



## **MINISTERIO DE ECONOMIA**

**PROYECTO:  
ATN/OC-10897-ES**

**“PLAN DE ACCION PARA EL DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE  
BIOCOMBUSTIBLES”**

---

**INFORME FINAL**

**CONSULTORIA:**

**“Eficiencia Energética en la Producción de Biocombustibles”**

---

**Consultor: Ing. Carlos Roldán Villalobos**

San Salvador, 22 de febrero de 2010

## INDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Resumen .....	3
3.	Justificación.....	4
3.1.	Diagnóstico Mundial .....	5
3.2.	Situación Regional .....	9
3.3.	Realidad Energética Salvadoreña .....	11
4.	Objetivos del Estudio .....	12
5.	Descripción de la Metodología a seguir .....	14
6.	Necesidades futuras de hidrocarburos en El Salvador .....	15
7.	Estimación de la Demanda futura de biocombustibles en El Salvador.....	18
8.	Plan de implementación del uso de biocombustibles .....	19
8.1.	Plan de obtención de materias primas para la producción de biocombustibles en El Salvador .....	21
8.2.	Capacidad y ubicación de plantas de producción de biocombustibles.....	23
8.2.1.	Etanol.....	23
8.2.2.	Biodiesel.....	24
9.	Definición de la frontera de análisis.....	25
10.	Balances de Masa y Energía .....	27
10.1.	Biodiesel.....	27
10.1.1.	Producción agrícola de la Jatropha .....	27
10.1.2.	Transporte de materia prima .....	32
10.1.3.	Obtención del aceite vegetal .....	35
10.1.4.	Producción de Biodiesel .....	37
10.1.5.	Transporte de Biodiesel y Aceite.....	40
10.1.6.	Producción de energía y balance global .....	42
10.1.7.	Balance global considerando subproductos .....	44
10.2.	Etanol.....	46
10.2.1.	Producción agrícola de la caña de azúcar .....	46
10.2.2.	Producción de melaza y caña adicional .....	50
10.2.3.	Transporte de melaza y caña.....	52
10.2.4.	Producción de etanol .....	56
10.2.5.	Transporte de Etanol .....	59
10.2.6.	Producción de energía y balance global .....	61
10.2.7.	Balance global considerando subproductos .....	61
11.	Análisis de Emisiones .....	65
11.1.	Biodiesel.....	65

<b>11.2.</b>	<b>Etanol.....</b>	<b>67</b>
<b>11.3.</b>	<b>Reducción global en el consumo de combustibles y en las emisiones de acuerdo con el plan propuesto.....</b>	<b>69</b>
<b>12.</b>	<b>Consideraciones finales.....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo 1 .....</b>	<b>73</b>

# 1. Introducción

En los últimos años se han incrementado las acciones tendientes a reducir los impactos ambientales y la dependencia energética asociados al consumo de combustibles fósiles.

A nivel regional, se han desarrollado declaraciones conjuntas de los mandatarios de los países de Centroamérica, Colombia, México y República Dominicana a fin de promover acciones con el objetivo de mitigar los impactos de los elevados precios del petróleo y mejorar la competitividad económica de la Región.

Fue en este contexto que las autoridades en materia energética de los países Centroamericanos con el apoyo del Grupo Interinstitucional (SG-SICA, SIECA, CCHAC, CEAC, CEPAL, INCAE, BCIE y BID) crearon la Matriz de Acciones para la Integración y Desarrollo Energético de Centroamérica.

La misma contiene una serie de proyectos y medidas con impacto en el corto y mediano plazo que deberán llevarse a cabo para adelantar los planes de biocombustibles, para lo cual las autoridades crearon en el mes de agosto del 2006 el Grupo Mesoamericano de Biocombustibles, coordinado por la SG-SICA. El BID y la Oficina de la CEPAL en México han actuado como Secretaria Técnica del Grupo.

A nivel local; en el mes de abril de 2007 se inauguró la primera planta industrial de biodiesel, Planta Bio Energía S.A., con una capacidad de producción de 25.000 galones por día.

Adicionalmente, el Gobierno, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y del CENTA, está trabajando en el desarrollo de la cadena agrícola y agroindustrial de biodiesel, a través de la promoción de cultivos bioenergéticos entre los cuales se han priorizado el higuierillo y tempate.

Los esfuerzos de validación del MAG y del CENTA permitirán, en el corto plazo, contar con información sobre la viabilidad técnica y económica de esos cultivos en el país. Por otro lado, los Ministerios de Agricultura y Economía están trabajando en el desarrollo de un plan piloto para consumo de Biodiesel, que se implementaría a partir del 2008 a través del uso obligatorio de mezcla de diesel con biodiesel en las flotas vehiculares del Gobierno.

En cuanto a los avances en marcos regulatorios, se tiene elaborado una propuesta de Proyecto de Ley de Etanol, en el cual aún falta definir el esquema de precios que regiría la venta de etanol.

Otros aspectos del marco legal para el Biodiesel y para el fomento de este tipo de energías renovables tendrán que ser desarrollados con la finalidad de establecer un marco regulatorio coherente para los Biocombustibles.

En este sentido, el Programa “Plan de Acción para el Desarrollo de la Estrategia de Biocombustibles” busca elaborar una serie de estudios solicitados por el Gobierno de El Salvador para facilitar su toma de decisiones respecto a la definición y puesta en marcha del Programa Nacional de Biocombustibles, y apoyar otras actividades de alta prioridad para la efectiva implementación del Programa en el corto plazo, como es el caso de la fase agrícola y las capacidades nacionales para el manejo del tema.

Dentro de este Programa se contempla la ejecución del componente Legislación, Aspectos Regulatorios, Manejo Ambiental y Eficiencia Energética.

En cuanto a esta última área de trabajo, se busca establecer la eficiencia energética de la producción de biocombustibles a partir de la determinación de los flujos de energía requeridos en las diferentes etapas de producción de los mismos. Esta eficiencia energética es un indicador importante de sostenibilidad de la producción de biocombustibles y puede ser empleada para seleccionar diferentes tipos de insumos agrícolas y procesos empleados para la producción de biocombustibles.

Adicionalmente, se ha considerado recomendable establecer la eficiencia en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para determinar la bondad ambiental global de los diferentes biocombustibles estudiados, lo cual representa el principal objetivo del presente informe.

Es conveniente señalar que a pesar de que en los términos de referencia establecidos inicialmente en el contrato se estableció definir una frontera de análisis, se consideró más conveniente proponer un plan nacional de implementación en el uso de biocombustibles que permita establecer las diferentes estrategias logísticas para la producción de las materias primas y la distribución de los biocombustibles y realizar tanto los balances de energía como el análisis de emisiones a nivel nacional.

Si bien esta actividad adicional representó un mayor esfuerzo, los resultados obtenidos lo justifican.

## 2. Resumen

El presente informe tiene como objetivo el de presentar los resultados obtenidos en el estudio de eficiencia energética en la producción de biocombustibles en El Salvador.

Inicialmente se aborda la situación energética mundial observándose que de mantenerse las tendencias actuales, para el año 2050 el planeta estaría consumiendo más de tres veces el consumo actual de petróleo.

Se analiza también la realidad energética de la región centroamericana, demostrándose que existe una gran dependencia de fuentes importadas de energía.

En el caso propio de El Salvador se determina que existe una gran vulnerabilidad debido a la necesidad de recurrir a fuentes externas de energía por lo que es imprescindible buscar alternativas que permitan producir parte de sus requerimientos energéticos y reducir el consumo nacional de energía fósil.

La producción de biocombustibles es una de las mejores alternativas con que cuenta El Salvador para reducir la participación de los derivados del petróleo en su matriz energética; sin embargo, dado que su producción conlleva el consumo de energía, se plantea un diagrama de flujo con el fin de determinar la frontera de análisis que servirá de guía en la determinación de la eficiencia energética de la producción de biocombustibles. Sin embargo, el diagrama de flujo anterior se ajusta a un plan de implementación que establece el nivel de mezcla de biocombustibles que se recomienda para los diferentes años considerando las capacidades instaladas, las zonas aptas para los cultivos, la ubicación de los principales centros de consumo, etc., y que permite establecer la conveniencia de ofrecer no solo biodiesel y etanol, sino también aceite refinado de *Jatropha* que pueda utilizarse como combustible en equipos de llama abierta.

Los análisis realizados permitieron determinar que la tasa de recuperación de energía con el plan propuesto es de 3,79 MJ de energía recuperada/MJ de energía fósil para la producción de aceite vegetal y biodiesel y de 13,7 para el etanol obtenido a partir de caña de azúcar.

En cuanto a la reducción de emisiones, se obtuvo una disminución acumulada de 2,8 millones de ton con el etanol y de 48,8 millones con el biodiesel, sin embargo, si se aprovecharan los residuos de la cosecha de la caña se lograrían recuperar 4,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> adicionales.

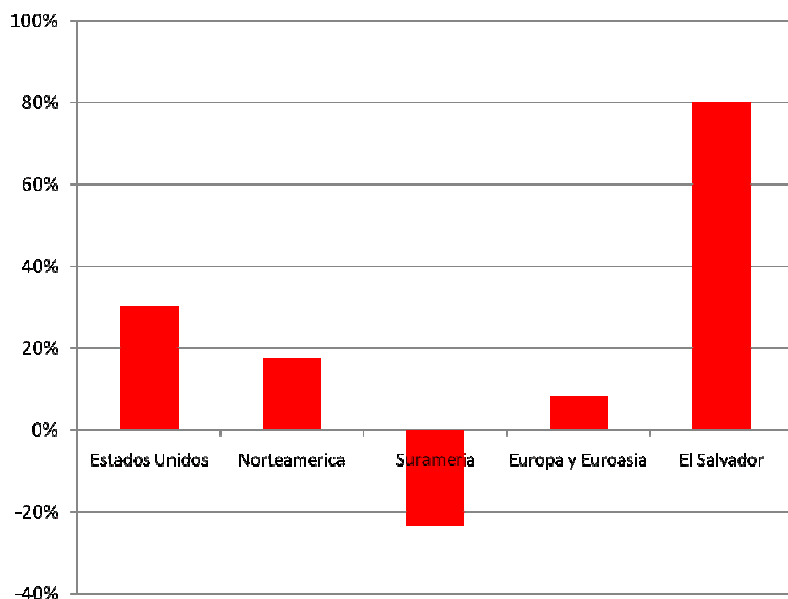
### 3. Justificación

En general, los países centroamericanos se caracterizan porque presentan una dependencia considerablemente alta de fuentes energéticas extranjeras debido a que no se han hallado reservas importantes de petróleo, carbón mineral o gas natural.

El Salvador por ejemplo, debe adquirir en el extranjero, casi el 80% de su energía comercial (sin considerar leña), lo que tal y como se aprecia en el gráfico No.1, representa más del doble de la dependencia energética de los Estados Unidos.

**Gráfico No. 1**

Dependencia Energética de fuentes extranjeras en varios países durante el año 2009.



Los altos precios del petróleo y sus derivados que se presentaron en los años 2007 y 2008, evidenciaron que la dependencia energética de los países centroamericanos podría convertirse en un gran obstáculo para el desarrollo de la región.

Las divisas que escaparon de Centroamérica mientras los precios se mantuvieron altos representan un gasto que supera cualquier desastre natural. La factura petrolera regional pasó de 5,600 millones de dólares en el año 2005 a más de 12,700 mil millones en el año 2008, un aumento de más de 7 mil millones que equivale a un 15% adicional a las pérdidas ocasionadas por el huracán Mitch.

Actualmente, la factura petrolera centroamericana alcanza cerca de los 10 mil millones de dólares, y la cantidad de divisas que deben ser destinadas a este propósito afectan el desarrollo de la región.

Sólo El Salvador deberá destinar este año alrededor de 1,200 millones de dólares para adquirir el petróleo y los derivados requeridos por el país.

Si bien los precios de los combustibles se han mantenido cerca de los 80 US\$/barril en los últimos meses; existe la duda de si este comportamiento es temporal o permanente, o si es de esperar que un repunte en la economía mundial dispare nuevamente los precios del petróleo; pero lo que sí está claro es que El Salvador no podrá hacer frente a precios altos de los hidrocarburos durante plazos prolongados sin que esto afecte el desarrollo del país.

Por otro lado, es conveniente analizar la situación energética mundial con el fin de determinar la vulnerabilidad que El Salvador presentaría si mantiene la misma composición de su matriz energética.

### **3.1. Diagnóstico Mundial**

Antes de iniciarse la era industrial, la principal fuente de energía a nivel mundial provenía de la biomasa constituida principalmente por leña; sin embargo, una vez que las necesidades energéticas del sector industrial se incrementaron, fue necesario utilizar nuevas fuentes energéticas con menores costos asociados y mayores eficiencias que la leña. Es de esta forma que ya para el año 1890 el carbón mineral se convirtió en la principal fuente de energía, cuyo uso se concentró principalmente en la generación eléctrica y en el sector industrial.

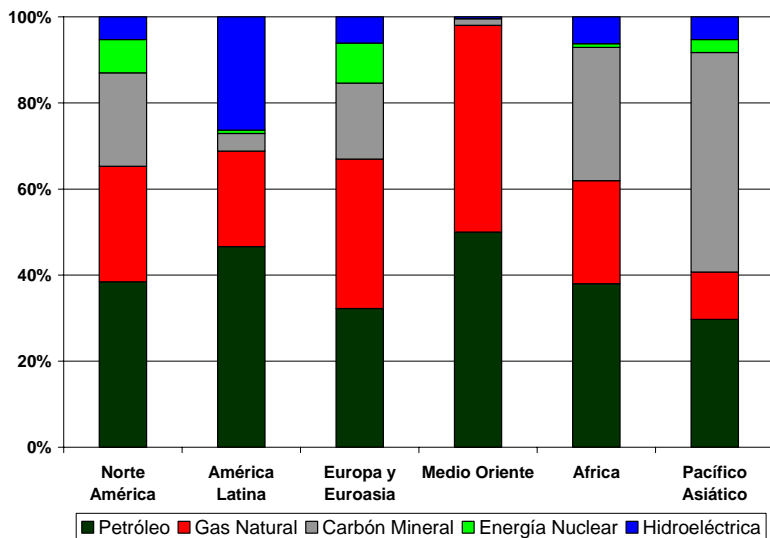
Sin embargo, a inicios del siglo pasado, la introducción de vehículos automotores provocó que el petróleo desplazara al carbón mineral como la principal fuente energética del mundo debido a su contribución casi exclusiva en el sector transporte.

En la actualidad, tal y como se observa en el gráfico No. 2, el petróleo se mantiene como principal fuente energética en todas las regiones del planeta excepto en el Pacífico Asiático y la región europea.



**Gráfico No. 2**

Composición del consumo mundial de energía primaria por región<sup>1</sup>.



Este gráfico muestra que sólo en América Latina existe un consumo importante de energía renovable (hidroeléctrica); mientras que en la región Pacífico-Asiática, las necesidades eléctricas de estos países, convierten al carbón mineral en la principal fuente. De igual forma, se observa que en la zona de Europa y Eurasia, el gas natural suple incluso más energía que el mismo petróleo debido a su uso en calefacción, cocción de alimentos, generación de electricidad y al uso creciente de este combustible en el sector transporte.

Es evidente que el desarrollo social y económico de un país requiere de un suministro de energía constante y que tenderá a aumentar conforme sus ciudadanos mejoren su poder adquisitivo.

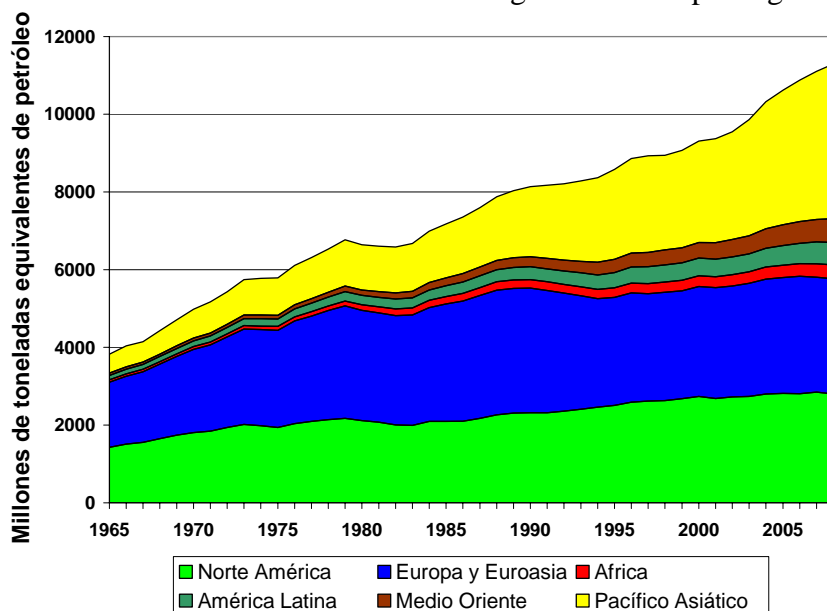
Independientemente de los esquemas de desarrollo que se implementen, el crecimiento económico ha provocado un incremento en el consumo mundial de energía y son justamente los países con mayor crecimiento económico, los que presentan las tasas más altas de incremento en el consumo de energía. Esta situación se demuestra al analizar la evolución del consumo de las principales energías comerciales (combustibles e hidroelectricidad) que han presentado las diferentes regiones del planeta (gráfico No. 3).

La zona pacífico-asiática que agrupa países emergentes como China e India, incrementó su consumo energético comercial en más de seis veces en los últimos cuarenta años y se ha convertido recientemente en la región de mayor demanda de energía primaria del planeta superando tanto a Europa como a Norteamérica.

<sup>1</sup> Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2007

**Gráfico No. 3**

Evolución del consumo mundial de energía comercial por región<sup>2</sup>.



Dado que aún la zona Pacífico-Asiática tiene mucho camino por recorrer en cuanto a los índices de desarrollo se refiere, es de esperar que el consumo de esta región siga creciendo.

De mantenerse las tasas de crecimiento presentadas en el periodo 2001 al 2006, la demanda mundial de energía para el año 2050 será tres veces mayor que la presentada en el año 2000 (gráfico No.4) incluso considerando un tope máximo en el consumo per cápita de energía.

Una gran parte de esta energía será destinada para abastecer a más de 1500 millones de personas sin acceso a la electricidad. Es por esta razón que los gobiernos de las economías emergentes dirigen sus políticas energéticas en justamente suministrar la energía eléctrica a aquellas personas que aun no cuentan con este recurso.

La mayor parte de la energía eléctrica del mundo es producida utilizando gas natural y carbón mineral de forma tal, que una proyección del consumo de energía comercial basada en el comportamiento presentado en el periodo 2002 al 2008 (gráfico No. 5), indican que las alternativas energéticas que emiten menos gases de efecto invernadero (hidroenergía y nuclear) han perdido participación en la matriz energética mundial.

**Gráfico No. 4**

<sup>2</sup> Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2009

Proyección del consumo mundial de energía comercial por región<sup>3</sup>.

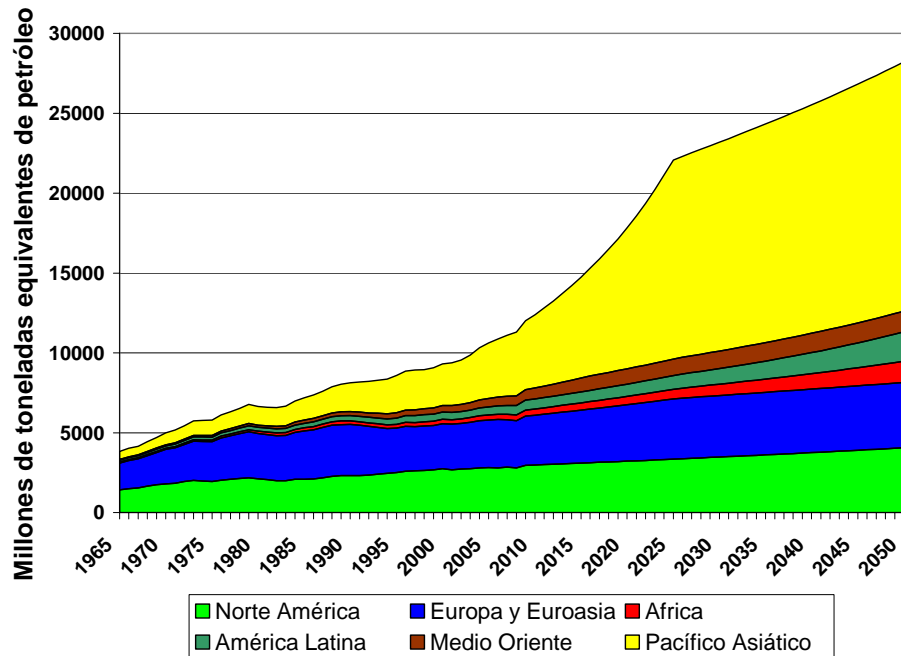
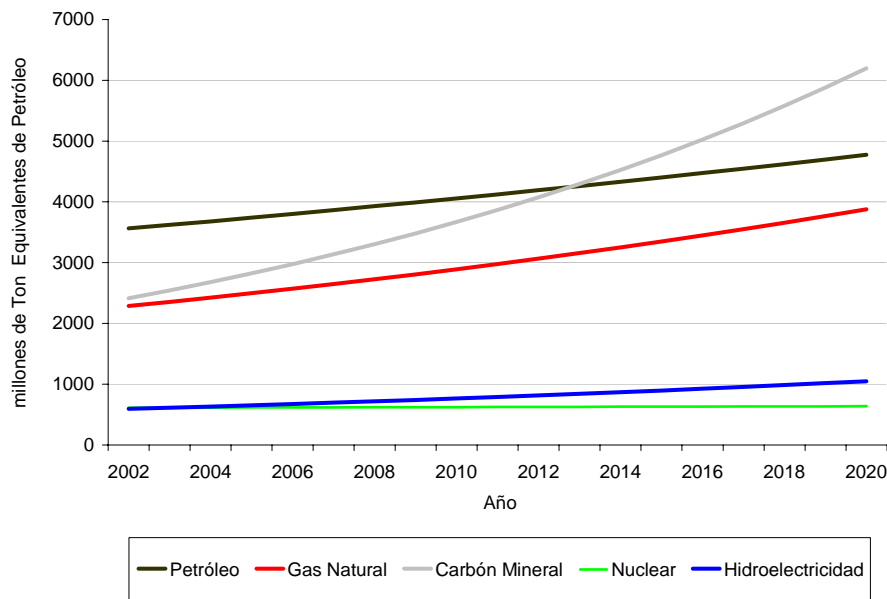


Gráfico No. 5

Proyección del consumo mundial de energía comercial por tipo



Por otro lado, si se mantiene la tendencia actual de crecimiento en el consumo de petróleo, las reservas existentes y los hallazgos esperados para el presente siglo no serán capaces de

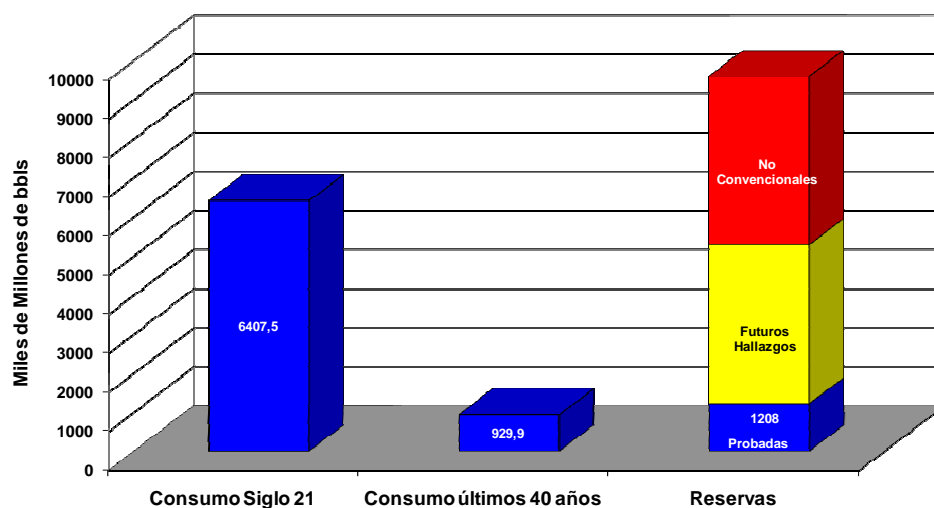
<sup>3</sup> Fuente: Programa de Energías Limpias del TEC

suministrar las necesidades mundiales de este siglo y sería necesario no solo hallar más yacimientos sino además, recurrir a petróleo no convencional como las arenas bituminosas que impactan aún más al ambiente (gráficos No. 6), y en caso de que estas estrategias no sean suficientes el desarrollo de la humanidad podría comprometerse a niveles tales que se podrían generar crisis con repercusiones sociales inimaginables.

