ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL USANDO ACEITE DE JATROPHA CURCAS Y SU USO EN GENERACIÓN TÉRMICA DE LAS ISLAS GALÁPAGOS. ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS"

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentada por

MANUEL SEBASTIAN ALVAREZ ALVARADO

MARCOS XAVIER PACHECO HURTADO

Guayaquil - Ecuador

2011

AGRADECIMIENTO

Los autores estamos agradecidos a Dios y a todas las personas que hicieron posible este trabajo a nuestros amigos, compañeros, a nuestros padres por confiar y tener fe en nuestros principios e ideales, a nuestro director de seminario de graduación el Ing. Javier Urquizo que con su apoyo y conocimiento nos guio a lo largo de todo el proyecto.

.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios, por darme la fortaleza de seguir adelante día a día. A mi familia, y amigos pues siempre han estado a mi lado de manera incondicional, gracias a ellos he llegado a cumplir esta meta.

Manuel Álvarez A.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios, por darme la fortaleza de seguir adelante día a día. A mi familia, que ha estado a mi lado de manera incondicional, gracias a ellos he llegado a cumplir esta meta.

Marcos Pacheco H.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. JAVIER URQUIZO
PROFESOR DEL SEMINARIO
DE GRADUACION

ING. DOUGLAS AGUIRRE
PROFESOR DELEGADO
DEL DECANO

Escaneado con CamScanner

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

(REGLAMENTO DE GRADUACIÓN DE LA ESPOL)

MANUEL SEBASTIAN ALVAREZ ALVARADO

MARCOS XAVIER PACHECO HURTADO

Escaneado con CamScanner

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal presentar la importancia de utilizar biodiesel como una fuente complementaria de energía a partir de una oleaginosa con bajo costo de cultivo, no alimenticia y de buena adaptación geográfica en la provincia de Manabí además dejar en claro que no existe ninguna disyuntiva en el caso ecuatoriano entre producir alimentos y atender los propósitos del Programa de Biocombustibles. Con el propósito de aprovechar el biocombustible obtenido a partir del aceite piñón, para producir los nueve mil galones de diesel que consume la generación térmica de la Isla Floreana al año.

A lo largo de los capítulos se darán a conocer los factores que originaron la motivación del proyecto, también se dará una explicación de los procesos de producción de biodiesel además de las diferentes alternativas existentes para la producción de estos. Se dará a conocer el estado de los biocombustibles frente a los combustibles fósiles en todo el mundo y los planes de los países desarrollados para promover la utilización de biocombustibles.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO II

DEDICATORIA III

RESUMEN VII

INDICE GENERAL..... VIII

INDICE DE TABLAS XIV

INDICE DE FIGURAS XVI

INTRODUCCION .....

CAPITULO 1

PROPUESTA DEL PROYECTO 1

1.1 LA PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DE GALÁPAGOS 1

1.1.1 CERO COMBUSTIBLES FÓSILES EN GALÁPAGOS 3

1.2 EL ANÁLISIS DEL BIOCOMBUSTIBLE 5

1.2.1 CULTIVO DE LAS PLANTAS, OFERTA DE LOS ACEITES Y PRODUCCIÓN DE BIODIESEL 5

1.2.2 BIODIESEL O ACEITE VEGETAL 6

1.2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....7

1.3 ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITES VEGETALES Y BIODIESEL EN EL ECUADOR.....8

1.3.1 PRINCIPALES PLANTAS OLEAGINOSAS DEL ECUADOR 8

1.3.2 PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS) 10

1.3.3 SOYA (GLYCINE MAX).....12

1.3.4 ALGODÓN (GOSSYPIUM HIRSUTUM).....14

1.3.5 GIRASOL (HELIANTHUS ANNUUS).....15

1.3.6 HIGUERILLA (RIZINUS COMMUNIS).....17

1.3.7 MANÍ DE ÁRBOL (CARYODENDRON ORINOCENSE) 19

1.3.8 PIÑÓN (JATROPHA CURCAS).....20

CAPITULO 2

BIOCOMBUSTIBLES Y LAS TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL 27

2.1 MATERIA PRIMA.....27

2.1.1 BIOMASA RESIDUAL 29

2.1.2 CULTIVOS ENERGÉTICOS.....33

2.1.2.1 CULTIVOS ALCOHOLIGENOS.....35

2.1.2.2 CULTIVOS OLEAGINOSOS 36

2.1.2.3 CULTIVOS LIGNOCELULÓSICOS 36

2.2 BIODIESEL 37

2.3 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA 41

2.3.1 EXTRACCIÓN DIRECTA 44

2.3.2 TRANSESTERIFICACIÓN/ESTERIFICACIÓN 46

2.3.3 GASIFICACIÓN.....57

2.3.4 PIRÓLISIS: PIRÓLISIS RÁPIDA 63

2.3.5 BIOMASA LÍQUIDA VÍA GASIFICACIÓN Y FISCHER-TROPSCH 65

CAPITULO 3

ESTADO DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE BIODIESEL 70

3.1 LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESTADOS UNIDOS.....70

3.1.1 BIODIESEL.....71

3.2 LOS BIOCOMBUSTIBLES Y LA UNIÓN EUROPEA 74

3.3 TENDENCIAS GLOBALES EN LA PRODUCCIÓN Y COMERCIO DE BIOCOMBUSTIBLES 76

3.4 PANORAMA DE BIOCOMBUSTIBLES A NIVEL GLOBAL: EXPERIENCIAS REGIONALES E INTERNACIONALES.....81

3.4.1 VENTAJAS COMPARATIVAS Y CAPACIDADES PRODUCTIVAS 82

3.4.2 INICIATIVAS.....84

CAPITULO 4

PROCESO DE PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR EL PIÑON PARA EL USO EN LA GENERACION TERMICA EN LA ISLA FLOREANA 87

4.1 LA SITUACIÓN ACTUAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA ISLA FLOREANA.....88

4.1.1 EL ESTADO ACTUAL DE LOS GENERADORES 88

4.1.2 CANTIDAD DE HECTAREAS DE PIÑON ADECUADA PARA CUBRIR LA DEMANDA DE LA ISLA FLOREANA.....90

4.1.3 GENERADORES PARA LA ISLA FLOREANA.....92

4.1.4 LA ADAPTACIÓN DE MOTORES PARA EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES/ ACEITE VEGETAL 95

4.1.5 EMISIONES CAUSADAS POR LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....97

4.1.5.1 NORMAS INTERNACIONALES.....98

4.1.5.2 LAS EMISIONES CAUSADAS POR GENERADORES POR BIODIESEL.....98

4.1.5.3 LAS EMISIONES CAUSADAS POR GENERADORES CON ACEITE VEGETAL 99

4.1.5.4 LAS EMISIONES CAUSADAS CON ACEITE DE PIÑON 101

4.1.5.5 NORMAS ECUATORIANAS 102

4.2 LOGISTICA DE TRANSPORTE.....105

4.2.1 TRANSPORTE ACTUAL DE DIESEL 105

4.2.2 TRANSPORTE RECOMENDADO PARA BIOCOMBUSTIBLES HACIA FLOREANA.....107

4.3 EXTRACCIÓN DEL ACEITE (PRENSADO) Y PURIFICACIÓN 113

4.3.1 INTRODUCCIÓN.....113

4.3.2 EXTRACCIÓN MECÁNICA DE ACEITE 115

4.3.2.1 LIMPIEZA Y CONTROL DE SEMILLAS.....116

4.3.3 PROCESO PRENSADO.....116

4.3.3 PARAMETROS IMPORTNATES DEL PRENSADO.....117

4.3.3 PROCESO DE REFINAMIENTO QUIMICO DEL ACEITE 118

4.3.3.1 PROCESO DE DESGONADO DEL ACEITE.....118

4.3.3.2 PROCESO DE NEUTRALIZADO DEL ACEITE 119

4.3.3.3 PROCESO DE BLANQUEADO DEL ACEITE 120

4.3.3.4 PROCESO DE DESODORIZADO.....121

4.4 METODO DE ELABORACIÓN APLICADO.....122

4.4.1 PRETRATAMIENTO DEL ACEITE.....123

4.4.2 MEZCLA DEL METANOL CON EL CATALIZADOR 123

4.4.3 REACCIÓN QUÍMICA (TRANSESTERIFICACIÓN).....125

4.4.4 DECANTACIÓN (SEPARACIÓN DEL BIODIESEL DE LA GLICERINA).....127

4.4.5 DESTILACIÓN RECUPERACIÓN DEL EXCESO DE METANOL129

4.4.6 ADECUACIÓN DEL BIODIESEL.....131

4.5 EXPERIENCIA PRÁCTICA Y POSIBLES PROBLEMAS CON EL USO DE ACEITE VEGETAL PURO EN MOTORES.....132

4.5.1 HOLANDA / MOZAMBIQUE: PROYECTO FACT (FUELS FROM AGRICULTURE IN COMMUNAL TECHNOLOGY).....133

4.5.2 MICHAEL ALLAN (2002).....134

4.5.3 COLOMBIA, APROTEC 134

4.6 USOS DE LA GLICERINA 135

4.6.1 PURIFICACIÓN DE LA GLICERINA 135

4.6.2 APLICACIONES PRÁCTICAS DE GLICERINA DE BIODIESEL.136

4.7 SOSTENIBILIDAD DE PROYECTOS DE JATROPHA 140

4.7.1 ASPECTOS AMBIENTALES 141

4.7.2 ASPECTOS SOCIALES 148

4.7.3 ASPECTOS ECONÓMICOS 151

4.8 ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO.....155

4.8.1 INVERSIÓN INICIAL 155

4.8.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....156

4.8.3 COSTOS VARIABLES PROYECTADOS PARA EL PERIODO 2011– 2020 157

4.8.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO UNITARIO DE ENERGIA.....159

4.9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 163

4.9.1 ANÁLISIS DEL INGRESO POR CAPTACIÓN DE CO2 CON ACEITE DE PIÑÓN.....163

4.9.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LOS PRECIOS.....163

4.9.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR), TASA MINIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR) Y VALOR ACTUAL NETO (VAN).....166

4.10 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.....168

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....

