el siglo XXI, siendo muy probable que sean más grandes que los observados durante el siglo XX. Un estimativo fue llevado a cabo por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático - IPCC¹, en donde los tres escenarios estudiados mostraban un aumento en la temperatura del planeta desde 0.6 a 1°C en el escenario más positivo en 100 años y desde 1.7 a 4°C en el escenario negativo en el mismo periodo de tiempo (IPCC, 1997).

En América Latina, así como en el resto del mundo, la principal fuente de energía primaria es un combustible fósil, como se observa en la Figura 4. Los derivados del petróleo son los mayores emisores de GEI a la atmósfera, siendo las fuentes móviles las que más representación tienen en este aspecto. En Latino América la alta generación de energía a partir de hidroeléctricas, con



¹ Intergovernmental panel on climate change

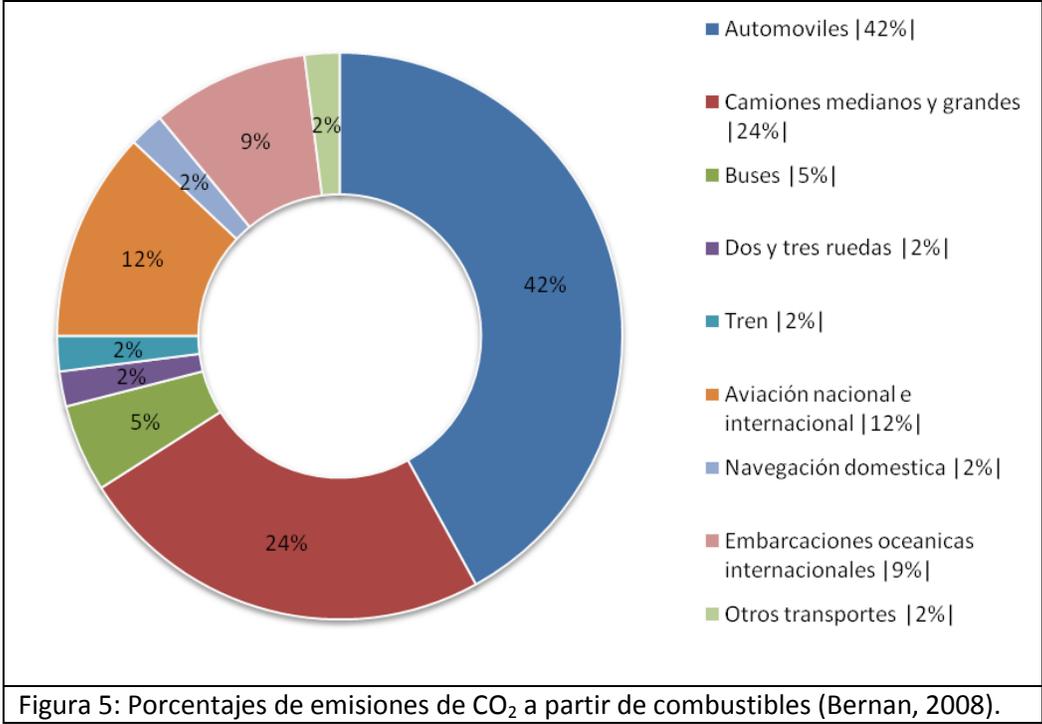
relación al resto del mundo, es dada especialmente por Colombia y Brasil (Posada, 2009).

Cómo respuesta a la emisión de CO₂ por fuentes móviles, siendo los automóviles los principales generadores a nivel mundial (42%), como se observa en la Figura 5, Algunos países han desarrollado nuevas tecnologías para hacer frente a este problema. Existe bastante incertidumbre alrededor del cálculo de las emisiones producidas a partir de biocombustibles, algunos trabajos hablan de una disminución de entre el 30% y el 50%, en donde se deben tener en cuenta las diferentes formas de cultivar y cosechar, así como los insumos utilizados, ya que en algunos casos el balance es negativo, en cuanto a emisiones se refiere (OECD, 2008b).

Tabla 1: Emisiones de CO₂ en el Mundo en 1996, 2001 y 2006 (AIE, 2008). Millones de toneladas métricas -mtm-.

País/Región	1996	2001	2006
México	333	380	436
Estados Unidos	5,511	5,762	5,903
Norte América	6,368	6,697	6,954
Brasil	307	349	377
Colombia	57	57	62
Central & Sur América	904	1,016	1,138
Alemania	892	878	858
España	245	332	373
Reino Unido	591	575	586
Europa	4,485	4,559	4,721
Rusia	1,617	1,571	1,704
Eurasia	2,427	2,332	2,601
Irán	263	334	471
Kuwait	49	57	75
Medio Oriente	935	1,119	1,505
Sur África	356	399	444
África	846	923	1,057
China	2,937	3,108	6,018
India	835	1,035	1,293
Indonesia	237	300	280
Japón	1,138	1,197	1,247
Asia & Oceanía	6,841	7,608	11,220
Media mundial	107	114	136
Total Mundo	22,806	24,253	29,195

En el mundo, la emisión de CO₂ para el 2006 fue de 29,195 millones de toneladas métricas – mtm. En Colombia en el mismo año la emisión fue de 62 mtm (AIE, 2008). En la Tabla 1 se puede observar el incremento general de emisiones de 1996 a 2006. Es importante observar que los países que más CO₂ emiten son China y Estados Unidos, potencias económicas mundiales. El País asiático incrementó 3 veces las emisiones en 10 años. Así mismo las regiones que más emisiones generan son: Asia & Oceanía (11,219 mtm), Norte América (6,954 mtm) y Europa (4,720 mtm).



4.1.2. Clasificación de los biocombustibles

Los dos tipos principales de biocombustible son el etanol y el biodiésel: El primero producido a partir de la caña de azúcar, cereales (maíz, trigo, soya, etc.), tubérculos (papá, yuca, etc.), entre otros; El biodiésel, por su parte, es producido a partir de aceites vegetales de las semillas oleaginosas (palma africana, *Jatropha*, girasol, etc.) o grasa animal (AIE, 2006 En Mantilla 2009).

Se han dividido en varias generaciones los biocombustibles, la primera se refiere a los combustibles que se han obtenido a partir de fuentes como el almidón, azúcar, grasas animales y aceites vegetales. El aceite se obtiene utilizando las técnicas convencionales de producción (FAO, 2008b).

En cuanto a la segunda generación (2G), actualmente en vía de desarrollo, se producirían a partir de materias primas lignocelulósicas como la madera, los pastos altos y los residuos leñosos y agrícolas. Ello se traduciría en un aumento de las posibilidades cuantitativas de producción de biocombustibles por hectárea de tierra -ha-, así como en un mejoramiento de los balances de energía fósil y de gases efecto invernadero de los biocombustibles. No obstante, no se sabe cuándo entrarán en producción esas tecnologías en una escala comercial significativa (FAO, 2008b). Hay un creciente interés en desarrollar materia prima para estos tipos de biocombustibles en donde no sea biomasa comestible, tal como pastos perennes, especies leñosas, residuos de celulosa, algas, entre otras (Eckardt, 2009).

Los biocombustibles de tercera generación (3G) son aquellas que mediante ingeniería genética aplicada en la biomasa ha permitido desarrollar esta generación de biocombustibles. Las mismas tecnologías de producción que las de 2G se aplican a materias primas genéticamente modificadas con un objetivo determinado. Es el caso del etanol de madera obtenido a partir de árboles con bajo contenido de lignina, minimizando de esta forma los costos de pre-tratamiento, los más altos del proceso total (Lobato, 2008). La mejora en las materias primas y los procesos de producción también están en la mira de la tercera generación de biocombustibles: etanol de celulosa, etanol de maíz con celulosas integradas, biodiésel de algas, enzimas hidrolíticas, procesos de síntesis y gasificación de biomasa, entre otros (Domínguez, 2008; Lobato, 2008).

4.1.3. Conversión a biocombustible

La producción de etanol se hace a partir de la fermentación de cualquiera de las materias primas mencionadas anteriormente, las cuales son ricas en azúcar, en celulosa o almidón (se convierten en azúcares). La cadena de carbohidratos de los azúcares es directamente convertible en etanol. En la actualidad, no existe prácticamente producción comercial de etanol a partir de biomasa celulósica, pero se siguen realizando investigaciones importantes en ese tema (FAO, 2008b). Otros modos de obtener etanol son: la segregación molecular, es un proceso en el cual se fragmenta la biomasa separando las proteínas del almidón, la fibra etc.; la hidrólisis de la celulosa es otro proceso que permitiría utilizar cualquier materia que contenga celulosa, por ejemplo desechos o residuos agrícolas. El proceso está en investigación en muchas partes del mundo y se calcula que será económicamente viable en poco tiempo (MADR, 2009).

Algunos autores (Achten *et al.*, 2008; Berchmans & Hirata, 2008; Singh *et al.*, 2008; Sotolongo *et al.*, 2007) califican la transesterificación como la principal vía para la producción de biodiésel, ésta se basa en un proceso químico que consiste en mezclar el aceite de la materia prima con un alcohol y un catalizador. Bioquímicamente el biodiésel se define como esteres de mono alquilo, constituido por cadenas largas de ácidos grasos derivados de los aceites vegetales o animales como resultado de su transesterificación, o por esterificación directa de los ácidos grasos, por medio de una gran variedad de alcoholes mono o polihídricos. Técnicamente la transesterificación “es el resultado de 3 reacciones reversibles consecutivas, en las cuales el triglicérido es convertido en diglicérido, luego en monodiglicérido y finalmente en glicerina, produciendo un mol de ester en cada una de estas reacciones” (Riveros & Molano, 2006) como se muestra en la Figura 6.

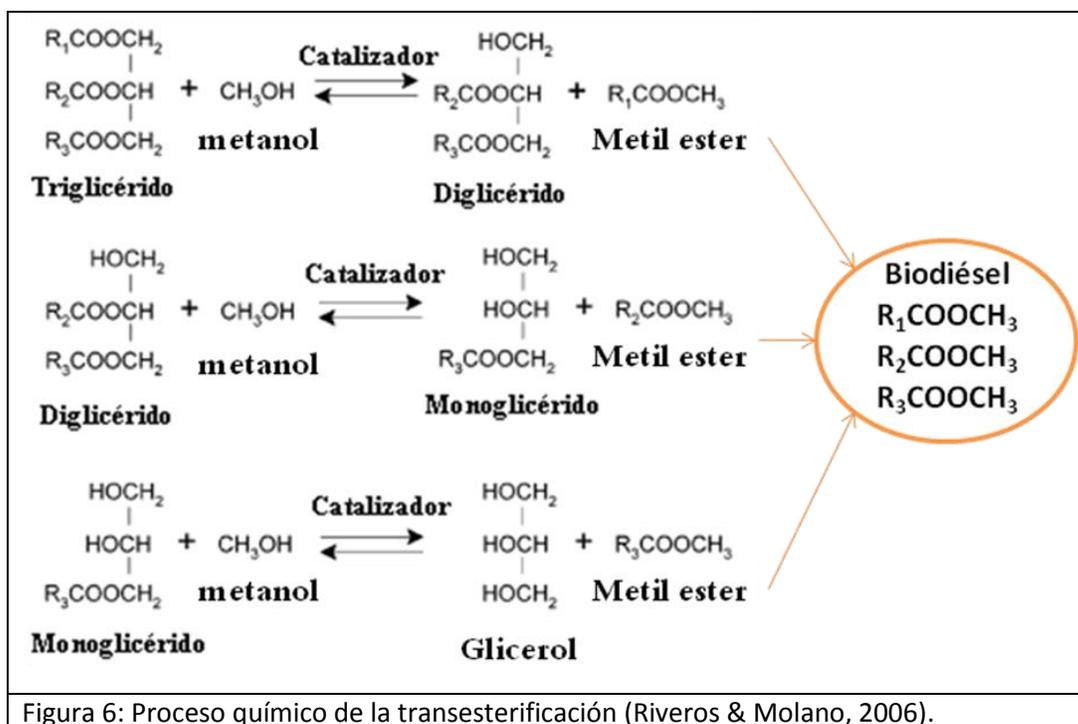


Figura 6: Proceso químico de la transesterificación (Riveros & Molano, 2006).

Este proceso es la vía de producción de biodiésel más común y requiere de un catalizador para producir la reacción en la que se genera como producto principal esteres metílicos (biodiésel) y como subproducto un trialcohol (glicerina) (UPME, 2009). Los catalizadores homogéneos alcalinos son los más usados, debido a su bajo costo y la alta disponibilidad en el mercado.

Sin embargo, cuando se usan aceites con un alto porcentaje de ácidos grasos y humedad, como lo son los aceites usados, el uso de una catálisis ácida es más acertado, aunque presenta una velocidad de reacción más lenta. El uso de una catálisis homogénea, ya sea básica o ácida,

requiere varios procesos de separación del catalizador, ya que éste es soluble en el medio de reacción y como resultado se presenta la formación de una sola fase (Riveros & Molano, 2006).

La glicerina que resulta de este proceso tiene más de 1.500 usos conocidos; no obstante, en este momento las aplicaciones más importantes están en la industria de la alimentación, siendo además, el sector que más crece, con tasas de 4% anual. La cosmética le sigue en importancia con tasas de crecimiento anual que superan los 3.5% (Sotolongo *et al.*, 2007). Algunos grupos de investigación como el de química de la universidad de Oxford, liderado por el profesor Tsang, han avanzado en la conversión de la glicerina en etanol (Oxford, 2009).

Aunque los estudios de impacto ambiental son de cada caso particular, en algunas plantas de tratamiento para el aceite de palma africana en el departamento del Meta, se evidenciaron algunos impactos ambientales en los cuerpos de agua aledaños a las plantas de conversión, debido al agua acidificada utilizada para lavar los esteres (biodiésel), la cual queda como residuo. Los suelos también se vieron afectados, al parecer por la misma agua residual que tenía contacto con éstos, lo cual generaba una acidificación considerable (Pareja, 2007).

4.1.4. Casos de estudio: Brasil y Estados Unidos

Como se ilustra en la Tabla 2, en el mundo son varios los países que han dado luz verde a la producción de biocombustibles, como son los casos de Estados Unidos -E.U.A.- y Brasil (ONU, 2007), los principales productores de etanol a nivel internacional, con 18,300 y 15,700 millones de litros/año respectivamente en el 2006. La materia prima en Brasil es la caña de azúcar y en E.U.A. es el maíz (Escobar *et al.*, 2008).

Brasil, durante la primera crisis mundial del petróleo en 1975, emprendió un programa nacional de biocombustibles llamado *Proálcool*, que permitió producir etanol en gran escala a partir de las existencias nacionales de caña de azúcar, avanzando así hasta la producción que tiene actualmente (Worldwatch_Institute, 2007). Gran parte del éxito que han conocido los biocombustibles en Brasil se debe a la elevada productividad de la caña de azúcar y a la idoneidad de la materia prima para ser convertida de forma eficiente en etanol (FAO, 2008a), ya que es la materia prima con mayor eficiencia energética para producción de biocombustibles, como se aprecia en la Figura 7. Adicional, cada año se establecen aproximadamente 190,000 ha de plantaciones de caña de azúcar, principalmente en el centro y sur del país, sumándose a las más

de 5.5 millones de hectáreas sembradas con caña, de las cuales el 52% es para producción de etanol y el restante para producción de azúcar (FAO, 2008a; Worldwatch_Institute, 2007).

Tabla 2: Producción de etanol y biodiésel en el mundo, 2006. (Worldwatch_Institute, 2007). *Para biodiésel en Colombia datos del 2007 (UPME & Biofuels_Consulting, 2007).

	País o Región	producción	producción	Porcentaje del total
		(Millones de litros)	(millones de galones)	(%)
Biodiésel	Alemania	2.499	660,24	40,6
	Estados Unidos	852	225,10	13,8
	Francia	625	165,13	10,2
	Italia	568	150,07	9,2
	República Checa	153	40,42	2,5
	España	142	37,52	2,3
	Malasia	136	35,93	2,2
	Polonia	114	30,12	1,9
	Reino Unido	114	30,12	1,9
	Australia	91	24,04	1,5
	Austria	85	22,46	1,4
	Dinamarca	80	21,14	1,3
	Filipinas	68	17,97	1,1
	Brasil	68	17,97	1,1
	China	68	17,97	1,1
	Otros	490	129,46	8,0
	Colombia*	57	15,06	0,9
	Total Europa	4.504	1.189,96	73,2
	Total Américas	1.113	294,05	18,1
	Total Mundo	6.153	1.625,62	100
Etanol	País o Región	producción	producción	Porcentaje del total
		(Millones de litros)	(millones de galones)	(%)
	Estados Unidos	18.300	4.834,86	47,9
	Brasil	15.700	4.147,94	41,1
	Unión Europea	1.550	409,51	4,1
	China	1.300	343,46	3,4
	Canadá	550	145,31	1,4
	Colombia	250	66,05	0,7
	India	200	52,84	0,5
	Tailandia	150	39,63	0,4
	Australia	100	26,42	0,3
	América Central	100	26,42	0,3
	Total Mundo	38.200	10.092,44	100

El programa *Proálcool*, junto con otros programas de gran envergadura están situando su atención en los empleos por hectárea que generan (Worldwatch_Institute, 2007), ya que se han visto casos en los cuales los pequeños productores son marginados generando una presión aún mayor sobre sus ya limitados recursos financieros (ONU, 2007).

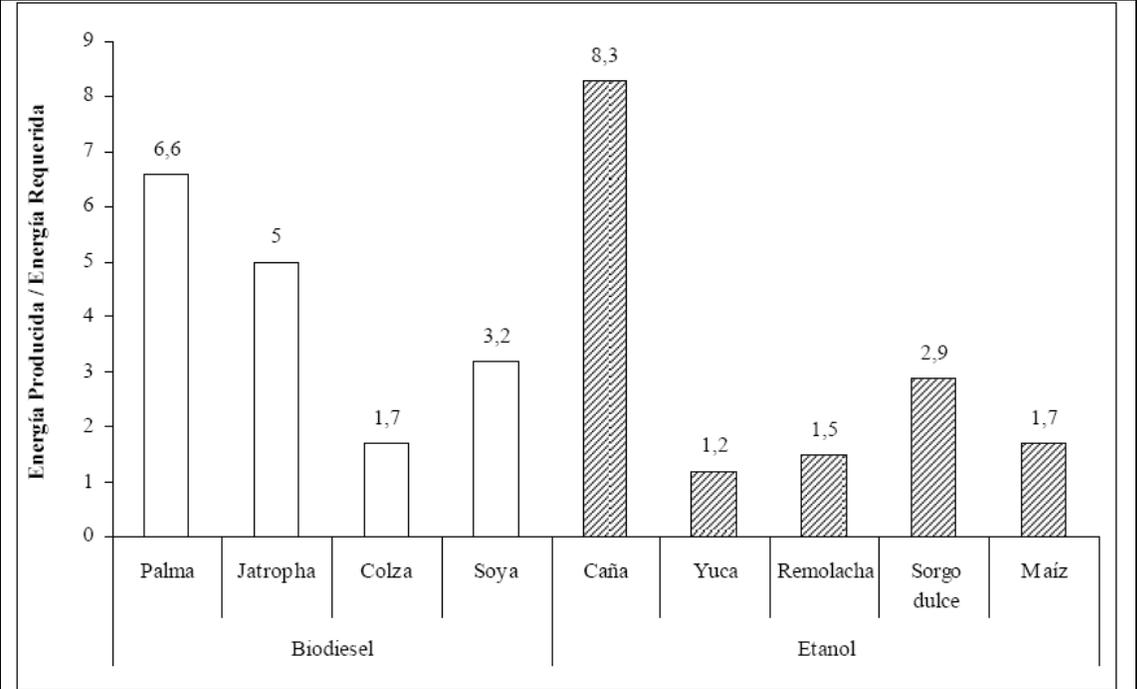


Figura 7: Eficiencia energética en la producción de biocombustibles (CONPES, 2008).

En Brasil los biocombustibles producidos a partir de la caña de azúcar son más competitivos que la gasolina cuando el precio del petróleo supera los U\$35 por barril. En comparación, en E.U.A. el etanol producido a partir del maíz llega a ser competitivo cuando el precio del barril de petróleo es de U\$55, y en la Unión Europea -U.E.-, el etanol lo es cuando el precio del petróleo es de U\$75 a U\$100 por barril (Worldwatch Institute, 2007 en FAO, 2008a), debido a los precios comparativamente bajos, ya que aunque la materia prima en Brasil y Estados Unidos tiene aproximadamente el mismo precio, los costos de los insumos y de la operación y mantenimiento son entre 3 y cuatro veces mayores en E.U.A. (CONPES, 2008). El precio promedio del barril de petróleo en 2007 fue de U\$72 y en 2008 de U\$100 (EIA, 2009).

4.1.5. Costos y precios en Colombia

Colombia no es del todo ajena a la tendencia mundial del mercado del crudo y sus derivados, así como tampoco lo es en el tema de bioenergéticos, sobre todo en lo relacionado a

biocombustibles. Éstos pretenden diversificar la canasta energética disponible en el mercado nacional y seguir los pasos de Brasil al querer exportar etanol y biodiésel. Para esto último es preciso facilitar las condiciones necesarias de eficiencia productiva, de forma tal que en un mediano y largo plazos no sean necesarios los subsidios para dicha actividad (CONPES, 2008).

En Colombia los costos de producción de etanol a partir de caña, en el Valle del Cauca, son muy superiores a los de E.U.A., pero menores a los de la U.E. El costo de la materia prima es dos veces la de E.U.A. pero maneja el menor precio de los insumos. En operación y mantenimiento maneja los mismos altos costos que la U.E. (CONPES, 2008).

El precio de biodiésel para el mes de septiembre de 2009 fue de: \$8,051/galón y \$2,127/litro según la Resolución del Ministerio de Minas y Energía de Colombia – MME N° 181460 de Agosto 28 de 2009. Y el precio de etanol para el mismo periodo del mismo año fue de: \$6,816/galón y \$1,800/litro según la Resolución del MME N° 181459 de Agosto 28 de 2009.