Es entonces evidente que países con altas dependencias energéticas como El Salvador, serán más susceptibles a este tipo de crisis a no ser que se establezcan estrategias que busquen modificar la matriz energética mediante el establecimiento de políticas que impulsen la eficiencia energética, el transporte eléctrico, la introducción de combustibles alternativos como es el caso del biodiesel y el etanol, etc.

**Gráfico No. 6**

Consumo mundial de petróleo y reservas



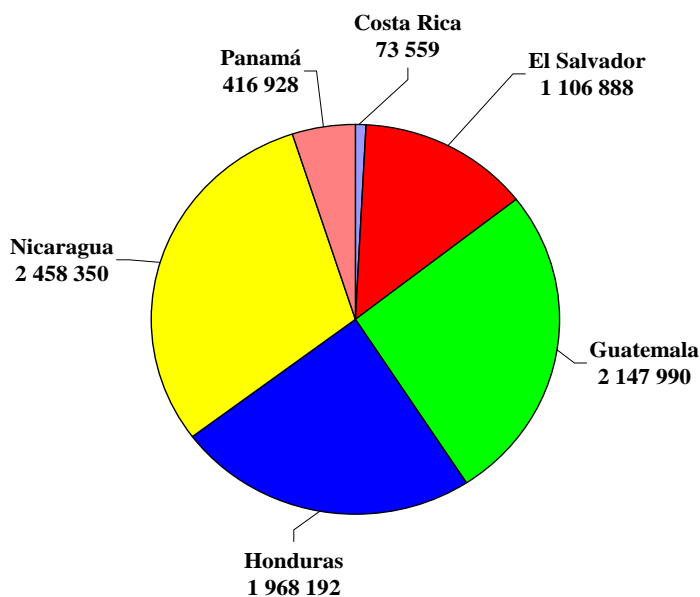
### 3.2. Situación Regional

Debido a que no se han hallado importantes reservas de carbón mineral o gas natural en Centroamérica, los derivados del petróleo suministran la energía que en otras regiones son suplidas por las primeras dos fuentes energéticas, por lo que el consumo de petróleo representa más del 80% de la demanda de energía excluyendo la biomasa; lo que representa más del doble de la media mundial y dado que tampoco existen yacimientos de petróleo de gran escala, la dependencia energética centroamericana se convierte en una variable que implica un gran riesgo para el desarrollo de la zona.

Adicionalmente, una gran parte de la generación eléctrica de Centroamérica es producida utilizando combustibles derivados del petróleo, práctica que es poco común en el resto del mundo y el escenario es todavía más preocupante cuando se considera que aun es necesario dotar de energía eléctrica a más de ocho millones de centroamericanos que aun no cuentan con este servicio (gráfico No. 7).

**Gráfico No. 7**

Centroamérica. Habitantes sin acceso a electricidad en el año 2008<sup>4</sup>



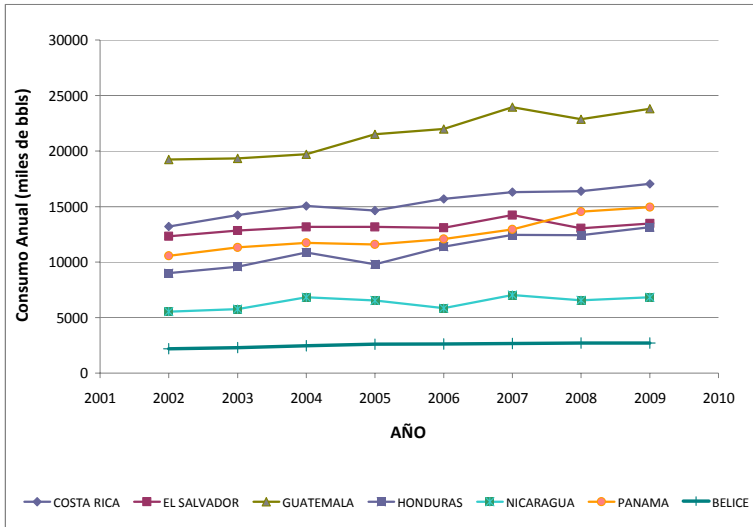
Por otro lado, en el gráfico No. 8 aparece la evolución reciente de la demanda de combustibles derivados del petróleo sin considerar el consumo en generación eléctrica, observándose un aumento general en cada uno de los países centroamericanos. No hay duda de que el aumento en el consumo de hidrocarburos es una consecuencia directa del desarrollo de los países, por lo que para alcanzar mejores niveles de desarrollo tanto humano como económico, la región tenderá a incrementar su consumo de petróleo a no ser que se desarrollen fuentes alternativas de energía.

**Gráfico No. 8**

Evolución del consumo centroamericano de derivados del petróleo (sin sector eléctrico)<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Cepal. Estadísticas Eléctricas Centroamericanas 2009

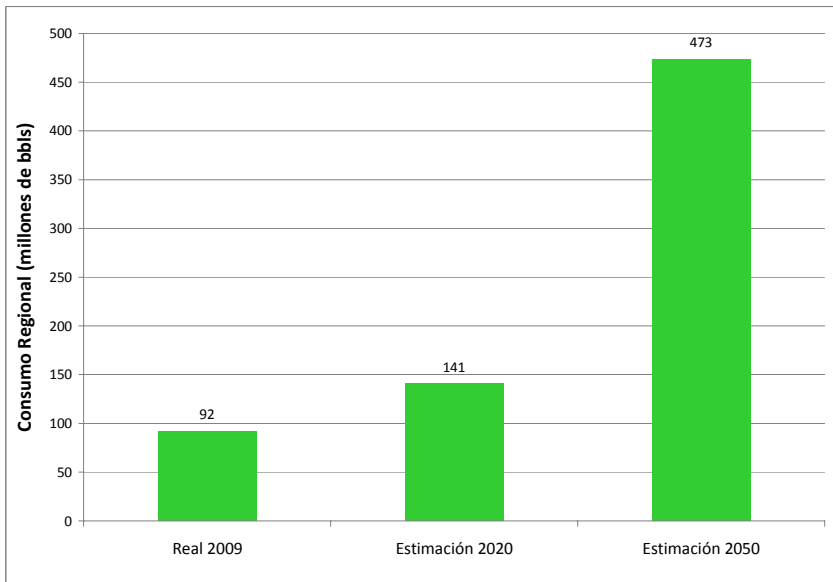
<sup>5</sup> Cepal. Estadísticas Eléctricas Centroamericanas 2009



De mantenerse el mismo crecimiento, la región centroamericana estaría consumiendo anualmente más de 5 veces el consumo del año 2008 (ver gráfico No. 9).

**Gráfico No. 9**

Países Centroamericanos: Proyección del consumo Centroamericano de derivados del petróleo



### 3.3. Realidad Energética Salvadoreña

El Salvador es el país centroamericano que posee el menor crecimiento en el consumo de hidrocarburos (excluyendo la generación eléctrica), con apenas un 2,07% de incremento anual promedio en el periodo 1998-2008. Este crecimiento se vio afectado sustancialmente por una reducción del 8,25% experimentado en el año 2008 producto del impacto provocado por los altos precios de los hidrocarburos que se presentaron ese año.

Excluyendo el año 2008, la tasa de crecimiento sería del 3,21% que sigue siendo baja comparada con la de países como Honduras (5,69%) y Guatemala (4.07%).

De mantenerse esta tasa de crecimiento, la demanda de hidrocarburos de El Salvador (excluyendo la generación eléctrica) para el año 2030 será de alrededor de 4,17 millones de metros cúbicos por año casi el doble de la presentada en el año 2009 (2,15 millones de metros cúbicos) y la factura petrolera acumulada para los próximos 20 años alcanzará los 31,500 millones de dólares<sup>6</sup>, por lo que de establecerse políticas que permitan reducir la factura petrolera, sería posible obtener ahorros considerables que favorecerían el desarrollo del país.

Es evidente por lo tanto, que es necesario analizar en detalle todas las iniciativas que busquen reducir la dependencia energética salvadoreña.

## **4. Objetivos del Estudio**

El objetivo general del presente informe es la de establecer la eficiencia energética de la producción de biocombustibles mediante la determinación del balance del consumo energético de los eslabones de la cadena de producción, determinando a la vez las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante el proceso.

Para lograr este objetivo se plantean las siguientes actividades específicas:

1. Realizar un análisis de las necesidades presentes y futuras de combustibles en El Salvador considerando las tendencias mostradas en los últimos años y las variables que inciden en el crecimiento de la demanda de combustibles.
2. Establecer las necesidades de biocombustibles de acuerdo con los planes oficiales que existan al respecto y diferentes escenarios de introducción.
3. Diseñar un sistema de producción sostenible de biocombustibles que considere la posibilidad de establecer cultivos complementarios como frijol o maíz durante el periodo de establecimiento del cultivo seleccionado.
4. Selección de biocombustibles (etanol a partir de caña de azúcar y biodiesel a partir de por ejemplo: aceite de tempate, o aceite de higuerillo).
5. Elaborar el mapa de proceso de producción de biodiesel y etanol y determinar las etapas necesarias para la producción de cada uno de los biocombustibles previamente

---

<sup>6</sup> Considera un precio promedio de los hidrocarburos de US\$ 80/bbl.

- seleccionados, incluyendo diagramas de flujo de cada una de las etapas (balances de masa y energía).
6. Realizar un balance de energía y masa durante la etapa agrícola (producción agrícola y transporte a la planta de extracción) y la etapa de procesamiento (extracción de aceite, proceso de destilación y transporte de biocombustible).
  7. Establecer las vidas útiles de los cultivos, equipo pesado, equipo liviano e instalaciones industriales.
  8. Determinar la frontera de análisis, incluyendo las etapas de producción agrícola y producción industrial, transporte y la distribución de los biocombustibles hasta las plantas de abastecimiento y estaciones de servicio.
  9. Crear formatos para recopilar y procesar la información generada.
  10. Determinar los parámetros (tiempos de vida útil de cultivos, equipos, plantas e instalaciones industriales) y otros indicadores (energía requerida en la producción de equipos, maquinaria agrícola, etc.) requeridos por el estudio.
  11. Determinar y cuantificar los flujos de energía directos e indirectos, que permitan establecer la energía consumida por unidad de biocombustible, en las diferentes etapas del proceso de producción (etapa agrícola, etapa industrial, transporte y distribución, cambio en uso de la tierra y otros que puedan ser identificados).
  12. Determinar la eficiencia energética (energía consumida/energía liberada por el biocombustible) de cada tipo de biocombustible y proceso, considerando las posibilidades de mejorar dicha eficiencia mediante mejoras en las etapas del proceso y comparando las eficiencias obtenidas con las de otros biocombustibles producidos a nivel nacional e internacional.
  13. Determinar el factor de emisiones de los biocombustibles (kg CO<sub>2</sub> en su producción/kg o l de biocombustible), y su eficiencia de emisiones frente a los combustibles tradicionales empleados a nivel nacional, a fin de estimar el potencial de reducción de emisiones en el país.
  14. Valorar la eficiencia global de los biocombustibles y compararla con los procesos de producción de biocombustibles de otros países con características similares a El Salvador.
  15. Considerar el uso de residuos de biomasa que pueden ser empleados para diferentes propósitos, como la generación de vapor, generación de electricidad, biofertilizantes, materias primas para otros productos y residuos finales que requieren tratamiento antes de ser vertidos.



## 5. Descripción de la Metodología a seguir

Si bien el balance energético de una planta de producción de biocombustibles puede realizarse considerando un volumen de control determinado, dado que los centros de consumo de combustibles en El Salvador podrían no coincidir con las zonas más adecuadas para la producción de biocombustibles, estos deberán ser transportados desde las plantas de proceso hasta los centros de distribución, actividad que conlleva un consumo importante de energía.

Es importante por lo tanto, seleccionar y priorizar las zonas del país que serán dedicadas en la obtención de materias primas para la producción de biocombustibles y para esto es necesario determinar las áreas requeridas con el fin de compararlas con las disponibles en los diferentes departamentos.

Adicionalmente, las hectáreas a sembrar dependerán tanto de los diferentes escenarios de utilización de biocombustibles en el diesel y las gasolinas, como de la demanda futura de estos combustibles.

Por lo anterior se plantea la siguiente metodología para definir los límites de los sistemas y balances energéticos:

1. Estimación de la demanda futura de combustibles
2. Definición de un plan a largo plazo de utilización de biocombustibles
3. Determinación y ubicación de las áreas requeridas para la obtención de las materias primas requeridas
4. Selección de límites de los sistemas a analizar
  - a. Capacidad y ubicación de las plantas de producción de biocombustibles requeridas
5. Realización de los balances de masas y energía considerando:
  - a. Adecuaciones de terrenos
  - b. Siembra
  - c. Fertilización
  - d. Cosecha
  - e. Procesamiento
  - f. Distribución
6. Cálculo de los factores de emisión de las diferentes etapas de la cadena de producción y distribución de los biocombustibles.

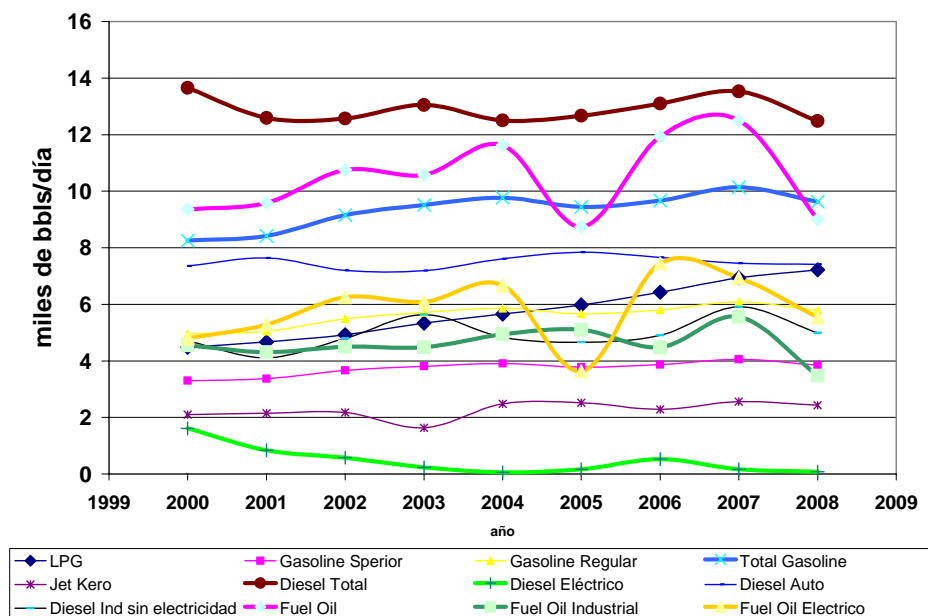
## 6. Necesidades futuras de hidrocarburos en El Salvador

Para la realización de este estudio, se consideró conveniente realizar una estimación de la demanda futura de combustibles con el fin de realizar una adecuada estimación de las necesidades de biocombustibles.

Se ha procedido por lo tanto, ha analizar la evolución reciente de la demanda de hidrocarburos en El Salvador (gráfico No. 10), en donde se observa que en general la demanda de combustibles crece ligeramente. Únicamente el fuel oil para generación eléctrica y el LPG presentan un crecimiento pronunciado. Por otro lado, mientras que la demanda de gasolina crece moderadamente la de diesel prácticamente se mantiene fija.

Gráfico No. 10

Evolución reciente de la demanda de hidrocarburos en El Salvador



Debido a que conforme aumenta el consumo de combustibles, el volumen y el área de producción de materias primas para la obtención de biocombustibles se incrementa, es necesario predecir el comportamiento futuro de la demanda de nacional hidrocarburos.

Entre las variables que más afectan el consumo de petróleo de un país se encuentran el ingreso per cápita y la densidad de población. El ingreso per cápita es una señal directa del poder adquisitivo que tienen los habitantes, por lo que entre mayor sea este indicador, se puede suponer que más recursos tendrán para hacer frente a sus gastos básicos y por ende, existe una buena posibilidad de que se opte por una esquema de transporte basado en vehículos particulares en vez del colectivo. La densidad de población por su parte; puede indicar la tendencia que tendrán las personas a vivir alejadas de la ciudad, ya que en los

países con una alta densidad poblacional; los habitantes viven en grandes conglomerados habitacionales en donde el transporte colectivo se desarrolla de una manera más efectiva. En cambio, en países con bajas densidades poblacionales, las casas ubicadas en zonas semi-urbanas tienden a ofrecer más terreno y un menor precio que las ubicadas dentro de las ciudades. Adicionalmente, muchas personas consideran que las zonas alejadas a la ciudad ofrecen una mejor calidad de vida (menor criminalidad y drogadicción, más contacto con la naturaleza, mejor calidad del aire, etc.), a la cual optan a pesar de que esto implique dedicar mayores recursos al transporte desde y hasta sus lugares de trabajo.

El problema de este esquema radica en que el transporte colectivo pierde competitividad cuando las distancias a recorrer son muy altas y la cantidad de usuarios es baja ya que las unidades generalmente son subutilizadas fuera de las horas de máxima demanda.

Esta situación afecta el desarrollo del transporte colectivo e impulsa el individual, por lo que el consumo de petróleo por habitantes se dispara.

El cuadro No. 1, muestra países con densidades de población similares a las de El Salvador así como los consumos de petróleo anual por persona y una estimación del PIB per cápita para el año 2009. Con estos datos ha sido posible obtener una correlación entre estas dos últimas variables que permite estimar el consumo de petróleo por persona según aumenta el ingreso per cápita del país.

**Cuadro No. 1**

Densidad de población, PIB y Consumo de petróleo por persona para 2009 en países con densidad de población altas.

País	PIB Percápita (PPA 2009) (US\$/persona)	Consumo Percápita de petróleo en 2009 (bbls-persona-año)	Densidad de Población en 2009 (hab/km <sup>2</sup> )
Tailandia	5990	5,20	131
China	6020	2,08	139
Gambia	1280	0,43	171
Suiza	46640	11,73	185
Corea del Norte	1800	0,17	185
Italia	30250	10,69	193
Nepal	1120	0,21	197
República Dominicana	7890	4,49	202
Alemania	35940	10,89	230
Pakistán	2700	0,70	232
Reino Unido	36130	10,32	255
Jamaica	7360	9,41	259
Vietnam	2700	1,10	269
El Salvador	6670	2,75	288
Granada	8060	7,11	313
Filipinas	3900	1,28	333
Haití	1180	0,48	348
Israel	27450	11,53	360
India	2960	0,85	370
Libano	10880	9,51	397
Ruanda	870	0,18	420

Considerando que el PIB real de El Salvador crece alrededor de 3,6 % anual en términos reales y con base en las estimaciones del comportamiento de la densidad de población de la División de Población de las Naciones Unidas, ha sido posible estimar la demanda futura total de combustibles.

Dado que la estructura del consumo de combustibles varía de un país a otro, se ha considerado conveniente estimar una tasa de crecimiento específica de cada tipo de combustible.

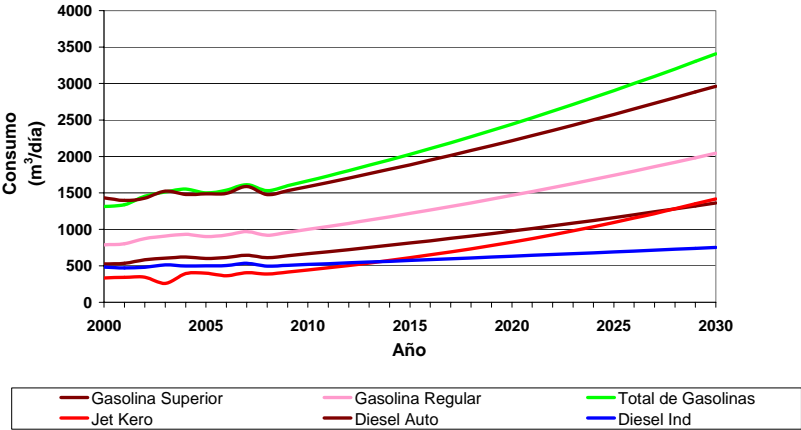
Lo anterior se logra tomando la tasa de crecimiento obtenida de la correlación consumo per cápita vs ingreso per cápita, multiplicándola por la tasa de crecimiento real promedio de un combustible específico que se presentó en el periodo 2000-2008 y dividido entre la tasa de crecimiento real promedio de la demanda total en el mismo periodo.

Igualmente, es importante señalar que para realizar esta estimación es conveniente separar el consumo de diesel por sector, ya que el aceite obtenido del tempate podría ser utilizado directamente en hornos y sistemas de combustión directa como calderas, por lo que es conveniente estimar la proporción de la demanda nacional del diesel que corresponde al consumo en equipos industriales de combustión abierta.