CONCLUSIONES .....

RECOMENDACIONES.....

BIBLIOGRAFIA .....

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Biomasa residual proveniente de los sectores primario, secundario, terciario…….....29

Tabla 2.2 Propiedades del biodiesel…….....40

Tabla 2.3 Comparación entre las diferentes tecnologías de transesterificación …….....56

Tabla 2.4 Características de los gases generados por gasificación en función del agente gasificante o comburente…….....59

Tabla 3.1 Calendario de Uso de Combustibles renovables en USA 71

Tabla 3.2 Plantas productoras de Biodiesel en USA.…….....71

Tabla 4.1 Consumo Anual de combustibles en la isla Floreana….....89

Tabla 4.2 Limites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión…….. 103

Tabla 4.3 Límites máximos para generadores eléctricos y motores de combustión interna…….. 104

Tabla 4.4 Costo por galón de transporte de diesel fósil a isla Floreana en USD ……105

Tabla 4.5 Proveedores de biocombustible y lugar de entrega…….....107

Tabla 4.6 Costos de transporte marítimo de aceites vegetales…….....110

Tabla 4.7 Aspectos de sostenibilidad en proyectos de Jatropha….....140

Tabla 4.8 Inversión inicial motores a base de biocombustible…….....155

Tabla 4.9 Costos de operación y mantenimiento para el 2011 para motores actuales a diesel …….....156

Tabla 4.10 Parámetros para calculo de costos variables…….....158

Tabla 4.11 Costo unitario de energía (kw/h) en generadores nuevos para cada combustible seleccionado periodo 2011 – 202…… 160

Tabla 4.12 Costos de operación totales en generación eléctrica para el caso de diesel y de los biocombustibles…….....161

Tabla 4.13 Costo unitario de generación de energía (kwh) para diesel periodo 2011 – 2020…….....162

Tabla 4.14 Diferencia de costo de generación de energía (kwh) biocombustibles - diesel, periodo 2011 – 2020…….....162

Tabla 4.15 Tipo de combustible aceite de piñón…….....163

Tabla 4.16 Variación de precios de biocombustible de acuerdo a el CAUE…….....165

Tabla 4.17 Valores de ingresos, costos fijos, costos variables y los ingresos obtenidos cada año durante el periodo 2011 – 2021…….....166

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de la producción mundial de aceites……. 9

Figura 1.2 Plantación de palma africana…….. 10

Figura 1.3 Recolección de fruto de palma africana……. 11

Figura 1.4 Semilla de palma africana……... 12

Figura 1.5 Frejol de soya……. 12

Figura 1.6 Plantación de algodón……. 14

Figura 1.7 Plantación de Girasol……... 15

Figura 1.8 Hoja de Higuerilla……. 17

Figura 1.9 Partes de la planta de piñón…….. 21

Figura 2.1 Principales vías de transformación de biomasa……. 42

Figura 2.2 Reacciones que se producen en la transesterificación..…. 48

Figura 2.3 Esquema de las principales etapas de producción de biodiesel mediante transesterificación química…….. 50

Figura 2.4 Vías de producción de combustibles y sustancias químicas a partir del gas de síntesis……..……... 61

Figura 2.5 Esquema de revisión del proceso Fischer-Tropsch……. 66

Figura 4.1 Emisiones de partículas……. 101

Figura 4.2 Proceso de obtención del aceite……. 114

Figura 4.3 Influencia e Impacto de las variables…….. 118

Figura 4.4 Decantación del Biodiesel……. 128

Figura 4.5 Biodiesel decantado y glicerol……. 129

Figura 4.6 Destilación del Biodiesel…….. 130

INTRODUCCION

La energía es la fuerza impulsora de nuestra sociedad. Problemas apremiantes tales como el cambio climático, la dependencia cada vez mayor del petróleo y de otros combustibles fósiles, así como el aumento de los costos energéticos, hacen que nos replanteemos la manera en que producimos y consumimos dicha energía. A este respecto, las fuentes energéticas renovables representan una parte importante de la solución para un futuro energético sostenible.

Ya en 1995 el Gobierno del Ecuador, con el apoyo de la ONU, se efectuó una evaluación preliminar para la identificación de las barreras para la instalación de estas tecnologías.

En 1998 el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMEM, GEF por sus siglas en inglés) apoya el proceso de identificación de estos potenciales obstáculos. Estos estudios se desarrollaron en el marco de un documento del "Proyecto Paraguas de Electrificación Renovable de las Islas Galápagos", en el cual se incluye la identificación de potenciales escenarios de implementación de sistemas con energías renovables en las cuatro islas habitadas: Isabela, Floreana, San Cristóbal y Santa Cruz. Los resultados de este proceso dan pie a la aprobación en 2001 por parte del Consejo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) de fondos líquidos cuyo objetivo sea la construcción de sistemas híbridos, que utilicen las actuales instalaciones en conjunto con los recursos de energía alternativa existentes en las islas.

Por otro lado el Gobierno del Ecuador, en su figura de promotor del proyecto le da prioridad y asigna al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (antes Ministerio de Energía y Minas) como ente coordinador y representante de las autoridades nacionales con el fin de ejecutar las actividades del mismo.

De esta manera el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, definen dos fases de implementación: la primera que incluye la Isla San Cristóbal y Floreana; y la segunda que comprende las islas Santa Cruz e Isabela. Estableciendo una asociación de cooperación y promoción del “Proyecto Paraguas” entre PNUD y el Gobierno del Ecuador representado por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables.

Ya para entonces, la catástrofe ecológica del derrame de combustible en las islas, evidencia el nivel de fragilidad y de alto riesgo de que una tragedia de esta naturaleza impacte negativamente la flora y fauna única de las islas.

CAPITULO 1

PROPUESTA DEL PROYECTO

1.1 LA PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DE GALÁPAGOS

Galápagos requiere repensar íntegramente los desafíos que presenta un desarrollo sustentable de su sistema energético. No es posible seguir manejando el abastecimiento y consumo de energía en forma de soluciones aisladas e incrementales que, si bien constituyen un alivio temporal a los problemas que se presentan, en el largo plazo contribuyen a acentuar la vulnerabilidad energética del Archipiélago, así como a aumentar la contaminación y los riesgos que amenazan constantemente la integridad de sus frágiles ecosistemas. El reto de Galápagos consiste en construir una visión estratégica de su desarrollo energético bajo la perspectiva de preparar las condiciones para una transición hacia un sistema energético eficiente, diversificado, robusto, económicamente viable y, sobre todo, compatible con su entorno natural.

Los síntomas de un sistema energético cada vez menos sustentable son evidentes:

Galápagos no puede continuar bajo una estrategia sustentada en el flujo cada vez mayor de combustibles desde el continente.

En un contexto de total dependencia, los márgenes de maniobra ante contingencias técnicas y/o de carácter externo son muy limitados.

La efectividad del aprovechamiento y uso de la energía presentan niveles alejados de estándares razonables.

La falta de inversiones en el mantenimiento y renovación de la generación y distribución de electricidad ha acelerado un proceso de obsolescencia de las instalaciones de generación y distribución que en la actualidad operan con bajos niveles de eficiencia.

Si a esta situación de bajos niveles de eficiencia se suman hábitos de consumo energético dispendiosos se tiene un sistema energético funcionando con un desperdicio notable de recursos. La demanda de energía es asumida como un proceso aparentemente técnico y neutral, negando explícitamente las dimensiones políticas, sociales y tecnológicas que le son inherentes para cada estilo de desarrollo y sobre todo, la posibilidad de orientar su crecimiento en función de las características propias de las fuentes energéticas disponibles y en su forma de aprovechamiento bajo esquemas de racionalidad y eficiencia.

El transporte, manejo y uso de los combustibles son un factor constante de contaminación en Galápagos.

1.1.1 CERO COMBUSTIBLES FÓSILES EN GALÁPAGOS

En respuesta a los problemas señalados, y sobre todo para disminuir los riesgos que presenta el uso de diesel en el Archipiélago, el Gobierno Nacional, con apoyo de la cooperación internacional, ha puesto en marcha amplio programa de desarrollo de fuentes renovables y no convencionales de energía. Sin embargo, dado el carácter fluctuante de estas energías no es posible la eliminación completa del uso del diesel; requiriéndose el funcionamiento de sistemas de generación térmica para compensar la aleatoriedad del suministro de electricidad eólica y fotovoltaica.

Frente a esta limitación y en el marco de una estrategia enfocada hacia el desarrollo de un sistema energético sustentable en Galápagos, el hoy Ministerio de Electricidad y Energía Renovable lanzó en abril del 2007 el ambicioso programa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos bajo el objetivo de eliminar gradualmente el uso de diesel en las Islas. La iniciativa Cero combustibles fósiles está articulada alrededor de dos líneas estratégicas:

En el corto plazo, cubrir la demanda de electricidad de las islas a partir de fuentes renovables de energía mediante la instalación de sistemas eólicos y fotovoltaicos de generación de electricidad y compensar el carácter fluctuante de estas fuentes con el aporte de generación térmica a partir de biocombustibles. La implementación de estas nuevas tecnologías energéticas irá acompañada de un programa de aumento de la eficiencia energética tanto en la distribución como en los usos finales de la electricidad.