4.1.6. Uso de la tierra en Colombia

En Colombia hay una desproporción entre el uso y el potencial de la tierra, debido principalmente a la falta de planificación (Campuzano, 2009; Castiblanco, 2009; Demirbas, 2008). En el país las tierras con potencial forestal y de conservación tienen una leve subutilización. En las tierras con potencial agrícola, la subutilización es máxima, con 21.5 millones de hectáreas con potencial sólo se usan actualmente para esta actividad 4.2 millones de hectáreas (MADR & CCI, 2008). En contraste la actividad ganadera, sobreutiliza la tierra, de tal forma que de los 14,3 millones de hectáreas con aptitud de uso se utilizan en el País 42,5 millones de hectáreas (Bochno, 2008).

En la Encuesta Nacional Agropecuaria se evidencia que el mayor uso de la tierra está dado por el sector pecuario (77%), seguido de un uso forestal - bosques (14%) y de actividades agrícolas (7%). De esta última actividad el 39% de las tierras son utilizadas para cultivos transitorios y barbecho y el 59% en cultivos permanentes, entre los cuales se incluye la palma africana y la caña de azúcar (MADR & CCI, 2008).

Actualmente se está desarrollando un trabajo en conjunto entre Fedepalma, el Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt, MADR e IDEAM, para determinar las tierras con aptitudes para la palma africana; en el momento los resultados no están disponibles al público.

Así mismo, se evidencian varios proyectos piloto con relación a materias primas alternativas como la higuera y la *Jatropha* (Campuzano, 2009), sobre esta última se ampliará la información a lo largo del presente trabajo.

Tabla 3: Área sembrada del cultivo de palma africana y caña de azúcar, por departamentos. Año 2008 (MADR & CCI, 2008).

	Departamentos	Área total sembrada	Porcentaje del total
		(ha)	(%)
Palma Africana	Meta	96.206	29,81
	Santander	54.589	16,91
	Cesar	48.644	15,07
	Magdalena	37.339	11,57
	Nariño	29.010	8,99
	Bolívar	19.108	5,92
	Casanare	14.710	4,56
	Norte de Santander	10.384	3,22
	Cundinamarca	2.754	0,85
	Antioquia	336	0,10
	Atlántico	275	0,09
	Guajira	260	0,08
	Córdoba	154	0,05
	Sucre	23	0,01
	Otros Departamentos	8.988	2,78
Total nacional	322.781	100,00	
Caña de Azúcar	Departamentos	Área total sembrada	Porcentaje del total
		(ha)	(%)
	Valle	178.595	79,98
	Cauca	39.854	17,85
	Risaralda	4.194	1,88
Otros	664	0,30	
Total Nacional	223.307	100,00	

Como se ilustra en la Tabla 3, ya son varios los departamentos que han incluido como actividad permanente la palma africana. Hasta hoy el etanol producido en Colombia se extrae en su mayoría de la caña de azúcar del Valle Geográfico del Río Cauca (79%). Por sus condiciones agro-climáticas ideales, esta región permite cosecha y molienda de caña de azúcar durante todo el año y no en forma estacional, como lo es en el resto del mundo (UPME, 2009).

Aunque el MADR no publica cifras oficiales sobre la producción de biocombustibles (MADR & CCI, 2008), las cifras presentadas por el ex-ministro de dicha cartera, Andrés Felipe Arias Leiva, en la cartilla de logros de su periodo (Arias, 2008) son concordantes con las enunciadas en la Tabla 2; La producción de biodiesel es de 57 millones de litros y la de etanol de 250 millones de litros.

4.1.7. Conflictos socioambientales asociados

Los cultivos bioenergéticos conllevan a un cambio en el uso de la tierra, produciendo algunos efectos medioambientales negativos en ella, los recursos hídricos y la biodiversidad (FAO, 2008b). Esto genera varios conflictos socioambientales, dado que se evidencia un choque de intereses entre los diferentes actores interesados, generando disputas con respecto a las relaciones de poder, en torno a la apropiación, uso y distribución de los recursos naturales. “Donde la distribución ecológica se define por patrones naturales (clima, topografía, calidad de suelo, riqueza de los ecosistemas, entre otros), pero también por patrones sociales, culturales, económicos, políticos y tecnológicos” (Martínez 2004 en Castiblanco 2009) es el lugar en el que se presentan esos conflictos.

Se identifican cinco características de los conflictos socioambientales generados por la producción de biocombustibles en Colombia (Castiblanco, 2009):

1. En primer lugar, son conflictos que sobrepasan la brecha de los impactos ambientales y se disputan por implicaciones políticas, en donde su génesis y resolución depende básicamente de la relación de fuerzas entre las partes interesadas, y no sólo de factores técnicos o científicos presentes para dar solución a un problema ambiental.
2. El grado de complejidad está condicionado por la combinación de violencia, de una escasa capacidad de diálogo y de compromiso, por la heterogeneidad de los actores y por la importancia económica y militar de éstos en las zonas donde se desarrollan los conflictos.
3. Se fundamentan en necesidades culturales, como la del reconocimiento de la identidad y la de los derechos de los actores que están siendo marginados de las decisiones ambientales y económicas que los afectan en un territorio específico.
4. Los actores centrales implicados son, el estado, la empresa privada y la sociedad civil. Los dos primeros defienden la globalización económica como medio para lograr el desarrollo,

orientado por una voluntad política centralizada; para la sociedad civil, significa ante todo una lucha contra la pobreza con miras a satisfacer las necesidades básicas.

5. Por último, pero no menos importante, es el acceso desigual a la tierra y a los demás recursos naturales. La concentración de la propiedad del País tiene una tendencia a aumentar la brecha entre los pocos que tiene grandes propiedades (terrenos mayores a 200 ha) y la gran mayoría que tienen pequeñas propiedades (terrenos hasta de 3 ha) (Campuzano, 2009; Castiblanco, 2009).

4.1.8. Objeciones de los biocombustibles

Los diferentes puntos de vista acerca de la utilización de la tierra generan un choque entre los actores involucrados. El primero es el cambio de uso de la tierra destinada a la agricultura por cultivos bioenergéticos; lo que se ha llamado un riesgo en la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria es definida como el derecho a no padecer hambre, a tener una alimentación adecuada y adoptar estilos de vida saludables (DNP, 2007). Al respecto, el documento CONPES 3510 habla que una de las estrategias es armonizar la Política Nacional de biocombustibles con la Política Nacional de seguridad alimentaria y nutricional, para que -si llegado el caso- se vieran afectados directamente los precios de los alimentos de la canasta básica, se implemente algún mecanismo compensatorio por parte del Gobierno Nacional, a través de la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 -PND- (DNP, 2007), en el capítulo de “políticas transversales”, se acepta el hecho de que en Colombia -en este momento- no hay una política de seguridad alimentaria y una conceptualización que permita a los diferentes actores articular programas y proyectos. El problema de la seguridad alimentaria es amplio y comprende desde la disponibilidad de alimentos, la comercialización, la calidad e inocuidad, hasta el consumo. Los indicadores de disponibilidad alertan sobre la importancia cada vez mayor del componente de suministro externo de alimentos de la canasta básica. Se deben tener en cuenta estos temas con el fin de aliviar la pobreza. En Colombia, el 64% de las personas viven bajo la línea de pobreza (PNUD, 2005).

Así mismo se propone crear una política junto con el plan de seguridad alimentaria y nutricional, estableciendo las responsabilidades de actores como los MADR y de Protección Social en su

coordinación y gestión. Se tendrán como estrategias trazadoras la implementación de planes nacionales y regionales de seguridad alimentaria y nutricional, la articulación de los sectores involucrados mediante alianzas estratégicas, la promoción de la participación comunitaria y la integración de la educación alimentaria y nutricional en el sistema educativo (CONPES, 2008).

Las cifras de precios de los alimentos a nivel mundial, aunque muestran una reducción en los últimos meses, las proyecciones de largo plazo indican que los precios tendrán un aumento significativo (OECD, 2008a). Es por esto que es muy importante empezar a investigar y desarrollar formas de obtención de biocombustible con plantas no comestibles.

El segundo punto tiene que ver con los empleos; cantidad y calidad. Debido a que se generan empleos en el sector rural de forma considerable (ver Tabla 4), estos deben ir encaminados a que sean de buena calidad y busquen un desarrollo sostenible. Surge el programa empleos verdes, como respuesta a esta problemática.

Los empleos verdes reducen el impacto ambiental de las empresas y de los sectores económicos, hasta alcanzar niveles sostenibles. En su mayor parte pueden beneficiar a una amplia sección de la población más necesitada: jóvenes, mujeres, campesinos, poblaciones rurales y habitantes de los tugurios (OIT, 2008).

Tabla 4: Proyecciones de empleo agrícola directo (CONPES, 2008). *Las proyecciones corresponden a empleos agrícolas directos únicamente, no incluye el empleo generado en el proceso de transformación y comercialización.

año	Etanol		Biodiésel	
	% mezcla	Empleos/año*	% mezcla	Empleos/año*
2008	10	11,319	5	11,000
2009	10	11,356	5	11,492
2010	10	11,441	10	24,207
2011	10	11,452	10	25,243
2012	10	11,510	10	26,427
2013	10	11,582	10	27,528
2014	10	11,687	10	28,742
2015	10	11,812	10	29,988
2016	10	11,946	10	31,238
2017	10	12,091	10	32,445
2018	10	12,251	10	33,798
2019	10	12,433	10	35,177

4.1.9. Desarrollo sostenible y biocombustibles

Para que los biocombustibles sean una opción viable en Colombia y el mundo, no basta con tener en cuenta los precios y los incentivos gubernamentales, es necesario adoptar modelos sostenibles a largo plazo, en donde se trabajen principalmente tres frentes diferentes: 1) El desarrollo rural y la disminución de la pobreza, 2) el cambio climático y 3) la seguridad energética.

Como se observa en la Figura 8, adaptada de la editorial de la revista *applied energy*, del segundo semestre de 2009 (Yan, 2009), en ésta se habla de los biocombustibles en Asia y cómo se deben adoptar este tipo de esquemas (como el expuesto en la Figura 8), para poder incentivar proyectos a largo plazo, de fuentes de energía renovables.

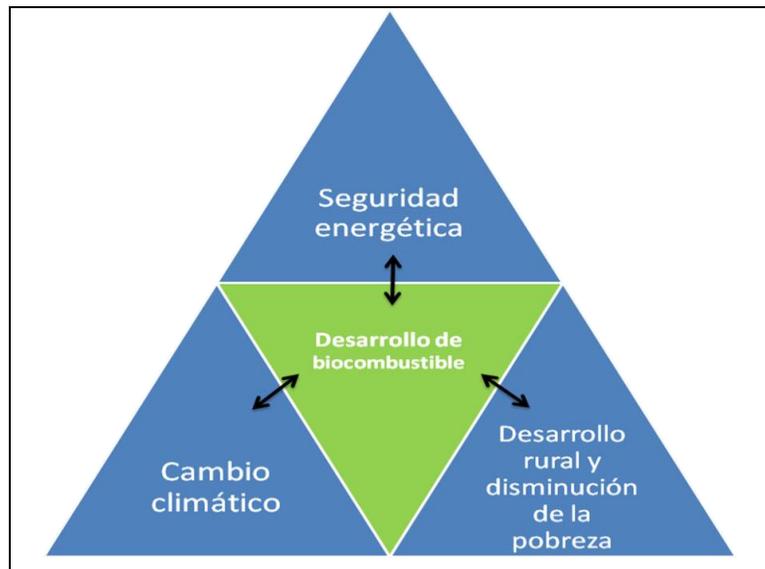


Figura 8: Retos y guías para el desarrollo de biocombustibles de forma sostenible (Yan, 2009).

Aunque hay algunos efectos

negativos en la producción de biocombustibles, se pueden definir estrategias de sostenibilidad adecuadas para la producción y uso de biomásas que generen biocombustibles, como energías renovables, para que éstos sean ambiental y socialmente convenientes (Ruiz, 2007).

4.2. **Políticas y marco legal de biocombustibles en Colombia**

Alrededor del mundo los subsidios para la producción de etanol y biodiésel están tomando fuerza aprobando medidas legislativas que establecen proporciones mínimas obligatorias de biocombustibles en los combustibles, especialmente para el transporte terrestre, así como diferentes incentivos para generar más biocombustibles (Mantilla, 2009). Colombia no es la excepción: ya se han visto varias políticas acompañadas de reglamentaciones para este fin.

En el PND 2006-2010 se habla de los incentivos para la producción de biocombustibles y se propone, como estrategia para la reducción de la pobreza y promoción del empleo y la equidad, la

creación de un fondo de capital de riesgo “dando prelación a los biocombustibles”, de esta forma se espera mejorar la capacidad de los pequeños campesinos para generar ingresos.

Enmarcados en el tema de la agroindustria, los biocombustibles son parte de la estrategia de desarrollo productivo, dentro del capítulo “crecimiento alto y sostenido; la condición para un desarrollo con equidad”, la cual es proyectada para ser utilizada en el sector de transporte y como medida para asegurar el abastecimiento energético del país y mitigar los efectos ambientales del consumo de combustibles fósiles. Se hace énfasis en el tema de contaminación atmosférica, ya que el MME y el MAVDT fijaron como meta para el 31 de diciembre de 2010 que los combustibles líquidos utilizados en el territorio nacional contengan un máximo nivel de azufre en porcentaje de masa de 0,03% para gasolina y 0,05% para diésel (DNP, 2007).

Así mismo se habla de la competencia en el mercado de los biocombustibles: “El Gobierno Nacional promoverá la competencia entre los diferentes biocombustibles, con criterios de sostenibilidad financiera y ambiental, y abastecimiento energético. Para estos efectos, el MME evaluará la viabilidad y conveniencia de liberar los precios de los biocombustibles y eliminar los aranceles a estos productos en un término de tiempo que no supere al plazo establecido para el desmonte de los subsidios implícitos a los combustibles líquidos, considerando en todo caso el esquema actual de fijación de precios basados en costos de oportunidad de estos energéticos, de sus sustitutos y de las materias primas utilizadas en su producción” (DNP, 2007).

En términos de política pública el Gobierno Nacional ha relegado la iniciativa de adelantar los proyectos de producción de biocombustibles al sector privado, brindando su apoyo a través de medidas de tipo fiscal, como la exención de impuestos y la fijación de precio, con leyes, decretos y resoluciones. Vale la pena rescatar las leyes: 693/01 (se dictan las normas sobre el uso de etanol); 788/02 (se exonera de IVA y sobretasa); 939/04 (se brindan estímulos para producción y comercio); y 1111/09 (se establece una deducción del impuesto de renta del 40% de las inversiones en activos fijos reales productivos en proyectos agroindustriales, incluyendo leasing financiero). Igualmente algunas resoluciones que regulan como son: 181069/05; 2200/05; 180222/06; 1180/06; 180127/07; 180212/07; 180769/07; 182087/07; 181232/08; 180120/09; 181460/09, en donde se fijan los precios, calidad, entre otras disposiciones del etanol y el biodiésel. Son también relevantes los Decretos: 2328/08 (se crea comisión intersectorial para manejo de biocombustibles); 1135/09 (modifica el uso de alcoholes carburantes), como puede observar en el Anexo 1

La oferta (instrumentos) del Estado Colombiano frente al tema, se resume entonces en instrumentos e incentivos tales como: créditos preferenciales en beneficio de los productores a través del Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario -FINAGRO- y el Banco Agrario; la garantía de crédito a través del Fondo Agropecuario de Garantías -FAG-, para proyectos de alta prioridad; el otorgamiento de aportes mediante el Incentivo para la Capitalización Rural -ICR- , hasta del 40% sobre las inversiones en cultivos de tardío rendimiento para pequeños productores; exención del impuesto sobre la renta para los mismos cultivos; líneas blandas de crédito y de incentivos establecidos en el marco del programa Agro ingreso Seguro; y exenciones tributarias para el empleo de biodiésel originado sobre fuentes renovables de energía. Sin embargo estos instrumentos de la política sectorial no fueron creados con la orientación específica de impulsar los cultivos productores de biomasa destinada para la obtención de biocombustibles, ya que la mayoría de ellos existían previamente a la promulgación de la Ley 693 de 2001, pero no son excluyentes para cultivos con miras a producción de biocombustibles.

La política nacional de biocombustibles es la que impulsa la producción y uso de los biocombustibles en el país, específicamente el etanol y el biodiésel. El uso de biocarburantes y mezcla de ellos se justifica como una opción en la búsqueda de autosuficiencia energética, el mejoramiento de la calidad del aire, la salud pública y la generación de riqueza y empleo, en especial en el sector agrícola. Aunque, según la Contraloría General de la Nación, estos objetivos están lejos de la realidad (Contraloría, 2006), debido principalmente a la desigualdad, evidenciada en el estudio convocado por el DANE y el DNP.

El objetivo del documento CONPES 3510 de 2008: lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, consiste en aprovechar las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de biocombustibles, de manera competitiva y sostenible. Éste recomienda implementar estrategias orientadas a generar las condiciones necesarias para el mejoramiento de la eficiencia productiva de la agroindustria de los biocombustibles, de manera económica, social y ambientalmente sostenible, a través de acciones como:

- Fortalecer la coordinación entre las entidades gubernamentales que tienen injerencia en el desarrollo de la industria de los biocombustibles, mediante la creación de la Comisión Intersectorial para el manejo de biocombustibles.

- Promover la reducción gradual de los costos de producción y transformación de biomásas, con criterios de sostenibilidad ambiental y social.
- Incorporar los desarrollos previstos del mercado de biocombustibles como una variable para la planeación de la infraestructura de transporte.
- Incentivar la producción eficiente, económica, social y ambientalmente sostenible de biocombustibles en las regiones aptas para ello.
- Definir un plan de investigación y desarrollo en biocombustibles.
- Armonizar la política nacional de biocombustibles con la Política Nacional de seguridad alimentaria.
- Definir un nuevo esquema de regulación de precios de los biocombustibles.
- Continuar con la política de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles.
- Garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental y de la política ambiental en toda la cadena productiva.
- Desarrollar acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar el producto colombiano en los mercados internacionales.

Con base en algunas de estas estrategias, el presente trabajo toma importancia, ya que para promover la reducción de los costos de producción, el documento plantea el requerimiento de “desarrollar estudios de zonificación que establezcan las áreas más aptas para la ubicación de los cultivos, considerando variables agroecológicas, climáticas, ambientales, sociales y de disponibilidad de infraestructura de transporte”. Esto es abordado a lo largo del presente trabajo.

Así mismo se propone una estrategia relacionada con el medio ambiente, en donde lo que se quiere es “desarrollar acciones para garantizar un desempeño ambientalmente sostenible a través de la incorporación de variables ambientales en la toma de decisiones de la cadena productiva de biocombustibles”. Para tal fin se plantean cinco puntos:

1. El primero, relacionado con la generación de conocimiento en temas ambientales, para desarrollar, actualizar y adoptar instrumentos de planeación y gestión ambiental en la cadena productiva de lo biocombustibles, la cual es definida en el mismo documento como un conjunto de eslabones que incluye la producción agrícola, transformación industrial, transporte, almacenamiento, comercialización y consumo final. Para esto se quieren incentivar las

evaluaciones socioambientales estratégicas que permitan profundizar en el conocimiento sobre los efectos ambientales (contaminación), sobre la biodiversidad (ecosistemas, especies y recursos genéticos por el uso de organismos genéticamente modificados - OGM) y sociales (comunidades étnicas, territorios colectivos, derechos de propiedad intelectual) de las políticas, planes, programas y proyectos de biocombustibles y que permitan mejorar la planificación y la toma de decisiones en materia de biocombustibles. Por último, en este punto se quieren tener en cuenta algunos temas de investigación tales como: mejores prácticas agroindustriales; efectos de diferentes cultivos para alcohol o biodiésel; limpieza de los residuos orgánicos del suelo y sus efectos sobre la erosión y sobre la remoción de nutrientes requeridos, uso de fertilizantes y plaguicidas; entre otros.

2. El segundo, relacionado con el tema de certificación, apoyado por los planes de responsabilidad social organizacional, definida como “la optimización voluntaria de recursos de una organización privada o pública, que direcciona su objeto social de forma estratégica a los aspectos económicos, sociales y ambientales. Teniendo en cuenta sus grupos de interés para su sostenibilidad”(Pineda, 2009), dirigido a empresas productoras de biocombustibles.

3. El tercer punto habla acerca de incorporar instrumentos de planificación territorial, ambiental y elementos de ecoeficiencia en la zonificación integral de áreas para el establecimiento de cultivos para la obtención de combustibles. Lo que se busca es hacer los estudios necesarios antes de sembrar, para disminuir los impactos negativos.

4. El cuarto está enmarcado en el tema de captura de carbono y mercados voluntarios de carbono, en donde vale la pena rescatar que existen cultivos que requieren importantes aportes en insumos y en energía, que ocupan valiosos suelos y cuyo rendimiento para biocombustibles es relativamente bajo, lo cual debe evaluarse cuidadosamente para evitar consumir una mayor energía en su producción que la que se obtendrá durante su uso final.

5. El quinto y último punto es acerca del cumplimiento de la normatividad ambiental y el fortalecimiento de las autoridades ambientales, en donde el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial -con el fin de garantizar el desempeño ambiental y competitivo de los biocombustibles- diseñará un programa de fortalecimiento institucional dirigido a las autoridades ambientales competentes y responsables sectoriales. Así mismo, se impulsará la evaluación y revisión de los instrumentos de comando y control ambiental con el propósito de aumentar su efectividad y eficiencia.

Las metas esperadas a largo plazo están determinadas principalmente por el Plan Energético Nacional (UPME, 2007), el MME establece los objetivos y líneas estratégicas del país hasta el año 2020. Uno de sus objetivos es garantizar la disminución de la dependencia de la gasolina y el diésel en la oferta de combustible para el mercado automotor, favoreciendo la balanza comercial y los ingresos de la Nación; otro objetivo que se plantea es ampliar y garantizar la oferta interna de energéticos con precios eficientes y adecuada calidad. Adicionalmente, se tienen en cuenta los mecanismos de uso racional de la energía y algunos métodos de energías renovables, sobre todo para la industria automotriz, como mecanismos para seguir un desarrollo sostenible (UPME, 2007).