De acuerdo con estudios previos, un 73,9% del diesel total se utiliza como combustible automotor, un 24,9% en equipos industriales y un 1,2% en la generación eléctrica.

Las proyecciones resultantes bajo los supuestos señalados anteriormente se muestran en el gráfico No. 11.

Gráfico No. 11  
Proyección del consumo de algunos combustibles en El Salvador



## 7. Estimación de la Demanda futura de biocombustibles en El Salvador

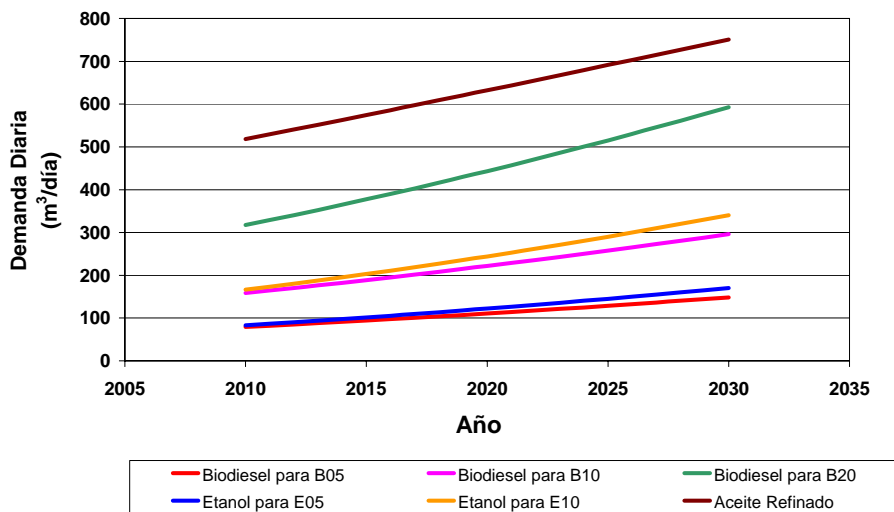
La producción de biocombustibles depende de las proporciones de mezcla que se seleccionen.

El gráfico No. 12 muestra las necesidades de biocombustibles para los diferentes niveles de sustitución que se han planteado a nivel internacional.

Este gráfico muestra también la demanda proyectada para el aceite vegetal refinado que sería destinado al consumo de equipos industriales de combustión abierta. Obsérvese que se establece un límite de un 10% de mezcla de etanol en las gasolinas (E10) ya que se considera que las condiciones del parque automotor no son aptas para un nivel de mezcla más alto.

En el caso del biodiesel, aunque existe la posibilidad técnica de utilizar una mayor proporción, no se conoce de programas que contemplen porcentajes de utilización mayores al 20% (B20).

Gráfico No. 12  
Necesidades de biocombustibles en El Salvador para diferentes escenarios de sustitución



Dado que la necesidad de biocombustibles dependerá de las metas establecidas en cuanto a la proporción a utilizar de los mismos en los combustibles finales, es necesario considerar el plan de implementación que se tenga al respecto.

## **8. Plan de implementación del uso de biocombustibles**

En el periodo de realización del presente estudio no fue posible contar con un plan oficial que indicara las metas establecidas en cuanto al nivel de mezclas de biocombustibles a utilizar, sin embargo; se tiene pensado que en el caso del etanol, el rango a utilizar sería del 5% v/v, al 15% lo cual obedece a criterios técnicos relacionados con el diseño de los vehículos que componen el parque automotriz nacional. El porcentaje definitivo será definido por la Autoridad de Aplicación que defina la legislación, y sería este ente el que diría qué porcentaje de mezcla se usaría de acuerdo a la disponibilidad de etanol. En cuando al biodiesel, el mínimo para iniciar será del 2% y se tiene como meta llegar hasta un B10, o más, de acuerdo a la disponibilidad del biodiesel.

Ante esta situación se ha considerado conveniente proponer uno que considere la realidad del país y el periodo de establecimiento de las plantaciones requeridas.

El Plan propuesto considera los siguientes aspectos:

### **1. Nivel de inversiones requeridas**

Existen facilidades para la producción de etanol y biodiesel en el país, las cuales podrían aprovecharse en una primera etapa para lograr la introducción de biocombustibles reduciendo considerablemente el nivel de inversiones requerido.

En el caso del etanol, la capacidad de destilación existente es de 240 m<sup>3</sup>/día, lo que permitiría implementar una mezcla E-10 inmediatamente.

Con respecto al Biodiesel, existen plantas con capacidad para producir 191 m<sup>3</sup>/día con lo que sería posible obtener una mezcla tipo B12 en el diesel destinado al transporte automotor. Sin embargo; la mayoría de las plantas existentes no cuentan con la sección de extracción, lo cual afecta un eventual plan de introducción ya que la instalación de estas plantas puede necesitar entre uno y dos años.

### **2. Disponibilidad de materias primas.**

Bajo la premisa de que la producción de biocombustibles no debe afectar la producción de alimentos se considera que únicamente el 60% de la melaza producida podría utilizarse en la producción de etanol, lo que equivale a cerca de 100 m<sup>3</sup>/día, lo cual permitiría suplir las necesidades inmediatas para una mezcla tipo E-5.

En el caso del biodiesel, no existen plantaciones consolidadas que permitan obtener la materia prima necesaria. Lo cual debe tomarse en cuenta a la hora de establecer el plan de introducción del biodiesel ya que las plantaciones que logran los mejores rendimientos requieren de al menos cinco años para alcanzar la máxima producción.

### 3. Adecuación tecnológica

Considerando que la antigüedad promedio del parque automotor de El Salvador es menor a los 8 años, es de esperar que no se presenten problemas serios con la introducción inmediata de mezclas de etanol E5 o E10.

En el caso del biodiesel, se debe tomar en cuenta que existe un mercado de 520 m<sup>3</sup>/día para el aceite refinado, que podría ser empleado en sistemas de combustión abierta sin necesidad de realizar modificación importantes a los equipos, excepto en lo que se refiere a la selección de las boquillas de los quemadores o a la instalación de algún sistema de precalentamiento, que ajuste la viscosidad del aceite a la especificada por el fabricante de los equipos.

### 4. Necesidad de nuevas plantaciones y producción anual de materias primas

La caña de azúcar es un cultivo de implementación relativamente fácil, una vez seleccionado los terrenos, en menos de un año se logra obtener una buena cosecha.

En el caso de los cultivos destinados para la producción de biodiesel, la situación es diferente. Tal y como se comentó anteriormente, los cultivos que presentan los mejores rendimientos por hectárea son la palma africana y el tempate, los cuales necesitan al menos 5 años para alcanzar su producción teórica de aceite (5000 y 2500 kg/hectárea).

Sin embargo, en el caso del tempate, la producción de semilla puede darse incluso desde el primer año e ir aumentando gradualmente hasta alcanzar la producción total. Por lo tanto es posible adelantar la introducción de biodiesel conforme las plantaciones se van consolidando.

De acuerdo con lo señalado anteriormente, se ha considerado que un posible plan de introducción de biocombustibles en El Salvador podría ser el descrito en el cuadro No. 2.

**Cuadro No. 2**

Posible plan de introducción de Biocombustibles

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Aceite 10%				1	1																	
Aceite 20%						1	1															
Aceite 40%								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aceite 60%																						
Utilización B05					1	1	1	1	1													
Utilización B10										1	1	1	1	1	1							
Utilización B20																	1	1	1	1	1	1
Utilización E05	1	1																				
Utilización E10			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tal y como se observa en este plan, en el año 2016 arrancarían la sustitución de diesel industrial por aceite refinado en un nivel del 10%. Al año siguiente se duplicaría el porcentaje de sustitución por dos años y a partir del año 2019 se lograría una sustitución del 40%.

De la misma forma, a partir del año 2016 se iniciaría la venta del diesel B05 por un periodo de 5 años, para que en el año 2021 se inicie la comercialización del B10 y se logre alcanzar finalmente una sustitución del 20% en el año 2027.

Si bien este escenario parece conservador, se debe tener claro que debido a que el periodo de establecimiento de los cultivos de tempate es de cinco años, muchos agricultores esperarán los resultados de los primeros proyectos antes de proceder a dedicar sus tierras a este tipo de cultivo.

El caso del uso de etanol en las gasolinas es más optimista, ya que considera que sería posible sustituir el 5% de las gasolinas por este combustible sin necesidad de sembrar hectáreas adicionales.

En el año 2014, se duplicaría el uso de etanol utilizando cultivos dedicados exclusivamente a la producción de etanol para lo cual todo el jugo extraído de la caña de azúcar es dedicado la obtención de este biocombustibles.

## **8.1. Plan de obtención de materias primas para la producción de biocombustibles en El Salvador**

Con base en la información del cuadro No. 2, y las proyecciones de demanda de la sección 5, es posible obtener las necesidades anuales de aceite refinado y etanol.

Para lo anterior se considera una producción anual de semilla de tempate de 7,68 tm/hectárea y un rendimiento de 1 litro de aceite por cada 3 kg de semilla, lo que equivale a 2,57 m<sup>3</sup> de biodiesel/hectárea.

Con respecto al etanol, se ha considerado un rendimiento anual de 5.3 m<sup>3</sup>/hectárea.

De esta forma se obtiene que la cantidad de hectáreas que deben estar produciendo cada año tiene que ser la mostrada en el gráfico No. 13, en donde se observa que para el año 2030, se necesitarían un total de 143 mil hectáreas dedicadas a la siembra de materias primas para la obtención de biocombustibles.

Considerando que el tempate y la caña deben sembrarse 5 y 1 año antes de su procesamiento para la obtención de biodiesel y etanol, respectivamente; se calcula la cantidad de hectáreas a sembrar anualmente (cuadro No. 3).



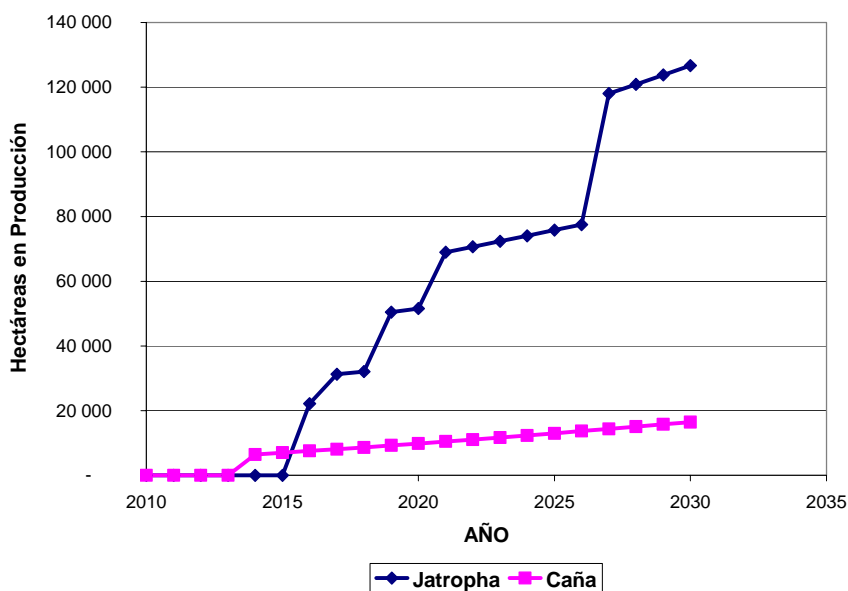
Tal y como se observa en este gráfico, se plantearían cuatro campañas de siembra nacional de materias primas para biocombustibles:

Entre los años 2012 y 2013 se deberán tener sembradas las primeras 31 mil y 6,5 mil hectáreas de tempate y caña de azúcar, respectivamente. En este último caso, se deben sembrar entre 500 y 750 hectáreas por año para suplir las necesidades de una mezcla tipo E10.

En cambio, para lograr cumplir con el plan propuesto en el cuadro No. 2; se deberá motivar la siembra de alrededor de 20 mil hectáreas entre los años 2014 y 2016: adicionalmente otras 20 mil hectáreas entre los años 2017 y 2020 para lograr sustituir el 20% de consumo de diesel en equipos industriales de combustión abierta y utilizar una mezcla tipo B10 en el destinado al sector automotor a partir del año 2021.

Gráfico No. 13

Área requerida para cumplir con el Plan de Introducción de Biocombustibles propuesto



Cuadro No. 3

Hectáreas a sembrar anualmente para lograr cumplir con el Plan de Introducción propuesto

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
<b>Jatropha</b>	22153	9101	796	18420	1149	17385	1675	1694	1712	1729	1745	40481	2867	2889	2908	2979	3053	3129	3206	3285	3367
<b>Caña</b>	0	6470	528	542	555	568	582	595	608	622	635	647	660	672	683	694	704	714	746	780	815
<b>Total</b>	22153	15571	1325	18962	1704	17953	2257	2289	2320	2351	2379	41129	3527	3561	3591	3674	3757	3842	3952	4065	4182

Finalmente, en el año 2023, se estarían sembrando alrededor de 40,5 mil hectáreas para lograr aumentar la proporción utilizada de biodiesel en el sector automotor a un 20%.

## 8.2. Capacidad y ubicación de plantas de producción de biocombustibles

### 8.2.1. Etanol

El Salvador cuenta con un total de 6 ingenios en operación cuya producción de azúcar y melaza para el año 2009, se muestra en el cuadro No. 4.

**Cuadro No. 4**

Producción de azúcar y melaza en el año 2009

Ingenio	Area Sembrada (hectáreas)	Caña Procesada (miles de TM)	Azúcar (miles de TM)	Melaza (miles de m3)
La Magdalena	3264	231	35	10,1
Izalco	15206	1078	153	48,4
La Cabaña	13880	984	117	34,2
El Angel	15807	1121	157	45,8
Jiboa	7727	548	63	18,4
Chaparrastique	7017	497	66	19,4
<b>Total</b>	<b>62900</b>	<b>4459</b>	<b>591</b>	<b>176,2</b>

Como se observa en este cuadro, las mayores producciones de azúcar están concentradas en los ingenios de Izalco, La Cabaña y El Ángel.

Tal y como se comentó en la sección 8, se cuenta con una capacidad de producción de 240 m<sup>3</sup>/día de etanol anhidro a partir de derivados de la caña de azúcar, los cuales corresponden a las capacidades conjuntas de las plantas La Cabaña y El Carmen de 120 m<sup>3</sup>/día cada una y ubicadas en los Departamentos de San Salvador y Sonsonate, respectivamente.

La planta La Cabaña está localizada en el ingenio con el mismo nombre a aproximadamente 40 km de San Salvador y se encuentra operando.

La Planta El Carmen no está operando pero podría ser rehabilitada para procesar la melaza proveniente del Ingenio Izalco, lo cual aún se encuentra en análisis.

De esta forma, la capacidad instalada permitirá distribuir a nivel nacional una mezcla tipo E10 hasta el año 2019. Sin embargo, con el fin de evitar el transporte del jugo de la caña y poder aprovechar adecuadamente los recursos energéticos disponibles en el bagazo, es preferible instalar dos plantas de 120 m<sup>3</sup>/día en el año 2017; una en el Ingenio El Ángel y otra en el Jiboa.

### **8.2.2. Biodiesel**

Otros estudios realizados bajo el mismo proyecto BID ATN/OC-10897-ES, indican que las áreas con capacidad para la producción de tempate se ubican en los departamentos de Santa Ana, La Paz, San Vicente y San Miguel.

Por otro lado, el Departamento de Sonsonate es el que concentra la mayor capacidad de producción de biodiesel en El Salvador.

Por lo anterior, y dadas las cercanías entre los principales centros de consumo ubicados en San Salvador con los municipios de Santa Ana, San Vicente y La Paz en donde se cultivaría el tempate, se considerará la instalación de plantas extractoras con capacidades de 150 m<sup>3</sup>/día que serán instaladas de la siguiente forma:

Departamento de Santa Ana: una planta en el año 2016 y otra en el año 2025.

Límite entre los Departamentos de La Paz y San Vicente: una planta en el año 2015, otra en 2020 y dos más en los años 2026 y 2028.

Departamento San Miguel: una planta en el año 2018 y otra en 2032.

## 9. Definición de la frontera de análisis

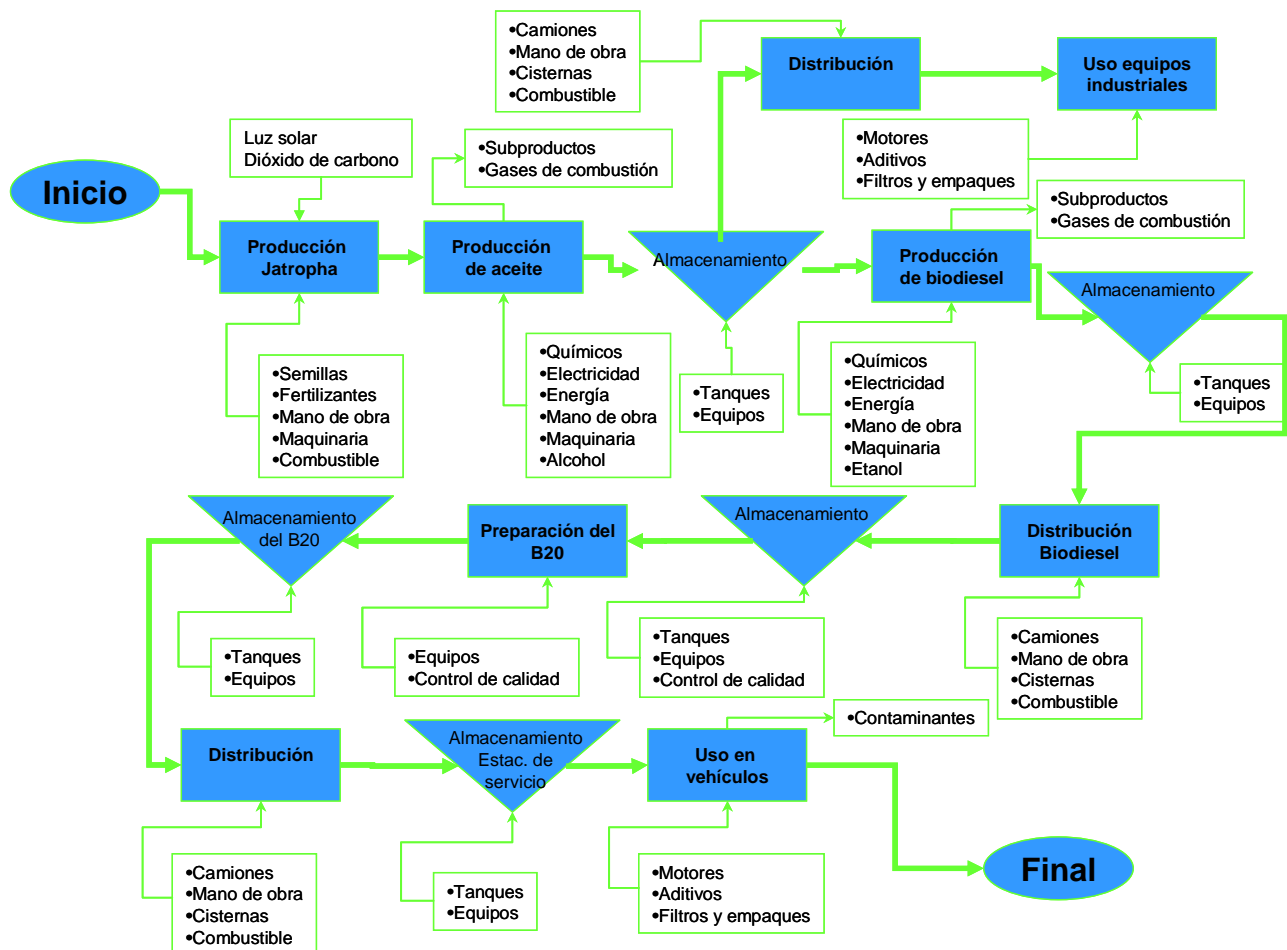
Una vez definido el plan de implementación se ha considerado conveniente definir como frontera de análisis todo el país con el fin determinar los balances de materia y energía de la producción de biodiesel y etanol.

Para esto en la figura No. 1, se presenta el mapa de proceso de la producción del biodiesel en donde se observan las entradas y salidas de las diferentes etapas.

Obsérvese que se considera la posibilidad de producir aceite vegetal para utilizarse en los equipos industriales de combustión abierta como calderas y hornos.

Figura No. 1

Mapa de proceso de la producción y uso del biodiesel en transporte



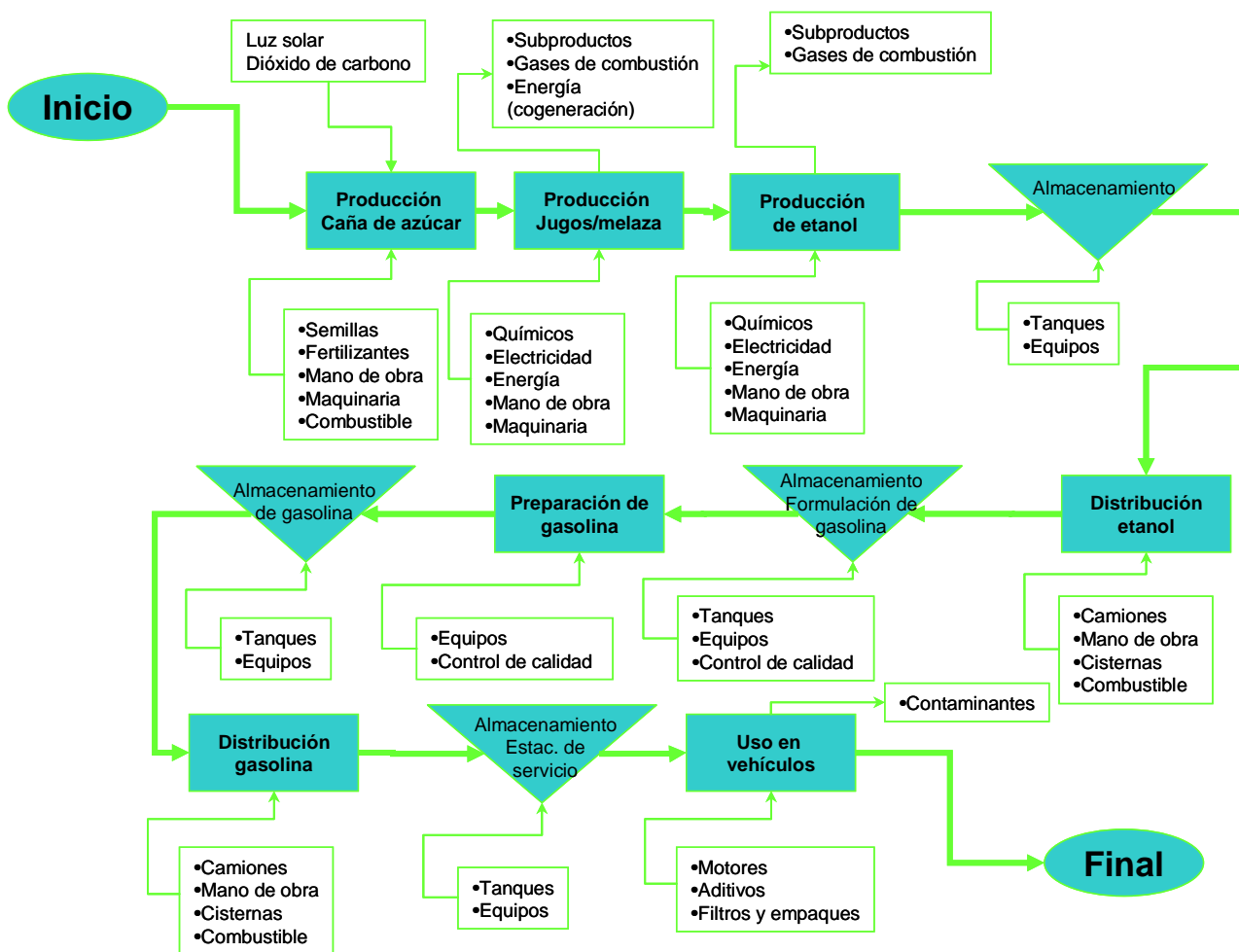
De la misma forma, la figura No. 2 permite observar el mapa correspondiente a la producción de etanol a partir de caña de azúcar.