Bajo una perspectiva de largo aliento, la iniciativa Cero Combustibles busca la sustitución gradual de combustibles fósiles en el resto de sectores de actividad económica, concretamente en el transporte, pesca y actividades relacionadas con el turismo. La tarea no es fácil; se trata de un cambio tecnológico que afecta una diversidad de ámbitos sociales y económicos e involucra la participación y el compromiso de una pluralidad de actores.

Como lo señala la Agenda Energética 2007 - 2011 formulada por el Gobierno Nacional, “el programa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos es una iniciativa tecnológicamente factible, económicamente

viable y ambientalmente imprescindible, pero sobre todo humanamente responsable.

Esta iniciativa reafirma el compromiso del Gobierno Nacional adquirido con la humanidad, con la protección y el desarrollo sostenible de Galápagos".

1.2 EL ANÁLISIS DEL BIOCOMBUSTIBLE

Los biocombustibles aptos para motores diesel son los aceites vegetales, que pueden ser utilizados directamente en motores adaptados, y el biodiesel que es el resultado de una transformación química del aceite vegetal con un alcohol.

Se analiza los biocombustibles disponibles en el Ecuador, con énfasis en el aceite piñón, cultivo priorizado por el Programa Nacional de Biocombustibles. También se informa brevemente sobre otras plantas oleaginosas y las características relevantes de sus aceites para el uso como biocombustible.

1.2.1 CULTIVO DE LAS PLANTAS, OFERTA DE LOS ACEITES Y PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

El aceite de palma africana constituye el aceite de mayor y creciente oferta en el país. La producción de biodiesel en el Ecuador emplea aceite de palma.

El biodiesel a nivel nacional actualmente se produce en una sola fábrica, la cual frente a los incrementos del precio del aceite de palma suspendió la producción.

En el mercado nacional se encuentran disponibles cantidades limitadas de aceite de higuerilla y piñón. Debido a las escasas

experiencias, sobre todo con el cultivo del piñón, este requiere de un acompañamiento técnico-investigativo.

1.2.2 BIODIESEL O ACEITE VEGETAL

En comparación entre los aceites vegetales y el biodiesel, los aceites vegetales presentan ventajas debido a su valor energético neto más alto y sus características no contaminantes. Por lo tanto, los aceites vegetales son la opción más factible en términos de transporte para Floreana, ya que no representan un peligro ambiental en caso de un derrame y, al no ser inflamables, pueden ser transportados en un barco de carga. El biodiesel, por sus características químicas, tendría que ser transportados bajo las normas del diesel fósil, es decir utilizando un buque tanque; debido a la pequeña cantidad requerida por Floreana el transporte en un buque tanque solo será factible siempre y cuando se incluya la demanda de otras islas del Archipiélago.

El aceite de higuerilla debido a su estructura química solo puede ser utilizado en forma de biodiesel, mientras que el aceite de piñón y la oleína de palma africana fracción del aceite de la palma pueden emplearse directamente como aceite vegetal. Debido a la disponibilidad no segura de biodiesel, su precio alto y su comportamiento con el medio ambiente menos favorable en comparación con los aceites vegetales, el biodiesel no constituye la opción más recomendable para el abastecimiento de generadores en la Isla Floreana. Por lo tanto, se hace un enfoque en el aceite de piñón como la opción viable para la Isla Floreana.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Los aceites vegetales, el biodiesel y el diesel fósil se distinguen en sus características físicas y químicas. Los más relevantes que caracterizan los diferentes combustibles e influyen en su uso potencial son la densidad, la viscosidad, los puntos de combustión y solidificación. Como características químicas se debe mencionar el contenido de fósforo y de agua y la suciedad total.

El contenido del fósforo es de importancia especial para poder garantizar un buen funcionamiento del motor. El elevado contenido de fósforo y la suciedad son influenciados por el procesamiento de la semilla para la obtención del aceite y presentan dificultades en la utilización del aceite de piñón como biocombustible. Para asegurar una calidad de aceite de piñón que cumpla con las normas establecidas para aceites vegetales, se requiere de un mejoramiento y continuo monitoreo del procesamiento del aceite.

1.3 ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITES VEGETALES Y BIODIESEL EN EL ECUADOR

Se identifica y caracteriza las plantas oleaginosas más relevantes y con potencial a futuro en el Ecuador. Las plantas son presentadas según su importancia actual al respecto de la producción de aceites, comenzando con palma africana, soya y algodón, seguidos por plantas con potencial a futuro como el girasol, la higuerilla, el maní de árbol y el piñón. Se informa sobre la disponibilidad de aceites vegetales aptos como combustibles y de biodiesel en el mercado nacional y las perspectivas para el fomento de una

producción de biocombustibles para abastecer la demanda de la Isla Floreana.

1.3.1 PRINCIPALES PLANTAS OLEAGINOSAS DEL ECUADOR

Las plantas denominadas oleaginosas producen frutos y semillas de las cuales se obtiene aceite vegetal. Según datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), el cultivo de plantas oleaginosas se ha incrementado en un 50% en los últimos 30 años.

Aceites obtenidos de especies silvestres o no cultivadas, sobre todo especies de palmas, contribuyen a escala menor pero permanente al abastecimiento del consumo local. Especies de los géneros Acrocomia, Astrocarium, Syagrus, Bactris, Jessenia, Oenocarpus, Attalea, Scheelea y otros, son también cosechadas rutinariamente para obtener el aceite contenido en sus frutos y semillas.

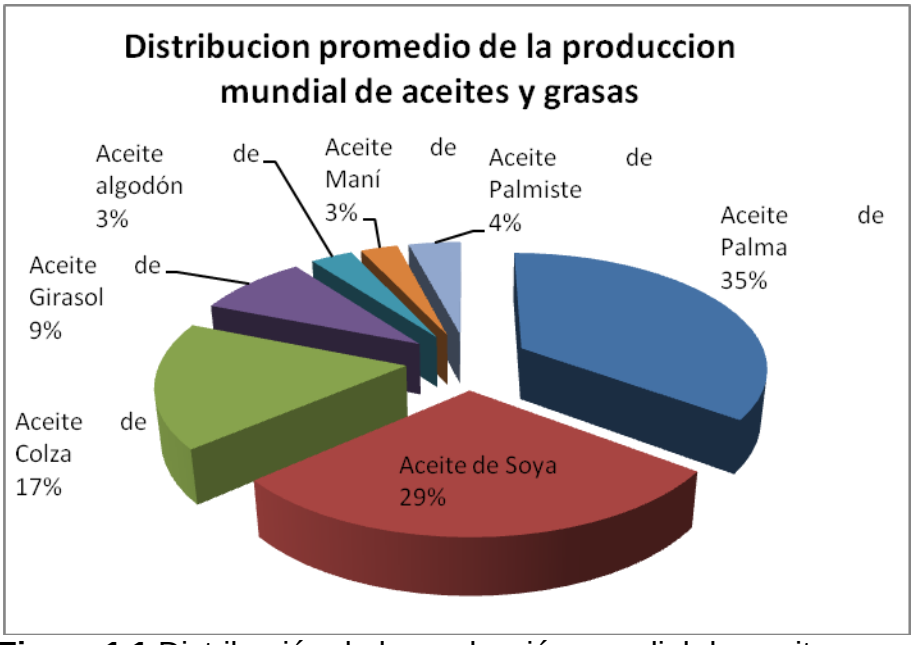

Figura 1.1 Distribución de la producción mundial de aceites

Se presentará las plantas oleaginosas cuyos aceites están disponibles en el Ecuador a escala comercial, como el aceite de palma africana, de soya y de algodón. Adicionalmente, existen plantas cuyos aceites tienen un potencial actualmente no aprovechado como el girasol, higuerilla, inchi y piñón.

1.3.2 PALMA AFRICANA (ELAEIS GUINEENSIS)

Figura 1.2 Plantación de palma africana

En el continente americano se encuentran más de 130 especies de palmas. El género Elaeis comprende tres especies de palmas

aceiteras, de las cuales dos tienen importancia para la producción de aceites: la palma africana Elaeis guineensis y la palma de aceite Elaeis oleifera. La palma africana es una planta tropical propia de climas cálidos húmedos distribuida entre las latitudes 20 grados al norte y al sur. En el Ecuador se encuentra en tierras por debajo de los 500 msnm. Su origen se ubica en el Golfo de Guinea, en el África occidental, de ahí su nombre científico Elaeis guineensis y su denominación popular: palma africana de aceite.

La palma africana de aceite es un cultivo perenne, de tardío y largo rendimiento ya que la vida productiva puede durar más de 50 años, pero desde los 25 se dificulta su cosecha por la altura de su tronco. Para un buen rendimiento, la palma africana requiere precipitaciones altas, suelos fértiles y como planta heliofila, mínimo 125 horas luz mensuales. Actualmente, en el mundo hay sembradas cinco millones de hectáreas de palma africana, que representan 16 millones de toneladas de producción anual de aceite, siendo Malasia (46%), Indonesia (31%), Nigeria (5%) y Colombia (2%) los más relevantes productores de aceite. El Ecuador, en el 2004 con un 0,9% de la producción mundial, ha sido el segundo mayor productor latinoamericano y el sexto en el mundo. El 93% del total de las plantaciones de palma africana se concentra en la costa incluyendo las partes del cultivo en la provincia de Pichincha y, el 7% en el Oriente.