Esta dependencia se puede llevar a cabo con la expedición del decreto 2629 de 2007 y el decreto 1135 de 2009, en donde los porcentajes varían de tal forma, que para biodiésel se busca una mezcla B-20² para el 2010 y para etanol de E-85³ para el año 2012 (vehículos con cilindrada menor a 2000 cm³). Este decreto es dirigido principalmente a la empresa privada para que adapte técnicamente sus vehículos. Para el cumplimiento de lo anterior, cada marca deberá comercializar vehículos automotores en el mercado colombiano, de acuerdo con el calendario y aprovisionamiento mostrados a continuación, en donde a partir del primero de enero de:

- 2012, el 60% de su provisión anual deberá soportar E85.
- 2014, el 80% de su provisión anual deberá soportar E85.
- 2016, el 100% de su provisión anual deberá soportar E85.
- 2013, los vehículos con cilindrada mayor a 2000 cm³ de todas las marcas y modelos, deberán soportar E 85.

² Mezcla de 20% de biodiesel y 80% de ACPM.

³ Mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina.

5. Pregunta de investigación

A raíz de lo anterior y para aportar a la solución del problema descrito se pretende entonces responder a la pregunta: ¿Es viable proponer los cultivos de *Jatropha curcas* como una alternativa para producir biodiésel en Colombia?

La viabilidad entendida desde lo biofísico y desde lo socioeconómico. Éste último tema enmarcado por el conflicto de uso con cultivos agrícolas.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Identificar y caracterizar áreas aptas para establecer cultivos de *Jatropha curcas* considerando variables biofísicas y geográficas.

6.2. Objetivos específicos

- Aplicar una metodología general de evaluación de tierras para identificar y cuantificar las áreas más aptas para el cultivo de *Jatropha*, a partir de variables de suelos, clima y localización relativa.
- Analizar algunos aspectos económicos y sociales relevantes para el fomento de este cultivo
- Realizar una caracterización general del cultivo de la *Jatropha curcas*.

7. Marco de referencia

7.1. Caracterización de la *Jatropha curcas*

7.1.1. Aspectos taxonómicos

La clasificación taxonómica es la siguiente (MOBOT, 2009):

- División: Magnoliophyta Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal
- Clase: Magnoliopsida Brongn.
- Subclase: Rosidae Takht.
- Orden: Euphorbiales Lindl.
- Familia: Euphorbiaceae Juss.
- Género: *Jatropha* L.

Linneo (1753) fue el primero en dar nombre al Piñón como se conoce a la *J. curcas* (ver Tabla 5), de acuerdo con la nomenclatura de “Species Plantarum” (Linnaei, 1753) manteniéndose vigente hasta ahora (Heller, 1996). Linneo describió la *J. curcas* de la siguiente forma (Linnaei, 1753):

“JATROPHA foliis cordatis angulatis. Hort.cliff.445. Mat. Med. 439. Roy lugdb. 102.

Ricinus americanus major, femine nigro. Baub.pin. 432.

Ricinus ficus folio, flore pentapetalo viridi, fructa laevi péndulo. Sloan. Jam. 40.

Mundubignacu. Marcgr. Braf. 97.

Habitat in América calidiore. b.”

Los sinónimos que tiene la planta según el Jardín Botánico de Missouri (MOBOT, 2009) son:

- *Ricinus americanus* Miller, Gard. Dict. ed. 8. 1768.
- *Castiglionia lobata* Ruiz & Pavon, Fl. Peruv. Prodr. 139, t. 37. 1794.
- *Jatropha edulis* Cerv. Gaz. Lit. Mex. 3: supl. 4. 1794.
- *J. acerifolia* Salisb, Prodr. Chapel Allerton 389. 1796.
- *Ricinus jarak* Thunb, Fl. Javan. 23. 1825.
- *Curcas adansoni* Endl., ex Heynh. Nomencl. 176. 1840.
- *Curcas indica* A. Rich, Sagra, Hist. Fis. Pol. Nat. Cuba 3: 208. 1853.
- *Jatropha yucatanensis* Briq, Annuaire Conserv. Jard. Bot. Genève 4: 230. 1900
- *Curcas curcas* (L.) Britton & Millsp., Bahama Fl. 225. 1920
- *C. purgans* Medik., Ind. Pl. Hort. Manhem. 1:90. 1771; Baill. Étud. Gen. Euphorb. 314, 1858.
- *Manihot curcas* (L.) Crantz, Inst. Rei Herb. 1: 167. 1766
- *Jatropha afrocurcas* Pax, Bot. Jahrb. Syst. xliii. 83 (1909)

- *Jatropha moluccana* Wall, Sp. Pl. 2: 1006. 1753 [1 May 1753]
- *Jatropha tuberosa* Elliot, Fl. Andhrica 85. 1859 ; cf. D.J. Mabberley in Taxon, 32(1): 87. 1983
- *Jatropha yucatanensis* Briq, Annuaire Conserv. Jard. Bot. Genève 4: 230. 1900

Lenguaje/lugar	Nombre local
África	Purgeeboontjie
Arabia	Habel meluk
Bambara (Mali)	Baganí
Mandarín	Yu lu tzu
Alemán	Purgeernoot
Ingles	Physic nut, Purging nut
Fiji	Bagbherenda
Francés	Pourghère, Pignon d'inde
Haití	Médeciner, Metsiyen
Indonesia	Jarak pagar
Italia	Fagiola d'india
Kimbundu, Angola	Cassiu
Khmer (cambodia)	Hong kwang
Maya (Yucatán, México)	Sikil-te
Portugués (Brasil)	Figo do inferno, Grão das ilhas, Grão das Molucas, Molucas, Jetropha da Índia, Pinhão bravo, Pinhão manso, Pinhão de purga, Pinheiro do inferno
Portugués (Portugal)	Purgueira
Portugués (Mozambique)	Galamaluca
Somalia	Cantal muluung
Español	Piñón, Tartao
Español (Nicaragua)	Tempate
Español (Cuba)	Piñón de leche
Tailandia	Sabuu dam
Senegal	Tabanani
Nigeria	Lapalapa
Zulú	Inhlakuva

7.1.2. Distribución mundial

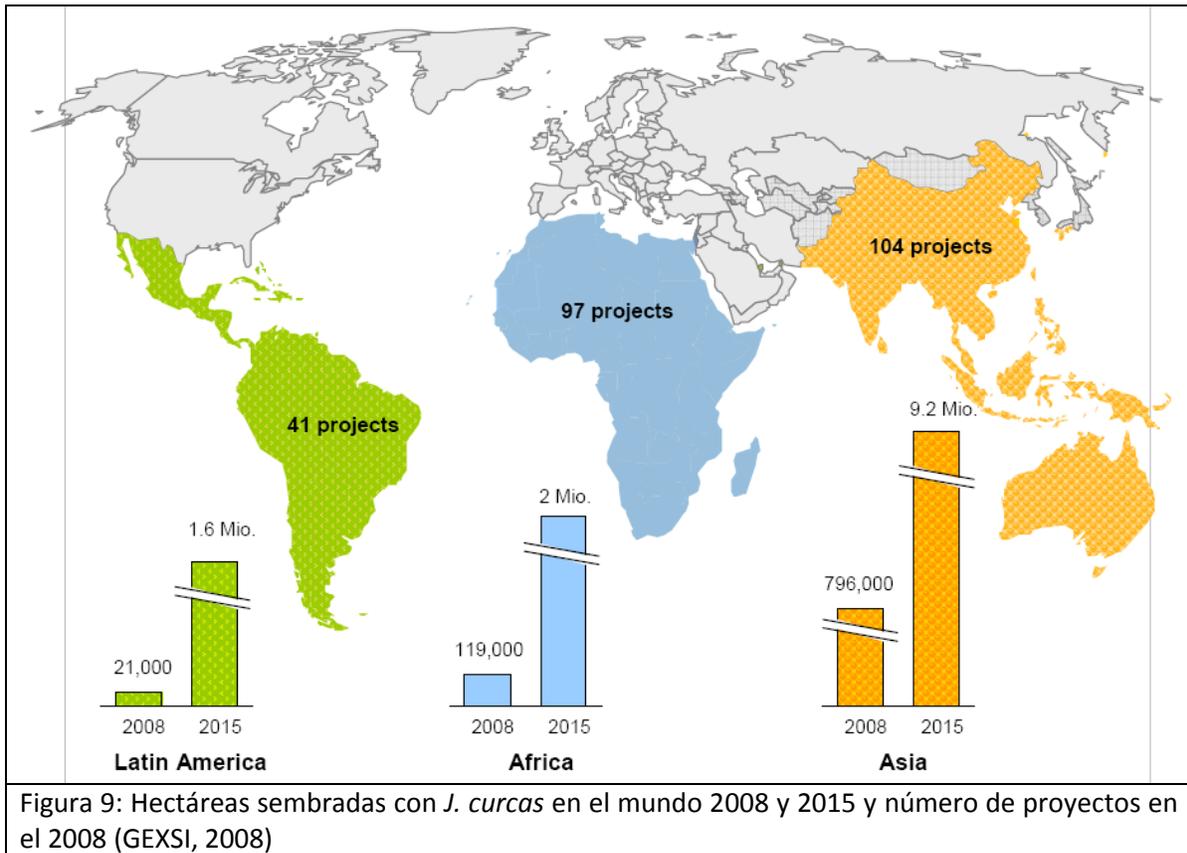
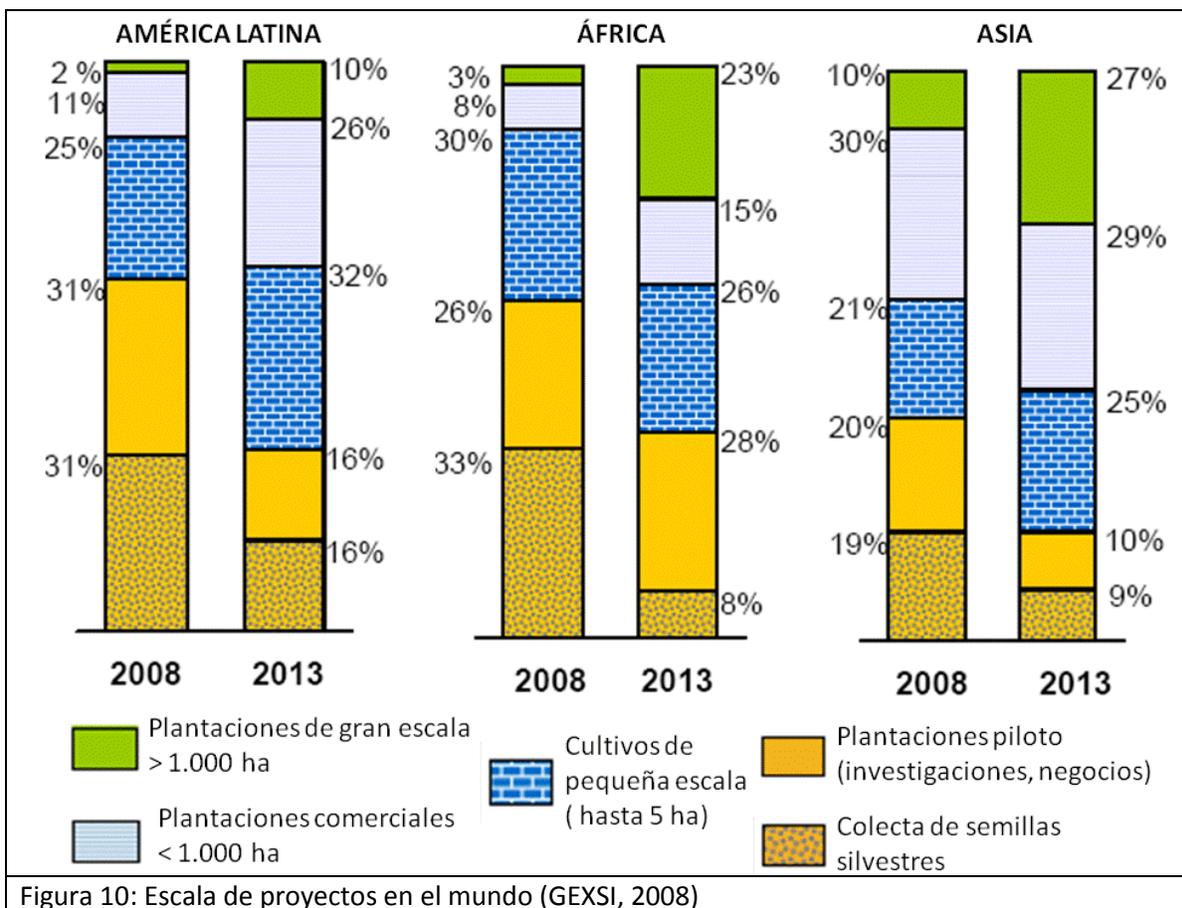


Figura 9: Hectáreas sembradas con *J. curcas* en el mundo 2008 y 2015 y número de proyectos en el 2008 (GEXSI, 2008)

Hay una aceptación general en que la planta es originaria de México y que su distribución natural ha ocurrido en América Central continental (Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), así mismo se acepta el hecho de que ha sido introducida en diferentes partes del trópico y sub trópico del mundo, como Asia y África (Augustus *et al.*, 2002; Campuzano, 2009; Heller, 1996; Maes *et al.*, en impresión).

El Piñón, fue probablemente distribuido por los mercaderes transoceánicos portugueses por la vía de las islas Capo Verde hacia África y Asia. En donde hoy es cultivada en gran medida en India, Tailandia, Malasia y otros países (Francis *et al.*, 2005; Prueksakorn & Gheewala, 2008), por lo que se dice que tiene una distribución pantropical (Henning, 2009).

No hay un trabajo académico, en el cual se evidencie el desplazamiento de la *Jatropha* hacia Colombia, por lo que es muy imprudente nombrar a la *Jatropha* como una planta nativa de Colombia, porque crezca de forma silvestre. Se ha asociado a centros de población vulnerable como planta medicinal (Campuzano, 2009) desde hace más de un siglo (Pérez, 1947).



En el mundo hay varios centros de investigación, siembra y transformación de la *Jatropha curcas* (ver Figura 9), cada uno de ellos de distinta escala, como se observa en la Figura 10. El 65% de los proyectos son privados, el 15% son públicos y el restante 20% son alianzas entre los dos entes (GEXSI, 2008). La mayoría de proyectos están encaminados a la producción de aceite y venta de biodiésel a nivel nacional y son pocos los proyectos con miras a exportar biodiésel; la producción de jabón y cosméticos tienen una menor importancia a nivel mundial.

En el 2008 en América Latina y África son mayores los cultivos de pequeña escala, en comparación con Asia, quien tiene un gran porcentaje en cultivos comerciales (menores de 1000 ha). En América Latina, África y Asia, son muy significativos los proyectos piloto.

7.1.3. Usos y aplicaciones

El género *Jatropha* agrupa aproximadamente a 150 especies, quienes deben su nombre a las palabras griegas *iatrós* (doctor) y *trophé* (comida) (Francis *et al.*, 2005). Lo cual implica que tienen en su gran mayoría usos medicinales (Heller, 1996; Pérez, 1947), la *Jatropha curcas* es usada tradicionalmente como purgante ingiriendo la semillas enteras (Heywood, 1985; Pérez, 1947).

Han sido varios los trabajos relacionados con las propiedades curativas de distintas partes de la planta: como es el caso de las raíces (Mujumdar & Misar, 2004), que presentan propiedades antiinflamatorias; o de las hojas, para medicamentos anti virales (Matsuse *et al.*, 1998); así mismo el látex presenta propiedades curativas, para quemaduras o cicatrices (Pérez, 1947), entre otros. Son también interesantes los trabajos que hay con respecto a tumores cancerígenos y enfermos de sida (Abou Kheira & Atta, 2009; Juan *et al.*, 2003; Matsuse *et al.*, 1998; Muanza *et al.*, 2008). Para poder utilizar algunas partes de la planta, como la torta, para alimentar animales, es necesario extraer las toxinas. Hay experimentos para extraer estos compuestos tóxicos, concentrados en una proteína tóxica llamada curcina. Esta proteína tiene varios usos en el ámbito médico (Juan *et al.*, 2003). Así como el ester de forbol, presente en el aceite a partir del cual se han adelantado investigaciones para tumores, entre otros (Campuzano, 2009).

Otro uso asociado es la utilización como cerca viva (Achten *et al.*, 2009; Seifriz, 1943), para proteger cultivos ya que no es comestible⁴. Así mismo tradicionalmente ha sido usada para prevenir la erosión del suelo causada por el agua y el viento, así como para la producción de jabones y fertilizantes (Gubitz *et al.*, 1999; Jongschaap *et al.*, 2007), como se observa en la Figura 11.

En el artículo de Singh y colaboradores (2008), se evidencian varios procesos por los cuales se aprovecha la *Jatropha curcas*, el primero de ellos es la utilización del biodiésel generado a partir del aceite que se extrae de la semilla, para hacer funcionar con éxito un motor de encendido por compresión. El segundo proceso, se basa en hacer una cogeneración de energía a partir de la cascara del fruto y de la cascarilla de la semilla de la *J. curcas*. El residuo que deja la producción de aceite, llamado la torta o *cake* residual, es el tercer uso que se estudia, la cual se utiliza para producción de biogás. El cuarto y último uso que se le da; es para la fertilización de los suelos a partir de las cenizas del proceso de producción de biogás.

Se encontró que funciona perfectamente un motor de encendido por compresión. Tiene una muy buena respuesta al ser utilizada para la cogeneración de energía utilizando un gasificador. La torta residual tiene un alto poder calorífico, lo cual indica que es apta para una óptima producción de biogás. Ancestralmente la *J. curcas* ha sido utilizada como fertilizante. El éxito del estudio, fue

⁴ Aunque se habla de una variedad de origen mexicano que es comestible, previo tratamiento, ya que presenta un grado de toxicidad menor Campuzano, L.F. (2009) Programa *Jatropha* Colombia. Comunicación personal, Villavicencio, Heller, J. (1996) *Physic nut. Jatropha curcas* L. In Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. International Plant Genetic Resources Institute, Roma..

desglosar la *Jatropha* en los elementos y compuestos orgánicos de la cual está compuesta (Singh *et al.*, 2008).

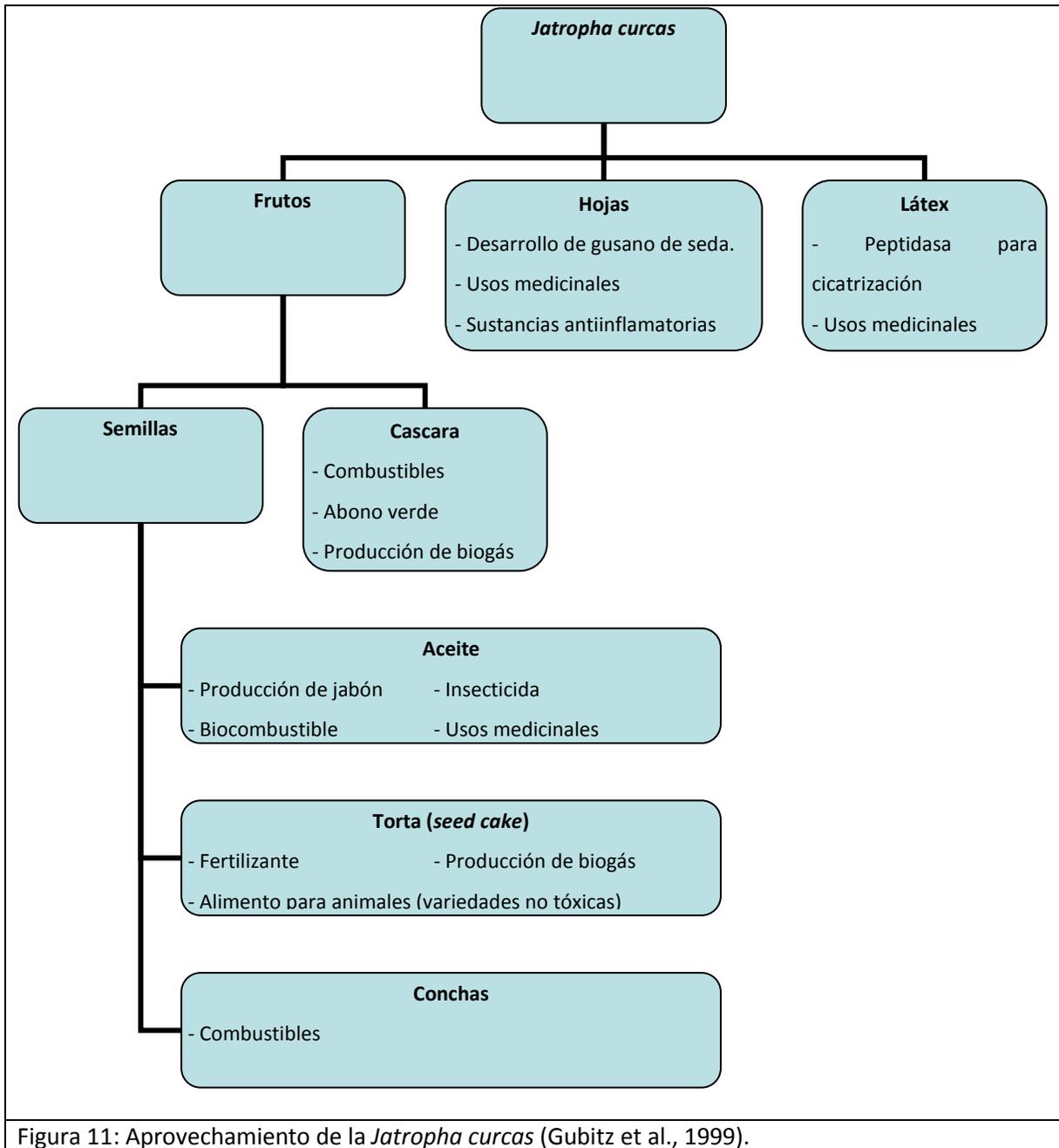


Figura 11: Aprovechamiento de la *Jatropha curcas* (Gubitz *et al.*, 1999).