En este caso se debe considerar que es posible co-generar electricidad con el bagazo obtenido de la extracción del jugo.

También es conveniente indicar que en ambos procesos se tomarán en cuenta las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> para efectos de determinar los factores de emisiones de los biocombustibles que serían obtenidos.

**Figura No. 2**

Mapa de proceso de la producción y uso del etanol en transporte



Tanto la figura No. 1 como la No. 2 serán utilizados en la siguiente sección para desarrollar los balances de masa y energía.

## **10. Balances de Masa y Energía**

De acuerdo con lo comentado en la sección 9.0, es necesario que los balances de masa y de energía asociados a la producción de etanol y biodiesel, consideren todas las etapas de la cadena productiva tanto del etanol como del biodiesel.

Igualmente, considerando el plan de implementación propuesto en el cuadro No. 2 es conveniente realizar el análisis para los 20 años que contempla este plan ya que algunos consumos específicos podrían variar año con año.

También es conveniente señalar que para la realización de los balances de energía se considerará primeramente toda la energía fósil requerida para la producción del biodiesel y posteriormente se valorarán los posibles aportes de los subproductos.

### **10.1. Biodiesel**

Retomando la figura No.1, los balances de masa y energía así como los análisis del ciclo de vida de la producción de biodiesel serán realizados considerando las siguientes etapas:

- Producción Agrícola de la Jatropha
- Obtención del aceite vegetal
- Producción de Biodiesel puro
- Preparación de mezcla B20
- Distribución del B20
- Consumo final

#### **10.1.1. Producción agrícola de la Jatropha**

Debido a que los insumos y recursos necesarios para la producción de los frutos de la jatropha son naturales (luz, agua de lluvia, dióxido de carbono, etc.) y que las condiciones meteorológicas de El Salvador son tales que no es necesario considerar irrigación artificial, no se realizará un balance de masa detallado de la actividad agrícola.

El único subproducto de interés obtenido en la fase agrícola es el residuo biomásico producido durante las operaciones de poda. Para efectos de este estudio se estima se obtendrán 1, 2, 2 y 3 kg de biomasa por planta durante los años 2, 3, 4 y 5 años, respectivamente. A partir de año 6, la producción se estabiliza es 3,5 kg por planta.

En la etapa agrícola es necesario considerar el uso de fertilizantes durante el periodo de análisis. También es necesario tomar en cuenta el consumo de otros productos químicos como fungicidas y formicidas cuyo consumo varía anualmente. Igualmente, el consumo de

energía durante el proceso agrícola debe considerar cuáles operaciones se realizan manualmente y cuáles por medios mecánicos.

Durante una inspección a las zonas donde eventualmente se sembraría la jatropha, se determinó que la geografía no facilita la realización de operaciones mecánicas. Por lo anterior, la mayoría de las actividades agrícolas a realizar se deberán ejecutar a mano.

El cuadro No. 5 resume los requerimientos de recursos que se requieren anualmente por hectárea de jatropha. Al utilizar esta información y el número de hectáreas a sembrar de jatropha que aparece en el cuadro No. 3 es posible calcular la cantidad anual de recursos necesarios (cuadro No. 6) y la total a lo largo de los 20 años considerados en el estudio (cuadro No. 7).

De igual forma, considerando los factores energéticos unitarios para cada tipo de recurso que se resumen en el cuadro No. 7, se ha obtenido la cantidad total de energía necesaria para producir la jatropha requerida durante el periodo de análisis.

**Cuadro No. 5**

Actividades e insumos requeridos para cultivar una hectárea de Jatropha

Descripción	Unidad	Año																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>1 - Operaciones Manuales</b>																						
Encalar	días hombre	0,6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chapeo/Raleo/Replanto	días hombre	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fertilización	días hombre	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Combate a hormigas	días hombre	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha	días hombre	0	1	9,6	15	36	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Siembra	días hombre	3,2																				
<b>2 - Operaciones Mecánicas</b>																						
Arado	horas máquina	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gradoo	horas máquina	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Encalar	horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rozar	horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulverizar	horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transporte Interno (1)	miles km-Ton	0,079	0,009	0,012	0,018	0,019	0,039	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Cosecha	horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3 - Insumos</b>																						
Carbonato de Calcio	ton	1	0	0	0	0	1															
Superfosfato triple	ton	0,06	0,09	0,13	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Cloruro de Potasio	ton	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Urea	ton	0,103	0,2	0,25	0,35	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ácido Bórico	L	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Herbicida	kg	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fungicida	L	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Insecticida	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Formicida	kg	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bolsas para vivero	kg	7,5																				
Compostagen Vivero	tm	2,6																				
Semillas	kg	3																				

(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes y el compostagen un promedio de 20 km



Cuadro No. 6

## Cantidad anual de recursos requeridos para la producción de Jatropha

Descripción	Unidad	Año																				TOTAL	
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031		2032
<b>Operaciones Manuales</b>																							
Encalar	miles días hombre	13,3	5,5	0,5	11,1	0,7	32,6	10,1	1,8	19,4	2,2	18,4	26,0	3,4	3,4	3,5	3,5	42,3	4,7	4,8	4,9	5,0	217
Chapeo/Raleo/Replanto	miles días hombre	66,5	93,8	96,2	151,4	154,9	207,0	212,0	172,8	159,7	163,3	131,7	250,9	224,7	230,0	235,4	240,9	246,6	252,5	181,1	185,3	189,6	3846
Fertilización	miles días hombre	48,7	68,8	70,5	111,0	113,6	151,8	155,5	159,2	163,0	166,8	170,6	259,7	266,0	272,3	278,7	285,3	292,0	298,9	306,0	313,2	320,6	4272
Combate a hormigas	miles días hombre	22,2	9,1	22,9	27,5	1,9	35,8	2,8	19,1	3,4	3,4	3,5	42,2	4,6	43,4	5,8	5,9	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	285
Cosecha	miles días hombre	0,0	22,2	221,8	420	960	1404	1584	2131	2339	2734	2864	2932	3040	3443	3733	4633	4899	5016	5134	5254	5378	58141
Siembra	miles días hombre	70,9	29,1	2,5	58,9	3,7	55,6	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	129,5	9,2	9,2	9,3	9,5	9,8	10,0	10,3	10,5	10,8	466
<b>Operaciones Mecánicas</b>																							
Arado	miles horas máquina	88,6	36,4	3,2	73,7	4,6	69,5	6,7	6,8	6,8	6,9	7,0	161,9	11,5	11,6	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,5	583
Gradeo	miles horas máquina	22,2	9,1	0,8	18,4	1,1	17,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	40,5	2,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	146
Encalar	miles horas máquina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Fertilización	miles horas máquina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Rozar	miles horas máquina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Pulverizar	miles horas máquina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Transporte Interno (1)	miles km-ton	1743	905	401	1968	850	2655	1430	1363	1851	1555	1914	4681	2085	2257	2558	2657	3494	2805	2871	2938	3007	45986
Cosecha	miles horas máquina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
<b>Insumos</b>																							
Carbonato de calcio	miles ton	22,2	9,1	0,8	18,4	1,1	39,5	10,8	2,5	20,1	2,9	19,1	42,2	4,6	4,6	4,6	4,7	43,5	6,0	6,1	6,2	6,3	275
Superfosfato triple	miles ton	1,3	2,5	3,7	7,2	8,6	10,5	12,7	13,7	15,5	15,8	16,2	18,9	20,4	22,5	26,4	27,1	27,7	28,4	29,0	29,7	30,4	368
Cloruro de Potasio	miles ton	0,4	1,0	1,7	3,1	3,8	4,6	5,7	6,1	6,9	7,1	7,2	8,2	9,1	10,1	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	164
Fertilizante Fórmula completa	miles ton	0,0	2,2	4,2	7,0	9,8	10,9	14,5	15,7	17,7	18,1	18,5	19,0	23,3	25,7	30,2	31,0	31,7	32,4	33,2	34,0	34,8	414
Fertilizante 10-30-10	miles ton	4,4	1,8	0,2	3,7	0,2	3,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	8,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	29
Urea	miles ton	2,3	5,4	7,4	12,1	16,0	19,4	23,2	25,4	27,7	29,1	29,8	34,5	39,1	41,9	46,8	49,8	51,0	52,2	53,4	54,7	56,0	677
Ácido Bórico	m <sup>3</sup>	0,0	0,0	110,8	156,3	160,3	252,4	258,1	345,0	353,4	361,9	370,4	379,1	387,8	590,2	604,5	619,0	633,5	648,4	663,7	679,3	695,4	8269
Herbicida	ton	44,3	18,2	1,6	36,8	2,3	34,8	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	81,0	5,7	5,8	5,8	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	6,7	291
Fungicida	m <sup>3</sup>	44,3	62,5	64,1	100,9	103,2	138,0	141,4	144,7	148,2	151,6	155,1	236,1	241,8	247,6	253,4	259,4	265,5	271,7	278,1	284,7	291,4	3884
Insecticida	m <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Formicida	ton	22,2	9,1	22,9	27,5	1,9	35,8	2,8	19,1	3,4	3,4	3,5	42,2	4,6	43,4	5,8	5,9	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	285
Bolsas para vivero	ton	166,2	68,3	6,0	138,2	8,6	130,4	12,6	12,7	12,8	13,0	13,1	303,7	21,5	21,7	21,8	22,4	22,9	23,5	24,1	24,7	25,3	1093
Compostagen Vivero	miles ton	56,5	23,2	2,0	47,0	2,9	44,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	103,3	7,3	7,4	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	372
Semillas	ton	66	27	2	55	3	52	5	5	5	5	5	121	9	9	9	9	9	9	10	10	10	437

(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes y el compostagen un promedio de 20 km

**Cuadro No. 7**

Cantidad total de recursos y energía requeridos para la producción de *Jatropha* durante el periodo de análisis. 2012-2032

Descripción	Unidad	TOTAL	Factor Energético (MJ/Unidad)	Consumo total de Energía (TJ)
<b>Operaciones Manuales</b>				
Encalar	días h	217116	8,56	1,86
Chapeo/Raleo/Replantio	días h	3846203	8,56	32,92
Fertilización	días h	4272261	8,56	36,57
Combate a hormigas	días h	284792	8,56	2,44
Cosecha	días h	58141430	8,56	497,69
Siembra	días h	466311	8,56	3,99
<b>Operaciones Mecánicas</b>				
Arado	horas máq	582889	880,67	513,33
Gradeo	horas máq	145722	880,67	128,33
Encalar	horas máq	0	880,67	0,00
Fertilización	horas máq	0	880,67	0,00
Rozar	horas máq	0	880,67	0,00
Pulverizar	horas máq	0	880,67	0,00
Transporte Interno (1)	miles km-ton	45986	2800	128,76
Cosecha	horas máq	0		0,00
<b>Insumos</b>				
Carbonato de calcio	ton	275405	1176	323,84
Superfosfato triple	ton	368234	4200	1546,58
Cloruro de Potasio	ton	163705	4000	654,82
Fertilizante Fórmula completa	ton	413793		0,00
Fertilizante 10-30-10	ton	29144		0,00
Urea	ton	677297	22400	15171,46
Ácido Bórico	L	8269294	0	
Herbicida	kg	291445	418,4	121,94
Fungicida	L	3883873	245,57	953,76
Insecticida	L	0	245,57	0,00
Formicida	kg	284792	245,57	69,94
Bolsas para vivero	kg	1093355	67,8	74,13
Compostagen Vivero	tm	371741	0	0,00
Semillas	kg	437167	0	0,00
			<b>Total (TJ):</b>	<b>20262</b>

(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes y el compostagen un promedio de 20 km

## 10.1.2. Transporte de materia prima

Tal y como se comentó anteriormente la jatropha tarda cinco años para alcanzar su máxima producción.

Retomando la información del cuadro No. 3 y la entrada a operación de las plantas de producción descritas en la sección 8.2.2, se tiene que las áreas a sembrar para poder abastecer las materias primas requeridas por cada planta serían las que aparecen en el cuadro No. 8.

**Cuadro No. 8**

Áreas sembradas de Jatropha requeridas para abastecer cada una de las plantas de extracción consideradas

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Santa Ana	11077	4550	398	3222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Paz/San Vicente I	11077	4550	398	3222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Miguel	0	0	0	11976	1149	6123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Paz/San Vicente II	0	0	0	0	0	11262	1675	1694	1712	1729	1176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Ana II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	569	18678	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Paz/San Vicente III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19247	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Paz/San Vicente IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2555	2867	2889	2908	2979	3053	1996	0	0	0
San Miguel II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1132	3206	3285	3367
<b>Total</b>	<b>22153</b>	<b>9101</b>	<b>796</b>	<b>18420</b>	<b>1149</b>	<b>17385</b>	<b>1675</b>	<b>1694</b>	<b>1712</b>	<b>1729</b>	<b>1745</b>	<b>40481</b>	<b>2867</b>	<b>2889</b>	<b>2908</b>	<b>2979</b>	<b>3053</b>	<b>3129</b>	<b>3206</b>	<b>3285</b>	<b>3367</b>

Debido a las características propias del cultivo de la Jatropha, al año siguiente de haber sido sembrada es posible obtener ciertos niveles de producción que se incrementan gradualmente hasta alcanzar el 100% de la producción de semilla estimada (7680 kg/hectárea) a partir del quinto año.

Para el primer año se ha considerado que se podrá obtener un 2% de la producción nominal, mientras que para el segundo, tercero y cuarto año, este porcentaje será del 9%, 56% y 80%, respectivamente.

De esta forma, las áreas sembradas de jatropha en cada uno de los Departamentos seleccionados así como la capacidad de producción de aceite se resumen en el cuadro No. 9 en el cual además, se realiza una verificación con respecto a las necesidades según el plan propuesto en el cuadro No. 2. Es conveniente mencionar que en algunos años, la cantidad de aceite a producir es menor que el volumen requerido, sin embargo; estas se compensan con los excedentes disponibles en los años anteriores.

## Cuadro No. 9

### Áreas sembradas y producción de aceite por Departamento

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
<b>Area a sembrar por Departamento (hectáreas/año)</b>																					
Santa Ana	11077	4550	398	3222	0	0	0	0	0	0	569	18678	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Paz/San Vicente	11077	4550	398	3222	0	11262	1675	1694	1712	1729	1176	21803	2867	2889	2908	2979	3053	1996	0	0	0
San Miguel	0	0	0	11976	1149	6123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1132	3206	3285	3367
<b>Capacidad de Producción de aceite por Departamento (miles m3/año)</b>																					
Santa Ana	0	1	3	17	30	39	46	48	50	50	50	50	51	55	78	89	99	99	99	99	99
La Paz/San Vicente	0	1	3	17	30	39	46	51	66	76	85	89	95	102	131	149	166	173	181	188	194
San Miguel	0	0	0	0	1	3	18	28	42	46	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	52
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>34</b>	<b>60</b>	<b>81</b>	<b>110</b>	<b>126</b>	<b>158</b>	<b>171</b>	<b>184</b>	<b>188</b>	<b>195</b>	<b>206</b>	<b>258</b>	<b>288</b>	<b>314</b>	<b>322</b>	<b>330</b>	<b>337</b>	<b>345</b>
<b>Volumen requerido de aceite y biodiesel según Plan propuesto (miles m3/año)</b>																					
Aceite	0	0	0	0	21	44	44	91	92	94	96	97	99	101	103	104	106	108	110	111	113
Biodiesel	0	0	0	0	36	37	38	39	40	83	86	89	91	94	97	199	205	210	216	222	228
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>57</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>130</b>	<b>133</b>	<b>177</b>	<b>182</b>	<b>186</b>	<b>191</b>	<b>195</b>	<b>199</b>	<b>304</b>	<b>311</b>	<b>318</b>	<b>326</b>	<b>334</b>	<b>341</b>

Tomando en cuenta que no es rentable instalar una planta de extracción de aceite en los primeros años debido a que no habrá suficiente materia prima, se debe considerar que las semillas obtenidas en los primeros años deberán ser transportadas a las plantas de extracción existentes.

Por lo anterior, es necesario determinar la producción real de aceite por departamento considerando la entrada a operación de las plantas existentes en cada departamento y la estrategia a seguir para procesar la semilla de aquellos lugares en donde no se cuenta con capacidad suficiente de extracción.

Para efectos de este estudio se considerará la siguiente estrategia:

Del año 2012 al 2014, las semillas obtenidas en los departamentos de Santa Ana, La Paz y San Vicente, deberán ser enviadas a La Libertad donde serán procesadas con las plantas existentes.

En el año 2015, la semilla producida en Santa Ana será transportada a planta No. 1 ubicada en los límites entre La Paz y San Vicente con el fin de mejorar el factor de esta planta.

En los años 2019, 2025 y 2027, las semillas que no puedan procesarse en las plantas instaladas en La Paz y San Vicente serán transportadas a la Libertad para su procesamiento.

Finalmente, la producción del Departamento de San Miguel de los años 2016 y 2017, así como de 2030 y 2031 será enviada a las plantas instaladas en los límites entre La Paz y San Vicente.

Con base en estos supuestos se ha calculado la cantidad real de aceite que será producida en cada departamento y la energía necesaria para transportar la semilla (cuadro No. 10).

Cuadro No. 10

## Energía fósil requerida para el transporte de semilla a otros departamentos

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	<b>Producción de aceite por Departamento (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																					
	Santa Ana	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6	39,2	45,6	47,8	49,5	49,5	49,5	49,5	50,6	54,6	77,6	89,4	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
	La Libertad	0,0	1,1	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	La Paz/San Vicente	0,0	0,0	0,0	34,1	30,2	42,0	46,2	49,5	66,2	75,6	84,8	89,2	94,5	99,0	130,6	148,5	166,0	173,4	181,0	188,8	194,2
	San Miguel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	27,7	42,0	46,4	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	52,0
	<b>Total</b>	0,0	1,1	5,6	34,1	59,8	81,2	109,7	126,1	157,7	171,4	183,8	188,2	194,6	206,1	257,7	287,7	314,5	321,9	329,5	337,3	345,2
	<b>Distancia (km)</b>																					
	<b>Cantidad de semilla que se debe transportar a otros departamentos (miles de ton/año)</b>																					
74	De Santa Ana a La Libertad	0,0	1,71	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
163	De Santa Ana a La Paz/San Vicente	0,0	0,00	0,0	51,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
89	De La Paz/San Vicente a La Libertad	0,0	1,71	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80	De San Miguel a La Paz/San Vicente	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,3	0,0
	<b>Total</b>	0,0	3,4	16,8	51,1	1,8	8,5	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,9	0,0	0,0	0,2	1,3	0,0
	<b>Energía fósil requerida para transporte de semilla a otros departamentos (TJ/año) (1)</b>																					
	De Santa Ana a La Libertad	0,00	0,10	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	De Santa Ana a La Paz/San Vicente	0,00	0,00	0,00	6,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	De La Paz/San Vicente a La Libertad	0,00	0,12	0,60	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	De San Miguel a La Paz/San Vicente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00
	<b>Total</b>	0,00	0,22	1,09	6,66	0,12	0,54	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00
	(1) Se considera un consumo de 0,8 MJ/ton-km																					

### 10.1.3. Obtención del aceite vegetal

Durante la extracción del aceite vegetal de 1000 kg, se obtienen los siguientes materiales:

- |                        |          |
|------------------------|----------|
| 1. Residuos del fruto: | 648,9 kg |
| 2. Torta de semilla:   | 226.4 kg |
| 3. Aceite refinado:    | 103,0 kg |
| 4. Lodo del filtrado:  | 21,7 kg  |

Para estimar el consumo de energía requerida para extraer el aceite se ha considerado que la obtención de las semillas se realizará en el campo con el fin de que el residuo biomásico sea incorporado a las plantaciones.

Los recursos requeridos para la etapa de extracción se muestran en el cuadro No. 11.

Es importante señalar que debido a que actualmente El Salvador produce una gran parte de su electricidad a partir de energía fósil y que los planes de expansión de la generación eléctrica contemplan la instalación de plantas de diferentes tecnologías, es necesario determinar el consumo de energía fósil por cada MWh generado anualmente. Este ejercicio se presenta en el Anexo 1 y los resultados se incorporan en el cuadro No. 11 con el fin de calcular el consumo total de energía fósil asociada a la extracción del aceite.