Figura 1.3 Recolección de fruto de palma africana

El rendimiento de la palma africana varía entre 4 y 24 toneladas de fruto por año, con un promedio de 12 toneladas. El rendimiento promedio mundial en términos de aceite por hectárea es de alrededor de 3,5 toneladas. El cultivo de palma africana es el cultivo que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie.

Figura 1.4 Semilla de palma africana

1.3.3 SOYA (GLYCINE MAX)

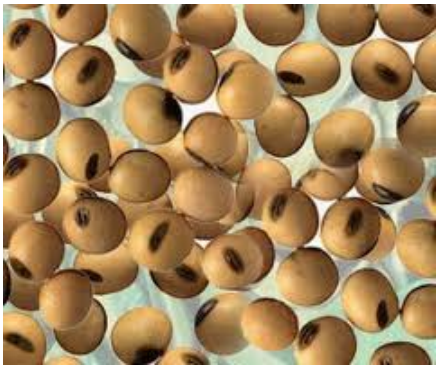

Figura 1.5 Frejol de soya

La soya es una oleaginosa de alto valor nutritivo con múltiples usos tanto para el consumo humano como animal y tiene una demanda importante en el país.

La producción de soya se concentra en la provincia de Los Ríos; según el III. Censo Nacional Agropecuario, alrededor del 96% de la superficie sembrada se encuentra en esta provincia.

La producción de soya en el Ecuador tiene como objetivo principal la producción de balanceado para el sector de la avicultura. Los volúmenes de producción no logran satisfacer los requerimientos industriales de semilla. La producción de aceite de soya nacional no es suficiente para abastecer la industria alimenticia ecuatoriana, ni en volumen, ni en calidad; al contrario constituye un bien de importación para el sector alimenticio. El aceite de soya se utiliza para el consumo humano mezclado con la oleína de palma debido al sabor más agradable del aceite de soya, al precio más bajo de la oleína, así como también porque el aceite de soya se mantiene líquido a temperaturas más bajas.

En el Brasil el aceite de soya es utilizado ampliamente en la producción del biodiesel. Debido a su estructura química, el aceite vegetal natural de la soya no puede ser utilizado como sustituto del diesel fósil.

1.3.4 ALGODÓN (GOSSYPIUM HIRSUTUM)

Figura 1.6 Plantación de algodón

El algodón es una planta originaria de América, genera la fibra y la semilla. La fibra es el principal producto y la semilla el principal subproducto que se da aproximadamente en una relación de 1 a 2; de la semilla se obtienen el aceite y la torta, residuo de la extracción del aceite. El ciclo productivo total del algodón es de 150 días. La producción del algodón se concentra en las provincias de Guayas y Manabí. En los últimos 10 años se observa una disminución del área y de la producción del cultivo, de 30.000 ha sembradas a principios de los años 90 a 600 ha, en el año 2003.

Los rendimientos de fibra tradicionalmente han sido de alrededor de 1 t/ha, los de la semilla de 2 t/ha; a partir del año 2000 el rendimiento ha mejorado y ha llegado a 2, 68 t/ha, en el año 2006.La semilla tiene un contenido de aceite de un 15% logrando así una producción de aceite de unos 400 kg por hectárea. Debido a su estructura química, el aceite de algodón no puede ser utilizado como aceite vegetal natural en sustitución del diesel fósil.

1.3.5 GIRASOL (HELIANTHUS ANNUUS)

Figura 1.7 Plantación de Girasol

El girasol es un cultivo de ciclo corto, originario de América. En la actualidad, en el Ecuador el girasol se siembra solo a pequeña escala.

El girasol se adapta a ambientes con altitudes que van de 0 a más de 2.000 msnm. El ciclo vegetativo está entre 70 y 120 días, con dos cosechas al año en caso de condiciones climáticas favorables. La semilla del girasol contiene del 32% al 45% de aceite.

Una vez que se han procesado las semillas para obtener el aceite, las cáscaras y demás restos que quedan se pueden utilizar como alimento para el ganado.

Según las estadísticas de la Food and Agricultural Organization -FAO-, Argentina es el mayor exportador de aceite de girasol del mundo, con precios de USD 630 por tonelada.

El aceite de girasol tiene muchas aplicaciones en la industria química con un buen mercado en los países industrializados.

Por su composición, fundamentalmente de ácidos grasos poliinsaturados de los cuales destacan el ácido linoleico y el ácido

linolénico, el aceite de girasol se considera una opción para el uso en motores diesel adaptados en zonas templadas.

Debido a que en zonas aptas para el cultivo que se encuentran desde la costa hasta la sierra del Ecuador con dos cosechas al año se puede alcanzar una producción de hasta 500 galones de aceite de buena calidad, se debería realizar un análisis detallado de las potencialidades del cultivo de girasol con fines energéticos.

1.3.6 HIGUERILLA (RIZINUS COMMUNIS)

Figura 1.8 Hoja de Higuerilla

La higuerilla es un arbusto de entre 2 y 4 metros de altura; originario de África tropical y posiblemente de la India; fue extensamente introducido en las regiones cálidas y templadas de países como Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica y Paraguay.

La higuerilla requiere de un clima tropical a subtropical. Existen variedades que se adaptan a diversas condiciones de clima y suelo, y se encuentran hasta en los 2.500 msnm, pero conforme aumenta la altitud y cambian las condiciones climáticas, decrece el contenido

oleaginoso. La higuerilla en el Brasil se cultiva como planta anual, en el Ecuador con un ciclo productivo de entre dos a cuatro años.

En regiones tropicales se alcanzan rendimientos de 1.400 kg/ha de grano limpio. El contenido de aceite oscila entre 35 y 55% según variedad y estado de madurez, además de otros factores. En el Noreste del Brasil la higuerilla es el cultivo principal utilizado como materia prima para la elaboración de biodiesel.

La higuerilla se ha introducido en las islas Galápagos. Según observaciones de la Estación Científica Charles Darwin de Galápagos la planta se comporta de forma invasiva.

El rendimiento es de un 36% solo con prensado y de un 45% con solventes. El aceite de higuerilla prensado en frío se vende en USD 1.350 la tonelada, mientras que el aceite extraído con químicos se comercializa en USD 1.230. La Corporación para la Recuperación de Cultivos Nativos -CORPAGRO- organiza y capacita a los productores y gestiona recursos para el fortalecimiento del sector higuerillero.

La higuerilla, ya sea para extracción de aceite vegetal puro o como materia prima para la elaboración de biodiesel, ofrece perspectivas de una producción amigable con el medio ambiente.

Tomando en consideración los beneficios socio-ambientales del cultivo de la higuerilla, el Programa Nacional de Biocombustibles propone el fomento con fines energéticos.

1.3.7 MANÍ DE ÁRBOL (CARYODENDRON ORINOCENSE)

El maní de árbol o inchi, un árbol de 30 a 40 m. de altura, es originario de la amazonía occidental, ampliamente distribuido en la cuenca

amazónica en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. El inchi es la especie nativa amazónica con uno de los mayores potenciales económicos, con ventajas de adaptación a la ecología y suelos predominantes de la región.

Los pueblos amazónicos consumen las semillas de los frutos maduros, las mismas que tienen un sabor agradable parecido al maní. Es una especie de uso múltiple que produce alimentos, aceite y madera y tiene potencial en la producción de cartón vegetal. El aceite que contienen las almendras es de calidad excelente para la industria de alimentos naturales y de creciente demanda en los mercados externos.

El contenido de aceite de las almendras es de 41% a 59%; es la especie oleaginosa amazónica que supera en cantidad y calidad de aceite a especies tradicionales como la palma africana, el maní, la soya y el ajonjolí.

En el Ecuador se han realizado primeros ensayos, todavía no evaluados con el cultivo de inchi en las provincias de Morona Santiago y Sucumbíos, por parte del Programa Forestal Sucumbíos del Ministerio del Ambiente.

Según los primeros ensayos la gran variabilidad de la especie y la falta de investigaciones genéticas y agronómicas impiden en la actualidad que el inchi sea considerado para plantaciones en mayor escala con fines de producción de aceites vegetales.

1.3.8 PIÑÓN (JATROPHA CURCAS)

El piñón pertenece a la familia de las euphorbeaceae, género Jatropha, con alrededor de 170 especies conocidas. El piñón es un árbol pequeño que alcanza de 5 a 8 m de altura y probablemente tiene su origen en Mesoamérica y el noroeste de Sur América. Fue llevado a Brasil, Asia y la costa occidental del África. Hoy en día se encuentra en casi todos los países tropicales y subtropicales donde es conocido como Tempate (Nicaragua), Yupur, Piñoncillo o Piñón Purgante.

Procedente de regiones con un amplio rango climático desde el cálido seco hasta el subtrópico húmedo se encuentra en regiones con temperaturas de entre 18 ºC y más de 28º C, y de 300 hasta 2.000 mm de lluvia al año.

Con precipitaciones de menos de 600 mm el piñón requiere que la humedad del aire sea alta.

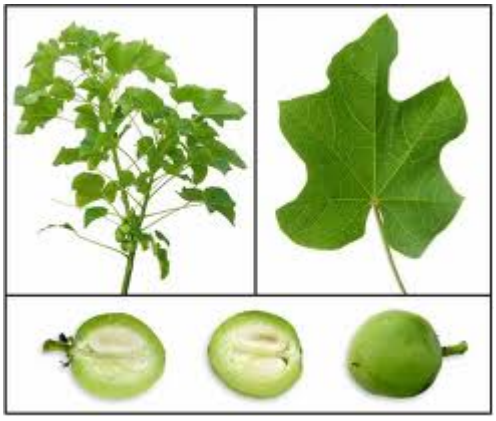

Figura 1.9 Partes de la planta de piñón

El piñón ha sido cultivado en diferentes países debido a que reúne diferentes cualidades:

- Bajos requerimientos al respeto de fertilidad del suelo, agua y mantenimiento del cultivo con la capacidad resultante de poder ser

cultivado en tierras degradadas y no utilizadas y no competir con cultivos alimenticios.