Aunque todas las partes del árbol son aprovechables para un sinnúmero de usos, tales como medicina, plaguicida, materia prima para colorantes y papeles, entre otros, este estudio comprende éstos como subproductos, a excepción de la torta (*seed cake*) la cual es incluida dentro del ciclo del cultivo, como fertilizante, por su alto contenido de nutrientes (Achten *et al.*, 2008; Prueksakorn & Gheewala, 2008).

7.1.4. Aspectos biológicos

El Piñón es un arbusto grande o un árbol pequeño, que puede alcanzar entre 5 y 7 metros de altura, tiene una madera suave y una expectativa de vida que supera los 50 años (Achten *et al.*, 2008; Heller, 1996). Hace parte de la familia de las Euphorbiaceae, que agrupa a más de 3.000 géneros y más de 5.000 especies en todo el mundo (Heywood, 1985).

Normalmente el crecimiento radicular es a partir de una raíz principal de la que se desprenden 4 raíces periféricas (Heller, 1996; Henning, 2009). Estas raíces periféricas crecen cerca a la superficie, las cuales pueden proteger los pequeños bloques de tierra contra la erosión generada por el agua de escorrentía (Henning, 2009).

La planta tiene hojas lisas, lobadas con 4-6 lobos y de 10-15 cm de largo y ancho (Achten *et al.*, 2008) la disposición es alterna (Heller, 1996), como la gran mayoría de las especie de la familia a la que pertenece (Heywood, 1985).

Es monoica y las inflorescencias contienen flores unisexuales con presencia mayoritaria masculina, la relación va desde 13:1 a 29:1 (Achten *et al.*, 2008; Henning, 2009; Raju & Ezradanam, 2002). La floración de la planta puede darse desde el primer año, pero se recomienda hacer aprovechamiento desde el tercer año, con el fin de obtener mayores rendimientos durante la vida de la planta (Campuzano, 2009; De la Vega, 2006). Al parecer la formación de flores está relacionada con el periodo de lluvias (De la Vega, 2006), ya que se detiene con el inicio de este periodo (De la Vega, 2006), pero es relativo ya que pueden verse flores en esta temporada (Campuzano, 2009). Por lo que se dice que florece en la época seca (Henning, 2009) y puede florecer nuevamente después de producir frutos cuando las condiciones permanecen favorables por otros 90 días (De la Vega, 2006). Tiene diez estambres dispuestos en dos verticilos distintos, distribuidos equitativamente en una sola columna en el androceo y muy cerca unos de otros. En el gineceo, los tres estilos delgados son connados alrededor de dos tercios de su longitud (Heller, 1996).

El desarrollo de las paredes de las anteras es de tipo dicotiledóneo y está compuesto de una epidermis, un endotecio y capa intermedia (Divakara *et al.*, 2009). Se han estudiado distintas variables con relación a la viabilidad del polen, la receptividad del estigma y las características de reproducción; se ha encontrado que la vida de la flor masculina es de aproximadamente dos días. La viabilidad del polen es relativamente alta - 9 horas después de la floración y comienza a decaer

33 horas más tarde - y el polen no tiene ninguna viabilidad a las 48 horas. La esperanza de vida de la flor femenina es de aproximadamente 5-12 días. La receptividad del estigma es fuerte hasta el cuarto día, empieza a declinar a partir del quinto día y pierde por completo su receptividad el noveno de día (Chang-Wei *et al*, 2007 in Divakara, en impresión).

El desarrollo del fruto toma entre 60 y 120 días desde la floración hasta la madurez de la semilla (De la Vega, 2006). Puede dar varias cosechas al año, siempre y cuando el suelo tenga los nutrientes adecuados (Henning, 2009).

La gran mayoría de frutos tienen 3 semillas, dispuestas como se ilustra en la Figura 12, aunque en algunos se han encontrado 2 y 4 (Henning, 2009). Las semillas están maduras cuando el color del fruto cambia de verde a amarillo, después de dos a cuatro meses desde la fertilización (Achten *et al.*, 2008; Henning, 2009). El tamaño promedio de las semillas depende del origen de estas, al igual que el peso, como se puede observar en la Tabla 6 (Henning, 2009; Makkar *et al.*, 1998).

La composición química de la semilla es (Henning, 2009): humedad (6,2%); proteína (18%); grasas (38%); carbohidratos (17%); fibra (15,5%); ceniza (5.3%) (Riyadh 2002 in (Abou Kheira & Atta, 2009). Aunque estos porcentajes dependen de la variedad (Heller, 1996). El poder calorífico cumple con los requisitos para ser usado como fuente de energía (Augustus *et al.*, 2002).

Origen/Variable	Longitud (mm)	Peso de 1000 semillas (gr)
Nicaragua	20	878
Belice	18,8	813
Mali	17,2	542
Tanzania	16,8	682

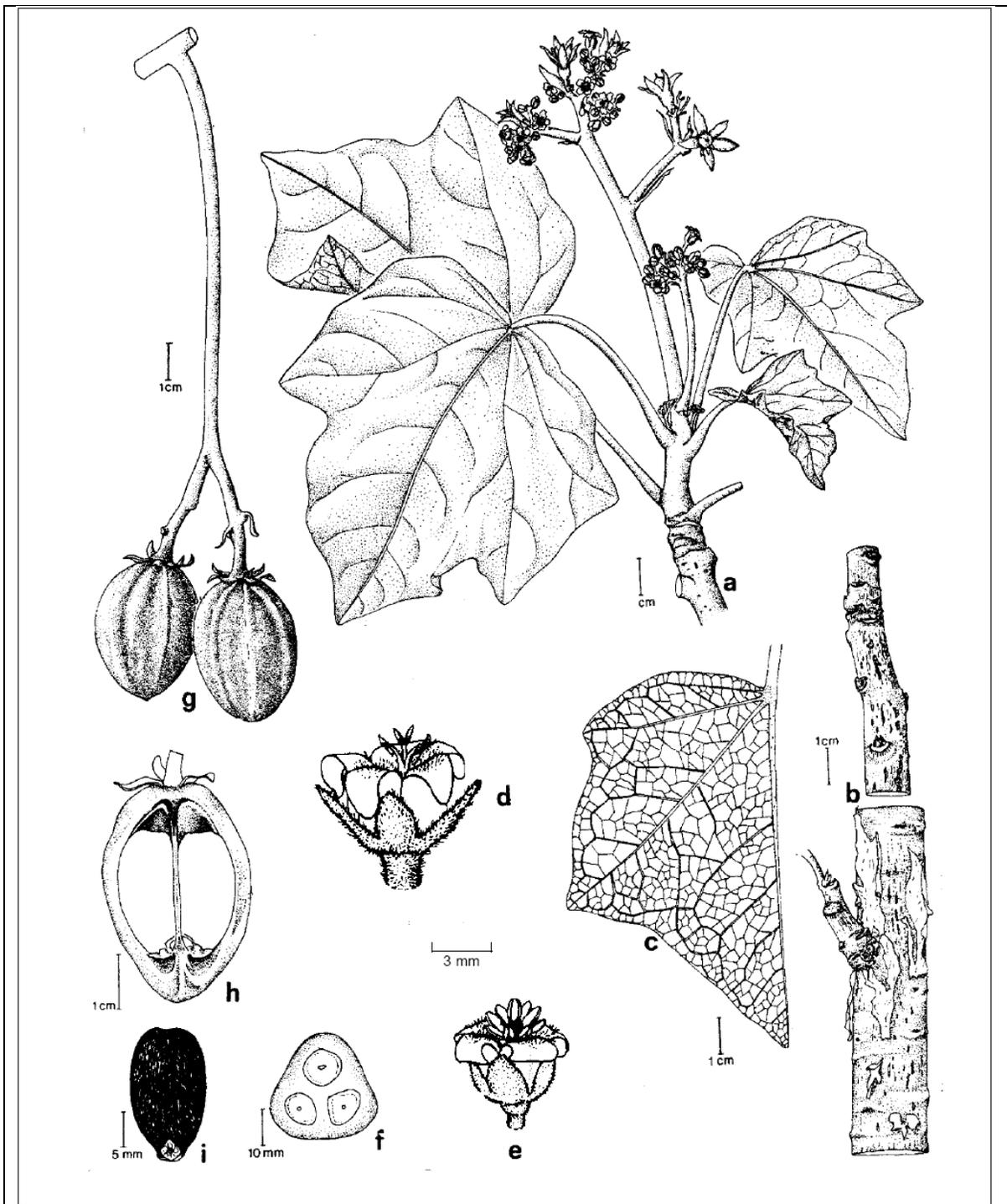


Figura 12: Diferentes componentes de la *Jatropha curcas* L.: a) Rama de flores, b) Corteza, c) Venas de las hojas, d) Pecíolo de la flor (masculinas), e) Estambre de la flor (femeninas), f) Corte transversal de fruto inmaduro, g) Frutos, h) Corte longitudinal de fruto (Heller, 1996).

7.2. Cultivo de la *Jatropha curcas*

7.2.1. Aspectos agronómicos

La polinización la hacen los insectos (Heller, 1996; Henning, 2009), aunque Dehgan & Webster (1979) (Heller, 1996), creen que la polinización la hacen las polillas debido a su "dulce e intenso perfume de noche, flores de color blanco verdoso, anteras versátiles y sobresalientes órganos sexuales, néctar abundante y la ausencia visible de las guías de néctar". Son muy raras las flores hermafroditas que se auto-polinizan, por lo que si se establece un cultivo aislado de insectos, la polinización debe hacerse manualmente. Durante los ensayos de campo, Heller (1996) observó una serie de diferentes insectos que visitaban las flores y podrían ser polinizadas (himenópteros y dípteros mayoritariamente).

En Senegal, Heller observó que las flores masculinas se abrían después que las flores con pistilo, lo hacían en la misma inflorescencia (Achten *et al.*, 2008; Heller, 1996). En cierta medida, éste mecanismo promueve la polinización cruzada. Münch (1986) (Heller, 1996) no observó este orden cronológico en Cabo Verde. Parece que el mecanismo está influido por el medio ambiente (Heller, 1996).

Aunque hay estudios que no tienen en cuenta para los análisis económicos o de flujo de energía, los costos de los plaguicidas, bajo el supuesto que ésta planta no necesita ser tratada contra las plagas, dado que sus propiedades químicas innatas son suficientes (Openshaw, 2000; Prueksakorn & Gheewala, 2008), es necesario tener en cuenta que en los cultivos de *J. curcas* se han evidenciado diferentes tipos de plagas (Hannan-Jones & Csurhes, 2008), en la Tabla 7 se pueden evidenciar las principales plagas y enfermedades que se presentan en este cultivo. La creencia popular de que la *J. curcas*, no es propensa a plagas ni enfermedades, puede ser causante de pérdidas económicas considerables (Achten *et al.*, 2008). En Colombia en algunos cultivos se ha evidenciado la presencia del ácaro blanco tropical (*Polyphagotarsonemus latus*), éste marchita algunas hojas de la planta. No se tienen resultados hasta el momento acerca de las implicaciones económicas de dicha plaga (Campuzano, 2009).

Debido a las propiedades bioquímicas de la planta, algunos experimentos se han adelantado con relación a los bio-pesticidas que se pueden extraer de algunas de las partes del Piñón, entre los que se encuentran en mayor medida contra pestes que atacan el algodón, como el gusano cogollero (*Helicoverpa armigera*), el pulgón del algodón (*Aphis gossypii*) o el gusano rosado

(*Pectinophora gossypiella*), entre otros. Estos se elaboran a partir del aceite extraído de las semillas de la *J. curcas* (Heller, 1996).

Tabla 7: Plagas y Enfermedades Potenciales (Heller, 1996). *En el original Heller 1996, fue una comunicación personal. ** (De la Vega, 2006). *** (Aguilar & Murillo, 2008)

Nombre	Síntomas/Daños	Fuente
<i>Phytophthora</i> spp.	Pudrición de raíz	Heller 1992
<i>Pythium</i> spp.	Pudrición de raíz	Heller 1992
<i>Fusarium</i> spp.	Pudrición de raíz	Heller 1992
<i>Helminthosporium tetramera</i> .	Manchas en hojas	Singh 1983
<i>Pestalotiopsis paraguayensis</i>	Manchas en hojas	Singh 1983
<i>Pestalotiopsis versicolor</i>	Manchas en hojas	Phillips 1975
<i>Cercospora Jatropha curcas</i>	Manchas en hojas	Kar & Das 1987
<i>Julus</i> sp.	Pérdida de plántulas	Heller 1992
<i>Oedaleus senegalensis</i>	Hojas en plántulas	Heller 1992
<i>Lepidoptera larvae</i>	Galerías en hojas	Heller 1992
<i>Pinnaspis strachani</i>	Manchas negras en ramas	Van Harten 1995*
<i>Ferrisia virgata</i>	Manchas negras en ramas	Van Harten 1995
<i>Calidea dregei</i>	Succionan frutos	Van Harten 1995
<i>Nezara viridula</i>	Succionan frutos	Van Harten 1995
<i>Spodoptera litura</i>	Larva se alimenta de hojas	Meshram & Joshi 1994
Termitas	Afectan toda la planta	Van Harten 1995**
<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	marchita la hoja	Aguilar & murillo 2008***

El Piñón es una especie diploide 2n, con 22 cromosomas; el tamaño del genoma es de 420 μm (Divakara *et al.*, en impresión; Heller, 1996). Es heterogénea homocigótica, lo que la hace resistente a plagas que atacan poblaciones homocigóticas, visto desde la genética de poblaciones. Se adapta al modelo arquitectónico para plantas perennes de leeuwenberg (Campuzano, 2009), en donde el esquema de poda toma importancia. Este se caracteriza por que de cada corte se desprenden dos ramificaciones. Así mismo presenta un hábito de crecimiento simpodial (Campuzano, 2009).

La poda es muy importante, ya que se puede controlar desde un inicio la altura a la que se quieren tener los frutos y la cantidad aproximada de éstos (Campuzano, 2009). Si se quiere obtener una buena cosecha se debe evitar hacer el corte al final de la temporada de lluvias, así como en la temporada seca (Henning, 2009). Se puede planificar tener más o menos frutos por racimo y la altura de estos, con esto determinar si se realiza una cosecha manual o mecánica.

Los requerimientos biofísicos que se tuvieron en cuenta para este proyecto se evidencian en la Tabla 8. En donde la fertilidad alta significa que las condiciones químicas son adecuadas para el desarrollo de las plantas, y en el rango de fertilidad moderado los contenidos de nutrientes son medios y presenta una acidez moderada (Ortega, 1987 en IGAC & CORPOICA, 2003). En drenaje, se habla de suelos bien drenados, cuando presentan una capacidad de retención de humedad intermedia y cantidades óptimas de la misma. A diferencia de los suelos moderadamente drenados, los cuales son suelos suficientemente húmedos en la zona sub superficial como para afectar a las plantas a no ser que se drenen; estos suelos por lo general tienen zonas donde la conductividad hidráulica es baja (Cortés y Malagón 1984 en (IGAC & CORPOICA, 2003). A partir de los 2,000 mm/año y dependiendo de la temperatura, las condiciones de elevada humedad se vuelven críticas para la planta en donde se presentan serios problemas con hongos, virus y ataque de insectos (Campuzano, 2009; Francis *et al.*, 2005).

Tabla 8: Requisitos biofísicos de *Jatropha curcas* L.

	Óptimo	Moderadamente óptimo	Fuente
Temperatura (°C-Promedio anual)	10.5-35.7	4.4-10.4 y 35.8-41.6	(Maes <i>et al.</i> , en impresión)
Precipitación (mm/año)	400-2000	2001-3200	(Campuzano, 2009; Maes <i>et al.</i> , en impresión)
Pendientes (%)	0-20	--	(Campuzano, 2009)
Altura (m.s.n.m.)	0-500	500-1200	(Campuzano, 2009; Maes <i>et al.</i> , en impresión)
Suelos			
Profundidad	Profundos, moderadamente profundos	--	(Campuzano, 2009; Maes <i>et al.</i> , en impresión)
fertilidad	Alta, moderada	Baja	(Maes <i>et al.</i> , en impresión)
Acidez	ligeramente ácida, acida, neutra	Extremadamente ácida, muy fuertemente ácida, fuertemente ácida	(Escobar <i>et al.</i> , 2008)
Drenaje	Bien drenados	Moderadamente drenados	(Heller, 1996)
Textura	Gruesas, moderadamente gruesas	Medias	(Campuzano, 2009)

Vale la pena mencionar que hay gran expectativa mundial con relación a esta planta, se encuentran varios artículos desmintiendo el mito en donde la *J. curcas* se puede sembrar con rendimientos asombrosos en todos los pisos térmicos, suelos, climas, etc.

7.2.2. Siembra

En este orden de ideas, se presentan a continuación los procesos que se deben llevar a cabo para la producción de aceite, como fin último de una plantación de mínimo 10 años de vida útil. En primer lugar se deben diferenciar dos tipos de cultivo; el de pequeña y el de gran escala. Los cuales se diferencian básicamente en el tipo de vivero que se debe tener y en el modo de extracción del aceite, en donde para el primer caso las instalaciones del vivero serán más baratas y rudimentarias y en el segundo tipo de cultivo más costosas y tecnificadas. En el caso de la extracción de aceite, para los grandes productores se tendrá en cuenta una extracción mecánica y para los pequeños una extracción manual.

Previo al montaje y la preparación del terreno, es indispensable la planificación para obtener unos mejores resultados y disminuir los errores que pueden generar sobrecostos y mayores impactos ambientales. Se debe establecer si se quiere generar un cultivo para fines económicos o sociales. Dentro de esta planificación se debe determinar la forma en que se va a realizar la cosecha, manual o mecánica. También, las condiciones agronómicas (Francis *et al.*, 2005) tales como: la textura del suelo; la relación de entre la cantidad de agua a usar y la disponible; la intensidad de poda; los micro y macro nutrientes requeridos; el espaciamiento entre plantas, que generalmente los expertos recomiendan desde 2X2 hasta 4X4 mt. En este ejercicio se utiliza un espaciamiento de 3X2 mt, para un total de 1,666 plantas/ha.

En la planificación es preciso determinar que semilla utilizar, ya que hay diferentes variedades y cada una responde diferente a las condiciones biofísicas. Ya hay avances en la materia en Colombia y el mundo. En Asia se concluyó recientemente el proyecto “*Jatropha genome project*” llevado a cabo por empresas privadas y gubernamentales (Divakara *et al.*, en impresión). En Colombia, se está desarrollando el programa “*Jatropha Colombia*”, financiado principalmente por el MADR, Cerrejón y Ecopetrol, entre cuyos resultados se espera una colección de germoplasma nativo e introducido, la identificación de áreas potenciales, caracterización de manejo de cultivo, arreglos y subproductos (Campuzano, 2009).

Para el vivero de los pequeños productores se tendrá en cuenta los costos de la semilla, las bolsas, la asistencia técnica, los insumos y los jornales, en cambio para los grandes productores se incrementan los costos, con un gasto fijo de instalación del vivero, que incluye sistema de riego. En los dos casos la planta debe germinar y estar lista para el trasplante en un periodo de 4-6 semanas (Campuzano, 2009).

Es preciso tener en cuenta el hecho que cuando las plantas provienen de semillas, mejoran la calidad del suelo, ya que desarrollan la fase primaria del sistema radicular, a diferencia cuando se desarrollan por estacas, ya que no producen el mismo sistema radicular por lo tanto tienen un efecto positivo menor sobre el suelo (Achten *et al.*, 2008; Francis *et al.*, 2005). Esto es importante si se quiere mejorar las condiciones edáficas.

La preparación del terreno implica: nivelar, rastrillar y cincelar el lote a utilizar. En este caso se hablará de una hectárea independientemente de la escala a aprovechar. Se debe aplicar fertilizante; hay estudios que recomiendan los fertilizantes orgánicos (Francis *et al.*, 2005), pero en el presente trabajo se tendrá en cuenta uno químico (NPK), hay algunos trabajos que evaluaron los porcentajes a usar dependiendo de la edad del cultivo (Patolia *et al.*, 2007). El insecticida, es necesario si se quiere mantener estable el cultivo (Sarmiento, 2009), aunque se han encontrado casos en cultivos de palma en Colombia, que mediante laboratorios entomológicos se combaten la mayoría de las plagas (Mexzón, 1997; Ramakrishna, 1998). Algunos de los tratamientos son descritos por Hannan-Jones (2008).

Como se mencionó anteriormente, el espaciado es muy importante; Según Campusano (2009) se prefieren distancias de 3X2 para cultivos con fines económicos y distancias de 2X2 en cultivos con miras a proyectos sociales. El primero con el fin de dejar espacio para pasar máquinas cosechadores en caso tal que se tecnifique el proceso, en el segundo escenario para aumentar la mano de obra en el lugar, sacrificando en algunos casos rendimiento por árbol (Puente-Rodríguez, 2009). Una forma de involucrar aun más a las comunidades rurales es la aplicación de policultivos, junto con la *J. curcas*, generando sombra a vegetales perennes o anuales tales como pimentones, tomates, entre otros (Francis *et al.*, 2005).

El mantenimiento está dado por el cuidado de la tierra y de las plantas mediante fertilizante, insecticidas, poda y el deshierbe. El agua es un elemento fundamental para el buen desarrollo de las plantas, en varias publicaciones se dice que es viable sembrar y cultivar exitosamente en regiones áridas con suelos pobres y escasas de agua (Abou Kheira & Atta, 2009), pero esto no es del todo cierto (Maes *et al.*, 2009a; Maes *et al.*, 2009b; Maes *et al.*, en impresión), ya que aunque las plantas pueden tolerar temporadas secas, de mantenerse esto, la productividad puede verse afectada. Un reciente estudio en la India, reveló evidencia entre el crecimiento de la planta y la cantidad de agua que la planta recibe (Francis *et al.*, 2005).