**Cuadro No. 11**

**Cantidad total de recursos y energía requeridos para la extracción del aceite durante el periodo de análisis. 2013-2032**

Descripción	Unidad	Consumo por m <sup>3</sup> equivalente de aceite	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>ELECTRICIDAD:</b>																							
Obtención de semillas	GWh	0,00004067	0,0	0,2	1,4	2,4	3,3	4,5	5,1	6,4	7,0	7,5	7,7	7,9	8,4	10,5	11,7	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	151,0
Prensa extractora de aceite	GWh	0,00021871	0,2	1,2	7,4	13,1	17,8	24,0	27,6	34,5	37,5	40,2	41,2	42,6	45,1	56,4	62,9	68,8	70,4	72,1	73,8	75,5	812,1
Filtro	GWh	0,00000836	0,0	0,0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	2,2	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	31,0
<b>Total de electricidad</b>	<b>GWh</b>	<b>0,00026774</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>9,1</b>	<b>16,0</b>	<b>21,7</b>	<b>29,4</b>	<b>33,8</b>	<b>42,2</b>	<b>45,9</b>	<b>49,2</b>	<b>50,4</b>	<b>52,1</b>	<b>55,2</b>	<b>69,0</b>	<b>77,0</b>	<b>84,2</b>	<b>86,2</b>	<b>88,2</b>	<b>90,3</b>	<b>92,4</b>	<b>994,2</b>
Consumo de combustibles en electricidad (1)	MJ/MWh		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VAPOR</b>																							
Cocimiento, prensado, clarificación y filtrado	miles ton	0,0005400	0,6	3,0	18,4	32,3	43,8	59,2	68,1	85,1	92,6	99,3	101,6	105,1	111,3	139,1	155,4	169,8	173,8	177,9	182,1	186,4	2005,1
Extracción con solvente	miles ton	0,000387	0,4	2,2	13,2	23,1	31,4	42,4	48,8	61,0	66,3	71,1	72,8	75,3	79,7	99,7	111,3	121,7	124,6	127,5	130,5	133,6	1436,6
<b>Total de vapor</b>	<b>miles ton</b>	<b>0,000927</b>	<b>1,1</b>	<b>5,2</b>	<b>31,6</b>	<b>55,4</b>	<b>75,2</b>	<b>101,7</b>	<b>116,9</b>	<b>146,1</b>	<b>158,9</b>	<b>170,4</b>	<b>174,5</b>	<b>180,4</b>	<b>191,0</b>	<b>238,8</b>	<b>266,7</b>	<b>291,5</b>	<b>298,4</b>	<b>305,4</b>	<b>312,6</b>	<b>320,0</b>	<b>3441,8</b>
<b>AGUA DE REFRIGERACION</b>																							
	ton	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>SOLVENTE</b>																							
	m <sup>3</sup>	0,00193	2	11	66	116	157	212	244	305	332	356	364	377	399	498	557	608	623	637	652	668	7183
<b>PERSONAL (2)</b>																							
Personal vehículo propio	miles días-hombre	NA	1,5	1,5	1,5	2,9	2,9	4,4	4,4	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	7,3	8,8	8,8	10,2	10,2	10,2	10,2	11,7	125,6
Personal en autobús	miles días-hombre	NA	6,57	6,57	6,57	13,14	13,14	19,71	19,71	26,28	26,28	26,28	26,28	26,28	32,85	39,42	39,42	45,99	45,99	45,99	45,99	52,56	565
Energía fósil para electricidad	TJ		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía fósil para vapor (3)	TJ	0,003619	4,1	20,3	123	216	294	397	456	571	620	665	681	704	746	933	1041	1138	1165	1193	1221	1249	13439
Solvente	TJ	0,000436	0,5	2,4	14,9	26,1	35,4	47,9	55,0	68,8	74,8	80,2	82,1	84,9	90,0	112,5	125,6	137,2	140,5	143,8	147,2	150,7	1621
Transporte de semillas (4)	TJ	0,000048	0,1	0,3	1,6	2,9	3,9	5,3	6,1	7,6	8,2	8,8	9,0	9,3	9,9	12,4	13,8	15,1	15,5	15,8	16,2	16,6	178
Maquinaria y edificios	TJ	0,000939	1,1	5,3	32,0	56,2	76,2	103,0	118,4	148,0	160,9	172,6	176,7	182,7	193,5	241,9	270,1	295,2	302,2	309,4	316,7	324,1	3486
Energía en traslado del personal (5)	TJ	NA	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,50	1,50	1,75	1,75	1,75	1,75	2,00	21
<b>Consumo total de Energía Fósil</b>	<b>TJ</b>		<b>6</b>	<b>28</b>	<b>172</b>	<b>302</b>	<b>410</b>	<b>554</b>	<b>637</b>	<b>796</b>	<b>865</b>	<b>928</b>	<b>950</b>	<b>982</b>	<b>1041</b>	<b>1301</b>	<b>1452</b>	<b>1587</b>	<b>1625</b>	<b>1663</b>	<b>1702</b>	<b>1743</b>	<b>18745</b>

(1) Calculado de acuerdo con el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica

(2) Considera 22 personas por planta: 18 se trasladan en autobús y 4 en vehículo propio

(3) Vapor a 240°C a partir de agua recirculada a 50°C. Eficiencia del 70%

(4) Considera un transporte de 20 km hasta la planta de extracción

(5) Considera 40 km de traslado diario y que 18 personas viajarán en autobús mientras que 4 lo harán en automóvil propio con un consumo de 132,5 MJ/día-hombre

### 10.1.4. Producción de Biodiesel

Los balances de masa y energía de la producción de biodiesel a partir del aceite dependen de la tecnología seleccionada y las características del aceite a utilizar.

En cuanto a la composición del aceite obtenido a partir de la *Jatropha*, el cuadro No. 12 permite observar que se compone principalmente de ácidos grasos de los tipos palmítico, oleico y linoleico.

La composición química del aceite de la *jatropha* es tal que la masa molar es ligeramente mayor que del aceite palma (cuadro No. 13), por lo que tal y como se aprecia en el cuadro No. 14, los requerimientos del metanol así como la producción de glicerina obtenida como subproducto del proceso de producción son un 3% menores que los correspondientes a palma africana.

**Cuadro No. 12**

Composición del aceite de *Jatropha*

Ácidos Grasos	Teor (%)
Mirístico	0 - 0.1
Palmítico	14.1 - 15.3
Esterárico	3.7 - 9.8
Palmitoleico	0 - 1.3
Oleico	24.3 - 45.8
Linoleico	29.0 - 44.2
Ricinoleico	0 - 0.3
Araquídico	0 - 0.3
Behénico	0 - 0.2

**Cuadro No. 13**

Masa molar de varios tipos de aceites

Tipo de Aceite	Masa Molar (g/mol)	
	CADENA	TOTAL
Aceite de <i>Jatropha</i>	232,07	869,20
Aceite de Palma	225,14	848,41
Aceite de coquito	175,89	700,67



**Cuadro No. 14**

Relaciones estequiométricas para la producción de biodiesel a partir de varios tipos de aceite

Cantidad de aceite	Tipo	Cantidad de Metanol	Producción de Glicerina	Producción biodiesel
1000 kg	aceite de Jatropha	110,45 kg	105,8 kg	1004,60 kg
1000 kg	aceite de palma	113,15 kg	108,4 kg	1004,71 kg
1000 kg	aceite de coquito	137,01 kg	131,3 kg	1005,71 kg

Con respecto a la tecnología; para efectos de este estudio se utilizará la ESTERFIP de la empresa francesa AXENS, en la cual se utiliza la catálisis heterogénea con lo que se elimina el consumo de agua de lavado, hidróxido de sodio y ácido sulfúrico.

El plan de implementación propuesto (cuadro No. 2), plantea la sustitución parcial del diesel utilizado en la industria en equipos de llama abierta directamente con aceite, por lo que la cantidad de aceite que debe ser transformada a biodiesel sería la diferencia entre la capacidad de producción y el volumen requerido de aceite (cuadro No. 9). Esta cantidad se presenta en el cuadro No. 15 y se considera que antes del año 2016 todo el aceite que se produzca será utilizado directamente. Igualmente, se considera que los excedentes de producción de algunos años serán almacenados para consumirlos en el siguiente año con el fin de no adelantar la instalación de las plantas de biodiesel.

**Cuadro No. 15**

Cantidad de aceite disponible para obtener biodiesel. 2016-2032 (miles de m<sup>3</sup>/año)

Cantidad de aceite disponible para producción de biodiesel (miles de m <sup>3</sup> /año)																	
Año:	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
miles de m <sup>3</sup> /año	38,4	37,6	38,0	62,8	65,4	77,4	88,1	90,8	95,4	105,2	155,0	183,3	208,3	214,0	219,9	225,9	232,0

Tomando en cuenta esta información, sería necesario instalar 5 plantas de biodiesel de 150 m<sup>3</sup>/día y como este producto tendrá que ser enviado a Acajutla para que sea mezclado con el diesel convencional, es conveniente instalarlas cerca de este puerto de la siguiente forma:

Departamento de Santa Ana: una planta en el año 2016 y otra en el año 2025.

Límite entre los Departamentos de La Paz y San Vicente: una planta en el año 2019, otra en 2026 y una adicional en el año 2028.

De igual forma que en las etapas previas, en el cuadro No. 16 se resumen los recursos requeridos para la producción de biodiesel, el cual de acuerdo con el plan propuesto estará disponible a partir del año 2016.

**Cuadro No. 16**

Cantidad total de recursos y energía requeridos para la producción de biodiesel durante el periodo de análisis. 2016-2032

Descripción	Unidad	Consumo por m <sup>3</sup> de aceite	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	TOTAL
<b>AGUA DE PROCESO</b>	<b>ton</b>	<b>0,00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ELECTRICIDAD:</b>																				
Transesterificación	GWh	0,0000262	1,0	1,0	1,0	1,6	1,7	2,0	2,3	2,4	2,5	2,8	4,1	4,8	5,5	5,6	5,8	5,9	6,1	55,9
Agua de enfriamiento	GWh	0,0000465	1,8	1,7	1,8	2,9	3,0	3,6	4,1	4,2	4,4	4,9	7,2	8,5	9,7	9,9	10,2	10,5	10,8	99,3
<b>Total de electricidad</b>	<b>GWh</b>	<b>0,0000726</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>4,6</b>	<b>4,7</b>	<b>5,6</b>	<b>6,4</b>	<b>6,6</b>	<b>6,9</b>	<b>7,6</b>	<b>11,3</b>	<b>13,3</b>	<b>15,1</b>	<b>15,5</b>	<b>16,0</b>	<b>16,4</b>	<b>16,9</b>	<b>155,3</b>
Consumo de combustibles en electricidad (1)	MJ/MWh		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ton CO <sub>2</sub> /MWh			0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vapor</b>	<b>miles ton</b>	<b>0,0007921</b>	<b>30,4</b>	<b>29,8</b>	<b>30,1</b>	<b>49,7</b>	<b>51,8</b>	<b>61,3</b>	<b>69,8</b>	<b>71,9</b>	<b>75,6</b>	<b>83,3</b>	<b>122,8</b>	<b>145,2</b>	<b>165,0</b>	<b>169,5</b>	<b>174,2</b>	<b>178,9</b>	<b>183,8</b>	<b>1693,1</b>
<b>METANOL</b>	<b>ton</b>	<b>0,00000000</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>PERSONAL</b>																				
Personal vehículo propio	miles días-hombre	NA	1,46	1,46	1,46	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	4,38	5,84	5,84	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30	74,46
Personal en autobús (2)	miles días-hombre	NA	6,57	6,57	6,57	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	19,71	26,28	26,28	32,85	32,85	32,85	32,85	32,85	16395
Consumo total de energía fósil para electricidad	TJ		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Energía para consumo de vapor (3)	TJ	0,003093	119	116	117	194	202	239	272	281	295	325	479	567	644	662	680	699	718	6611
Metanol	TJ	0,002961	114	111	112	186	194	229	261	269	283	312	459	543	617	634	651	669	687	6330
Maquinaria y edificios	TJ	0,000939	36	35	36	59	61	73	83	85	90	99	146	172	196	201	206	212	218	2007
Energía en traslado del personal (4)	TJ		0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	12,7
<b>Consumo total de Energía Fósil</b>	<b>TJ</b>		<b>269</b>	<b>263</b>	<b>266</b>	<b>439</b>	<b>458</b>	<b>542</b>	<b>617</b>	<b>635</b>	<b>668</b>	<b>736</b>	<b>1085</b>	<b>1283</b>	<b>1458</b>	<b>1498</b>	<b>1539</b>	<b>1581</b>	<b>1624</b>	<b>14961</b>

(1) Calculado de acuerdo con el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica

(2) Considera 22 personas por planta

(3) Vapor a 240°C a partir de agua recirculada a 50°C. Eficiencia del 70%

(4) Considera 40 km de traslado diario y que 18 personas viajarán en autobús mientras que 4 lo harán en automóvil propio con un consumo de 132,5 MJ/día-hombre

### **10.1.5. Transporte de Biodiesel y Aceite**

Para efectos de este estudio, se considera que el biodiesel producido deberá ser transportado hasta Acajutla en donde será mezclado con el diesel convencional, mientras que el aceite será distribuido directamente a los consumidores industriales existentes en la zona de San Salvador.

Es necesario considerar que la producción de aceite reducirá el volumen de diesel que deberá ser transportado desde Acajutla por lo que debe considerarse un crédito a favor del proyecto por este concepto.

Por otro lado, la producción de biodiesel no afectará el sistema de distribución actual ya que se deberá transportar la misma cantidad de energía. Sin embargo, es necesario considerar que debido a que la energía de un litro de biodiesel equivale a 0,895 veces la correspondiente al diesel convencional, será necesario transportar un mayor volumen de combustibles.

Considerando ambos argumentos, en el cuadro No. 17 aparecen los volúmenes de aceite y biodiesel que serán producidos en cada departamento, así como la cantidad de energía fósil adicional requerida para el transporte de estos combustibles.

Si bien los camiones cisternas vacíos podrían viajar hasta las plantas de biodiesel a cargar el producto que deberá ser transportado, para efectos del análisis se considerará camiones independientes para cada actividad.

**Cuadro No. 17**

Energía fósil adicional requerida para transportar el aceite y el biodiesel durante el periodo de análisis. 2013-2032

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
<b>Producción de aceite por Departamento (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																						<b>Distancia a San Salvador</b>
Santa Ana	0,0	0,0	0,0	29,6	39,2	45,6	47,8	49,5	49,5	49,5	49,5	50,6	54,6	77,6	89,4	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	113
La Libertad	1,1	5,6	0,0	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34
La Paz/San Vicente	0,0	0,0	34,1	30,2	42,0	46,2	49,5	66,2	75,6	84,8	89,2	94,5	99,0	130,6	148,5	166,0	173,4	181,0	188,8	194,2		55
San Miguel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	27,7	42,0	46,4	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	52,0		138
<b>Total</b>	1,1	5,6	34,1	59,8	81,2	109,7	126,1	157,7	171,4	183,8	188,2	194,6	206,1	257,7	287,7	314,5	321,9	329,5	337,3	345,2		
<b>Producción de biodiesel por Departamento (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																						<b>Distancia a Acajutla</b>
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
Santa Ana	0,0	0,0	0,0	38,4	37,6	38,0	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	113
La Libertad	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75
La Paz/San Vicente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	15,9	27,9	38,6	41,3	45,9	6,2	56,0	84,3	109,3	115,0	120,9	126,9	133,0		140
San Miguel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		221
<b>Total</b>	0,0	0,0	0,0	38,4	37,6	38,0	62,8	65,4	77,4	88,1	90,8	95,4	105,2	155,0	183,3	208,3	214,0	219,9	225,9	232,0		
<b>Total millones m<sup>3</sup>-km</b>																						<b>Total</b>
Santa Ana	0,00	0,00	0,00	7,69	8,67	9,45	11,00	11,19	11,19	11,19	11,19	11,31	17,36	19,95	21,29	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	22,37	263,34
La Libertad	0,04	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38
La Paz/San Vicente	0,00	0,00	1,87	1,66	2,31	2,54	4,58	5,86	8,06	10,07	10,68	11,63	6,31	15,03	19,97	24,43	25,64	26,88	28,15	29,30		234,99
San Miguel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46	3,82	5,79	6,40	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	7,18		93,97
<b>Total</b>	0,04	0,19	1,87	9,35	10,98	14,45	19,44	22,84	25,65	28,09	28,70	29,77	30,61	41,81	48,10	53,64	54,85	56,09	57,35	58,86		592,67
<b>Actual (1)</b>	0,09	0,43	2,62	4,22	5,87	8,06	9,07	11,48	12,41	13,26	13,57	14,02	14,81	18,27	20,30	22,11	22,62	23,15	23,68	24,23		264,28
<b>Energía Total para transporte (TJ) (2)</b>																						<b>Total</b>
Santa Ana	0,00	0,00	0,00	2,15	2,42	2,64	3,07	3,12	3,12	3,12	3,12	3,16	4,85	5,57	5,94	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	73,52
La Libertad	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
La Paz/San Vicente	0,00	0,00	0,52	0,46	0,64	0,71	1,28	1,64	2,25	2,81	2,98	3,25	1,76	4,19	5,57	6,82	7,16	7,50	7,86	8,18		65,60
San Miguel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	1,07	1,62	1,79	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	2,00		26,23
<b>Total</b>	0,01	0,05	0,52	2,61	3,07	4,03	5,43	6,38	7,16	7,84	8,01	8,31	8,54	11,67	13,43	14,97	15,31	15,66	16,01	16,43		165,45
<b>Actual</b>	0,02	0,12	0,73	1,18	1,64	2,25	2,53	3,20	3,47	3,70	3,79	3,91	4,13	5,10	5,67	6,17	6,32	6,46	6,61	6,77		73,8
<b>Diferencia</b>	-0,01	-0,07	-0,21	1,43	1,43	1,78	2,89	3,17	3,69	4,14	4,22	4,40	4,41	6,57	7,76	8,80	9,00	9,20	9,40	9,67		91,7

(1) Considera una distancia de 86 km de Acajutla a San Salvador y una conversión de 0,895 lt de diesel/lt de biodiesel  
(2) Se estima un consumo de 3,17 km/litro vacío y 2,11 km/litro cargado para un consumo de 0,279 MJ/ton-m<sup>3</sup>

### **10.1.6. Producción de energía y balance global**

La obtención de aceite y biodiesel genera a la vez una serie de residuos como lo son:

- Madera obtenida durante las podas
- Los residuos de la fruta
- La torta de la extracción del aceite
- El efluente de la extracción
- La glicerina

De estos residuos, se considerará que únicamente la glicerina podría utilizarse para sustituir el consumo de energía fósil como sustituto de fuel oil.

Por lo anterior, la producción anual de energía de acuerdo con el plan de implementación propuesto en el cuadro No. 2, así como el balance global por año se muestra en el cuadro No. 18.

De este cuadro se puede deducir que la tasa neta de energía obtenida es de 2,77, en otras palabras, se puede concluir que con el plan de implementación propuesto (cuadro No. 2), por cada unidad de energía fósil utilizada, se obtienen en total 3,77 unidades.

También es conveniente mencionar que en los primeros tres años del proyecto se tendrían flujo de energía negativos, los cuales se compensan rápidamente en el cuarto y quinto año.

**Cuadro No. 18**

Balance global de Energía para la producción de aceite y biodiesel según el plan de implementación propuesto (TJ)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Energía en aceite</b>	0	39	194	1178	2069	2807	3794	4361	5453	5928	6358	6509	6731	7128	8912	9950	10875	11133	11396	11664	11939	128417
<b>Energía en biodiesel</b>	0	0	0	0	1295	1266	1280	2116	2203	2609	2969	3059	3217	3545	5225	6178	7021	7214	7411	7613	7821	72042
<b>Energía en Glicerina</b>	0	0	0	0	68	66	67	111	116	137	156	161	169	186	274	324	368	379	389	400	410	3781
<b>Producción de Energía final</b>	0	39	194	1178	3432	4139	5141	6587	7772	8674	9483	9728	10116	10860	14410	16452	18265	18726	19196	19677	20170	204240
<b>Fase agrícola</b>	235	220	221	484	457	710	674	730	811	829	869	1279	1116	1208	1336	1418	1501	1488	1523	1558	1595	20262
<b>Transporte semilla</b>	0	0	1	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
<b>Extracción aceite</b>	0	6	28	172	302	410	554	637	796	865	928	950	982	1041	1301	1452	1587	1625	1663	1702	1743	18745
<b>Producción biodiesel</b>	0	0	0	0	269	263	266	439	458	542	617	635	668	736	1085	1283	1458	1498	1539	1581	1624	14961
<b>Transporte adicional</b>	0	0	0	0	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	7	8	9	9	9	9	10	92
<b>Consumo total de Energía</b>	235	226	250	663	1030	1384	1496	1809	2068	2240	2418	2869	2770	2990	3728	4161	4555	4620	4734	4851	4972	54070
<b>Balance final</b>	-235	-187	-56	515	2402	2755	3645	4778	5704	6434	7065	6860	7346	7870	10682	12291	13710	14106	14462	14826	15198	150171
<b>Balance acumulado</b>	-235	-421	-478	37	2439	5194	8839	13618	19322	25755	32821	39680	47026	54896	65578	77870	91579	105685	120147	134973	150171	

### **10.1.7. Balance global considerando subproductos**

Los resultados del balance energético global considerando todos los subproductos se resumen en el cuadro No. 19.

En este cuadro se considera que la torta de la semilla sería utilizada como fertilizante a pesar de que su poder calórico como combustible podría ser más alto debido a que este uso podría no cumplir con los estándares de emisión de gases establecidos en El Salvador.

Con respecto a los residuos de los frutos y los efluentes de la extracción de aceite, aunque estos se reincorporan al suelo, no se considera ningún beneficio energético debido al contenido de agua que poseen.

Al incluir el valor energético de todos los subproductos se observa que tasa neta de energía sube a 4,40, en otras palabras, el plan de implementación propuesto (cuadro No. 2), permite obtener 5,40 unidades de energía por cada unidad de energía fósil utilizada.

Se debe considerar sin embargo, que las hectáreas que se utilizarían en la producción de jatropha, a pesar de ser ociosas, producen cierta cantidad de biomasa que podría aprovecharse en la producción de energía.

En el cuadro No. 20, se resumen las hectáreas disponibles para la producción natural de biomasa durante el periodo de análisis y la producción natural de energía asociada. Esta energía se descuenta de la obtenida en el cuadro No. 19 con el fin de obtener la cantidad de energía real adicionada a la matriz energética nacional.

Tal y como se observa, la generación de energía renovable en el periodo de análisis sería de 204 mil TJ, con lo que se obtiene una tasa neta de energía de 2,79.