- La capacidad de rebrotar hojas y frutos no comestibles para ganado por lo que ha sido utilizado como cerca viva para potreros y para la división de propiedades.
- Por tener acumulados en todas sus partes vegetativos y generativos - tronco, hojas, semillas sustancias químicas venenosas, es resistente frente a plagas y enfermedades.
- Posee un fruto con un alto contenido de aceite que puede ser utilizado para la fabricación de jabón, con fines energéticos y para fines farmacéuticos y de protección de plantas.
- Por ser un arbusto de altura limitada lo que facilita la cosecha.

El piñón en muchos países y en especial en zonas secas tradicionalmente ha sido utilizado para cercas vivas (Etiopia, Guinea, Madagascar, Malí, Mozambique, Uganda). También ha sido utilizado como soporte para plantas como la vainilla en Papua Guinea y Uganda. Ha sido cultivado con fines de producción de aceites en las Isla de Cabo verde con 8748 ha cultivadas en el año 1933; Benin y Madagascar, países que exportaron aceite de piñón a Portugal y Francia para la producción de jabón.

En América Latina el cultivo del piñón ha sido fomentado en:

- Belice: a partir de 1998, con fines de reforestación y apoyo de la OEA.
- Nicaragua a partir de 1990, en la región de León y Chinandega en áreas de cultivo de algodón y con el apoyo del gobierno austriaco.
- Guatemala, Honduras y Perú

Las evaluaciones de estos proyectos muestran una gran variabilidad del piñón respecto a la capacidad de producción bajo diferentes condiciones de precipitaciones y suelos. Los objetivos de la plantación del piñón en parte han sido el control de erosión, la reforestación de suelos marginales en combinación con la lucha contra la pobreza y la producción de aceite como combustible y, para la fabricación de jabón. Los diferentes objetivos resultaron parcialmente compatibles. El piñón sobrevive en climas áridos y suelos de baja fertilidad, pero para la producción económicamente rentable de aceite requiere de condiciones mínimas con respecto a precipitaciones, fertilidad del suelo y mantenimiento. Un mantenimiento adecuado “fertilización después de la siembra, riego en el primer año, poda” es un requisito indispensable para que sea económicamente viable la siembra de piñón con fines de producción de aceite.

Como aspectos menos favorables se ha identificado que el piñón recién alcanza su producción máxima en el quinto año, lo que ha causado por ejemplo que en Nicaragua los campesinos abandonaran su cultivo antes de que este llegara al quinto año

Especialmente en el primer año, la plantación requiere de precipitaciones o de un riego para llegar a un porcentaje satisfactorio de plantas que sobreviven. La siembra se puede realizar mediante estacas o semillas/plantas, resultando las plantas a base de semilla más rigurosas. Dependiendo del lugar de siembra se recomienda un número de entre 1.111 (3x3m), 1.600 (2.5x2.5 m) y 2.500 (2x2m) plantas por ha.

Es importante señalar que el piñón en zonas semiáridas con inversiones bajas, permite ingresos estables a un nivel también bajo, motivo por el cual no compite con cultivos de ciclo corto, sino que ofrece la posibilidad de complementar ingresos utilizando tierras de otra manera desocupadas.

En ensayos en la República Dominicana sólo el 20% de las plantas sembradas genéticamente no mejoradas ha tenido un rendimiento económicamente satisfactorio. En ensayos realizados en la India, el rendimiento por planta varía entre 0 y 1295 gramos. La semilla para la siembra de piñón con fines de producción de aceite por lo tanto, tiene que ser seleccionada cuidadosamente.

Alrededor de un 20% de los frutos son semillas las cuales contienen un 25 - 35% de aceite. El contenido de aceite según algunas investigaciones varía de acuerdo con las condiciones ecológicas, con un contenido mayor de aceite en zonas secas.

Del contenido total de la semilla “dependiendo de la tecnología empleada en el proceso de extracción” se puede obtener un 80% a 90% del aceite. El procesamiento del aceite tiene que ser realizado de manera cuidadosa para obtener un aceite que cumple los estándares definidos para aceites vegetales.

En el Ecuador el Ministerio de Agricultura y Ganadería considera al piñón junto con la higuerilla, las opciones más prometedoras dentro del Programa Nacional de Biocombustibles y específicamente, para rescatar y desarrollar alternativas de producción para pequeños productores de zonas secas. Ha definido como meta la siembra de 50

000 has identificadas por el SIGAGRO-MAG (El Programa nacional de Biocombustibles) en la zona de Jipijapa y, la implementación de lotes demostrativos en diferentes localidades de la zona seca de Manabí donde el piñón tradicionalmente ha sido cultivado como cerca viva que, según informaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, suman unos 40 Km en la región.

En una iniciativa de la Corporación Corredor Ecológico con la participación de comunidades, productores particulares, el sector privado y el Gobierno Provincial de Manabí, con apoyo del MAG, se han sembrado abril 2007 40 ha de piñón. Tienen planificado ampliar el cultivo del piñón a una extensión de hasta 50.000 ha.

La planta del piñón ya está presente en las Islas Galápagos. Según uno de los anteriores directores de la Estación científica Charles Darwin no es endémico de ahí, pero por su presencia remota bien adaptada. La presencia se disminuyó durante los fenómenos de El Niño a los lugares más altos del terreno, donde no hay estancamiento del agua Así lo observaron los moradores, que bien coincide con las exigencias agroecológicas del piñón. Debido al peso del fruto, el piñón no se comporta de forma invasiva, la propagación se realiza cerca de la planta madre. Este factor posibilitaría el cultivo del piñón y la producción de aceite en las islas.

CAPITULO 2

BIOCOMBUSTIBLES Y LAS TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

2.1 MATERIA PRIMA

A pesar de que no existe una definición globalmente aceptada de Bio-refinería, todas las definiciones comparten la utilización de la biomasa como materia prima.

De manera general, la biomasa se define como toda aquella materia orgánica, de procedencia vegetal o animal, que ha tenido su origen inmediato a través de un proceso biológico.

Dentro del contexto energético, se emplea el término de biomasa como un tipo de energía renovable basado en la utilización de la materia orgánica

formada por vía biológica o productos derivados (biocombustibles) de diversa naturaleza (sólidos, líquidos o gaseosos), que pueden emplearse en sustitución de los combustibles tradicionales en transporte, producción de calor y electricidad, y como materia prima para la industria química.

Con la aparición del concepto de biorefineria integrada, la biomasa además de utilizarse en el sector energético, agrícola y forestal, amplía su utilización hasta el sector químico. Por tanto, la industria química juega un papel esencial en la obtención de gran variedad de bioproductos de valor añadido. En este contexto, debería redefinirse el concepto de biomasa como toda materia orgánica de origen renovable que puede ser empleada con fines industriales.

La energía contenida en la biomasa procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales y algunos microorganismos mediante la fotosíntesis, y posteriormente acumulada en los enlaces de las moléculas orgánicas constituyentes de la biomasa. Esta energía es transferida a los animales a través de las cadenas tróficas y es liberada al medio ambiente mediante procesos de oxidación de forma rápida como sucede en la combustión, o más lentamente como los que se producen en la descomposición de los materiales biológicos.

La biomasa energética se puede clasificar siguiendo diversos criterios: origen, composición, contenido en humedad, etc. Atendiendo al origen de la biomasa se pueden distinguir dos grandes grupos de biomasa: los de origen residual y los cultivos energéticos.

2.1.1 BIOMASA RESIDUAL

La biomasa de origen residual es la que se genera en las actividades de producción y transformación en los sectores agrícola, forestal e industrial. Estos materiales son considerados residuos puesto que carecen de valor económico en el contexto en el que se generan, ya sea en las actividades desarrolladas dentro del sector primario (residuos agrícolas, ganaderos y forestales), secundario (residuos que se generan en las industrias transformadoras de las materias primas primarias) o terciario (residuos producidos por el consumo humano, como la fracción orgánica de los residuos urbanos, aguas residuales y aceites de fritura) tal y como se muestra en la Tabla 2.1.

SECTOR	ACTIVIDAD	RESIDUOS
Primario	Agraria	Forestales
		Agrícolas
		Ganaderos
Secundario	Transformación	Industriales
Terciario	Urbana	Residuos sólidos urbanos
		Aguas residuales
		Aceites de fritura

Tabla 2.1 Biomasa residual proveniente de los sectores primario, secundario, terciario

Dentro de la biomasa residual podemos diferenciar:

- La *biomasa forestal residual*, constituida por los residuos que se generan por la explotación de los bosques, como los *residuos procedentes del corte y elaboración de la madera* (ramas, hojas, tocones y raíces, corteza, serrín y virutas) y los procedentes de los *tratamientos selvícolas* (limpias de los bosques, creación de

claros como cortafuegos). También dentro de este grupo se incluyen los residuos forestales industriales procedentes de las industrias papeleras y de pasta de papel, como las *lejías negras* ricas en lignina.

- Los *residuos agrícolas* comprenden todas las fracciones de la planta que no son destinadas al consumo. Estos residuos presentan una elevada heterogeneidad y, dependiendo de su naturaleza, se pueden distinguir:

  - ✓ *Procedentes de cultivos leñosos* (olivos, frutales, viñedos): corresponden a los restos de poda, levantamiento de cultivos (plantas viejas, enfermas, tocones, etc.).