Literatura reciente especializada en la relación agua-planta de la *J. curcas*, sugiere una baja huella de agua. Presenta una alta eficiencia en la transpiración (5.81 ± 0.19 mg/g) y un uso racional de agua, con un coeficiente de transpiración para cultivo de 0.540 ± 0.026 (Maes *et al.*, 2009b en Maes *et al.*, 2009a). Así mismo, la conversión de aceite de *Jatropha curcas* en biodiésel mediante transesterificación es un proceso hídricamente muy eficiente (Achten *et al.*, 2008). Inclusive comparativamente con otras plantas como la soya y la palma africana (Jongschaap *et al.*, 2007).

Abou Kheira & Atta (Abou Kheira & Atta, 2009) en su publicación dividen en 4 etapas el proceso de crecimiento de la *J. curcas*: inicial; desarrollo; floración y cosecha. Para cada uno de ellos evalúa el comportamiento de las plantas a diferentes niveles de estrés hídrico. Los resultados muestran que el consumo de agua es 20.67%, 28.83%, 14.44% y 36.05% respectivamente, del consumo total de agua. El mayor porcentaje de consumo de agua es durante la etapa de cosecha (36.05%), debido a que la planta necesita incrementar el tamaño de sus frutos, proceso que necesita comparativamente una gran cantidad de agua.

Campusano (2009) no utiliza riego en las réplicas de cultivos de *J. curcas* a lo largo y ancho del País, debido a que aprovecha los regímenes hídricos de cada una de las regiones, razón por la cual no se va a tener en cuenta para el presente trabajo.

7.2.3. Cosecha

La cosecha se puede realizar de dos formas, manual o industrialmente. La primera está asociada en muchos casos a proyectos de desarrollo sostenible por la generación de empleo de hombres y mujeres (Henning, 2009). La segunda tiene proyectos asociados a plantaciones de gran escala (Campuzano, 2009); Aunque el debate está abierto con relación a la eficiencia, teniendo como principal argumento que las plantas tienen una maduración poco uniforme, lo que genera que la recolección con máquinas sea poco viable y la manual tome mayor importancia (Campuzano, 2009; Jongschaap *et al.*, 2007).

Tabla 9: Contenido de aceite en la semilla según la coloración de los frutos (Campuzano, 2009).

Coloración	Longitud (mm)	Contenido de aceite (%)
Verde	17,54	31,41
Verde-amarillo	17,64	36,46
Amarillo	18,19	37,59
Marrón	18,6	36,52
Negro	18,23	36,07

El contenido de aceite en la semilla se puede determinar por el color que presenta el fruto, como se puede observar en la Tabla 9. Los frutos contienen 37.5% de cáscara y 65.5% de semilla. Las

semillas son 42% cobertura y 58% núcleo. Después de la recolección es necesario secar las semillas, algunos autores indican que con dejarlas al sol un día entero en temporada seca, es suficiente (Henning, 2009).

7.2.4. Aprovechamiento

La *Jatropha curcas* muestra una productividad muy cambiante en cada individuo y en cada variedad (Lu *et al.*, 2009), así como una reducción en la productividad a medida que la plantación tiene más años -sobre todo después de los 15 años- (Francis *et al.*, 2005). El máximo rendimiento está determinado por la ecuación (1) (Campuzano, 2009):

$$RB = (NR/P * NG/R * NF\&G * NS/F * PS) * A \quad (1)$$

- Donde:
- NR/P = Número de ramas/planta
 - NG/P = Número de gajos/rama
 - NF/C = Número de frutos/gajo
 - NS/F = Número de semillas/fruto
 - PS = Peso de las semillas
 - A = Contenido de aceite en la semilla

El proceso de extracción se puede hacer por tres medios: mecánico, químico o con ultrasonido (Shah *et al.*, 2005). En el presente trabajo se evaluara el primer método. Para extraer el aceite es necesaria una prensa, la cual puede ser manual o mecánica, esta última puede ser accionada por combustibles fósiles o por energía eléctrica.

Hay diferentes trabajos relacionados con los rendimientos, y así como en muchos otros temas tiene numerosas discordancias, debido a que se encuentran diferentes porcentajes de rendimientos con condiciones biofísicas similares. Esto debido probablemente a que se hace una incorrecta extrapolación de los rendimientos que se tienen por árboles individuales a hectáreas por año (Achten *et al.*, 2008). Para efectos prácticos se tendrán en cuenta los porcentajes y rendimientos que se observan en la Tabla 10, teniendo en cuenta que una prensa manual tiene una eficiencia de extracción de aceite del 62.5% y una prensa eléctrica en promedio del 75% (Achten *et al.*, 2008). Hay una tendencia según Achten y colaboradores (2008), en podar las plantas cada 10 años a una altura de 45 cm, con el fin de ayudar a que las cosechas sean más estables.

En El Salvador, según Campusano (2009) existe un cultivo que a partir de optimizar las condiciones agronómicas y basados en un esquema de poda específico, se logró obtener unos rendimientos superiores. Se obtuvo un total de 4.9 t/ha de biodiésel, superando el promedio de la palma, que como se puede observar en la Tabla 10 es de 3.7 t/ha. En Colombia no se quiere confrontar con la palma, cada cultivo tendrá sus escenarios y nichos de siembra, o pueden ser complementarios, como ya se ha empezado a trabajar en diferentes cultivos de palma (Campuzano, 2009)

Tabla 10: Rendimientos de diferentes materias primas - ha/año. Fuente: *(Campuzano, 2009); ** (Achten *et al.*, 2008)

Producto	Rendimiento (t/ha)	Aceite (%)	Aceite (t/ha)	Biodiésel (t/ha)	Fuente
Palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i>)	20-22	21-22	3.9	3.7	*
Piñón (<i>J. curcas</i>) - Suelos marginales/Prensa Manual	2.0-3.0	35-45	0.8	0.7	**
Piñón (<i>J. curcas</i>) - Suelos marginales/Prensa Eléctrica	2.0-3.0	35-45	0.9	0.9	**
Piñón (<i>J. curcas</i>) - Buenos suelos/Prensa Manual	5	37	1.2	1.1	**
Piñón (<i>J. curcas</i>) - Buenos suelos/Prensa Eléctrica	5	37	1.4	1.3	**
Piñón - El Salvador (<i>Jatropha curcas</i>)	11.6	56	5.2	4.9	*
Higuerilla (<i>Ricinus communis</i>)	2.5-3.5	50	1.2	1.1	*
Colza (<i>Brassica napus</i>)	1.8-2.4	50	1.2	1.1	*
Girasol (<i>Helianthus annus</i>)	1.5-1.9	45	0.8	0.8	*
Soya (<i>Glicine max</i>)	2.5-3.2	18	0.4	0.4	*

Para determinar los costos de producción del aceite (ver Tabla 11), se divide en dos, según el método de extracción del aceite de la semilla -manual o mecánica-. En los dos casos se asumen dos cosechas anuales, a partir del tercer año. Así como un aprovechamiento de la torta residual, como fertilizante, lo que aminora los costos de este producto químico. En el primer escenario, en donde la extracción es manual, se asume que la producción es de 1.2 ton/ha (ver Tabla 10), para un total de \$841,871 por tonelada de aceite. En el segundo escenario, en donde la extracción se hace de forma mecánica, se asume que se utiliza una prensa eléctrica de paneles solares (Mpagalile *et al.*, 2007), la cual tiene un único costo inicial de \$3.600.000 (en el análisis se reemplaza por el costo de extracción por hectárea promedio para el aceite de palma (Corredor, 2008)) sumado a la inversión y mantenimiento del vivero de \$1.000.000 (Tabla 12). Se asume que la producción es de 1.4 ton/ha se obtiene que producir una tonelada de aceite tiene un costo de \$712,675.

Tabla 11: Costos variables de producción de aceite de *J. curcas*. (\$ constantes 2008, jornal = \$35.000) MRE: Mantenimiento, recolección y extracción. (Bernal, 2001; Campuzano, 2009; Corredor, 2008; Francis *et al.*, 2005; Openshaw, 2000)

año	Prensa manual			Prensa mecánica			
	Rubro	Costo unitario	Costo total	Rubro	Costo unitario	Costo total	
1	Vivero	\$199,920	\$2,059,920	Vivero	\$199,920	\$2,059,920	
	Preparar la tierra	\$280,000		Preparar la tierra	\$280,000		
	Trasplante	\$140,000		Trasplante	\$140,000		
	Fertilizante	\$690,000		Fertilizante	\$690,000		
	Control de maleza	\$645,000		Control de maleza	\$645,000		
	Poda	\$105,000		Poda	\$105,000		
2	Fertilizante	\$690,000	\$1,000,000	Fertilizante	\$690,000	\$1,000,000	
	Control de maleza	\$170,000		Control de maleza	\$170,000		
	Poda	\$140,000		Poda	\$140,000		
3	Fertilizante	\$628,000	\$1,638,000	Fertilizante	\$628,000	\$1,488,000	
	Control de maleza	\$170,000		Control de maleza	\$170,000		
	Poda	\$140,000		Poda	\$140,000		
	Cosecha manual	\$350,000		Cosecha manual	\$350,000		
	Extracción	\$350,000		Extracción	\$200,000		
4	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
5	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
6	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
7	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
8	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
9	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
10	MRE	\$1,638,000	\$1,638,000	MRE	\$1,488,000	\$1,488,000	
Sub total costos variables			\$16,163,920	Sub total costos variables			\$14,963,920

Para determinar el costo de producción de una tonelada de aceite por hectárea, se suman los costos variables de cada escenario durante diez años, luego se hace un cálculo de la cantidad de aceite que se produciría en estos diez años, teniendo en cuenta que se cosecha dos veces al año y se hace un estimativo del costo de la producción de aceite dependiendo del tipo de extracción, como se observa en la Tabla 12.

En el escenario de prensa mecánica, los costos de conversión son dados por los costos promedios de extracción de aceite de palma para el 2008 (Corredor, 2008) y para los de preparación de

plántulas en vivero, se extrajo el promedio de este concepto (por hectárea) de la estructura de costos para el establecimiento de nuevos cultivos de palma de aceite en Colombia con tecnología media (Bernal, 2001).

El cultivo de *Jatropha* dependiendo del modo de extracción genera 18 y 16 jornales promedio por cosecha, dependiendo si la extracción es manual o mecánica respectivamente, como se puede observar en la Tabla 12. Hay una distribución de jornales como se observa en la Figura 13. Superior a los que genera la palma de aceite, ya que según Cenipalma (Cenipalma, 2009), se genera un promedio de 10 jornales por cosecha.

Tabla 12: Tabla comparativa de costos de producción, rendimiento y número de empleos de la *J. curcas* y la Palma, para Colombia. (Campuzano, 2009; Mpagalile *et al.*, 2007).

	Jatropha		Palma africana
	Manual	Mecánica	
Costo \$ Constantes 2008 (ton/ha)	\$841,871	\$712,675	\$869,400
Costo U\$ (ton/ha) [1U\$ = \$1.932]	\$436	\$369	\$450
Rendimiento (ton/cosecha/año)	1.2	1.4	4
Número de empleos promedio (Jornales/cosecha)	18	16	10

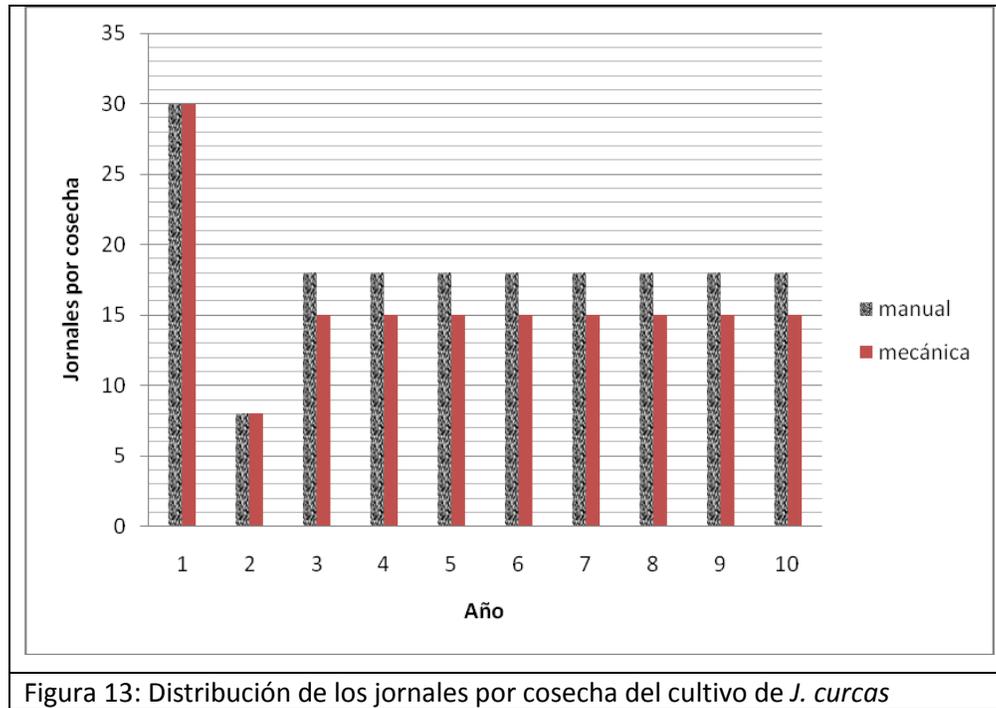
La palma de aceite tiene unos costos muy similares, en el 2008 para producir una tonelada de aceite fueron necesarios U\$450, lo que equivale a \$869.400 (tasa de cambio de \$1.932) (Corredor, 2008), con los rendimientos observados en la Tabla 10.

Tabla 13: Balance de egresos e ingresos de 10 años, de venta de aceite de *Jatropha curcas* (\$ constantes de 2008).

	Extracción	
	Manual	Mecánica
Precio del aceite promedio 2008 (\$1,902,054)	\$20,355,517	\$23,122,090

El precio promedio del aceite de palma para el 2007 fue de \$1,418,000 (Corredor, 2008; Fedepalma, 2008) y para el 2008 fue de \$1,902,054 (Fedepalma, 2008). Se tomó como referencia para el balance de egresos e ingresos de los 10 años de cultivo el precio promedio de 2008; se obtuvo que para la extracción manual el balance fue de \$20,355,517 y para el escenario de extracción mecánica fue de \$23,122,090 como se observa en la Tabla 13. La diferencia es de \$2,766,573.

La composición y algunas de las características del aceite de *J. curcas* se pueden observar en el Anexo 1. Los valores se ajustan a los estándares de la Unión Europea y de Estados Unidos para la producción de biodiésel (Achten *et al.*, 2008) así como para los de de la Norma Técnica Colombiana NTC 5444 (Mesa, 2007).



La literatura especializada (Achten *et al.*, 2008; De la Vega, 2006; Hannan-Jones & Csurhes, 2008) en algunos casos tiene en cuenta los ingresos por créditos de carbono (se asume que equivale a una tonelada de CO₂), los cuales surgen a partir del protocolo de Kioto, como una forma de mitigación de las emisiones de gases invernadero a la atmósfera. Esto mediante los mecanismo de desarrollo limpio (MDL) expuestos en el artículo 12 del protocolo firmado en la Convención de Kioto en 1997 (Aversano & Temperini, 2006; Szwarc, 2008). Al ser el Piñón una planta perenne, se le permite ingresar dentro de este mercado y se calcula que un árbol de *J. curcas* puede capturar 8 kg de CO₂ por año (Heller, 1996), lo que equivale a 13.3 ton/ha/año, si se cuenta con 1,666 plantas por hectárea. Algunas experiencias de MDL se han visto con la palma de aceite (Black, 2004; Fedepalma, 2007).

7.3. El método de evaluación de tierras de la FAO

A partir de la idea de que la *Jatropha curcas* podría constituirse como una potencial alternativa de obtención de biocombustible, se sentaron las bases del proyecto. La revisión de información acerca de los diferentes tipos de biocombustibles y de los requerimientos biofísicos de esta planta, permitió establecer el método de análisis que se utilizaría: La evaluación de aptitud de tierras.

La FAO, desde 1976 ha establecido un marco como referencia para la evaluación de tierras (*framework for land evaluation*) (FAO, 1976), siendo este revisado en varias ocasiones, obteniendo como resultado la publicación más reciente, “evaluación de tierras” (FAO, 2007), metodología para predecir el potencial de empleo de la tierra sobre la base de sus atributos, resumido en la Figura 14. Este procedimiento es de gran interés para un país como Colombia en donde se han promulgado nuevas políticas pro-biocombustibles (ONU, 2007). En algunos países ha tenido buena receptividad, como es el caso de Nigeria y Siria (FAO, 2007), entre otros.

La metodología de la FAO indica en forma esquematizada los conceptos, la estructura y los procedimientos que deben guiar la creación y aplicación de sistemas de evaluación de tierras, orientado a usos específicos. Puede utilizarse a diferentes escalas y a una amplia gama de usos de la tierra. El esquema de evaluación de aptitud tierras de la FAO tiene ocho principios (FAO, 2007):

1. La idoneidad de tierras debe ser evaluada y clasificada con respecto a determinados tipos de uso de la tierra y sus servicios.
2. La evaluación de aptitud de tierras requiere una comparación de los beneficios obtenidos y los insumos necesarios en diferentes tierras para evaluar el potencial productivo, de servicios ambientales y medios de subsistencia.
3. La evaluación de aptitud de tierras requiere un enfoque multidisciplinario y multisectorial.
4. La evaluación de aptitud de tierras debe tener en cuenta el contexto social, económico, biofísico y político así como los concerniente con el medio ambiente
5. La adecuación de la tierra debe ser evaluada y clasificada con respecto a los usos específicos de la tierra y sus servicios; ésta adecuación debería incluir la productividad, la equidad social y lo concerniente al medio ambiente.
6. La evaluación de aptitud de tierras implica una comparación de más de un tipo de uso o servicio.

7. La evaluación de aptitud de tierras debe considerar todas las partes interesadas
8. La escala y el nivel de la toma de decisiones deben estar claramente definidas antes del proceso de evaluación de tierras.

En la Figura 14 se pueden observar los pasos que se deben seguir para implementar una evaluación de aptitud de tierras, el cual enmarca la articulación de las diferentes variables e información utilizada en la evaluación de tierras que se utiliza en el trabajo. Acto seguido a la recolección de necesidades en la comunidad, se debe hacer un diagnóstico de los problemas asociados al uso del suelo, cómo puede ser la sobre o subutilización del suelo, así como los diferentes aspectos socioeconómicos.

Basado en esto, se deben sobreponer los resultados biofísicos encontrados, así como los requisitos agronómicos del sistema productivo a implementar. El cruce de esta investigación, arroja una información espacial, soportada en una base de datos, con lo cual se hace una comparación entre la aptitud de uso del suelo y el uso actual del suelo, para finalizar con la clasificación de suelos según la idoneidad.

Por otro lado, Rossiter dice que la metodología de evaluación de tierras de la FAO, parece proporcionar un útil punto de partida, ya que está basada en muchos años de consultas a expertos. Sin embargo, los procedimientos basados en la metodología FAO (ver Figura 14) son intensivos en cuanto a los datos requeridos, implican mucha repetición de cálculos, búsqueda en tablas y son tediosos cuando se comparan muchas alternativas. Por lo tanto, aunque parezca habitual que se desarrollen sistemas automatizados, la realidad es que ha habido pocos esfuerzos anteriores en este sentido.

ALES (*Automated Land Evaluation System*) surge como una respuesta a este problema, ya que según sus inventores, es aplicable en cualquier área y con cualquier grupo de datos (Rossiter *et al.*, 1995).

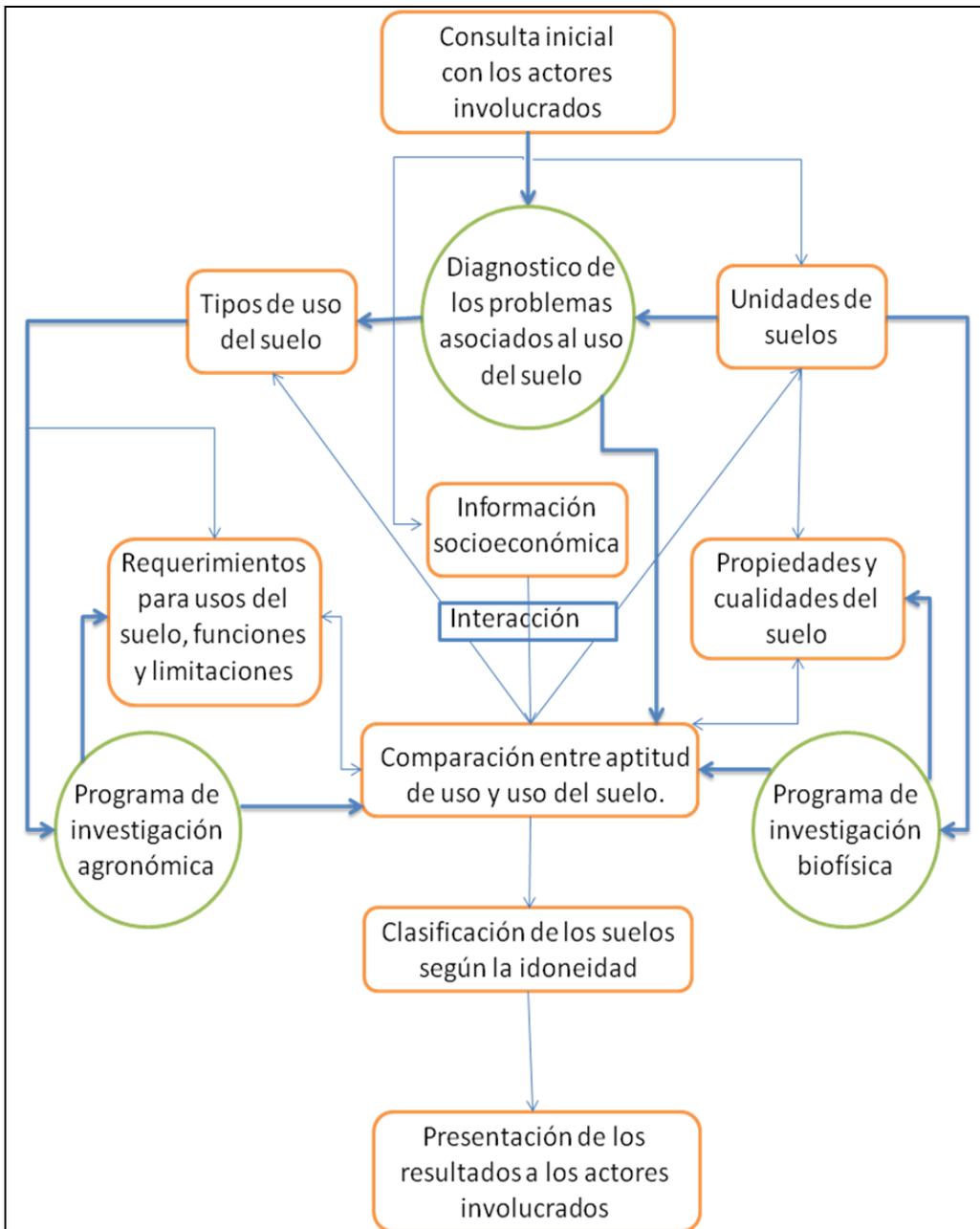


Figura 14: Representación esquemática de la implementación de un nuevo proyecto de evaluación de aptitud de tierras (FAO, 2007).