Cuadro No. 19

Balance global de Energía para la producción de aceite y biodiesel considerando subproductos (TJ)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total	MJ/ton	
<b>Resumen de producción de subproductos (miles de ton/año)</b>																								
<b>Madera de Poda</b>	0,0	0	55	134	158	262	361	421	515	550	603	638	653	765	880	900	1018	1091	1117	1143	1170	12433	9000	
<b>Residuos de fruta</b>	0	6	31	189	332	450	608	699	874	950	1019	1043	1079	1143	1429	1595	1743	1785	1827	1870	1914	20586	0	
<b>Torta de semilla</b>	0	2	11	66	116	157	212	244	305	332	356	364	376	399	498	556	608	623	637	652	668	7182	4176	
<b>Efluentes</b>	0	0	1	6	11	15	20	23	29	32	34	35	36	38	48	53	58	60	61	63	64	688	0	
<b>Energía en subproductos (TJ)</b>																								
<b>Madera de Poda</b>	0,0	0	498	1202	1424	2355	3249	3787	4639	4948	5429	5739	5874	6882	7916	8104	9165	9817	10050	10287	10529	111895		
<b>Residuos de fruta</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Torta de semilla</b>	0	9	45	275	483	656	886	1019	1274	1385	1485	1520	1572	1665	2082	2324	2540	2601	2662	2725	2789	29996		
<b>Efluentes</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>TOTAL subproductos</b>	0	9	544	1477	1908	3011	4136	4805	5913	6333	6914	7260	7447	8547	9997	10428	11705	12418	12712	13012	13318	141890		
<b>Balance final con subproductos</b>	-235	-177	487	1992	4309	5766	7781	9583	11617	12766	13979	14119	14793	16417	20679	22719	25415	26523	27174	27837	28516	292061		
<b>Balance acumulado</b>	-235	-412	75	2067	6376	12142	19923	29507	41123	53890	67869	81988	96781	113198	133877	156596	182011	208534	235708	263545	292061			

Cuadro No. 20

Energía neta obtenida con la producción de aceite y biodiesel considerando subproductos (TJ)

Energía de biomasa natural no producida en las áreas utilizadas para cultivos de jatropha (TJ)																						
Descripción	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Area acumulada (hectáreas)</b>	22153	31254	32050	50471	51619	69004	70679	72373	74085	75814	77559	118040	120906	123795	126703	129683	132736	135864	139070	142356	145722	
<b>Biomasa no producida (miles ton)</b>	111	156	160	252	258	345	353	362	370	379	388	590	605	619	634	648	664	679	695	712	729	9710
<b>Energía no producida (TJ)</b>	997	1406	1442	2271	2323	3105	3181	3257	3334	3412	3490	5312	5441	5571	5702	5836	5973	6114	6258	6406	6558	87387
<b>Energía neta obtenida (TJ)</b>	-1232	-1584	-955	-279	1987	2661	4600	6327	8283	9355	10489	8808	9352	10846	14978	16883	19442	20409	20916	21431	21959	204674
<b>Balance acumulado (TJ)</b>	-1232	-2815	-3771	-4050	-2063	597	5198	11524	19807	29162	39651	48459	57810	68657	83634	100518	119959	140368	161284	182715	204674	



## **10.2. Etanol**

Partiendo de la figura No.2, los balances de masa y energía así como los análisis del ciclo de vida de la producción de Etanol serán realizados considerando las siguientes etapas:

- Producción Agrícola de la Caña de azúcar
- Producción de Etanol puro
- Preparación de mezclas
- Distribución de mezclas
- Consumo final

### **10.2.1. Producción agrícola de la caña de azúcar**

De la misma forma que en el caso de la *Jatropha*; los insumos y recursos necesarios para la producción de caña de azúcar son naturales (luz, agua de lluvia, dióxido de carbono, etc.) y las condiciones meteorológicas de El Salvador son tales que no es necesario considerar irrigación artificial.

El único subproducto de interés obtenido en la fase agrícola es el residuo agrícola de la cosecha (rac) que para efectos de este estudio se estima una producción de 0,29 ton por ton de caña de azúcar producida.

En cuanto a la cosecha se considera que la misma será realizada de una forma manual y que se realizará con base en un ciclo de 4 años. En el primero se siembra y en los tres años siguientes se procede a cortar los retoños, de tal forma que en el quinto año se deberá sembrar de nuevo.

Durante esta etapa se considera el uso de fertilizantes durante el periodo de análisis y la energía necesaria para el transporte de estos productos químicos. También es necesario tomar en cuenta el consumo de otros productos como insecticidas y herbicidas. Igualmente, el consumo de energía durante el proceso agrícola debe considerar cuáles operaciones se realizan manualmente y cuáles por medios mecánicos.

Dada la alta disponibilidad de mano de obra existente en El Salvador, se ha considerado que la mayoría de las actividades agrícolas se realizarán manualmente.

El cuadro No. 21 resume los requerimientos de recursos que se requieren anualmente por hectárea de caña de azúcar. Al utilizar esta información y el número de hectáreas a sembrar de caña de azúcar que aparece en el cuadro No. 3 es posible calcular la cantidad anual de recursos necesarios (cuadro No. 22) y la total a lo largo de los 20 años considerados en el

estudio (cuadro No. 23) para lo cual se ha tomado la resiembra de las hectáreas cada cuatro años.

**Cuadro No. 21**

Actividades e insumos requeridos para cultivar una hectárea de caña de azúcar

Descripción	Unidad	Año			
		0	1	2	3
<b>1 - Operaciones Manuales</b>					
Plantación	días hombre	23	0	0	0
Mantenimiento	días hombre	14	16	16	16
Fertilización	días hombre	2,2	2,2	2,2	2,2
Combate a insectos	días hombre	2	2	2	2
Cosecha	días hombre	40	45	45	45
<b>2 - Operaciones Mecánicas</b>					
Arado	horas máquina	4	0	0	0
Gradeo	horas máquina	0	0	0	0
Encalar	horas máquina	0	0	0	0
Fertilización	horas máquina	0	0	0	0
Rozar	horas máquina	0	0	0	0
Pulverizar	horas máquina	0	0	0	0
Transporte Interno (1)	km-ton	462,4	459,6	459,6	459,6
Transporte de caña (2)	km-ton	708,9	708,9	708,9	708,9
Cosecha	horas máquina	0	0	0	0
<b>3 - Insumos</b>					
Carbonato de Calcio	ton	2	2	2	2
Superfosfato triple	ton	0,27	0,05	0,05	0,05
Cloruro de Potasio	ton	0,185	0,181	0,18	0,18
Urea	ton	0,103	0,189	0,189	0,189
Ácido Bórico	L	0	0	0	0
Herbicida	kg	2,2	2,2	2,2	2,2
Fungicida	L	0	0	0	0
Insecticida	L	0,16	0,16	0,16	0,16
Semilla	ton	2,06	0	0	0
Residuo de la Cosecha (RAC)	ton	20,6	20,6	20,6	20,6
(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes un promedio de 20 km					
(2) 10 km promedio					

De igual forma, considerando los factores energéticos unitarios para cada tipo de recurso que se resumen en el cuadro No. 23, se ha obtenido la cantidad total de energía necesaria para producir la caña de azúcar requerida durante el periodo de análisis.

**Cuadro No. 22**

**Cantidad anual de recursos requeridos para la producción de caña de azúcar**

Descripción	Unidad	Año																				TOTAL
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
<b>Operaciones Manuales</b>																						
Plantación	miles días hombre	148,8	12,2	12,5	12,8	161,9	25,5	26,1	26,8	176,2	40,1	41,0	41,9	191,6	55,8	57,0	58,1	208,1	73,0	74,9	76,9	1521
Mantenimiento	miles días hombre	90,6	110,9	119,6	128,4	124,5	145,7	155,2	164,9	161,8	183,8	194,1	204,6	202,3	225,0	236,0	247,2	245,6	269,3	281,6	294,5	3785
Fertilización	miles días hombre	14,2	15,4	16,6	17,8	19,1	20,3	21,6	23,0	24,4	25,8	27,2	28,6	30,1	31,6	33,1	34,7	36,3	37,9	39,6	41,4	539
Combate a insectos	miles días hombre	12,9	14,0	15,1	16,2	17,3	18,5	19,7	20,9	22,1	23,4	24,7	26,0	27,4	28,7	30,1	31,5	33,0	34,5	36,0	37,6	490
Cosecha	miles días hombre	258,8	312,3	336,6	361,5	354,7	410,5	437,1	464,4	459,9	518,0	547,0	576,5	574,1	634,4	665,4	696,9	696,4	759,3	794,0	830,2	10688
<b>Operaciones Mecánicas</b>																						
Arado	miles horas máquina	25,9	2,1	2,2	2,2	28,2	4,4	4,5	4,7	30,6	7,0	7,1	7,3	33,3	9,7	9,9	10,1	36,2	12,7	13,0	13,4	265
Gradeo	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Encalar	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rozar	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulverizar	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transporte Interno (1)	miles km-ton	2992	3218	3467	3723	4001	4253	4526	4806	5109	5385	5683	5986	6313	6611	6930	7254	7600	7926	8285	8660	112728
Transporte de caña (2)	miles km-ton	0	5041	5453	5875	6307	6750	7203	7667	8141	8625	9120	9624	10138	10662	11194	11735	12284	12840	13413	14005	176077
Cosecha	miles horas máquina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Insumos</b>																						
Carbonato de Calcio	miles ton	12,9	14,0	15,1	16,2	17,3	18,5	19,7	20,9	22,1	23,4	24,7	26,0	27,4	28,7	30,1	31,5	33,0	34,5	36,0	37,6	490
Superfosfato triple	ton	1758	495	528	561	2001	744	782	821	2267	1015	1059	1104	2555	1309	1357	1406	2862	1626	1687	1750	27687
Cloruro de Potasio	ton	1200	1267	1365	1466	1599	1676	1784	1894	2037	2123	2241	2360	2512	2608	2734	2861	3021	3128	3269	3417	44562
	ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Urea	ton	666	1275	1376	1479	1030	1648	1758	1871	1431	2058	2176	2298	1866	2501	2628	2756	2332	2976	3116	3263	40504
Ácido Bórico	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Herbicida	ton	14,2	15,4	16,6	17,8	19,1	20,3	21,6	23,0	24,4	25,8	27,2	28,6	30,1	31,6	33,1	34,7	36,3	37,9	39,6	41,4	539
Fungicida	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecticida	L	1035	1120	1206	1295	1386	1479	1575	1672	1771	1873	1976	2082	2190	2299	2410	2523	2637	2756	2881	3011	39178
Semilla	miles	13,3	1,1	1,1	1,1	14,5	2,3	2,3	2,4	15,7	3,6	3,7	3,7	17,1	5,0	5,1	5,2	18,6	6,5	6,7	6,9	136,0
Residuos de la Cosecha	miles ton	133,0	143,9	155,0	166,4	178,1	190,1	202,3	214,8	227,6	240,6	254,0	267,5	281,3	295,4	309,7	324,1	338,8	354,1	370,2	386,9	5034
<b>(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes un promedio de 20 km</b>																						
<b>(2) 10 km promedio</b>																						

**Cuadro No. 23**

Cantidad total de recursos y energía requeridos para la producción de caña de azúcar durante el periodo de análisis. 2012-2032

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Factor Energético (MJ/Unidad)</b>	<b>Consumo total de Energía (TJ)</b>
<b>Operaciones Manuales</b>				
Plantación	días hombre	1,52E+06	8,56	13,02
Mantenimiento	días hombre	3,79E+06	8,56	32,40
Fertilización	días hombre	5,39E+05	8,56	4,61
Combate a insectos	días hombre	4,90E+05	8,56	4,19
Cosecha	días hombre	1,07E+07	8,56	91,49
<b>Operaciones Mecánicas</b>				
Arado	horas máquina	2,65E+05	880,67	233,01
Gradeo	horas máquina	0,00E+00	880,67	0,00
Encalar	horas máquina	0,00E+00	880,67	0,00
Fertilización	horas máquina	0,00E+00	880,67	0,00
Rozar	horas máquina	0,00E+00	880,67	0,00
Pulverizar	horas máquina	0,00E+00	880,67	0,00
Transporte Interno (1)	km-ton	1,13E+08	2,8	315,64
Transporte de caña (2)	miles de km-ton	1,76E+05	3680	648
Cosecha	horas máquina	0,00E+00		0,00
<b>Insumos</b>				
Carbonato de Calcio	ton	4,90E+05	1176	575,86
Superfosfato triple	ton	2,77E+04	4200	116,29
Cloruro de Potasio	ton	4,46E+04	4000	178,25
Urea	ton	4,05E+04	22400	907,30
Ácido Bórico	L	0,00E+00	No disponible	
Herbicida	kg	5,39E+05	418,4	225,39
Fungicida	L	0,00E+00	245,57	0,00
Insecticida	L	3,92E+04	245,57	9,62
Semilla	ton	1,36E+05	100,40	13,65
Residuos de la Cosecha	tm	5,03E+06	6521	32826
			<b>Total (TJ):</b>	<b>3369</b>
(1) Se considera la necesidad de transportar los fertilizantes un promedio de 20 km				
(2) 10 km promedio				

### **10.2.2. Producción de melaza y caña adicional**

Debido a que se ha considerado que se aprovechará un 60% de la melaza que es producida actualmente en El Salvador para destinarla a la producción de etanol, solo se estimará la energía necesaria para obtener el jugo adicional requerido para cumplir con el plan de implementación propuesto en el cuadro No. 2.

Para esto se considerará que las plantaciones adicionales de caña de azúcar se distribuirán en la misma proporción que existe actualmente entre los diferentes ingenios, por lo que el área adicional a sembrar según el área de influencia de los diferentes ingenios aparece en el cuadro No. 24 junto con la producción de caña correspondiente.

Para efectos del balance de masa se considera que por cada hectárea sembrada se obtendrán 70,9 tm de caña, de las cuales; un 73,6% se recupera en forma de jugo y un 26,4% corresponde al bagazo el cual se utiliza como fuente de energía para el proceso de producción de azúcar.

Dependiendo de la tecnología empleada, es posible que el ingenio y la destilería puedan ser operadas con la energía obtenida del bagazo e incluso producir un excedente de energía para la red.

Por esta razón, para efectos de este estudio se considerará que no existirán excedentes de bagazo que puedan comercializarse.

Adicionalmente, se considerará que la producción de jugo estará integrada a la producción de etanol con el fin de aprovechar la energía del bagazo obtenido como subproducto de la extracción.

**Cuadro No. 24**

Distribución de las hectáreas adicionales a sembrar y producción de caña según la zona de influencia de cada ingenio.

<b>Hectáreas a sembrar según el área de influencia de cada Ingenio</b>																					
<b>Ingenio</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>
<b>La Magdalena</b>	0	336	27,4	28,1	28,8	29,5	30,2	30,9	31,6	32,3	32,9	33,6	34,2	34,9	35,5	36,0	36,5	37,0	38,7	40,5	42,3
<b>Izalco</b>	0	1564	128	131	134	137	141	144	147	150	153	157	160	162	165	168	170	173	180	189	197
<b>La Cabaña</b>	0	1428	117	120	122	125	128	131	134	137	140	143	146	148	151	153	155	157	165	172	180
<b>El Angel</b>	0	1626	133	136	139	143	146	150	153	156	159	163	166	169	172	174	177	179	187	196	205
<b>Jiboa</b>	0	795	65	67	68	70	71	73	75	76	78	80	81	83	84	85	87	88	92	96	100
<b>Chaparrastique</b>	0	722	59	60	62	63	65	66	68	69	71	72	74	75	76	77	79	80	83	87	91
<b>Total</b>	0	6470	528	542	555	568	582	595	608	622	635	647	660	672	683	694	704	714	746	780	815
<b>Producción de caña (miles ton/año)</b>																					
<b>La Magdalena</b>	0	0	26,2	28,3	30,5	32,7	35,0	37,4	39,8	42,2	44,8	47,3	49,9	52,6	55,3	58,1	60,9	63,7	66,6	69,6	72,7
<b>Izalco</b>	0	0	122	132	142	152	163	174	185	197	209	220	233	245	258	271	284	297	310	324	339
<b>La Cabaña</b>	0	0	111	120	130	139	149	159	169	180	190	201	212	224	235	247	259	271	283	296	309
<b>El Angel</b>	0	0	127	137	148	159	170	181	193	205	217	229	242	255	268	281	295	309	323	337	352
<b>Jiboa</b>	0	0	62	67	72	77	83	88	94	100	106	112	118	125	131	138	144	151	158	165	172
<b>Chaparrastique</b>	0	0	56	61	66	70	75	80	86	91	96	102	107	113	119	125	131	137	143	150	156
<b>Total</b>	0	0	504	545	587	631	675	720	767	814	863	912	962	1014	1066	1119	1173	1228	1284	1341	1400

### **10.2.3. Transporte de melaza y caña**

Dado que las plantas de fermentación y destilación no se encuentran en todos los ingenios, es necesario plantear una estrategia para el procesamiento de las melazas disponibles y la caña de azúcar proveniente de las plantaciones futuras.

Si bien, se ha considerado que el 60% de las melazas estarán disponibles para la obtención de etanol, lo más conveniente es que los ingenios que cuentan con una planta de destilación cerca, envíen toda la melaza disponible a estas plantas y que las necesidades nacionales de melaza sean cubiertas por el resto de los ingenios. Sin embargo, con el fin de analizar el peor escenario, se considerará que cada ingenio dispondrá del 60% de su melaza para la producción del etanol requerido según el plan propuesto, de tal forma que con el 40% restante hagan frente a sus compromisos comerciales.

Retomando la información del cuadro No. 3 y considerando que las nuevas plantaciones se distribuirán de la misma forma que las plantaciones actuales, se tiene que la disponibilidad de melazas y caña de cada ingenio serían las que aparecen en el cuadro No. 25.

Tomando en cuenta que en los años 2012 y 2013 solo estará disponible la planta de La Cabaña, que la destilería de El Carmen arrancarían en el año 2014 y que en el 2017 entrarían a operar dos plantas adicionales en El Angel y Jiboa; se tiene que la cantidad de melaza y de caña de azúcar que estarían enviando los ingenios a las plantas de destilación disponibles sería la que se muestra en el cuadro No. 26.

En este cuadro aparece además la distancia estimada entre los ingenios y las plantas de destilación que estarán procesando las melazas y la caña adicional y con base en estas distancias se ha procedido a calcular la cantidad de energía necesaria para el transporte de las materias primas a utilizar en la producción de etanol (cuadro No. 27).

Es conveniente hacer notar que no se considera la energía necesaria para transportar melazas o la caña a El Angel debido a que se ha supuesto que esta planta operará exclusivamente con las materias primas producidas por el mismo ingenio y la energía necesaria para el transporte de la caña ya fue considerada en la etapa agrícola.

Cuadro No. 25

## Disponibilidad de melazas y de caña por ingenio

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
<b>Disponibilidad de Melaza por Ingenio (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																						
La Magdalena	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	
Izalco	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	
La Cabaña	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	
El Angel	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	
Jiboa	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	
Chaparrastique	0,0	3,8	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	
<b>Total</b>	<b>94,1</b>	<b>97,9</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	<b>105,7</b>	
<b>Producción de caña adicional por Ingenio (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																						
La Magdalena	0,0	0,0	26,2	28,3	30,5	32,7	35,0	37,4	39,8	42,2	44,8	47,3	49,9	52,6	55,3	58,1	60,9	63,7	66,6	69,6	72,7	
Izalco	0,0	0,0	121,9	131,8	142,0	152,5	163,2	174,1	185,3	196,8	208,5	220,5	232,7	245,1	257,7	270,6	283,7	297,0	310,4	324,3	338,6	
La Cabaña	0,0	0,0	111,2	120,3	129,6	139,2	149,0	159,0	169,2	179,6	190,3	201,2	212,4	223,7	235,3	247,0	259,0	271,1	283,3	296,0	309,0	
El Angel	0,0	0,0	126,7	137,0	147,6	158,5	169,6	181,0	192,7	204,6	216,8	229,2	241,9	254,8	267,9	281,3	294,9	308,7	322,7	337,1	351,9	
Jiboa	0,0	0,0	61,9	67,0	72,2	77,5	82,9	88,5	94,2	100,0	106,0	112,0	118,2	124,5	131,0	137,5	144,2	150,9	157,7	164,8	172,0	
Chaparrastique	0,0	0,0	56,2	60,8	65,5	70,4	75,3	80,4	85,5	90,8	96,2	101,7	107,4	113,1	118,9	124,9	130,9	137,0	143,2	149,6	156,2	
<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>504,1</b>	<b>545,3</b>	<b>587,5</b>	<b>630,7</b>	<b>675,0</b>	<b>720,3</b>	<b>766,7</b>	<b>814,1</b>	<b>862,5</b>	<b>912,0</b>	<b>962,4</b>	<b>1013,8</b>	<b>1066,2</b>	<b>1119,4</b>	<b>1173,5</b>	<b>1228,4</b>	<b>1284,0</b>	<b>1341,3</b>	<b>1400,5</b>	



Cuadro No. 26

Transporte de melazas y caña a las diferentes plantas de destilación planteadas

Distancia (km)	Cantidad de melaza que se debe transportar (miles de m3/año)																					
64	De La Magdalena a La Cabaña	6,1	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
78	De Izalco a La Cabaña	29,0	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	De El Angel a La Cabaña	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
88	De Jiboa a La Cabaña	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
166	De Chaparrastique a La Cabaña	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Total</b>	<b>73,6</b>	<b>77,4</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Distancia (km)	Cantidad de caña que se debe transportar (miles de ton/año)																					
51	De La Magdalena a El Carmen	0,0	0,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
14	De Izalco a El Carmen	0,0	0,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
55	De El Angel a El Carmen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
111	De Jiboa a El Carmen	0,0	0,0	11,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
189	De Chaparrastique a El Carmen	0,0	0,0	11,6	11,6	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>57,7</b>	<b>57,7</b>	<b>57,7</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>	<b>35,1</b>
78	De Chaparrastique a Jiboa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
Distancia (km)	Cantidad de caña que se debe transportar (miles de ton/año)																					
64	De La Magdalena a La Cabaña	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
78	De Izalco a La Cabaña	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	De El Angel a La Cabaña	0,0	0,0	126,7	137,0	147,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
88	De Jiboa a La Cabaña	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
166	De Chaparrastique a La Cabaña	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>126,7</b>	<b>137,0</b>	<b>147,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>10,0</b>
Distancia (km)	Cantidad de caña que se debe transportar (miles de ton/año)																					
51	De La Magdalena a El Carmen	0,0	0,0	26,2	28,3	30,5	32,7	35,0	37,4	39,8	42,2	44,8	47,3	49,9	52,6	55,3	58,1	60,9	63,7	66,6	69,6	62,7
14	De Izalco a El Carmen	0,0	0,0	121,9	131,8	142,0	152,5	163,2	174,1	185,3	196,8	208,5	220,5	232,7	245,1	257,7	270,6	283,7	297,0	310,4	324,3	338,6
55	De El Angel a El Carmen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
111	De Jiboa a El Carmen	0,0	0,0	61,9	67,0	72,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
189	De Chaparrastique a El Carmen	0,0	0,0	56,2	60,8	65,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>266,2</b>	<b>287,9</b>	<b>310,2</b>	<b>185,2</b>	<b>198,2</b>	<b>211,5</b>	<b>225,1</b>	<b>239,0</b>	<b>253,3</b>	<b>267,8</b>	<b>282,6</b>	<b>297,7</b>	<b>313,1</b>	<b>328,7</b>	<b>344,6</b>	<b>360,7</b>	<b>377,0</b>	<b>393,9</b>	<b>401,2</b>
78	De Chaparrastique a Jiboa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,4	75,3	80,4	85,5	90,8	96,2	101,7	107,4	113,1	118,9	124,9	130,9	137,0	143,2	149,6	156,2

Cuadro No. 27

Energía requerida para el transporte de melazas y jugo a las diferentes plantas de destilación planteadas

Energía fósil requerida para transporte de melaza y caña a La Cabaña (TJ/año) (1)																					
De La Magdalena	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
De Izalco	9,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De El Angel	3,0	3,0	12,5	13,3	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De Jiboa	3,9	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De Chaparrastique	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>17,4</b>	<b>19,9</b>	<b>12,5</b>	<b>13,3</b>	<b>14,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,8</b>
Energía fósil requerida para transporte de melaza y caña a El Carmen (TJ/año) (1)																					
De La Magdalena	0,0	0,0	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,6	6,9	7,3	7,6	8,0	8,4	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,2	10,2
De Izalco	0,0	0,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,9	9,3	9,8	10,3	10,7	11,2	11,7	12,2	12,7	13,3	13,8	14,3	14,9
De El Angel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De Jiboa	0,0	0,0	24,1	25,7	27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
De Chaparrastique	0,0	0,0	38,5	40,9	43,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>73,96</b>	<b>78,65</b>	<b>83,47</b>	<b>13,49</b>	<b>14,24</b>	<b>15,01</b>	<b>15,79</b>	<b>16,59</b>	<b>17,41</b>	<b>18,24</b>	<b>19,09</b>	<b>19,96</b>	<b>20,85</b>	<b>21,74</b>	<b>22,66</b>	<b>23,58</b>	<b>24,52</b>	<b>25,49</b>	<b>25,06</b>
Energía fósil requerida para transporte de melaza y caña a Jiboa (TJ/año) (1)																					
De Chaparrastique	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	5,7	6,0	6,4	6,7	7,0	7,4	7,7	8,1	8,5	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8
<b>Energía fósil Total Requerida (TJ/año)</b>	<b>17,4</b>	<b>19,9</b>	<b>86,5</b>	<b>92,0</b>	<b>97,6</b>	<b>18,9</b>	<b>20,0</b>	<b>21,0</b>	<b>22,2</b>	<b>23,3</b>	<b>24,4</b>	<b>25,6</b>	<b>26,8</b>	<b>28,0</b>	<b>29,3</b>	<b>30,6</b>	<b>31,9</b>	<b>33,2</b>	<b>34,5</b>	<b>35,9</b>	<b>37,6</b>

(1) Se considera un consumo de 2,8 MJ/ton-km

#### **10.2.4. Producción de etanol**

Bajo el esquema de producción de etanol a partir de caña de azúcar se tiene que por cada 1000 kg que ingresan al proceso se obtienen aproximadamente:

- 264 kg de bagazo
- 736 kg de jugo

A su vez, de los 736 kg de jugo se consumen 330,5 kg de agua y se obtienen:

- 53,7 kg (68 litros) de etanol
- 30 kg de cachaza
- 17,8 kg de levaduras
- 60,7 kg de CO<sub>2</sub>
- 904,3 kg de vinazas

Considerando estos balances se han calculado los recursos necesarios para producir etanol a partir de la caña de azúcar obtenida de acuerdo con el cuadro No. 25. Esta información junto con la energía fósil asociada se puede observar en el cuadro No. 28.