  - ✓ *Procedentes de cultivos herbáceos* (cereales, cultivos hortícolas, cultivos industriales) como por ejemplo la paja de cereal y el bagazo de maíz.

  - ✓ *Residuos ganaderos*, fundamentalmente el estiércol y los purines. Tradicionalmente se empleaban como abono, aunque en la actualidad han sido reemplazados por los fertilizantes químicos. Dadas las características de humedad y contenido en nutrientes de esta biomasa, el potencial energético de estos recursos puede aprovecharse mediante tecnología de digestión anaerobia para la obtención de biogás.

- ✓ *Residuos de la industria agroalimentaria*, son aquellos residuos de naturaleza orgánica producidos en las industrias de elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de los alimentos de consumo humano y animal. Las materias primas de partida pueden ser de origen animal o vegetal. Constituyen ejemplos de estos residuos los generados en la industria azucarera (melazas, bagazos), industria del café (marros, cascarilla), elaboración de cerveza y malta (bagazo, grano residual), de vino (semillas de uva, raspones, orujillos, lías, vinazas), fabricación de alcoholes (granillas, hollejo, orujillo, vinazas), molienda húmeda del maíz (líquido de maceración *"corn steep liquor"*), preparación del arroz (cascarilla), aceiteras (orujo, alpechín, alperujo), conserveras (residuos frescos de vegetales y frutas, huesos, semillas, pieles), queserías (lactosuero), elaboración de frutos secos (cáscaras y pieles), elaboración de zumos, etc. Los subproductos generados en estas industrias pueden tener aplicación agrícola directa, o bien se utilizan en alimentación animal, en producción de "compost" o de alcohol.

  Otro ejemplo de residuos agroalimentarios son las grasas animales, como el sebo de vaca y la manteca de cerdo, que pueden ser empleadas como materia prima en la producción de biodiesel.

- Los *residuos urbanos*, son aquellos originados a consecuencia de la actividad humana. En contraposición a otros tipos de biomasa residual, presentan un carácter localizado, se generan de forma no estacional y su utilización no compite con otros sectores. Normalmente su eliminación implica problemas sanitarios, de conservación del medio ambiente y una ocupación innecesaria del espacio. A continuación se citan algunos ejemplos:

  - ✓ *Aceites de fritura usados*, que constituyen posibles materias primas baratas y asequibles para la producción de biodiesel.

  - ✓ *Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*, que son aquellos materiales sólidos resultantes de la actividad doméstica. La fracción orgánica de estos residuos se emplea para producción de “compost” y generación de biogás.

  - ✓ *Aguas residuales*, procedentes de la actividad humana. La depuración de estas aguas genera unos lodos que pueden aprovecharse energéticamente mediante digestión anaerobia para la producción de biogás.

2.1.2 CULTIVOS ENERGÉTICOS

Los cultivos energéticos son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. En ocasiones las especies empleadas coinciden con las tradicionalmente destinadas a la

producción forestal y agrícola pero, en general, se producen en condiciones de cultivo muy distintas. Los cultivos energéticos tienen como características principales una gran productividad, robustez, resistencia a factores ambientales adversos (sequía, enfermedades, adaptación a terrenos marginales) y capacidad de rebrote.

Existe la posibilidad de modificar genéticamente los cultivos para mejorar la productividad e incrementar su interés comercial. A pesar de la controversia existente en torno al empleo de organismos modificados genéticamente (OMG), su aplicación en cultivos energéticos implicaría un marco legislativo menos restrictivo que el que existe actualmente en el caso de cultivos de uso alimentario. Se estima que de las 114,3 millones de hectáreas agro-biotecnológicas cultivadas en el mundo el pasado 2007, alrededor del 9% se destinaron a la producción de biocombustibles. El 90% se encuentra en Estados Unidos (mayoritariamente maíz transgénico). A distancia le siguen Brasil y Canadá en los que se producen respectivamente soja y canola para la producción de biodiesel.

Según su aprovechamiento final, los cultivos pueden clasificarse en alcoholígenos, oleaginosos y lignocelulósicos.

2.1.2.1 CULTIVOS ALCOHOLÍGENOS

Son cultivos destinados a la producción de bioetanol a partir de procesos de fermentación de azúcares. Dentro de este conjunto se incluyen:

- ✓ Cultivos de *biomasa azucarada*, constituida por un elevado contenido en azúcares solubles, en forma de monosacáridos (glucosa, fructosa) en pulpa de frutas o disacáridos como la sacarosa presente en la remolacha (*Beta vulgaris* L.), el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L.) y la caña de azúcar (*Saccharum* sp).

- ✓ Cultivos de *biomasa amilácea*, en cuya composición predominan los polisacáridos de reserva como el almidón (polímero de glucosa) o inulina (polímero de glucosa y fructosa). Los granos de cereal y de tubérculos de patata constituyen una abundante fuente de almidón. La inulina está presente en tubérculos de pataca (*Helianthus tuberosus* L.) y rizomas de achicoria (*Cichorium* sp.) y dalia (*Dhalia* sp.).

2.1.2.2 CULTIVOS OLEAGINOSOS

Son aquellos cuyas semillas contienen aceites vegetales que pueden emplearse como combustible en motores. Son ejemplos de este tipo de biomasa la colza (*Brassica napus* L.), el girasol (*Helianthus agnus* L.), el alazor (*Carthamius tinctorius*) y la soja (*Glycine max*). Otros cultivos no convencionales productores de semillas oleaginosas son la colza etíope (*Brasica carinata*), de elevada resistencia a la sequía y las plagas, el cardo (*Cynara cardunculus*), especie mediterránea con gran capacidad de producción de biomasa, y la especie *Jatropha curcas*, de origen tropical,

con capacidad de desarrollarse en suelos arenosos de escasa fertilidad y en zonas con escasas precipitaciones.

2.1.2.3 CULTIVOS LIGNOCELULÓSICOS

Son aquellos cuyos componentes mayoritarios son polisacáridos de elevado peso molecular, la celulosa y hemicelulosa, y una macromolécula fenólica, la lignina. Se emplean en la producción de biocombustibles sólidos con fines térmicos y/o eléctricos y para la producción de los denominados biocombustibles de segunda generación. Los cultivos lignocelulósicos pueden ser tanto herbáceos como leñosos.

2.2 BIODIESEL

El biodiesel es un biocarburante líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard) lo describe como esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de

lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los esteres más utilizados, como veremos más adelante, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo coste y sus ventajas químicas y físicas.

A diferencia de otros combustibles, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima. Esto es la causa de que sea preciso tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente.

Al asegurar la existencia de una demanda de biocarburantes, el desarrollo de su mercado puede aprovecharse para potenciar otras políticas como la agrícola, favoreciendo la creación de empleo en el sector primario, la fijación de población en el ámbito rural, el desarrollo industrial y de actividades agrícolas, y reduciendo a la vez los efectos de la desertización gracias a la plantación de cultivos energéticos.

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible de automoción, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del gasóleo que las del aceite vegetal sin modificar. La viscosidad del éster es dos veces superior a la del gasóleo frente a diez veces ó más de la del aceite

crudo; además el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento. El biodiesel necesita disponer de unas especificaciones que enumere las propiedades y garantice la calidad de producto. Además, el biodiesel debe cumplir los requisitos para los combustibles minerales de automoción y que se encuentran recogidas en la norma europea EN-590. Los requerimientos específicos y los métodos de control para la comercialización y distribución de ésteres metílicos de ácidos grasos –FAME- para su utilización en motores diesel con 100% de concentración se encuentran en la norma EN 14214 transcrita a la legislación española en el RD 398/1996 y el RD 1728/1999 en concordancia con la Directiva Europea 98/70/CE.

Propiedad	**Unidad**	**Mínimo**	**Máximo**	**Método de ensayo**
Contenido en éster	% (m/m)	96,5		EN 14103
Densidad a 15ºC	kg/m2	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40ºC	mm2/g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	ºC	120	-	prEN ISO 3679

Contenido de azufre	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Resíduo de carbón(en 10% de residuo destilado)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Índice de cetano		51,00		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre(3h a 50ºC)	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110ºC	Horas	6	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,5	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados (> = a 4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	
Contenido de metanol	% (m/m)		0,2	EN 14110
Contenido en mono glicéridos	% (m/m)		0,8	EN 14105
Contenido en di glicéridos	% (m/m)		0,2	EN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)		0,2	EN 14105
Glicerol libre	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K)	mg/kg		5	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10	EN 14107

Tabla 2.2 Propiedades del biodiesel

2.3 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

Como se ha señalado anteriormente, la biomasa puede transformarse en una gama de productos derivados, los *biocombustibles*, de diversa naturaleza (sólida, líquida o gaseosa) que pueden tener aplicación en todos los campos de utilización de los combustibles tradicionales: electricidad, transporte, usos térmicos, materia prima para la industria química.

La heterogeneidad es la característica fundamental de la biomasa. Esta heterogeneidad hace imposible abordar la producción de energía a partir de biomasa desde una única perspectiva, ya que para su utilización energética existen tantas combinaciones como tipos de biomasa y procesos de conversión. La complejidad aumenta si, además de las aplicaciones energéticas, se consideran también las nuevas tecnologías para la obtención de *bioproductos de valor añadido*.

En este apartado se analizan los procesos de conversión de biomasa en biocombustibles.