8. Metodología

8.1. Consulta a expertos

El Dr. Luis Fernando Campusano Ph.D. es un experto en genética, con reconocida trayectoria en este campo. Actualmente es el director del proyecto “Determinación de las zonas con potencial biofísico e identificación de materiales genéticos para el establecimiento y desarrollo agroindustrial del Piñón (*Jatropha curcas* L.) en Colombia”, entre cuyos resultados se espera una colección de germoplasma nativo e introducido, identificación de áreas potenciales, caracterización de manejo de cultivo, arreglos y subproductos.

Este proyecto, financiado por El Ministerio de agricultura y desarrollo rural, Ecopetrol, El Cerrejón, entre otros, cuenta con varias replicas en el País, algunas de ellas en el corredor Villavicencio-Puerto Carreño, en donde se espera observar la respuesta de la planta a diferentes regímenes hídricos, ya que entre más cercano a la cordillera, mayor será la pluviometría.

Según Campusano, se esperan tener resultados concretos al tercer año de crecimiento de las plantas, las cuales en su mayoría fueron recogidas en una colecta a lo largo del País, durante más de 6 meses. Al momento de la visita al Centro de Investigación de Corpoica, La Libertad, Km 6 vía Villavicencio - Puerto López, la mayoría de las plantas tenían un año y medio de vida.

Los objetivos de la visita eran determinar las plagas más comunes de este tipo de plantaciones, aclarar el tema de los costos de producción y puntualizar los requerimientos ambientales de la planta. Estos objetivos fueron cumplidos con éxito.

8.2. Ejercicio de identificar áreas potenciales

8.2.1. Definición de mapas

A partir de los mapas que se muestran en la Tabla 14 y utilizando como referencia los requerimientos biofísicos de la *J. curcas* (ver Tabla 8) se realizó un ejercicio en donde se determinaron las diferentes variables a utilizar. Se relacionaban para obtener los tres mapas finales: Mapa de aptitudes general (M1); Mapa de áreas aptas con conflictos de uso (M2); Mapa de áreas sin conflicto de uso (M3). Tal como se observa en la Figura 15.

Tabla 14: Origen de los mapas utilizados.

Mapa	Fuente	Observaciones
Suelos	IGAC, 2003	1:1.500.000
Ecosistemas	Etter, 1998; IGAC, 2005	1:1.500.000
Altimetría	IGAC	DEM
Pendientes	IGAC	Slope - DEM
Temperatura	IDEAM	Regresión entre altura y precipitación.
Precipitación	IDEAM	Spline ARCGIS
Parques Nacionales	Parques Nacionales	Actualizado 2009
Áreas protegidas	Parques Nacionales	Incluye resguardos indígenas, áreas de conservación, reservas forestales.
Uso actual de la tierra	IGAC 2005; Etter, 1998	A partir del mapa de ecosistemas

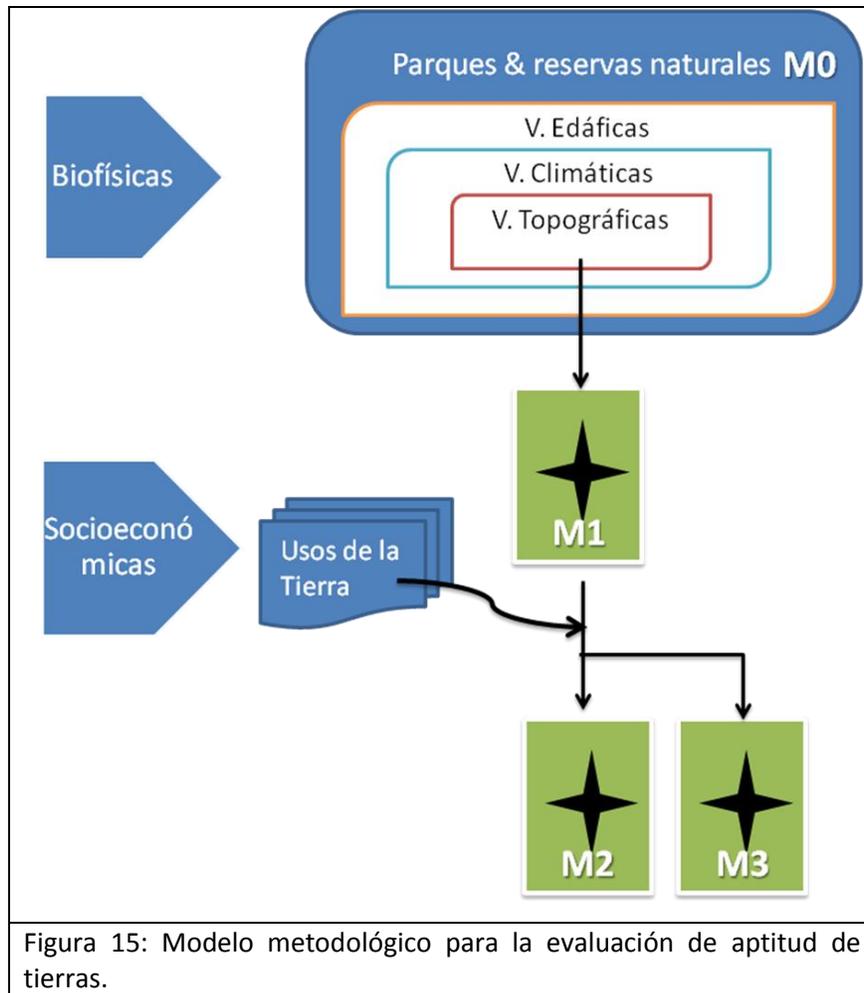
8.2.2. Definición de variables temáticas

Se definieron dos grandes variables: las del medio biofísico y las del medio socioeconómico. Las primeras subdivididas en tres subclases: edáficas, topográficas y climáticas, tal como se observa en la Figura 15. En la Tabla 15 se puede observar la clasificación de las variables según su nivel de aptitud.

8.2.2.1. Variables del medio biofísico

Edáficas

Se tuvieron en cuenta cinco variables en este campo: acidez; textura; profundidad; drenaje y fertilidad. Las cuales fueron clasificadas en el mapa de suelos del IGAC, basados en los requerimientos biofísico de la *J. curcas* (ver Tabla 8).



Topográficas

Modelo digital de elevación (DEM): El DEM constituye una representación digital (numérica) de la altura del terreno, sobre una base de referencia estándar (elevaciones del terreno). En este caso se empleó el modelo digital suministrado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Pendientes del terreno: El modelo de pendientes del terreno es una derivación del modelo digital de elevación, obtenida aplicando la función *Slope* de ArcGISMap 9.2.

Límites político administrativos de Colombia: Contiene los límites de las unidades administrativas definidas para Colombia (Municipios y Departamentos) a escala 1:500.000 con codificación DANE e IGAC. Se encuentra en formato Shape (IGAC, 2009).

Resguardos Indígenas: Contiene los límites de los territorios indígenas legalmente constituidos mediante la figura de Resguardo Indígena. Este producto fue elaborado por el IGAC a escala 1:1'000.000, con acompañamiento del INCODER (IGAC, 2009).

Climáticas

Temperatura: A partir de los datos de las estaciones del IDEAM, se realizó una regresión entre estos datos y la altura, en donde el valor de R² es representado en la ecuación (2), la cual fue introducida en la función *MapAlgebra* de ArcGisMAP 9.2.

$$\text{Temperatura} = -0.0056 (\text{altitud}) * 28.53 \tag{2}$$

Precipitación: A partir de los datos de las estaciones del IDEAM, se realizó una interpolación de la información para todo el País, con la función *Spline* de ArcGisMAP 9.2

8.2.2.2. Variables del medio socioeconómico

Se tuvieron en cuenta dos variables en este campo. La agricultura empresarial (AGe) y la Agricultura campesina (AGc). La primera está relacionada con fines económicos y la segunda con alimentos de subsistencia.

Tabla 15: Variables según su nivel de aptitud. NA: No Aplica

Variable/nivel de aptitud	Altamente apta	Moderadamente apta	No apta
Profundidad	Profundos; Moderadamente profundos	NA	Superficiales; Muy superficiales
Fertilidad	Moderada; alta	baja	NA
Acidez	Ligeramente ácida; Ácida; Neutra	Extremadamente Ácida; Muy fuertemente ácida	NA
Drenaje	Bien drenados	Moderadamente drenados	Pobremente drenados; Excesivamente drenados
Textura	Gruesas; Moderadamente gruesas	Medias	Moderadamente finas; Finas

8.2.3. Formato de datos

El procesamiento de datos en programas SIG⁵ generalmente requiere la selección de un formato de datos homogéneo, el cual es a su vez independiente del formato de presentación final de los resultados a nivel cartográfico. Para el procesamiento y modelamiento de datos de este proyecto se usó un formato *Raster*, el cual presenta entre otras, las siguientes ventajas:

- Se usaron diferentes fuentes de información cuya escala puede variar, lo cual hace necesario homogenizar el nivel de detalle de cada uno de las variables. El uso del formato *Raster* facilita dicha tarea.
- Los datos en formato *Raster* son mucho más livianos (menor espacio en disco) respecto a los mismos en formato *Vector*.
- Las operaciones matemáticas y estadísticas se facilitan en formato *Raster*.

8.2.4. Sistema de referencia espacial

Se utilizó la misma referencia espacial del mapa de ecosistemas elaborado por Andrés Etter en 1998 y actualizado en 2005. Este es un sistema de coordenadas geográficas (GCS_Bogota) que usa el elipsoide International_1924. el cual es apropiado para la escala y extensión de la zona de estudio del Proyecto.

8.2.5. Clasificación de mapas

- M0: Mapa inicial; son excluidas las áreas del sistema de Parques Nacionales Naturales, resguardos indígenas, áreas de conservación y reservas forestales.
- M1: Mapa general de aptitudes.
- M2: Mapa de áreas aptas con conflicto de uso.
- M3: Mapa de áreas aptas sin conflicto de uso.

⁵ Sistema de información geográfica: Es un sistema que captura, almacena, chequea, integra, manipula, analiza y muestra información que está referenciada espacialmente con algún punto de la tierra. FAO (2007) *Land evaluation*, Roma.

9. Resultados y discusión de resultados

9.1. Evaluación de aptitud de tierras

El territorio colombiano es socioeconómica y biofísicamente muy heterogéneo, ya que tiene condiciones desde extremadamente secas en la Guajira, pasando por los bosques secos tropicales, hasta áreas muy húmedas, como el Amazonas y el Chocó. El uso de la tierra y la densidad de la población son otros factores que se presentan de forma heterogénea en el País. Generando así un escenario de posibilidades para el estudio de evaluación de tierras con respecto a la *Jatropha curcas*. Esta evaluación es un aspecto básico que permite tomar decisiones sobre las áreas más apropiadas para ubicar los cultivos y sobre los procesos de degradación de las tierras, con el fin de tomar medidas para su manejo y conservación (Martinez, 2006).

Gran proporción del territorio está bajo el amparo de las áreas protegidas ocupando más o menos un 33% del territorio nacional; ya sea por áreas del sistema de Parques Nacionales Naturales, de conservación, reservas forestales o resguardos indígenas. Éstas son excluidas del ejercicio de evaluación de tierras.

Es preciso determinar a qué hacen referencia los diferentes niveles de aptitud: Altamente apto sin conflicto de uso (M3A); moderadamente apto sin conflicto de uso (M3M); altamente apto y con conflicto de uso (M2A); moderadamente apto y con conflicto de uso (M2M) y no apto (NO), como se puede observar en la Tabla 16.

M0 es el mapa de partida, equivale a 67% de las áreas no excluidas, lo cual deja una base de 77,084,656 ha para poder ser estudiadas con la metodología de evaluación de tierras.

Para identificar las áreas en Colombia con mayor potencial para cultivar *Jatropha curcas* desde el punto de vista biofísico y socioeconómico, fueron necesarios varios filtros, como ya se mencionó anteriormente. El primero de ellos fueron las variables biofísicas, generando M1 (ver Figura 16), se encontró que hay 724,582 ha aptas y 2,450,677 ha moderadamente aptas, distribuidas en los departamentos como se observa en la Tabla 17; Córdoba con el 39.7% lidera la lista de las áreas altamente aptas, seguido por Cesar con 21.2%.

De las variables biofísicas, las condiciones edáficas son las que más restricciones aportan, seguidas por las topográficas. Las variables climáticas son muy poco limitantes.

Tabla 16: Definición del nivel de aptitud de las tierras evaluadas. Adaptado de (FAO, 2007) en (IDEAM & MAVDT, 2008).

Nivel de aptitud	Definición
Altamente apta sin conflicto de uso (M3A)	Tierras sin limitaciones para el cultivo sostenible de <i>Jatropha</i> . Los suelos son casi planos y los problemas de erosión muy pequeños. Son suelos profundos, generalmente bien drenados y fáciles de trabajar; tienen una buena capacidad de retención de agua y están provistos de nutrientes y responden a las adiciones de fertilizantes. No están sujetos a daños por inundaciones, son suelos productivos y adecuados para un cultivo intensivo. El clima y la altura son favorables para el crecimiento óptimo.
Moderadamente Apta sin conflicto de uso (M3M)	Tierras con limitaciones menores para el cultivo sostenible de <i>Jatropha</i> . La productividad será menor y los insumos serán más costosos que en M3A. Tienen algunas limitaciones que reducen la elección de plantas o requieren moderadas prácticas de conservación. Requieren prácticas cuidadosas de manejo, incluyendo prácticas de conservación para prevenir el deterioro o para mejorar las relaciones agua – aire. Las limitaciones pueden incluir los efectos siguientes: 1) Susceptibilidad moderada a la erosión por el agua o por el viento o efectos adversos moderados, causados por la erosión pasada; 2) Estructura desfavorable; 3) Contenido de sal o sodio moderado, fácilmente corregible pero con probabilidad de que vuelva a aparecer; 4) Daños ocasionales por inundaciones; 5) Humedad corregible por drenaje pero existiendo limitaciones permanentes en forma moderada; 6) Limitaciones ligeras de clima en el uso y manejo del suelo y 7) Altura tolerable.
Altamente apta y con conflicto de uso (M2A)	Igual a M3A pero con un conflicto de uso que puede ser generado por agricultura campesina o empresarial.
Moderadamente Apta y con conflicto de uso (M2M)	Igual a M3M pero con un conflicto de uso que puede ser generado por agricultura campesina o empresarial.
No Apta (NO)	Las características de estas tierras las hacen no aptas para el cultivo de <i>Jatropha</i> . Limitado como resultado de los efectos de una o más de las características permanentes, tales como: 1) Pendientes muy pronunciadas; 2) Susceptibilidad severa a la erosión por el agua y el viento; 3) Severos efectos de pasadas erosiones; 4) Suelos superficiales; 5) Baja capacidad para retener la humedad; 6) Frecuentes Inundaciones acompañadas por severos daños a los cultivos; 7) Excesiva humedad con continuos peligros y problemas de sobresaturación después del drenaje; 8) Salinidad o sodio severo; 9) Moderados efectos adversos del clima y 10) Demasiada altura sobre el nivel del mar.

El filtro socioeconómico que se le aplica a M1, afecta al 5.5% de las áreas que en M1 eran altamente aptas. Generando que en M2A tan solo sean 39,963 ha en comparación con M3A que son 684,619 ha. Y afecta al 15% de las áreas que en M1 eran moderadamente aptas. Lo que quiere decir que son muy pocas las áreas que presentan conflictos de uso por agricultura, generado

principalmente porque los cultivos agrícolas en Colombia están ubicados en gran medida en las cordilleras.

Tabla 17: Número de hectáreas por departamento y nivel de aptitud. Mapa general de aptitudes (M1).

Departamento/ nivel de aptitud	Altamente apta (ha)	porcentaje del total	Moderadamente apta (ha)	porcentaje del total
Córdoba	287,944	39.74%	361,781	14.76%
Cesar	154,119	21.27%	355,200	14.49%
Sucre	72,875	10.06%	223,381	9.12%
Magdalena	51,063	7.05%	393,681	16.06%
La Guajira	50,231	6.93%	187,031	7.63%
Bolívar	35,994	4.97%	430,800	17.58%
Tolima	35,531	4.90%	155,988	6.37%
Antioquia	21,931	3.03%	7,356	0.30%
Atlántico	13,919	1.92%	125,181	5.11%
Cundinamarca	738	0.10%	53,256	2.17%
Huila	238	0.03%	75,175	3.07%
Nariño	0	0.00%	38,469	1.57%
Valle Del Cauca	0	0.00%	20,481	0.84%
Norte De Santander	0	0.00%	10,375	0.42%
Caldas	0	0.00%	7,969	0.33%
Chocó	0	0.00%	2,513	0.10%
Santander	0	0.00%	1,256	0.05%
Cauca	0	0.00%	781	0.03%
Total	724,581	100.00%	2,450,675	100.00%

Utilizando el filtro socioeconómico de uso actual de la tierra (agricultura campesina y/o empresarial), como resultado se generaron: M2 y M3 (ver Figura 17 y Figura 18). En M2, 39,963 ha son altamente aptas con conflicto de uso (M2A) y 369,019 ha son moderadamente aptas con conflicto de uso (M2M), como se observa en la Tabla 18. Estos conflictos están dados por agricultura, campesina o empresarial. Los principales departamentos con este tipo de conflictos de uso, son: Cesar (16,763 ha, -41.95%-), Tolima (5,000 ha, -12.51%-) y Atlántico (4,863, -12.17%-).

Cesar tiene 2,200,000 ha, lo que corresponde a que el 0.79% del departamento sean tierras altamente aptas con conflictos de uso y 4.21% de las tierras modernamente aptas y con conflicto de uso. La principal actividad productiva es la ganadería (carne y leche), seguida por la producción de algodón, palma africana, arroz y minería de carbón (IGAC, 2009). La mayoría de áreas con

conflictos de uso están ubicadas en el norte del departamento, en donde se llevan a cabo las principales actividades agrícolas. Cesar tiene un índice de desarrollo humano –IDH- medio bajo (IGAC, 2009), como se observa en el Anexo 3.

Así mismo, se ha visto afectado por los diferentes actores armados de Colombia. En 2007 se registraron acciones armadas entre las FARC, el ELN y las Fuerzas Armadas de Colombia, con mayor incidencia en el norte y el este del departamento (IGAC, 2009).

Tabla 18: Número de hectáreas por departamento con conflicto de uso y nivel de aptitud, Mapa de áreas aptas con conflicto de uso (M2)

Departamento/ nivel de aptitud	Altamente apto y con conflicto de uso - M2A (ha)	Porcentaje del total	Moderadamente apto y con conflicto de uso -M2M (ha)	Porcentaje del total
Cesar	16,763	41.95%	92,688	25.12%
Tolima	5,000	12.51%	73,794	20.00%
Atlántico	4,863	12.17%	6,663	1.81%
Bolívar	4,569	11.43%	32,169	8.72%
La Guajira	4,475	11.20%	24,144	6.54%
Magdalena	2,813	7.04%	90,950	24.65%
Córdoba	1,206	3.02%	975	0.26%
Cundinamarca	169	0.42%	12,744	3.45%
Huila	88	0.22%	19,944	5.40%
Sucre	19	0.05%	12,088	3.28%
Valle Del Cauca	0	0.00%	2,006	0.54%
Cauca	0	0.00%	581	0.16%
Nariño	0	0.00%	275	0.07%
Total	39,963	100.00%	369,019	100.00%

En la Tabla 19 se puede observar que son altamente aptas sin restricciones (M3A) 137,356 ha, y moderadamente aptas sin restricciones (M3M) 262,513 ha. Por lo tanto, es viable proponer proyectos de pequeña escala (extracción manual) para cultivar *Jatropha curcas* en este departamento, encaminados a resolver algunos conflictos de orden político (proyectos sociales) y para no entrar a competir con los ya existentes cultivos agrícolas.

En M3 684,619 ha son altamente aptas sin conflicto de uso y 2,081,656 ha son moderadamente aptas sin conflicto de uso. Los departamentos que tienen mayor cantidad de hectáreas altamente aptas sin conflictos de uso son Córdoba (286,738 ha -41.9%-), Cesar (137,356 ha -20.1%-) y Sucre (72,856 ha -10.6%-), como se puede evidenciar en la Tabla 19.

Córdoba es un departamento de 2,500,000 ha, lo que equivale a que en el 11% del departamento sea apto cultivar *Jatropha* sin conflictos de uso con agricultura. 209,400 ha (8.36%) son agrícolas, 1,580,600 ha (63.17%) pecuarias, 600,000 ha (23.98%) forestales, 112,060 ha (4.47%) otros usos: ciénagas, humedales y ríos. Hace parte de la región Caribe colombiana, limita por el norte con el océano Atlántico, por el oeste, sur y suroriente con Antioquia y al este con Bolívar y Sucre (Sáenz *et al.*, 2008).