Por otro lado si la caña se destina a la producción de azúcar, por cada 1000 kg que ingresan al ingenio se obtienen:

- 132,5 kg de azúcar
- 264 kg de bagazo
- 33,7 kg de melazas tipo C

Al procesar estos 33,7 kg de melazas con 122,0 kg de agua se obtienen:

- 6,5 kg (8,3 litros) de etanol
- 30 kg de cachaza
- 1,6 kg de levadura
- 6,9 kg de CO<sub>2</sub>
- 110,4 kg de vinazas

Tomando en cuenta que el 60% de la producción de melaza actual se podrá destinar para la producción de etanol y considerando la disponibilidad de melaza que se muestra en el cuadro No. 25; se han estimado los recursos y la energía fósil necesaria para la conversión de melaza a etanol (ver cuadro No. 29)

**Cuadro No. 28**

Recursos necesarios para la producción de etanol a partir de caña de azúcar

Descripción	Unidad	Consumo por ton de caña	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>AGUA DE PROCESO</b>	miles ton	<b>0,00033</b>	0	0	167	180	194	208	223	238	253	269	285	301	318	335	352	370	388	406	424	443	463	5819
<b>ELECTRICIDAD:</b>																								
Proceso	GWh	0,0000140	0	0	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15	16	16	17	18	19	20	246,5
Motores	GWh	0,0000160	0	0	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	15	16	17	18	19	20	21	21	22	281,7
Excedentes	GWh	0,0000092	0	0	5	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	162,0
<b>Total de electricidad</b>	<b>GWh</b>	<b>0,0000392</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>690,2</b>
Consumo de combustibles en electricidad (1)	MJ/MWh		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>VAPOR</b>	miles ton	<b>0,0003400</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>171</b>	<b>185</b>	<b>200</b>	<b>214</b>	<b>230</b>	<b>245</b>	<b>261</b>	<b>277</b>	<b>293</b>	<b>310</b>	<b>327</b>	<b>345</b>	<b>362</b>	<b>381</b>	<b>399</b>	<b>418</b>	<b>437</b>	<b>456</b>	<b>476</b>	<b>5986,6</b>
<b>PERSONAL</b>																								
Personal vehículo propio	miles días-hombre	NA	2,19	2,19	4,38	4,38	4,38	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	157,68
Personal en autobús (2)	miles días-hombre	NA	6,68	6,68	13,36	13,36	19,71	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	690
Consumo total de energía fósil para electricidad	TJ		0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Energía para consumo de vapor (3)	TJ	0,000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bagazo	TJ	0,00111180	0	0	560	606	653	701	750	801	852	905	959	1014	1070	1127	1185	1245	1305	1366	1428	1491	1557	19576
Excedente de bagazo	TJ	-0,00139878	0	0	-705	-763	-822	-882	-944	-1008	-1072	-1139	-1206	-1276	-1346	-1418	-1491	-1566	-1641	-1718	-1796	-1876	-1959	-24629
Químicos y lubricantes	TJ	0,000019	0	0	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20	21	23	24	25	26	27	338
Maquinaria y edificios	TJ	0,0000044	0	0	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	77
Energía en traslado del personal (4)	TJ		0,35	0,35	0,69	0,69	0,75	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	26,8
<b>Consumo total de Energía Fósil</b>	<b>TJ</b>		<b>0,35</b>	<b>0,35</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>415</b>

(1) Se considera que será producida a partir de bagazo

(2) Considera 22 personas por planta fijos durante todo el año y 18 adicionales durante la época de zafra (6 meses)

(3) Se considera que el vapor se obtiene a partir de bagazo

(4) Considera 40 km de traslado diario: 36 (18 todo el año y 18 seis meses) personas viajarán en autobús mientras que 8 (4 todo el año y 4 6 meses) lo harán en automóvil propio con un consumo de 132,5 MJ/día-hombre

**Cuadro No. 29**

**Recursos necesarios para la producción de etanol a partir de la melaza disponible**

Descripción	Unidad	Consumo por m <sup>3</sup> equivalente de etanol	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>AGUA DE PROCESO</b>	miles m3	0,010495	345,8	359,7	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	388,4	7738,9
<b>ELECTRICIDAD</b>	GWh	0,00005000	1,6	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	36,9
Consumo de combustibles en electricidad (1)	MJ/MWh		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<b>VAPOR</b>																								
Fermentación y destilación	miles ton	0,0039669	130,7	136,0	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	146,8	2925,1
<b>PERSONAL (2)</b>																								
Personal vehículo propio	miles días-hombre	NA																						
Personal en autobús	miles días-hombre	NA																						
Energía fósil para electricidad	TJ	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Químicos	TJ	0,000094	3,1	3,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	69,0
Energía fósil para vapor (3)	TJ	0,000000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Maquinaria y edificios	TJ	0,0001339	4,4	4,6	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	99
Energía en traslado del personal (2)	TJ	NA																						
<b>Consumo total de Energía Fósil</b>	<b>TJ</b>		<b>7,5</b>	<b>7,8</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>168</b>
(1) Se considera que se podrá utilizar el bagazo obtenido durante la extracción del jugo																								
(2) Los requerimientos ya fueron considerados en la producción de etanol a partir de jugo																								
(3) Se considera que se obtendría a partir de bagazo																								

### **10.2.5. Transporte de Etanol**

Para efectos de este estudio, se considera que el etanol producido deberá ser transportado hasta Acajutla en donde será mezclado con las gasolinas convencionales.

Por otro lado, se considera que la mezcla de un 10% de etanol en las gasolinas permite obtener el mismo rendimiento por litro de combustible que la gasolina convencional.

Considerando ambos argumentos, en el cuadro No. 30 aparecen los volúmenes de etanol que serán producidos en cada planta, así como la cantidad de energía fósil adicional requerida para el transporte de estos combustibles.

Si bien los camiones cisternas vacíos podrían viajar hasta las plantas de etanol a cargar el producto que deberá ser transportado, para efectos del análisis se considerarán camiones independientes para cada actividad.

Cuadro No. 30

Energía fósil adicional requerida para transportar el etanol al puerto de Acajutla durante el periodo de análisis. 2013-2032

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
<b>Producción de etanol por planta (miles m<sup>3</sup>/año)</b>																							<b>Distancia a San Salvador</b>
La Cabaña	32,9	34,3	33,0	34,3	35,7	16,6	17,3	18,0	18,7	19,4	20,1	20,9	21,6	22,4	23,2	24,0	24,8	25,6	26,4	27,3	28,9		105
El Carmen	0,0	0,0	38,3	39,8	41,3	24,9	25,8	26,7	27,6	28,5	29,5	30,5	31,5	32,5	33,6	34,6	35,7	36,8	37,9	39,1	39,6		28
El Angel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	21,2	21,9	22,7	23,5	24,4	25,2	26,1	26,9	27,8	28,8	29,7	30,6	31,6	32,5	33,6		95
Jiboa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	18,7	19,4	20,1	20,9	21,7	22,5	23,3	24,1	24,9	25,8	26,6	27,5	28,4	29,3	30,2		157
<b>Total</b>	<b>32,9</b>	<b>34,3</b>	<b>71,3</b>	<b>74,1</b>	<b>77,0</b>	<b>79,9</b>	<b>82,9</b>	<b>86,0</b>	<b>89,1</b>	<b>92,4</b>	<b>95,7</b>	<b>99,0</b>	<b>102,4</b>	<b>105,9</b>	<b>109,5</b>	<b>113,1</b>	<b>116,8</b>	<b>120,5</b>	<b>124,3</b>	<b>128,2</b>	<b>132,2</b>		
<b>Total millones m<sup>3</sup>-km</b>																							<b>Total</b>
La Cabaña	3,5	3,6	3,5	3,6	3,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0		51,71
El Carmen	0,0	0,0	1,1	1,1	1,2	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1		17,75
El Angel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2		40,56
Jiboa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,7		59,87
<b>Total</b>	<b>3,46</b>	<b>3,60</b>	<b>4,54</b>	<b>4,72</b>	<b>4,90</b>	<b>7,20</b>	<b>7,48</b>	<b>7,77</b>	<b>8,06</b>	<b>8,35</b>	<b>8,66</b>	<b>8,97</b>	<b>9,28</b>	<b>9,60</b>	<b>9,93</b>	<b>10,26</b>	<b>10,60</b>	<b>10,95</b>	<b>11,29</b>	<b>11,65</b>	<b>12,08</b>		<b>169,89</b>
<b>Energía Total para transporte (TJ) (1)</b>																							<b>Total</b>
La Cabaña	0,97	1,00	0,97	1,01	1,05	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,85		14,43
El Carmen	0,00	0,00	0,30	0,31	0,32	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31		4,96
El Angel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,84	0,86	0,89		11,32
Jiboa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,82	0,85	0,88	0,92	0,95	0,98	1,02	1,06	1,09	1,13	1,17	1,21	1,24	1,28	1,33		16,71
<b>Total</b>	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>	<b>1,27</b>	<b>1,32</b>	<b>1,37</b>	<b>2,01</b>	<b>2,09</b>	<b>2,17</b>	<b>2,25</b>	<b>2,33</b>	<b>2,42</b>	<b>2,50</b>	<b>2,59</b>	<b>2,68</b>	<b>2,77</b>	<b>2,87</b>	<b>2,96</b>	<b>3,06</b>	<b>3,15</b>	<b>3,25</b>	<b>3,37</b>		<b>47,43</b>
(1) Se estima un consumo de 3,17 km/litro vacío y 2,11 km/litro cargado para un consumo total de 0,279 MJ/ton-m <sup>3</sup>																							

### **10.2.6. Producción de energía y balance global**

El etanol posee una densidad de 790 kg/m<sup>3</sup> y un poder calórico superior de 29720 kJ/kg, por lo que con base en estos datos y la producción de etanol que se muestra en el cuadro No. 30 es posible calcular la cantidad de energía que aportará el etanol a la matriz energética.

En el cuadro No. 31 se han resumido los resultados mostrándose una recuperación neta de 16,22 unidades de energía neta obtenida por cada unidad de energía aportada por lo combustibles fósiles, en otras palabras; por cada unidad de energía fósil que ingresa al sistema se obtienen 17,22 unidades de energía.

### **10.2.7. Balance global considerando subproductos**

La obtención de etanol genera a la vez una serie de residuos como lo son:

- Residuos de la cosecha
- Vinazas
- Bagazo

De estos residuos, el bagazo no se utiliza en su totalidad por que existe un excedente que genera un crédito energético al proyecto.

Los residuos de la cosecha deben ser recolectados antes de cortar la caña de azúcar y aunque podrían ser utilizados en la obtención de energía, a la fecha son muy pocos los ingenios que recolectan este tipo de desecho por lo que no se considerarán créditos a favor de este residuo. Sin embargo, vale la pena mencionar que la energía que podría obtenerse de este residuo en el periodo de análisis es de 32 826 TJ, lo que equivale al 71% de la energía recuperada del etanol.

Con respecto a las vinazas, pueden ser utilizadas como un abono orgánico rico en óxido de potasio (K<sub>2</sub>O), óxido de calcio (CaO) y otras sustancias menos representativas. Se estima que un metro cúbico de vinazas obtenidas de la fermentación del jugo de la caña produce 2,33 kg de KCl y 0,46 kg de CaO. Por su parte, un metro cúbico de vinazas obtenidas de la fermentación de las melazas produce 9,51 kg de KCl y 2,45 kg de CaO, los cuales poseen un coeficiente energético de 4000 y 2100 MJ/ton, respectivamente.

La cantidad de vinazas, de KCl y CaO equivalente que se obtienen cada año se resumen en el cuadro No. 32.



Cuadro No. 31

Balance global de Energía para la producción de etanol según el plan de implementación propuesto (TJ)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Energía en Etanol</b>	774	805	1674	1739	1807	1876	1946	2019	2093	2169	2246	2325	2405	2487	2571	2656	2742	2830	2919	3010	3105	46198
<b>Bagazo Excedente</b>	0	0	705	763	822	882	944	1008	1072	1139	1206	1276	1346	1418	1491	1566	1641	1718	1796	1876	1959	24629
<b>Producción de Energía final</b>	774	805	2379	2502	2629	2758	2891	3026	3165	3307	3452	3600	3752	3906	4062	4222	4384	4548	4715	4887	5064	70827
<b>Consumo de energía:</b>																						
<b>Fase agrícola</b>	0	86	92	100	107	133	124	131	140	166	158	166	175	203	195	204	213	242	234	245	256	3369
<b>Transporte de caña y melaza</b>	17	20	13	13	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	79
<b>Producción de etanol con melazas</b>	7,5	7,8	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	175
<b>Producción de etanol con Caña</b>	0,35	0,35	12,59	13,56	14,61	16,38	17,43	18,50	19,59	20,71	21,85	23,02	24,21	25,42	26,66	27,92	29,19	30,49	31,80	33,15	34,55	442
<b>Transporte de etanol</b>	0,97	1,00	1,27	1,32	1,37	2,01	2,09	2,17	2,25	2,33	2,42	2,50	2,59	2,68	2,77	2,87	2,96	3,06	3,15	3,25	3,37	48
<b>Consumo total de Energía</b>	26	115	127	136	145	160	151	161	170	198	190	200	210	239	233	243	254	284	278	290	304	4114
<b>Balance final</b>	747	690	2252	2366	2483	2598	2739	2866	2996	3109	3262	3400	3541	3666	3830	3979	4130	4265	4437	4597	4760	66713
<b>Balance acumulado</b>	747	1438	3689	6055	8538	11137	13876	16742	19737	22847	26109	29509	33050	36716	40546	44525	48655	52919	57356	61953	66713	

Cuadro No. 32

Cantidad de vinazas obtenidas por año y producción equivalente de fertilizantes.

Producción de Vinazas (miles m3)																						
Descripción	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>A partir de caña</b>	0	0	447	483	521	559	598	639	680	722	765	809	853	899	945	992	1040	1089	1138	1189	1242	15610
<b>A partir de melazas</b>	417	434	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	469	9755
Producción equivalente de fertilizantes (ton/año)																						
<b>KCl</b>	3968	4128	5498	5583	5670	5760	5851	5945	6041	6138	6238	6341	6445	6551	6659	6769	6881	6994	7109	7228	7350	129147
<b>CaO</b>	1022	1063	1354	1370	1388	1405	1423	1442	1461	1480	1500	1520	1541	1562	1583	1605	1627	1649	1672	1695	1719	31080

Los resultados del balance energético global considerando el valor equivalente energético de la vinaza se resumen en el cuadro No. 33.

Al incluir el valor energético de los subproductos se observa que tasa neta de energía sube a 16,36; en otras palabras, el plan de implementación propuesto (cuadro No. 2), permite obtener 17,36 unidades de energía por cada unidad de energía fósil utilizada.

Se debe considerar sin embargo, que las hectáreas que se utilizarían en la producción de caña, producen cierta cantidad de biomasa que podría aprovecharse en la producción de energía.

En el cuadro No. 34, se resumen las hectáreas disponibles para la producción natural de biomasa durante el periodo de análisis y la producción natural de energía asociada. Esta energía se descuenta de la obtenida en el cuadro No. 33 con el fin de obtener la cantidad de energía real adicionada a la matriz energética nacional.

Tal y como se observa, la generación de energía renovable en el periodo de análisis sería de 56,3 mil TJ, con lo que se obtiene una tasa neta de energía de 13,68.

**Cuadro No. 33**

Balance global de Energía para la producción de etanol considerando subproductos (TJ)

<b>Residuos de la cosecha</b>	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vinazas (KCl y CaO)</b>	18,0	18,7	24,8	25,2	25,6	26,0	26,4	26,8	27,2	27,7	28,1	28,6	29,0	29,5	30,0	30,4	30,9	31,4	31,9	32,5	33,0	581,8	
<b>TOTAL subproductos</b>	18,0	18,7	24,8	25,2	25,6	26,0	26,4	26,8	27,2	27,7	28,1	28,6	29,0	29,5	30,0	30,4	30,9	31,4	31,9	32,5	33,0	581,8	
<b>Balance final con subproductos</b>	765	709	2276	2391	2509	2624	2766	2893	3023	3137	3290	3429	3570	3696	3860	4009	4161	4296	4469	4629	4793	67295	
<b>Balance acumulado</b>	765	1474	3751	6142	8651	11275	14041	16933	19956	23093	26383	29812	33382	37078	40938	44947	49108	53404	57873	62502	67295		

**Cuadro No. 34**

Energía neta obtenida con la producción de etanol considerando subproductos (TJ)

Energía de biomasa natural no producida en las áreas utilizadas para cultivos de caña (TJ)																						
Descripción	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Area acumulada (hectáreas)</b>	0	6470	6999	7541	8096	8664	9246	9841	10449	11071	11705	12353	13013	13685	14368	15062	15767	16480	17226	18006	18821	
<b>Biomasa no producida (miles ton)</b>	0	32	35	38	40	43	46	49	52	55	59	62	65	68	72	75	79	82	86	90	94	1224
<b>Energía no producida (TJ)</b>	0	291	315	339	364	390	416	443	470	498	527	556	586	616	647	678	709	742	775	810	847	11019
<b>Energía neta obtenida (TJ)</b>	765	418	1962	2052	2144	2234	2350	2450	2553	2639	2763	2873	2985	3080	3213	3331	3451	3555	3694	3819	3946	56276
<b>Balance acumulado (TJ)</b>	765	1183	3145	5197	7341	9575	11925	14375	16927	19566	22329	25202	28187	31267	34480	37812	41263	44817	48511	52330	56276	

## **11. Análisis de Emisiones**

Si bien los balances de energía fósil determinaron que la producción de biodiesel y etanol generarán un balance favorable en cuanto al consumo de energía fósil, es conveniente analizar las emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de verificar que el plan propuesto producirá efectos positivos para el ambiente.

### **11.1. Biodiesel**

La producción de *Jatropha* trae consigo una captura importante de CO<sub>2</sub> debido a que su planta posee un ciclo de vida de más de 20 años, periodo en el cual se capturan cantidades importantes de biomasa tanto en las ramas como en las raíces.

Por ejemplo, en el primer año cada planta de *Jatropha* puede capturar 2,4 kg de CO<sub>2</sub>, al siguiente año 5,6 y después del tercero, 8 kg por año.

Tomando en consideración este supuesto y los factores de emisión unitarios que aparecen en el anexo No. 2, se ha procedido a realizar un balance global de emisiones el cual se resume en el cuadro No. 35.

Tal y como se observa en este cuadro, las emisiones nacionales de CO<sub>2</sub>, para los próximos 20 años podrían reducirse en 48,8 millones de ton, lo que representa más de tres veces las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de El Salvador del año 2007 (13,7 millones).