En la Figura 2.1 se muestra un esquema de las vías posibles de obtención de combustibles a partir de la biomasa: transformaciones mecánicas, extracción directa, transformaciones termoquímicas y transformaciones biológicas. Debe señalarse que en una Bio-refinería podrían aplicarse diversos procesos de transformación y que los productos resultantes de un proceso constituyan la materia prima para otro.

En cualquier proceso de producción de energía y productos de valor añadido a partir de biomasa, deben considerarse las fases previas a su transformación, entre las que se incluyen la recolección, el transporte y el almacenaje. Para determinar qué tipo de proceso de transformación es más adecuado para cada tipo de biomasa, esta debe caracterizarse previamente mediante la determinación de humedad, tamaño y forma de partícula, composición química (contenido en carbohidratos, lignina, volátiles, cenizas) y poder calorífico.

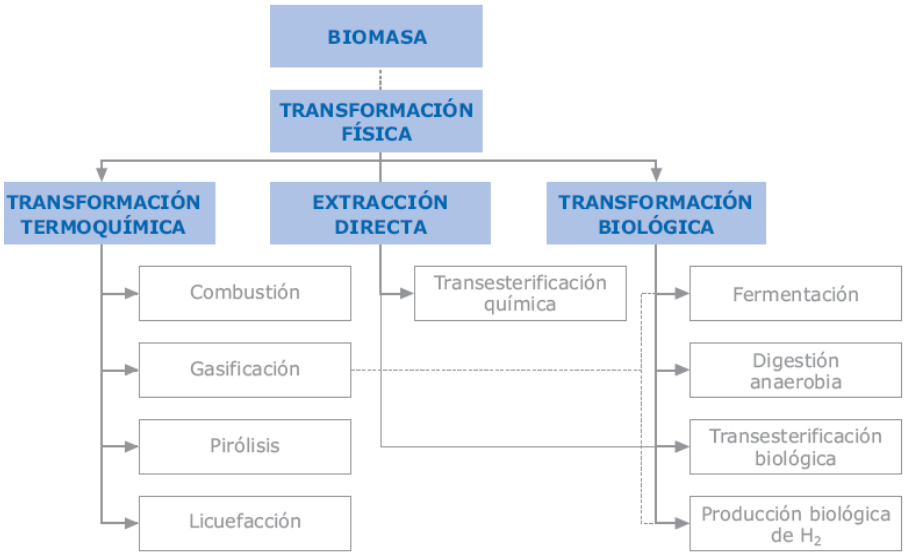

Figura 2.1 Principales vías de transformación de biomasa

En la mayoría de los casos, es necesaria una etapa de transformación física o mecánica para reducir mediante molienda la granulometría de la biomasa y facilitar su homogeneización. Algunos productos, incluidos determinados biocombustibles, pueden obtenerse directamente de la biomasa mediante un proceso de extracción. Una vez extraídas las sustancias de interés, la biomasa normalmente se somete a transformaciones posteriores mediante diferentes procedimientos que, en términos generales, se agrupan en procesos termoquímicos y biológicos.

Los *procesos de transformación termoquímicos* consisten en la descomposición de la biomasa en sus componentes elementales, mediante la acción de elevadas temperaturas en condiciones variables de oxidación. Los procesos termoquímicos pueden dividirse en tres categorías: combustión, cuando el calentamiento de la biomasa se produce en exceso de aire; gasificación, cuando la biomasa se calienta con cantidades limitadas de

comburente (aire, oxígeno, vapor de agua y/o oxígeno, hidrógeno) y pirólisis, en los que el calentamiento de la biomasa tiene lugar en ausencia de aire.

Los *procesos de transformación biológicos* son aquellos mediados por microorganismos, bien presentes en la propia biomasa, o bien añadidos externamente durante el proceso. Aunque ha sido el proceso de fermentación alcohólica, para la obtención de etanol-combustible, el que ha originado el concepto de Bio-refinería, mediante fermentación de la biomasa pueden generarse gran diversidad de compuestos Bio-derivados (butanol, ácido láctico, ácido acético, glicerina, etc.). También se incluyen dentro de los procesos de transformación biológica la digestión anaerobia para la obtención de metano (biogás), la transesterificación mediada por microorganismos para la producción de micro-diesel y la producción biológica de hidrógeno.

El desarrollo de las Bio-refinerías proporcionará avances en estas tecnologías y el desarrollo de nuevos procesos de transformación como el reformado de los azúcares, la vitrificación y procesos de obtención de fibras, lo que permitirá ampliar el conjunto de productos que pueden obtenerse.

A continuación se describen los diversos procesos de conversión de la biomasa, las materias primas más adecuadas y la tecnología implicada.

2.3.1 EXTRACCIÓN DIRECTA

La primera operación que se realizará en las futuras Bio-refinerías es un proceso de extracción de sustancias químicas de alto valor presentes en la biomasa. Mediante extracción pueden obtenerse, dependiendo de la biomasa utilizada, fragancias, sustancias aromatizantes, colorantes, condimentos y sustancias farmacológicas,

nutracéuticos, aceites, polifenoles e hidrocarburos. También puede obtenerse un residuo rico en proteínas que puede emplearse en alimentación animal.

Dependiendo de la materia prima varía tanto el tratamiento previo al que hay que someter a la biomasa como los disolventes empleados en la extracción y las fracciones obtenidas al final del proceso. En general, las plantas una vez secas, se muelen para disminuir el tamaño de partícula y se someten a un proceso de extracción mediante disolventes (acetona, hexano y benceno) en varias etapas, aunque se han desarrollado procesos de extracción avanzados que se realizan en una única etapa.

En estos procesos se emplean solventes y microondas que facilitan la difusión del agua y los solventes empleados, logrando reducir aún más el tiempo de proceso.

También existe interés en el desarrollo de nuevos métodos de extracción que empleen solventes adaptados a cada sustancia, como los fluidos supercríticos. En los últimos años, la tecnología de fluidos supercríticos se está aplicando con éxito en los procesos extractivos, puesto que presenta ventajas frente a los procesos convencionales: temperaturas más suaves, con el consecuente ahorro energético, alta selectividad y ausencia de emisiones y generación de residuos peligrosos.

La aplicación más extendida en las actuales Bio-refinerías es la extracción lipídica, mediante la que pueden extraerse de determinadas

biomasas (semillas de cultivos oleaginosos, plantas productoras de terpeno y caucho) moléculas como terpenos, esteres y triglicéridos. Los cultivos de algas también son sometidos a un proceso de extracción. Una empresa internacional ha desarrollado un sistema de extracción de aceite de algas en continuo. Una vez extraído el aceite, las algas vuelven a crecer y acumular triglicéridos con la reducción de tiempo y costos asociados.

En otros procesos que emplean biomasa lignocelulosico como materia prima, como el pulpeo kraft o aquellos basados en fermentación, se genera un residuo rico en lignina del que pueden extraerse compuestos de alto valor industrial, como la vainillina, el sirigaldehído y el siringol.

2.3.2 TRANSESTERIFICACIÓN/ESTERIFICACIÓN

Los aceites vegetales extraídos a partir de las semillas oleaginosas pueden emplearse como combustible mezclado con gasóleo en baja proporción, o directamente en motores adaptados. Los aceites requieren de un acondicionamiento previo a su utilización, que consiste en una etapa de desengomado y filtración. Los ácidos grasos poli insaturados presentan una elevada tendencia a polimerizar originando gomas que, puesto que no se queman totalmente, generan depósitos carbonados y espesamiento del aceite lubricante, que pueden causar problemas en los motores. A este inconveniente se suma la propia naturaleza viscosa de los aceites, que dificulta el bombeo del carburante. Para reducir los problemas que causa en el motor el uso directo de los aceites vegetales se recurre a transformarlos

químicamente mediante un proceso de transesterificación, originando un combustible denominado biodiesel, de características físico-químicas y energéticas más similares al diesel.

Los aceites usados, como los aceites de fritura, constituyen una materia prima muy barata, además de que su empleo contribuye a la eliminación de este tipo de residuos. Las grasas animales son otra alternativa posible, aunque cada vez es mayor el interés en otras fuentes como los aceites obtenidos mediante procesos microbianos y las micro-algas.

La transesterificación es una reacción de alcohólisis en la que se produce el intercambio del grupo alcoxi de un éster por otro alcohol, tal y como se muestra en la Figura 2.2.

En la transesterificación, los triglicéridos reaccionan con alcoholes de cadena corta (etanol, metanol, propanol, butanol, alcohol amílico) para generar esteres. El alcohol más empleado en la industria es el metanol debido a su bajo coste.