La principal actividad productiva del departamento es la ganadería, la agricultura cuenta con una de las regiones potencialmente más ricas “los valles de los ríos Sinú y San Jorge”; Los principales cultivos son: el maíz, algodón, sorgo, arroz, yuca, plátano y ñame (Sáenz *et al.*, 2008).

El departamento de Córdoba es uno de los principales escenarios del conflicto armado del país, la zona de conflicto en este departamento, está determinada por dos valles, el del Alto Sinú y el del Alto San Jorge, en las estribaciones de la cordillera occidental (Sáenz *et al.*, 2008).

Las condiciones de pobreza en Córdoba son preocupantes (Sáenz *et al.*, 2008); presenta unos altos niveles de NBI y bajos niveles de calidad de vida. En las cabeceras el índice de NBI es de 42.4% y en el resto es de 76.4%, con un promedio es de 59.4% (DANE, 2005). Teniendo en cuenta que el promedio de personas que viven en hogares con NBI en Colombia es 27,7% (DANE, 2005). Presenta un IDH medio, como se observa el Anexo 3 (IGAC, 2009). El desempleo es del 13,6% en áreas urbanas y del 10,4% en rurales (Sáenz *et al.*, 2008).

Existen dos períodos estacionales: uno de lluvias de seis meses comprendido entre mayo y diciembre y otro seco, de diciembre a abril; permitiendo de esta forma cosechar dos veces al año la *Jatropha curcas*, según varios expertos (Campuzano, 2009; De la Vega, 2006), ya que las condiciones favorables para la producción de flores están dadas por al menos 90 días.

Por las condiciones socioeconómicas, políticas y biofísicas del departamento de Córdoba, es viable proponer proyectos de pequeña (extracción manual) y mediana escala (extracción mecánica) en donde se busque reducir la pobreza y el desempleo, especialmente de la población rural. Así como una fuente de ingreso extra para los ganaderos, ya que la planta puede ser utilizada como cerca viva en estas grandes extensiones de tierra. Ésta funciona como corredor entre relictos de bosque para algunas poblaciones (Etter, 2009), beneficiando la conservación de especies y aumentando en algunos casos la diversidad.

Tabla 19: Número de hectáreas por departamento sin conflicto de uso y nivel de aptitud, Mapa de áreas aptas sin conflicto de uso (M3)

Departamento/ nivel de aptitud	Altamente apta sin restricciones -M3A (ha)	Porcentaje del total	Moderadamente apta sin restricciones -M3M (ha)	Porcentaje del total
Córdoba	286,738	41.88%	360,806	17.33%
Cesar	137,356	20.06%	262,513	12.61%
Sucre	72,856	10.64%	211,294	10.15%
Magdalena	48,250	7.05%	302,731	14.54%
La Guajira	45,756	6.68%	162,888	7.82%
Bolívar	31,425	4.59%	398,631	19.15%
Tolima	30,531	4.46%	82,194	3.95%
Antioquia	21,931	3.20%	7,356	0.35%
Atlántico	9,056	1.32%	118,519	5.69%
Cundinamarca	569	0.08%	40,513	1.95%
Huila	150	0.02%	55,231	2.65%
Nariño	0	0.00%	38,194	1.83%
Valle Del Cauca	0	0.00%	18,475	0.89%
Norte De Santander	0	0.00%	10,375	0.50%
Caldas	0	0.00%	7,969	0.38%
Chocó	0	0.00%	2,513	0.12%
Santander	0	0.00%	1,256	0.06%
Cauca	0	0.00%	200	0.01%
Total	684,619	100.00%	2,081,656	100.00%

Los mapas han mostrados una gran cantidad de hectáreas altamente óptimas y moderadamente óptimas sin con conflicto de uso (M3A y M3M) cerca a la costa del mar Caribe (departamentos de Córdoba y Sucre principalmente) y del sur y sur occidente de la Sierra Nevada de Santa Marta (departamentos de Magdalena y Cesar), en donde el uso predominante es la ganadería. Esta actividad agropecuaria ha llevado a que los productores pierdan la cultura de siembra, que traían de su descendencia indígena -antiguos pobladores de la zona-. Esto en parte porque se genera un comercio alrededor del ganado, permitiendo la compra de alimentos que son producidos en otras partes del País –especialmente en las cordilleras-. Algunos conflictos socioambientales se presentarían en el momento en que se quiera sustituir un modelo de ganadería extensiva (predominante en la zona) por cultivos bioenergéticos, en este caso de *Jatropha*. Es por esto que se valida la idea de integrar el modelo bovino con el de la *Jatropha* utilizándola como cerca viva y como regeneradora de suelo en potreros muy compactados y/o erosionados.

Estos conflictos socioambientales, en los departamentos con actores al margen de la ley, podrían estar enmarcados en la llamada “vacuna”, o cobro por estar en “su zona de influencia”, ya que quisieran sacar partida económica y/o camuflar algunos cultivos ilícitos con la *Jatropha*.

Así mismo, como algunos autores lo afirman (Castiblanco, 2009; IGAC & CORPOICA, 2003), el simple hecho de un cambio de uso del suelo, genera en las comunidades un conflicto. Éste puede ser abordado por profesionales en resolución de conflictos socioambientales, para lograr un consenso en la comunidad en un tiempo factible para que la implementación de nuevos cultivos sea viable desde una perspectiva integral.

Debido a las condiciones del suelo -variable limitante dentro del ejercicio de evaluación de aptitud de tierras- es necesario tener en cuenta la preservación de las propiedades de éste, en el momento de implementar cultivos de *Jatropha curcas* en alguna de las áreas en donde se determinó que es altamente y moderadamente apto sembrar y que no presenta conflictos de uso.

Para alterar en menor medida el equilibrio existente y disminuir los impactos tanto ambientales como sociales, es de vital importancia desarrollar proyectos paralelos, como vinculación de madres cabeza de hogar, disminuir ausencia escolar (en algunos casos brindar las condiciones necesarias para que puedan estudiar). En el área ambiental, se debe hacer un seguimiento de los impactos causados, para tal fin, es necesario seguir una metodología de impacto ambiental.

El concepto de desarrollo sostenible, debe estar presente en cada uno de los proyectos que surjan con relación a esta planta, como una alternativa energética, para dar viabilidad al cultivo en un largo plazo. Se recomienda involucrar a la población local para que esta le de continuidad al proyecto.

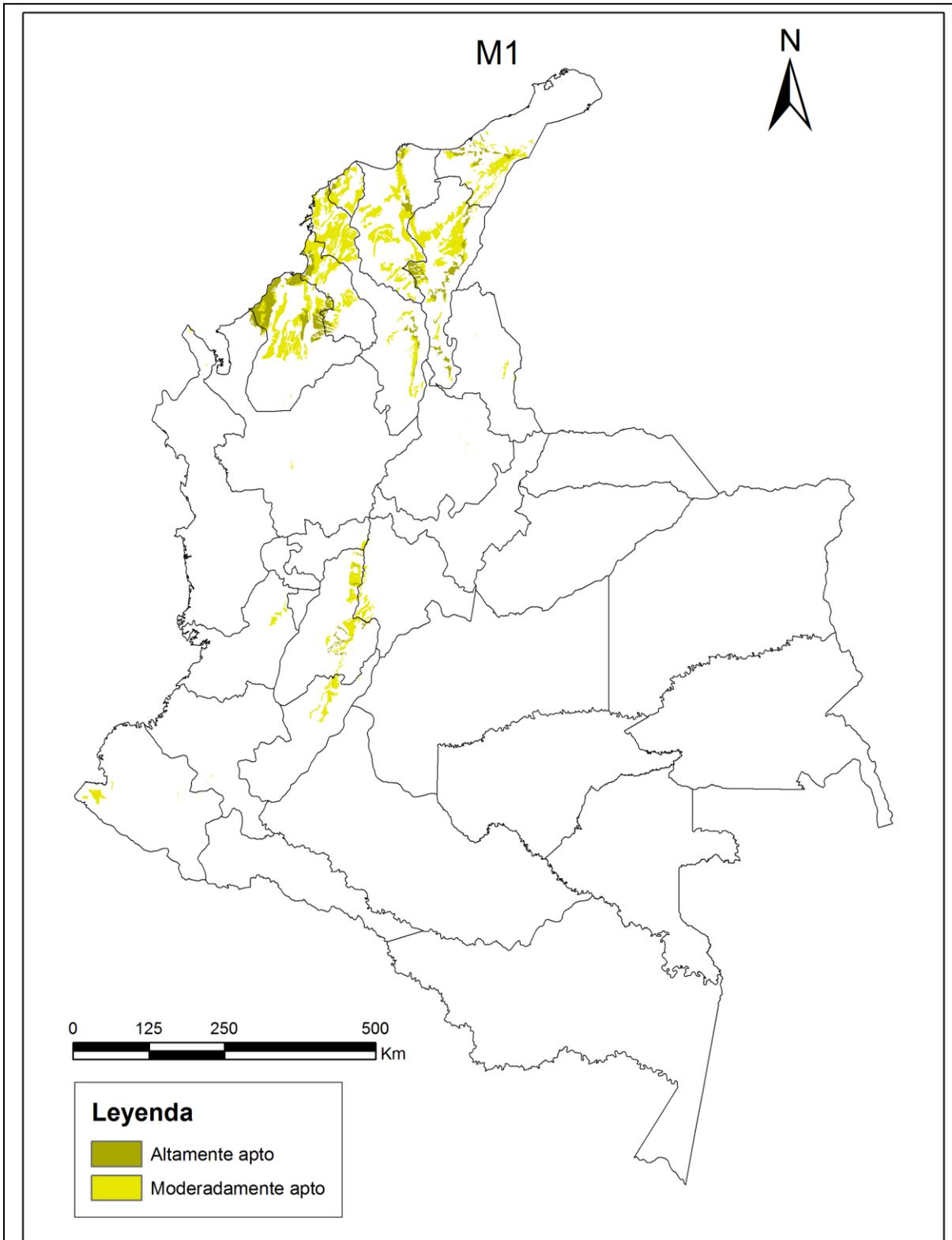


Figura 16: M1; Mapa general de aptitudes.

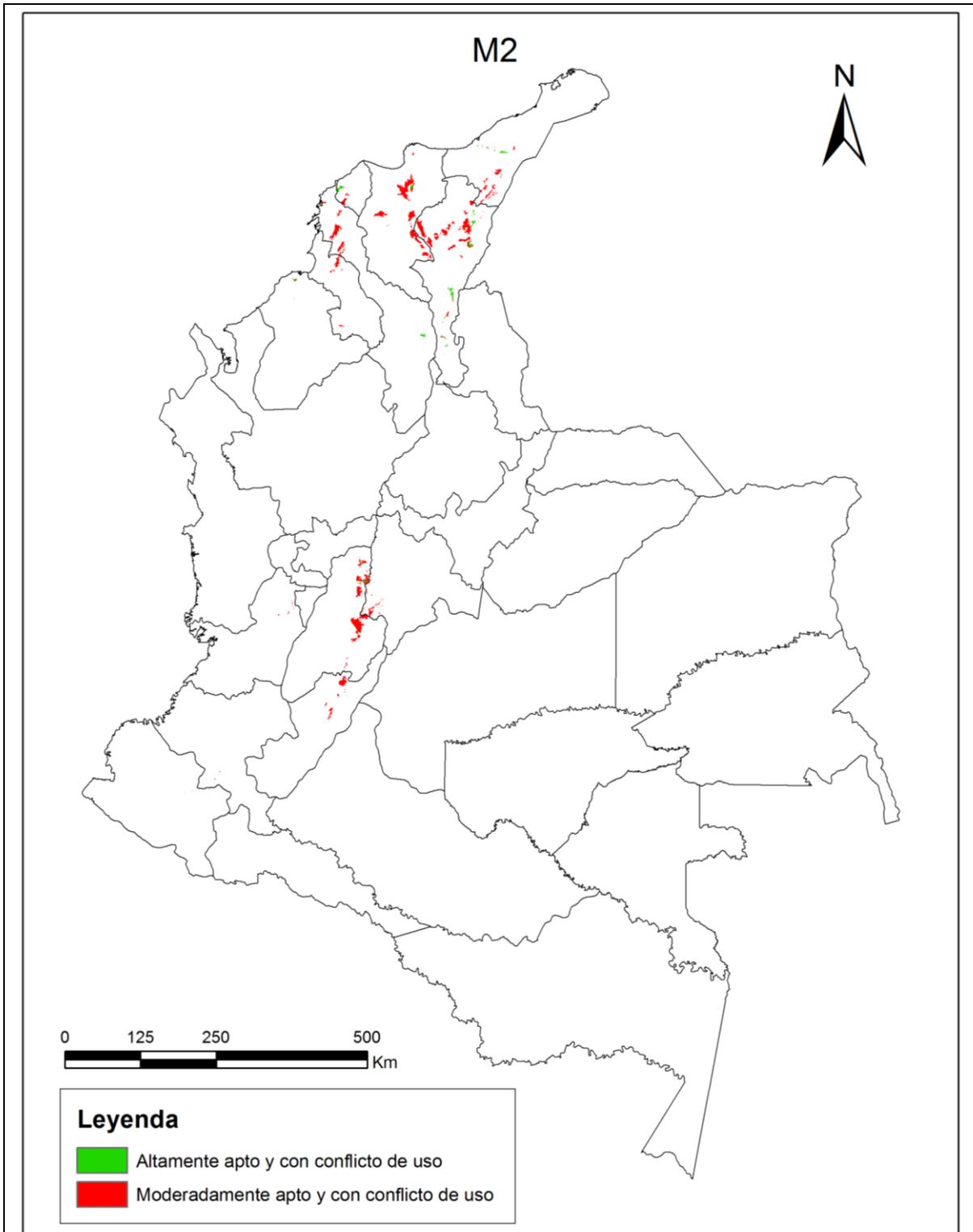


Figura 17: M2; Mapa de áreas aptas con conflicto de uso

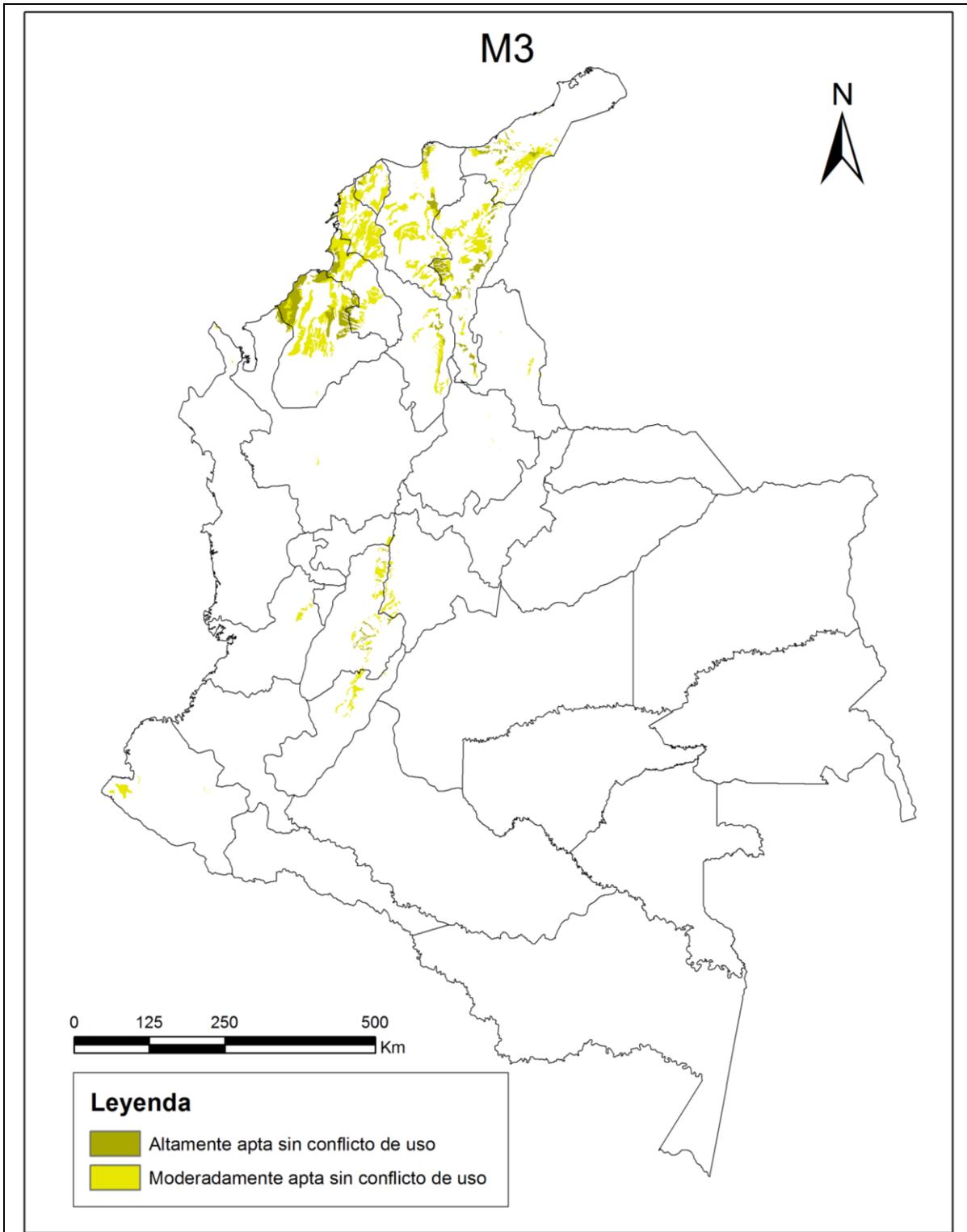


Figura 18: M3; Mapa de áreas aptas sin conflicto de uso.

9.2. *Jatropha* y Palma de aceite

Hay varias consideraciones a tener en cuenta para poder comparar las dos materias primas con mayor eficiencia energética en la producción de biodiesel.

La primera es lo referente a los costos. En el ejercicio realizado en este proyecto se evidenció que los costos de producción de de una tonelada aceite de Palma es más costoso que una de *Jatropha*: para palma, la literatura data de \$869.400; para *Jatropha* utilizando una extracción manual se encontró que son necesarios \$841.871 y con extracción mecánica el costo desciende a \$712,675. La gran diferencia se encuentra en los costos de instalación.

El segundo tiene que ver con la recuperación de suelos. La *Jatropha* es reconocida por tener esta facultad debido a su crecimiento radicular particular, a diferencia de la palma, la cual no tiene esta característica. Ésta establece un valor agregado a los proyectos, ya que además de recuperar suelos, los proyectos sociales que se generan involucran a comunidades aledañas, ganando más confianza y aceptación, valores que los grupos económicos buscan en la creación de empresa.

El aceite de la *Jatropha* no es comestible, esto conlleva a dos beneficios claros con relación a la palma. El primero ligado a que no hay una competencia por el alimento, tema de controversia a nivel mundial. El segundo, ligado al tema de precios en el mercado de los aceites, dado que la *Jatropha* se encuentra en el grupo de los aceites no comestibles, junto con los aceites de origen animal, entre otros. El mercado de estos aceites no comestibles es más confiable en términos de precios, con respecto a los otros, ya que es un *commodity* más estable.

9.3. *Limitaciones*

- Uno de los factores limitantes básicos para la aplicación de cualquier método de evaluación de la calidad de tierras es la disponibilidad y calidad de los datos existentes. Los modelos más completos exigen bastantes datos y con alto nivel de detalle, de manera que se puedan hacer análisis cuantitativos de los indicadores y de su relación con la producción. En Colombia, la disponibilidad de datos de suelos, clima, uso y cobertura, actualizados y a nivel detallado, sólo cubre una extensión mínima del territorio; por lo tanto, se requiere el desarrollo de modelos apropiados a las condiciones del país (IDEAM & MAVDT, 2008).

- La información relacionada con los suelos, utilizada en el presente estudio, fue obtenida de una escala muy gruesa -1:1.500.000-, por lo que los resultados podrían verse limitados.

- Algunos apartes del documento de negociación entre Colombia y la UE en el tema de biocombustibles dicen: “En Colombia las materias primas de los biocombustibles son alimentos y no sustancias tóxicas como la Jatropha (...)”.
- Los requerimientos biofísicos fueron tomados de fuentes de información secundaria, lo que hace que exista un margen de error y este se vea reflejado en el mapa general de aptitudes.

10. Conclusiones

- Teniendo en cuenta que son altamente aptas sin restricciones 684,619 ha y moderadamente aptas 2,081,656 ha, las cuales representan el 0.61% y el 1.84% del territorio nacional y al 0.9% y 2.7% de las áreas estudiadas. Se puede concluir que si es viable proponer los cultivos de *Jatropha curcas* como alternativa para producir biodiésel y de esta forma incrementar la oferta de biocombustibles para alcanzar las metas de Gobierno para el sector de transporte.

-La evaluación de tierras es un ejercicio que incorpora el punto de vista físico y económico, así como un análisis social. Aunque el cambio de uso de la tierra puede generar efectos ambientales positivos en el caso que se reemplacen potreros destinados a la ganadería, en gran medida porque la *Jatropha* es reconocida por tener un efecto positivo en la recuperación de suelos erosionados. Los impactos sociales si pueden ser negativos, en la medida que se ha perdido la cultura de siembra y recolección en las regiones en donde el ejercicio arrojó que son áreas aptas y sin conflicto de uso con agricultura.

- Las características agronómicas, los bajos costos de instalación y el tamaño apropiado para la cosecha de la *Jatropha curcas*, conciben que sea una fuente de energía interesante, junto con el aprovechamiento de algunos sub productos, en las poblaciones aisladas. Se pueden generar ingresos extras a pequeños productores; como es el caso de los departamentos de Córdoba, Cesar y Sucre.

- La *Jatropha curcas* responde muy bien ecológicamente cuando hace parte de policultivos, por lo que puede ser sembrada como actividad de primer o segundo orden en una plantación de pequeña y mediana escala con otras especies (oleaginosas o no), disminuyendo el impacto socioambiental generado por el cambio de uso de la tierra.

- La caracterización del cultivo de la *Jatropha curcas* revela que las condiciones biofísicas para un desarrollo óptimo y moderadamente óptimo son los que se observan en la Tabla 20 :

Tabla 20: Requisitos biofísicos de la *Jatropha curcas*.