Cuadro No. 35

Balance Global de Emisiones para la producción de biodiesel y aceite de acuerdo con el plan propuesto (miles de ton CO<sub>2</sub>)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Crédito emisiones por aceite</b>	0	3	13	82	144	195	263	303	378	411	441	452	467	495	618	690	755	772	791	809	828	8910
<b>Crédito emisiones por biodiesel</b>	0	0	0	0	90	88	89	147	153	181	206	212	223	246	363	429	487	501	514	528	543	4998
<b>Captura de CO<sub>2</sub> (No considera podas)</b>	133	365	575	747	906	1130	1286	1414	1448	1482	1516	1784	2135	2418	2476	2534	2594	2655	2718	2782	2848	35944
<b>Crédito por emisiones de Glicerina</b>	0	0	0	0	5	5	5	8	9	10	12	12	13	14	20	24	28	28	29	30	31	283
<b>Total de Créditos (miles de ton)</b>	133	367	589	828	1144	1417	1643	1871	1987	2084	2175	2459	2838	3173	3477	3678	3863	3956	4052	4149	4249	50135
<b>Emisiones en producción y distribución</b>																						
<b>Fase agrícola</b>	17	18	20	40	41	59	59	65	71	73	76	107	99	107	119	126	130	132	135	138	141	1771
<b>Transporte semilla</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Extracción aceite</b>	0,0	0,5	4,3	13	22	37	93	159	59	64	69	70	73	77	96	107	117	120	123	126	129	1559
<b>Producción biodiesel</b>	0	0	0	0	18	19	23	45	31	37	42	44	46	50	74	88	100	103	105	108	111	1046
<b>Transporte adicional</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
<b>Emisiones totales</b>	17	18	24	53	81	115	176	270	161	175	187	221	217	235	290	321	348	355	364	373	382	4383
<b>Reducción total de emisiones</b>	116	349	565	775	1063	1302	1467	1602	1826	1910	1988	2239	2621	2938	3188	3356	3515	3601	3688	3777	3867	45752
<b>Reducción acumulada de emisiones</b>	116	465	1030	1805	2867	4170	5637	7239	9065	10975	12963	15201	17822	20760	23948	27304	30819	34421	38108	41885	45752	
<b>Créditos por subproductos (miles de ton/año)</b>																						
<b>Madera de Poda</b>	0,0	0	29	71	84	139	192	224	274	292	321	339	347	407	468	479	541	580	594	608	622	6610
<b>Residuos de fruta</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Torta de semilla</b>	0	0	2	14	25	34	45	52	65	71	76	78	80	85	106	119	130	133	136	139	143	1533
<b>Efluentes</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL subproductos</b>	0	0	32	85	109	173	237	276	339	363	397	417	427	492	574	597	671	713	730	747	765	8143
<b>Reducción total de emisiones con subproductos</b>	116	349	596	860	1172	1475	1704	1877	2165	2273	2385	2655	3048	3429	3762	3954	4186	4314	4418	4523	4632	53895
<b>Reducción acumulada de emisiones con subproductos</b>	116	465	1062	1922	3094	4569	6273	8151	10316	12589	14973	17629	20677	24106	27868	31822	36008	40322	44740	49263	53895	
<b>CO<sub>2</sub> que se deja de capturar en las áreas utilizadas para cultivos de jatropha (miles de ton/año)</b>																						
<b>Area acumulada (miles hectáreas)</b>	22,2	31,3	32,1	50,5	51,6	69,0	70,7	72,4	74,1	75,8	77,6	118,0	120,9	123,8	126,7	129,7	132,7	135,9	139,1	142,4	145,7	
<b>CO<sub>2</sub> no capturado</b>	58	81	83	131	134	179	184	188	193	197	202	307	314	322	329	337	345	353	362	370	379	5049
<b>Reducción neta en emisiones de CO<sub>2</sub></b>	58	268	513	729	1037	1296	1521	1689	1973	2076	2183	2349	2734	3108	3432	3617	3841	3961	4056	4153	4253	48846
<b>Reducción neta acumulada de CO<sub>2</sub></b>	58	327	840	1568	2606	3902	5422	7112	9084	11160	13343	15691	18425	21533	24965	28582	32423	36384	40440	44593	48846	

## 11.2. Etanol

La planta de caña, al contrario de la *Jatropha*, es removida anualmente, por lo que prácticamente todo el CO<sub>2</sub> capturado es emitido nuevamente al ambiente.

Si bien, el residuo de la cosecha (RAC) podría aprovecharse en la obtención de energía, esta práctica no está debidamente establecida en El Salvador, por lo que no se ha considerado como un crédito en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por lo anterior y tomando en consideración los factores de emisión unitarios que aparecen en el anexo No. 2, se ha obtenido un balance global de emisiones el cual se resume en el cuadro No. 36.

Es conveniente señalar que aunque la producción de etanol requiere muy poca energía fósil, el balance de CO<sub>2</sub>, indica que para los próximos 20 años, las emisiones tan solo podrían reducirse en 2,8 millones de ton, sin embargo, si se aprovecharan los rac, la recuperación pasaría a 7,2 millones de ton CO<sub>2</sub> durante el periodo de análisis.

Aun incluyendo los rac, la cantidad de emisiones reducida mediante el uso de etanol representa menos del 15% de las emisiones que se logran reducir con los cultivos de *Jatropha*, ya que solo con en el CO<sub>2</sub> capturado; al final del periodo se tendrían casi 36 millones de ton de CO<sub>2</sub> capturado en los árboles de *Jatropha*.

Cuadro No. 36

Balance Global de emisiones para la producción de etanol de acuerdo con el plan propuesto (miles de ton CO<sub>2</sub>)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Créditos por Etanol</b>	52	54	113	118	122	127	132	136	141	147	152	157	163	168	174	180	185	191	197	203	210	3122
<b>Créditos por Bagazo no utilizado</b>	0	0	65	71	76	82	87	93	99	105	112	118	125	131	138	145	152	159	166	174	181	2279
<b>Total de Créditos</b>	52	54	178	188	198	208	219	230	241	252	263	275	287	299	312	324	337	350	363	377	391	5402
<b>Emisiones en producción y distribución</b>																						
<b>Fase agrícola</b>	0	6	6	7	7	10	9	9	10	12	11	11	12	14	13	14	15	17	16	17	18	234
<b>Transporte de caña y melaza</b>	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<b>Producción de etanol con melazas</b>	27,9	29,0	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	31,3	652
<b>Producción de etanol con Caña</b>	0,02	0,02	31,38	33,94	36,57	39,31	42,06	44,88	47,76	50,71	53,72	56,79	59,92	63,12	66,37	69,68	73,05	76,46	79,91	83,48	87,15	1096
<b>Transporte de etanol</b>	0,07	0,07	0,09	0,09	0,09	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,23	3
<b>Emisiones totales</b>	29	37	70	73	76	80	82	85	89	94	96	100	103	109	111	115	119	125	128	132	136	1991
<b>Reducción total de emisiones</b>	23	18	108	115	122	128	137	144	152	158	167	175	184	190	200	209	218	225	236	245	255	3410
<b>Reducción acumulada de emisiones</b>	23	41	149	264	386	514	651	795	947	1105	1273	1448	1632	1822	2022	2232	2450	2675	2911	3156	3410	
<b>Créditos por emisiones subproductos (miles de ton/año)</b>																						
<b>Residuos de la cosecha</b>	0,0	117	127	136	146	157	167	178	189	200	212	223	235	248	260	272	285	298	312	326	340	4430
<b>Vinazas (KCl y CaO)</b>	1,1	1,2	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	37,2
<b>TOTAL subproductos sin RAC</b>	1,1	1,2	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	37,2
<b>Reducción total de emisiones con su</b>	24	19	110	117	124	130	139	146	154	160	169	177	186	192	202	211	220	227	238	247	257	3448
<b>Reducción acumulada de emisiones</b>	24	43	153	270	393	523	662	808	961	1121	1290	1467	1653	1845	2047	2259	2478	2706	2944	3191	3448	
<b>CO<sub>2</sub> que se deja de capturar en las áreas utilizadas para cultivos de caña de azúcar (miles de ton/año)</b>																						
<b>Area acumulada (hectáreas)</b>	0	6470	6999	7541	8096	8664	9246	9841	10449	11071	11705	12353	13013	13685	14368	15062	15767	16480	17226	18006	18821	
<b>CO<sub>2</sub> no capturado</b>	0	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	32	34	36	37	39	41	43	45	47	49	637
<b>Reducción neta en emisiones de CO<sub>2</sub></b>	24	2	92	97	102	107	115	120	126	131	139	145	152	157	165	172	179	184	193	200	208	2811
<b>Reducción neta acumulada de CO<sub>2</sub></b>	24	26	118	215	318	425	539	660	786	917	1056	1201	1353	1509	1674	1846	2025	2210	2403	2603	2811	

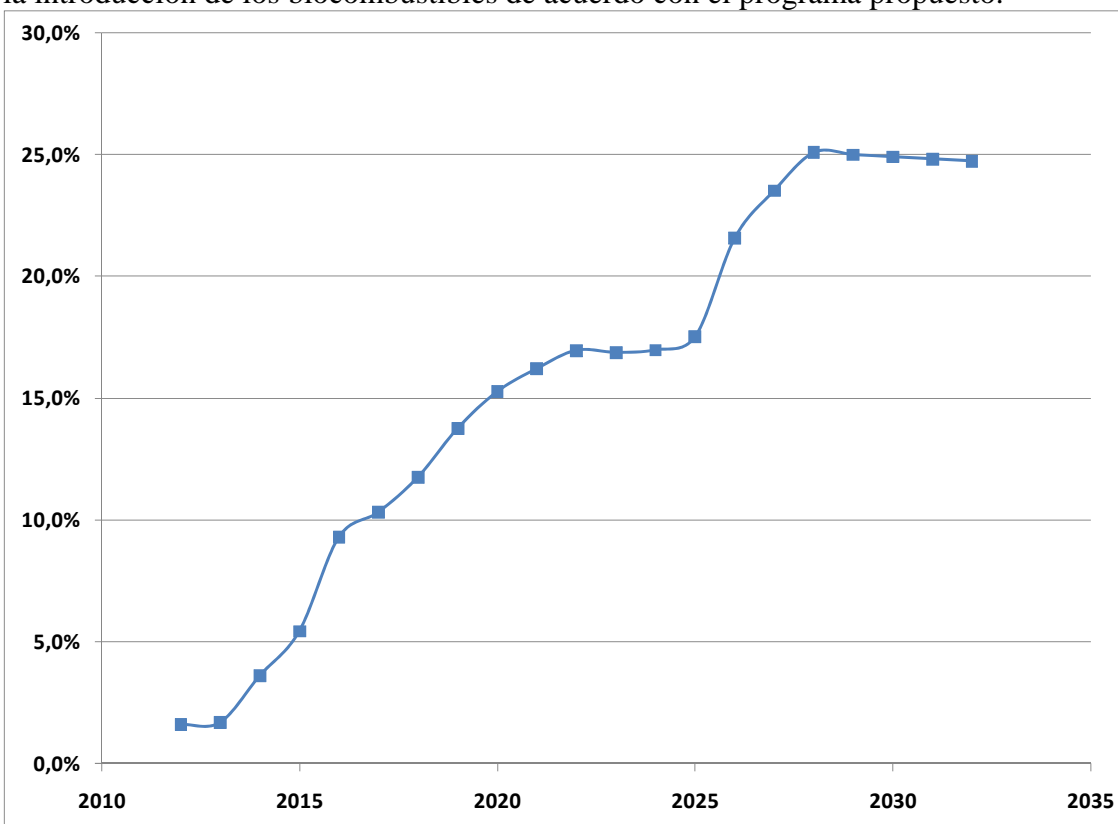
### 11.3. Reducción global en el consumo de combustibles y en las emisiones de acuerdo con el plan propuesto.

A pesar de que una parte de los biocombustibles que se plantea en el plan de implementación va dirigido a sector industrial; en el gráfico No, 14 se muestra la reducción equivalente en la energía en los combustibles utilizados en transporte (diesel y gasolina) con el fin de tener una idea del impacto que se estaría alcanzando a largo plazo.

Tal y como se observa, para el año 2030 se estará alcanzando una sustitución equivalente del 25% de la energía fósil por renovable.

#### Gráfico No. 14

Porcentaje de reducción equivalente en la energía fósil necesaria para el transporte mediante la introducción de los biocombustibles de acuerdo con el programa propuesto.

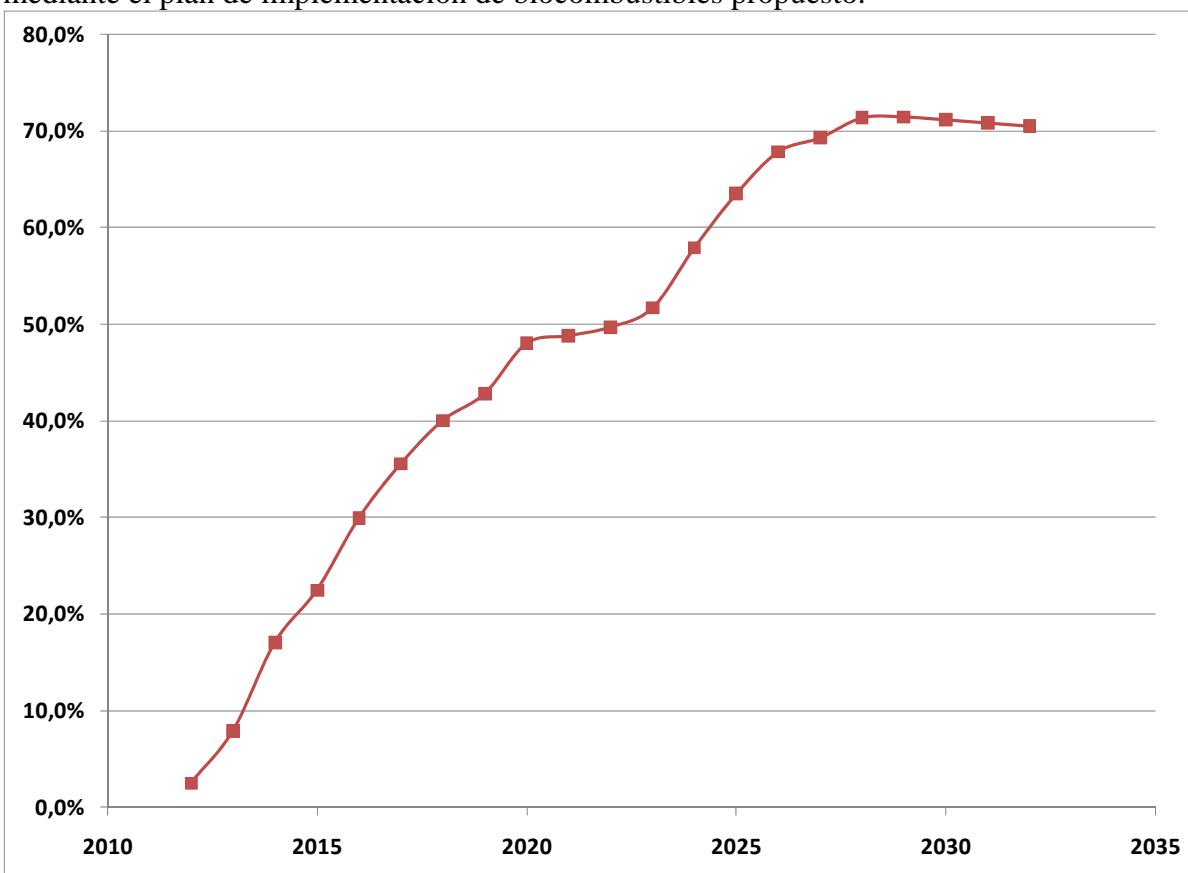




En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se refiere, el gráfico No. 15 permite observar el porcentaje de reducción en las emisiones asociadas al consumo de diesel y gasolina en el sector transporte que podrían reducirse con la implementación de plan propuesto, observándose que sería posible tener una disminución del orden del 70% para el final del periodo de análisis.

### Gráfico No. 15

Porcentaje de emisiones de gasolina y diesel del sector transporte que se logra reducir mediante el plan de implementación de biocombustibles propuesto.



## 12. Consideraciones finales

En un país en donde la dependencia de energía externa supera el 80% de la requerida para los sectores industrial, transporte y eléctrico, cualquier estrategia que busque impulsar la generación propia de energía comercial debe verse como una estrategia prioritaria.

El plan de implementación en el uso de biocombustibles presentado en este estudio, busca ofrecer un primer esfuerzo para la introducción sostenible de biodiesel y etanol en la matriz energética de El Salvador y si bien los resultados han sido positivos, pueden mejorarse si se plantean acciones tendientes a aprovechar el residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar con el fin de utilizarlo en la producción de energía comercial.

El plan planteado, va de acorde con las zonas con terrenos ociosos y disponibles para la siembra de jatropha y las áreas que son adecuadas para incrementar la producción de etanol.

No se ha considerado tampoco, la posibilidad de combinar el cultivo de jatropha con otros productos alimenticios como frijol o maíz con lo que se podría lograr tener un mejor balance en el uso de fertilizantes, ni se ha tomado en cuenta que la jatropha es un cultivo relativamente nuevo y que su rendimiento podría mejorar considerablemente mediante el establecimiento de un plan de mejoramiento genético que busque mejorar los rendimientos de aceite por planta.

También sería posible mejorar los índices ambientales si se recurre a tecnologías avanzadas de producción de electricidad a partir de bagazo que busquen mejorar la eficiencia del proceso de recuperación de calor.

Finalmente es conveniente comentar que la energía fósil es como una herencia energética que puede reservarse a las generaciones futuras, mientras que las fuentes renovables equivalen a un salario energético que debe aprovecharse día a día, por lo que cualquier atraso en el aprovechamiento del potencial de energía renovable de El Salvador, provocará una reducción en las reservas mundiales de energía fósil.

“La obtención de la energía que requiere la humanidad utilizando la herencia energética cuando se tiene la posibilidad de producirla a partir de fuentes renovables es un acto que podría ser reclamado por las generaciones futuras”



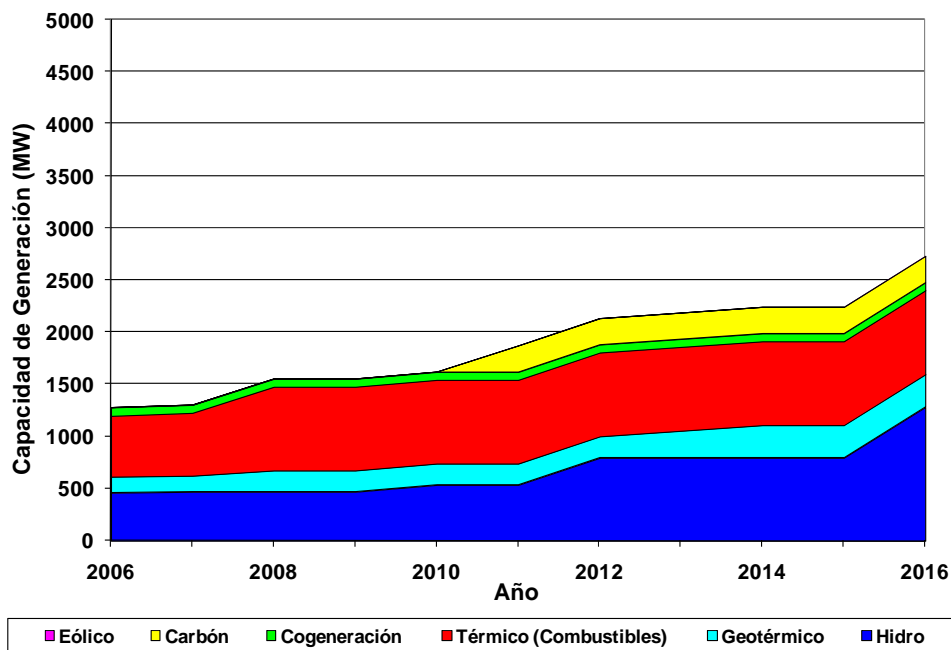
**Anexo No. 1**  
**Cálculo del consumo de energía fósil en la generación eléctrica**

El plan de expansión de la generación eléctrica de El Salvador , se muestra en el gráfico No. 14, en donde se observa un crecimiento importante en la generación hidroeléctrica y en la producción de electricidad con base en carbón mineral.

Por otro lado, existen más de 1 millón de salvadoreños sin electricidad lo que representa el 17% de la población del país, de tal forma que eventuales campañas de electrificación rural podrían incrementar las necesidades eléctricas.

Gráfico No. 16<sup>7</sup>

Plan de Expansión de la Generación Eléctrica de El Salvador



<sup>7</sup> Fuente: Elaboración propia con datos tomados de la Dirección de Energía Eléctrica del Ministerio de Economía de El Salvador.

En cuanto a las necesidades de generación eléctrica, en los últimos 20 años se ha mostrado cierta relación entre el crecimiento del PIB y el incremento en la demanda de electricidad. Tomando en cuenta la relación existente entre ambas tasas se ha procedido a realizar una estimación en el consumo eléctrico.

Al comparar las necesidades eléctricas futuras con la electricidad que podría ser generada cada año considerando el plan de expansión descrito y los factores de planta esperada según la tecnología de generación, ha sido posible determinar la cantidad de electricidad faltante que deberá ser importada o generada con combustibles.

Esta información se muestra en el cuadro A1.1 y con esta información es posible proyectar el consumo de combustibles (carbón mineral, diesel y fuel oil) y el consumo de energía fósil por MWh considerando una eficiencia de generación del 38%.

Cuadro No. A1.1<sup>8</sup>

Estimación de la generación eléctrica futura en El Salvador

Año	Necesidad de Electricidad (GWh)	Generación por Fuente (GWh)					MJ energía fósil/MWh	
		Hidro	Geotérmico	Faltante (Combustibles)	Cogeneración	Carbón		Eólico
2006	5531,7	2009,8	1069,6	2276,5	175,8	0	0	3899
2007	5780,8	1783,7	1293	2537	167,3	0	0	4157
2008	5910,4	2093,6	1420,9	2158	237,9	0,0	0,0	3459
2009	5910,4	1917,7	1586,3	2240	166,7	0,0	0,0	3590
2010	6253,9	2186,7	1586,3	2314	166,7	0,0	0,0	3506
2011	6617,4	2186,7	1586,3	816	166,7	1861,5	0,0	3834
2012	7002,0	3250,5	1586,3	137	166,7	1861,5	0,0	2704
2013	7408,9	3250,5	2012,0	118	166,7	1861,5	0,0	2531
2014	7839,5	3250,5	2437,7	123	166,7	1861,5	0,0	2398
2015	8295,1	3250,5	2437,7	579	166,7	1861,5	0,0	2787
2016	8777,2	5239,5	2437,7	-928	166,7	1861,5	0,0	1007
2017	9287,3	5239,5	2437,7	-418	166,7	1861,5	0,0	1472
2018	9827,1	5239,5	2437,7	122	166,7	1861,5	0,0	1912
2019	10398,2	5239,5	2437,7	693	166,7	1861,5	0,0	2327
2020	11002,5	5239,5	2437,7	1297	166,7	1861,5	0,0	2720
Potencial		8825,0	3547,8	0	217,9	0,0	0,0	

Factor de planta historico	46,528	89,188	43,379	24,870	ND	ND
Factor de planta esperado	46,528	90,000		24,870	85	40,000

<sup>8</sup> Elaboración propia con base en proyecciones de las necesidades eléctricas y el plan de expansión de la generación eléctrica de El Salvador.