	Óptimo	Moderadamente óptimo
Temperatura (°C-Promedio anual)	10.5-35.7	4.4-10.4 y 35.8-41.6
Precipitación (mm/año)	400-2000	2001-3200
Pendientes (%)	0-20	--
Altura (m.s.n.m.)	0-500	500-1200
Suelos		
Profundidad	Profundos, moderadamente profundos	--
fertilidad	Alta, moderada	Baja
Acidez	ligeramente ácida, ácida, neutra	Extremadamente ácida, muy fuertemente ácida, fuertemente ácida
Drenaje	Bien drenados	Moderadamente drenados
Textura	Gruesas, moderadamente gruesas	Medias

11. Recomendaciones

- Para estudios futuros similares se recomienda tener en cuenta lo referente al cambio climático, este hecho puede incidir en un aumento en el área de estudio, ya que la temperatura favorable puede desplazarse altitudinalmente por encima de lo que actualmente se considera como parámetro óptimo -los 500 m.s.n.m.-, con ajustes en los requerimientos de *J. curcas* para los diferentes gradientes altitudinales aquí contenidos.
- Es muy importante evaluar los diferentes tipos de invasiones que se pueden generar a partir de la *J. curcas*, para lo cual valdría la pena realizar un modelamiento espacial de la probabilidad de invasión del Piñón en diferentes ecosistemas, como pueden ser bosques de galería del piedemonte llanero, bosques secos, sabanas naturales, entre otros.
- La deforestación en Colombia, cada día es más drástica. Unas de las causas son los cultivos ilícitos, los cuales han mostrado una tendencia a ser parcelas de un tamaño pequeño, en medio de bosques. Sería interesante generar proyectos en torno a la reforestación con diferentes tipos de especies nativas intercalándolas con *Jatropha curcas*.
- Generar estudios con relación a policultivos, ya que es una opción viable según algunos autores (Achten *et al.*, 2009; Francis *et al.*, 2005), para generar oferta de empleo en poblaciones rurales.
- A través de una eficiente localización de las plantas tanto extractoras como de transesterificación, se evitan sobrecostos. Esto debería estar bajo el concepto de conglomerados productivos o cooperativas, las cuales deberían ser estudiadas y evaluadas mediante metodologías de economía solidaria.
- Sería muy interesante y útil sobreponer el mapa de cultivos de palma africana actualizado, para determinar si se tendría alguna competencia por tierras con dicha planta.

12. Bibliografía

- Abou Kheira, A.A. & Atta, N.M.M. (2009) Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy*, **33**, 1343–1350.
- Achten, W.M.J., Maes, W.H., Aerts, R., Verchot, L., Trabucco, A., Mathijs, E., Singh, V.P., & Muys, B. (2009) Jatropha: From global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments*.
- Achten, W.M.J., Verchot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., Aerts, R., & Muys, B. (2008) Jatropha bio-diesel production and use. *Biomass & Bioenergy*, **32**, 1063-1084.
- Aguilar, H. & Murillo, P. (2008) Nuevos hospederos y registros de ácaros fitófagos para Costa Rica: periodo 2002-2008. *Agronomía Costarricense*, **32**, 8-28.
- AIE (2007). World Energy Outlook Paris.
- AIE (2008) World Carbon Dioxide Emissions from the Consumption and Flaring of Fossil Fuels, 1980-2006 (ed Tableh1co2).
- Arias, A.F. (2008) Logros de una gestión (ed MADR), pp. 20. http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cartilla_logros.pdf.
- Augustus, G., Jayabalan, M., & Seiler, G.J. (2002) Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. *Biomass & Bioenergy*, **23**, 161-164.
- Aversano, N. & Temperini, T. (2006) El Calentamiento Global: Bonos de Carbono, una alternativa. In Modelización y Simulación de Sistemas Económicos. http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/bonos_de_carbono.
- Barrera, S. (1999) *Introducción a la problemática del medio ambiente* UniAndes, Fac de Ingeniería, Bogotá.
- Berchmans, H.J. & Hirata, S. (2008) Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource technology*, **99**, 1716-1721.
- Bernal, F. (2001) *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio: guía para el nuevo palmicultor* Fedepalma, Bogotá.
- Bernan (2008) *Co2 Emissions from Fuel Combustion* Organization for Economic Cooperation & Devel.
- Black, T. (2004) El mecanismo de desarrollo limpio (mdl): oportunidades para el sector palmero en el mercado internacional del protocolo de kyoto, pp. 1-6.
- Bochno, E. (2008) Biocombustibles: Visión del sector agropecuario. In Segundo Seminario Biocombustibles Colombia, Bogotá.
- Campuzano, L.F. (2009) Programa Jatropha Colombia. Comunicación personal, Villavicencio.
- Castiblanco, C. (2009) Los conflictos socioambientales generados por la expansión de los biocombustibles, Universidad Javeriana.
- Cenipalma (2009) Versatilidad de la Palma de Aceite, presente en Agroexpo 2009. In Investigación e Innovación Tecnológica en Palma de Aceite, Vol. 28 pp. editorial. <http://www.cenipalma.org/es/node/176>, Bogotá.
- CONPES (2008). Lineamientos de la política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, Rep. No. 3510, Bogotá.
- Contraloría (2006). Bioetanol y biodiesel: los combustibles ecológicos en colombia. . Contraloria general de la república - Sector minas y energía, Bogotá.
- Corredor, A. (2008) Competitividad de costos de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. In Reunión gremial Fedepalma. Fedepalma, Santa Marta.
- DANE (2005). Censo general - NBI. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo/Bol_nbi_censo_2005.pdf, Bogotá.

- De la Vega, A. (2006) Agro-Energía. In Agro-alimentación y Energía Renovable, Vol. 2009, pp. 21. <http://j.delavegal.googlepages.com> (último acceso: 18 de Marzo de 2009).
- Demirbas, A. (2008) New liquid biofuels from vegetable oils via catalytic pyrolysis. *Energy Education Science and Technology*, **21**, 1-59.
- Demirbas, M.F., Balat, M., & Balat, H. (en impresión) Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, **In Press, Corrected Proof**.
- Divakara, B.N., Upadhyaya, H.D., Wani, S.P., & Gowda, C.L.L. (2009) Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, **In Press, Corrected Proof**.
- Divakara, B.N., Upadhyaya, H.D., Wani, S.P., & Gowda, C.L.L. (en impresión) Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, **In Press, Corrected Proof**.
- DNP (2007). Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, Bogotá.
- Domínguez, M.Á. (2008) Comunicación personal, Vitoria, España.
- Eckardt, N.A., Eleonora Cominelli, Massimo Galbiati and Chiara Tonelli (2009) The Future of Science: Food and Water for Life. *PLANT CELL*, **21**, 368-372.
- EIA (2009) Crude Oil in Dollars per Barrel, Products in Cents per Gallon. http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm.
- Escobar, E.C., Derafelis, R.B., Pham, L.J., Florece, L.M., & Borines, M.G. (2008) Biodiesel Production from *Jatropha curcas* L. Oil by Transesterification with Hexane as Cosolvent. *Philippine Journal of Crop Science*, **33**, 1-13.
- Etter, A. (2009) Comunicación personal, Bogotá.
- FAO (1976) *Framework for land evaluation*, Roma.
- FAO (2007) *Land evaluation*, Roma.
- FAO (2008a) *Bosques y energía*, Roma.
- FAO (2008b) Estado mundial de la agricultura y la alimentación 2008. In División de Economía del Desarrollo Agrícola, Vol. 2009, pp. 162 pp. <http://www.fao.org/docrep/011/i0100s/i0100s00.htm> (último acceso: febrero 24 de 2009), Roma.
- FAO (2008c). National Policy Responses to High Food Prices. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/aj113e/aj113e00.pdf>, Roma.
- FAO & PISCES (2009). Small-Scale Bioenergy Initiatives: Brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/aj991e/aj991e.pdf>.
- Fedepalma (2007) Proyecto sombrilla MDL del sector palmero colombiano (ed M.A. Mazorra). http://www.fedepalma.org/documen/2008/Proyecto_Sombrilla_MDL.pdf.
- Fedepalma (2008) Precio nacional de aceite de palma en Colombia (ed grafeconomía), pp. 25 X 3 Tabla de excel. <http://www.orquidea.com/cgi-bin/grafeconomia.pl>.
- Francis, G., Edinger, R., & Becker, K. (2005) A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. In Natural Resources Forum, Vol. 29, pp. 12-24.
- GEXSI (2008). Global Market Study on *Jatropha* - Final Report, Londres.
- Gubitz, G.M., Mittelbach, M., & Trabi, M. (1999) Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource technology*, **67**, 73-82.
- Hannan-Jones, M. & Csurhes, S. (2008). pest plant risk assessment physic nut. Queensland Government, Queensland, Australia.

- Heller, J. (1996) Physic nut. *Jatropha curcas* L. In Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Henning, R.K. (2009) The *Jatropha* System. In An integrated approach of rural development. www.jatropha.de.
- Heywood, V.H. (1985) *Las plantas con flores* Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- IDEAM & MAVDT (2008) Incorporación de criterios ambientales en la identificación y caracterización de zonas aptas para el cultivo de palma de aceite, pp. 131. Documento de avance de desarrollo del objetivo 1 -documento metodológico y modelo conceptual a desarrollar, con las variables y capas que ingresan en el modelo.
- IGAC (2009) SIG-OT. <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/default.aspx>.
- IGAC & CORPOICA (2003) Zonificación agroecológica de Colombia. In Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia, Bogotá.
- IPCC (1997). Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂, Rep. No. Documento técnico 4, Roma.
- Jongschaap, R.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S., & Brandenburg, W.A. (2007). Claims and facts on *Jatropha curcas* L., Rep. No. 158. Plant research international, Wageningen
- Juan, L., Fang, Y., Lin, T., & Fang, C. (2003) Antitumor effects of curcin from seeds of *Jatropha curcas*. *Acta Pharmacol Sin*, **24**, 241–246.
- Linnaei, C. (1753) Species plantarum: exhibentes plantas rite cognitae, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas, Vol. 2009, pp. 1006 <http://www.botanicus.org/item/31753000802832>.
- Lobato, V. (2008) Biocombustibles sin fronteras: De la primera a la segunda generación Vol. 2009. <http://www.agrocombustibles.org/conceptos/LobatoBiocombustiblesSinFronteras.html> (último acceso: 3 de Marzo de 2009), Montevideo.
- Lu, H., Liu, Y., Zhou, H., Yang, Y., Chen, M., & Liang, B. (2009) Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil. *Computers and Chemical Engineering*, **33**, 1091-1096.
- MADR (2009) Políticas y programas misionales. In Biocombustibles. <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>, Bogotá.
- MADR & CCI (2008). Oferta Agropecuaria: Encuesta Nacional Agropecuaria, Bogotá.
- Maes, W.H., Achten, W.M.J., & Muys, B. (2009a) Use of inadequate data and methodological errors lead to an overestimation of the water footprint of *Jatropha curcas*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0906788106.
- Maes, W.H., Achten, W.M.J., Reubens, B., Raes, D., Samson, R., & Muys, B. (2009b) Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Journal of Arid Environments*.
- Maes, W.H., Trabucco, A., Achten, W.M.J., & Muys, B. (en impresión) Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy*, **In Press, Corrected Proof**.
- Makkar, H.P.S., Becker, K., & Schmook, B. (1998) Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, **52**, 31-36.
- Mantilla, J.C. (2009). Geopolítica de la energía: América Latina dentro de un mundo en transformación. In *Tendencias Mundiales y Latinoamericanas en el Uso de Recursos Energéticos* (ed E.V. Posada), pp. 77-139. Editorial Javeriana, Bogotá.
- Martinez, L.J. (2006) Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de papa. *Agronomía Colombiana*, **24**, 96-110.

- Matsuse, I.T., Lim, Y.A., Hattori, M., Correa, M., & Gupta, M.P. (1998) A search for anti-viral properties in Panamanian medicinal plants. The effects on HIV and its essential enzymes. *Journal of ethnopharmacology*, **64**, 15–22–15–22.
- Mesa, J. (2007) Biofuels Americas Conference & Expo III. In Biodiésel de palma, una realidad en Colombia. Fedepalma, Cartagena, Colombia.
- MESEP (2009). Misión para el Empalme de las Series de Empleo, Pobreza y Desigualdad. DANE & DNP, Bogotá.
- Mexzón, G.R. (1997) Pautas de manejo de las malezas para incrementar las poblaciones de insectos benéficos en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jac.). *Agronomía Mesoamericana*, **8**, 21–32.
- MOBOT (2009) Clasificación taxonómica de plantas. www.mobot.org.
- Mpagalile, J.J., Hanna, M.A., & Weber, R. (2007) Seed oil extraction using a solar powered screw press. *Industrial Crops and Products*, **25**, 101-107.
- Muanza, D.N., Euler, K.L., Williams, L., & Newman, D.J. (2008) Screening for Antitumor and Anti-HIV Activities of Nine Medicinal Plants from Zaire.
- Mujumdar, A.M. & Misar, A.V. (2004) Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* roots in mice and rats. *Journal of ethnopharmacology*, **90**, 11–15–11–15.
- OECD (2008a). Rising Agricultural Prices: Causes, Consequences and Responses. <http://www.oecd.org/dataoecd/1/36/41227216.pdf>.
- OECD (2008b). Transport and Energy: The Challenge of Climate Change, Leipzig, Alemania.
- OIT (2008) Empleos verdes hechos y cifras. In UNidos contra el CAMBIO CLIMÁTICO. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_098486.pdf, Ginebra.
- ONU (2007) Bioenergía sostenible: un marco para la toma de decisiones, Vol. 2009, pp. 69 pp. <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/bioenergia/pdf/biocombustible.pdf> (último acceso: Agosto 13 de 2009), Roma.
- Openshaw, K. (2000) A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, **19**, 1-15.
- Oxford, U.o. (2009) Inorganic Chemistry Laboratory, Vol. 2009. <http://www.chem.ox.ac.uk/researchguide/scetsang.html> (último acceso: Septiembre 16 de 2009), Inglaterra.
- Pareja, C. (2007) Diagnóstico de la situación actual de la agroindustria del biodiesel a partir del cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) en el departamento del Meta, Universidad Javeriana, Bogotá.
- Patolia, J.S., Ghosh, A., Chikara, J., Chaudhary, D.R., Parmar, D.R., & Bhuvra, H.M. (2007) Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization. In Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and genetics, pp. 26–28.
- Pérez, E. (1947) *Plantas útiles de Colombia*, Bogotá.
- Pérez, G.J. (2005) Dimensión espacial de la pobreza en Colombia. *ESPE*, **1**, 234-293.
- Pineda, J.P. (2009) Responsabilidad Social Sostenible. In Seminario Juventud Emprendedora, Univesidad Javeriana - Bogotá.
- PNUD (2005) Human and income poverty: developing countries / Population living below the national poverty line <http://hdrstats.undp.org/indicators/25.html>, Washington, D. C.
- Posada, F.E.O. (2009). La integración energética latinoamericana: Dos visiones. In *Tendencias Mundiales y Latinoamericanas en el Uso de Recursos Energéticos* (ed E.V. Posada), pp. 167-207. Editorial Javeriana, Bogotá.
- Prueksakorn, K. & Gheewala, S.H. (2008) Full chain energy analysis of biodiesel from *Jatropha curcas* L. in Thailand. *Environmental science & technology*, **42**, 3388-3393.

- Puente-Rodríguez, D. (2009) Biotechnologizing *Jatropha* for local sustainable development. *Agriculture and Human Values*, 1–13.
- Raju, A.J.S. & Ezradanam, V. (2002) Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L.(Euphorbiaceae). *Current science*, **83**, 1395–1398-1395–1398.
- Ramakrishna, B. (1998) VI SEMINARIO PROBLEMAS FITOPATOLOGICOS DE LA PALMA AFRICANA, Bucaramanga.
- Riveros, L.M. & Molano, M.Á. (2006) Transesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido. *Revista de Ingeniería - Universidad de los Andes.*, **24**, 43-51.
- Rossiter, D., Jiménez, A., & VanWambehe, A. (1995) Manual para Usuarios: Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras ALES Versión 4.5 en Español (ed C. University). <http://wwwscas.cit.cornell.edu/landeval/ales/ales.htm>.
- Ruiz, J.P. (2007) Biocombustibles, medio ambiente y desarrollo social. *Revista Javeriana*, **143**, 52-59.
- Sáenz, M., Negrete, J.I., Negrete, R., Haddad, S., López, J., Sornoza, M., Perez, J.F., Barguil, M.J., Náder, J.D., Armella, R., Torres, J.I., Salamanca, T., Ghisays, M.C., Barrios, G., Angulo, C., & Paz, K. (2008). Plan de desarrollo departamental 2008-2011. http://www.cordoba.gov.co/plan_desarrollo/index.html, Montería, Córdoba. .
- Sarmiento, A. (2009) Comunicación personal, Bogotá.
- Seifríz, W. (1943) The plant life of cuba. *Ecological Monographs*, **13**, 375-426.
- Shah, S., Sharma, A., & Gupta, M.N. (2005) Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction. *Bioresource technology*, **96**, 121–123.
- Singh, R.N., Vyas, D.K., Srivastava, N.S.L., & Narra, M. (2008) SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *J. curcas* fruit for energy. *RENEWABLE ENERGY*, **33**, 1868-1873.
- Sotolongo, J.Á., Díaz, A.A., Oca, S.M.d., Atala, Y.d.V., & Pavón, S.G. (2007) Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de guantánamo. *Tecnología Química*, **27**, 76-82.
- Szwarc, A. (2008). El Etanol y el Control de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. In *Biocombustibles en Brasil*, pp. 205. Ministerio de relaciones exteriores.
- Tipler, P.A. & Mosca, G. (2003) *Physics for Scientists and Engineers*, 4 edn., New York.
- UAESPNN (2006) *Colombia: Parques Naturales* Unidad Administrativa Especial del sistema de Parques Nacionales Naturales, Bogotá.
- UNDP (2009) Human Development Report 2009 (ed 2009_2010_cty_ds_COL). http://hdrstats.undp.org/en/countries/data_sheets/cty_ds_COL.html.
- UNFCCC (2008). Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector, Rep. No. GE.08-64351. United Nations Framework Convention on Climate Change Poznan, Polonia.
- UNFCCC (2009) Kyoto Protocol. In The Mechanisms under the Kyoto Protocol. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UPME (2007). Plan Energético Nacional: Contexto y estrategias, 2006-2025. Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá.
- UPME (2009) Biocombustibles en Colombia (ed L.Á. Enríquez), Vol. 2009. http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf (último acceso: Agosto 13 de 2009), Bogotá.
- UPME & Biofuels_Consulting (2007). Desarrollo y consolidación del mercado de biocombustibles en Colombia, Bogotá.

Worldwatch_Institute (2007) *Biofuels for transport* Earthscan.
Yan, J. (2009) editorial. *Applied_Energy*, **89**, 1-10.

13. Anexos

Anexo 1: Principal normatividad vigente para biocombustibles.				
Tipo de norma	Número	Entidad	fecha	tema
Ley	693	Congreso de la república	Septiembre 19 de 2001	Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.
Ley	788	Congreso de la república	Diciembre 27 de 2002	Artículo 88. Exención de impuestos para el alcohol carburante
ley	939	Congreso de la república	Diciembre 31 de 2004	Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel y se dictan otras disposiciones.
Resolución	181069	MME	Agosto 18 de 2005	Reglamento técnico Etanol
Resolución	2200	MME, MAVDT	Diciembre 29 de 2005	Calidad de etanol
Resolución	1180	MME, MAVDT	Junio 21 de 2006	Calidad de etanol
Resolución	180127	MME	Enero 29 de 2007	Precios de biodiésel
Resolución	180212	MME	Febrero 14 de 2009	Modifica parcialmente los precios de biodiésel
Resolución	180769	MME	Mayo 29 de 2007	Se establecen disposiciones relacionadas con las estructuras de precios de la gasolina motor corriente y del ACPM.
Decreto	2594	Presidencia	Julio 6 de 2007	Naturaleza del Fondo de Inversiones de Capital de Riesgo
Resolución	182087	MME, MAVDT	Diciembre 17 de 2007	Se modifican los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión.
Decreto	2328	MADR	Junio 25 de 2008	Se crea la Comisión Intersectorial para el Manejo de biocombustibles
Decreto	1135	Presidencia	Marzo 31 de 2009	Biocombustibles
Resolución	181460	MME	Agosto 28 de 2009	Precios del Biodiésel
Resolución	181459	MME	Agosto 28 de 2009.	Precios del etanol

Anexo 2: Características y composición del aceite de *Jatropha curcas*. (Achten *et al.*, 2008; Gubitz *et al.*, 1999). D.S.: desviación estándar; n: número de observaciones.

	Unidad	Rango	Media	D.S.	n
Densidad	g/cm ³	0.860-0.933	0.914	0.018	13
Valor calorífico	MJ/Kg	37.83-42.05	39.63	1.52	9
Punto de congelación	°C	-3	-	-	2
<i>Cloud point</i>	°C	2	-	-	1
Punto de inflamación	°C	210-240	235	11	7
Valor de índice de cetano	-	38-51	46.3	6.2	4
Índice de saponificación	mg/g	102.9-209	182.8	34.3	8
Viscosidad a 30 °C	cSt	37-54.8	46.82	7.24	7
Los ácidos grasos libres %	Kg/kg*100	0.18-3.4	2.18	1.46	4
Insaponificable %	Kg/kg*100	0.79-3.8	2.03	1.57	5
Número de yodo	mg yodo/g	92-112	101	7	8
Número de ácido	mg KOH/g	0.92-6.16	3.71	2.17	4
Monoglicéridos %	Kg/kg*1010	nd-1.7	-	-	1
Diglicéridos %	Kg/kg*100	2.5-2.7	-	-	2
Triglicéridos %	Kg/kg*100	88.2-97.3	-	-	2
Residuo de carbono %	Kg/kg*100	0.07-0.64	0.38	0.29	3
Contenido de sulfuro	Kg/kg*100	0-0.13	-	-	2