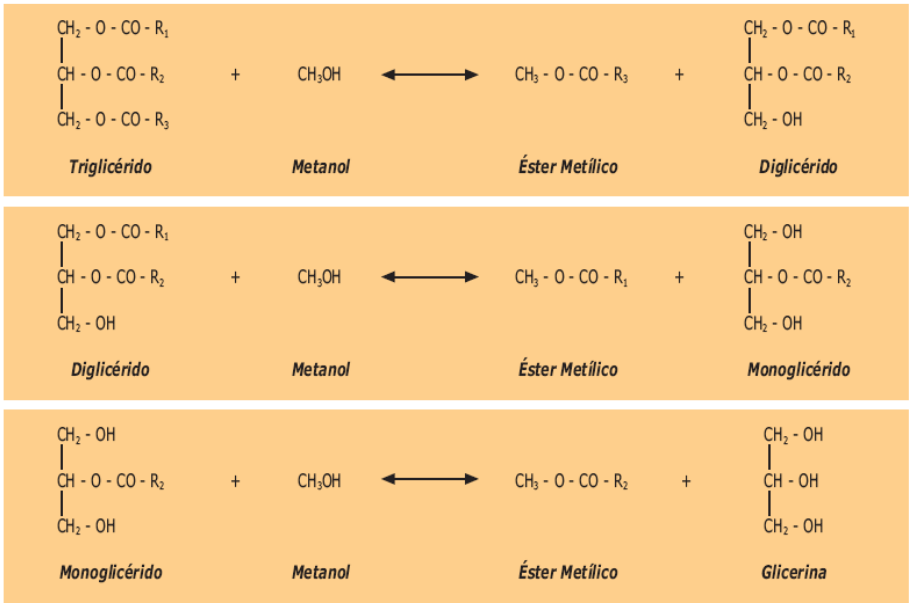

Figura 2.2 Reacciones que se producen en la transesterificación química con alcohol

La reacción de transesterificación puede llevarse a cabo mediante múltiples catalizadores: catalizadores homogéneos ácidos o básicos, catalizadores heterogéneos, biocatalizadores o empleando alcoholes en estado supercrítico. En la Tabla 2.3 se muestran las ventajas, inconvenientes y el estado de desarrollo de cada una de estas tecnologías. La reacción de transesterificación generalmente se realiza en presencia de un catalizador básico (hidróxidos de sodio o potasio), aunque también pueden emplearse *catalizadores ácidos* (ácidos sulfúrico y clorhídrico, ácidos sulfónicos).

Una de las principales restricciones que presenta este tipo de procesos es la formación de jabones en presencia de agua y ácidos grasos libres, que se reduce aplicando una etapa previa de saponificación. En la Figura 2.3 se muestra un esquema con las etapas del proceso de transesterificación química con catalizador básico. Tras la

transesterificación, se obtiene una mezcla de esteres, glicerol, alcohol, catalizador, además de mono/di/triglicéridos, ya que la reacción se produce de forma gradual.

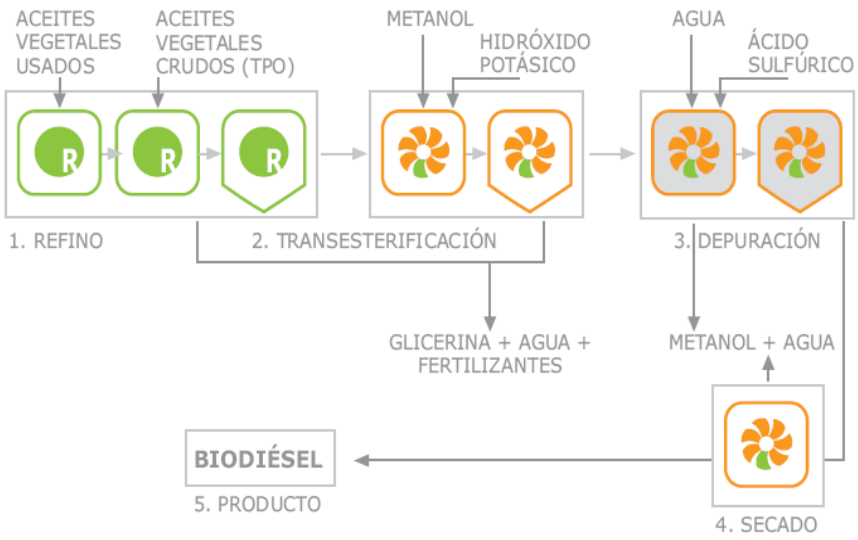

Figura 2.3 Esquema de las principales etapas de producción de biodiesel mediante transesterificación química

Los esteres metílicos de ácidos grasos son separados del alcohol no reaccionante y de la glicerina, tras lo cual se someten a una etapa de purificación. El producto obtenido, biodiesel, se envía a tanques de almacenamiento como producto terminado.

En la transesterificación de triglicéridos se producen varios problemas cuando se utilizan hidróxidos de sodio y potasio como catalizadores. El catalizador alcalino, disuelto en el medio de reacción, permanece en el producto y forma jabones de ácidos grasos, como subproductos de la transesterificación, que ocasionan una baja velocidad de separación entre la fase de ésteres de ácidos grasos y la fase de glicerol. Después

de la separación es necesario eliminar, mediante lavados con agua, el catalizador disuelto y los jabones de ácidos grasos en fase monoéster.

Para ayudar a resolver estos problemas se están desarrollando procesos de *catálisis heterogénea* que emplean como catalizadores resinas sulfónicas, óxidos metálicos, zeolitas, ácidos de Lewis, catalizadores de Titanio y catalizadores de Zirconio, entre otros. Estos polímeros tienen unidades químicas que proporcionan sitios activos básicos no iónicos, y presentan la ventaja de facilitar la separación de los productos finales, permitiendo trabajar en continuo. Al final de la reacción el producto se encuentra libre del catalizador sólido, por lo que no es necesaria la etapa de lavado, lo que facilita la operación de separación y purificación del producto, además de poder reutilizar el catalizador. A pesar de estas ventajas, estos catalizadores son costosos y muy susceptibles a las impurezas, lo que dificulta su implantación comercial para la producción de biodiesel. Otra posible vía de transesterificación de aplicación industrial es el *proceso en condiciones supercríticas*, en el que la materia prima en presencia de un alcohol se somete a elevadas presiones (alrededor de 120 atmósferas) y temperaturas (en torno a 350 ºC).

En estas condiciones se promueve tanto la transesterificación de los glicéridos, como la esterificación de los ácidos grasos libres en ausencia de catalizador. Además de la rapidez de la reacción, disminuyen considerablemente la formación de efluentes y los costes asociados a las etapas posteriores de neutralización y recuperación del catalizador.

Los procesos en condiciones supercríticas son especialmente interesantes para aquellas materias primas de elevada acidez con las que se obtienen bajos rendimientos en biodiesel por los métodos de transesterificación convencionales.

Las condiciones extremas de operación de este proceso suponen un incremento considerable en los costes, lo que dificulta su aplicación a nivel industrial. No obstante, estudios recientes concluyen que es un proceso competitivo frente a la catálisis ácida o alcalina, especialmente en la obtención de biodiesel a partir de aceites usados.

Una empresa valenciano-argentina ha desarrollado un reactor para realizar la transesterificación/esterificación empleando metanol en condiciones supercríticas, con la que esterifican tanto los triglicéridos como los ácidos grasos libres, lo que permite la obtención de biodiesel a partir de aceites de elevada acidez (proyecto NEOTEC: “Planta de biodiésel sin catalizador integral”).

También se están desarrollando *procesos enzimáticos*, en los que la transesterificación es mediada por enzimas lipasas bajo condiciones más suaves de temperatura, reduciendo, por tanto, el coste energético del proceso.

Al igual que sucede en el proceso en condiciones supercríticas, las lipasas son capaces de catalizar conjuntamente la transesterificación de los glicéridos y la esterificación de los ácidos grasos libres, por lo que disminuyen las reacciones de saponificación, facilitando las posteriores etapas de separación y purificación. Sin embargo, el alto

coste del enzima y los problemas de desactivación de la misma durante el proceso han imposibilitado, hasta el momento, su aplicación a nivel industrial.

Los esfuerzos en investigación van dirigidos al desarrollo de sistemas más económicos que permitan, por un lado la reutilización de las lipasas y, por otro, reducir la desactivación de las mismas por el alcohol y la glicerina. Se están desarrollando procesos de catálisis enzimática con lipasas extracelulares, mediante la inmovilización de los microorganismos productores (por ejemplo, *Rhizopus oryzae*). La catálisis enzimática con microorganismos inmovilizados, junto con la adición discontinua de metanol con solventes orgánicos, logra además reducir la desactivación de las lipasas[38]. Otra de las limitaciones de la catálisis enzimática son los largos tiempos de proceso, lo que dificulta su aplicación en continuo.

El Instituto de Microbiología y Biotecnología Molecular (Münster, Alemania) está investigando la posibilidad de desarrollar un *proceso microbiológico* para la obtención de biodiesel, empleando bacterias capaces de producir ésteres etílicos de ácidos grasos (FAEE) a partir de fuentes de carbono renovables. Los FAEE obtenidos por vía microbiológica son denominados *microdiésel*, para distinguirlos de los FAEE obtenidos por los métodos anteriores. En dichos estudios se emplea una bacteria recombinante de *Escherichia coli*, con capacidad de producir etanol, triglicéridos y ésteres, mediante la introducción de los genes implicados en la producción de etanol a partir de glucosa (genes codificantes de piruvato descarboxilasa y alcohol

deshidrogenasa), procedente de *Zymomonas mobilis*, y el gen codificante de una enzima acil-transferasa inespecífica, originario de la bacteria *Acinetobacter baylyi*.

La ventaja de este tipo de procesos radica en la posibilidad de utilizar como fuente de carbono residuos lignocelulósicos y evitar el uso de metanol, más tóxico que el etanol, y en general, de procedencia fósil. Además del carácter renovable del proceso, se podría reconducir el proceso de conversión hacia la producción de otras sustancias óleo-químicas dado el amplio espectro de sustratos de la enzima acil-transferasa.

Proceso de transesterificación	Ventajas	Inconvenientes	Nivel de desarrollo

Catálisis alcalina	Condiciones moderadas de presión y temperatura.	El aceite y el alcohol deben ser anhidros para evitar formación de jabones.	Tecnología más empleada comercialmente.
	Tiempos de reacción de aproximadamente 60 minutos.		
Catálisis ácida	Hace factible la utilización de materias primas con alto contenido en ácidos grasos libres (AGL).	Tiempos de reacción prolongados en comparación con la catálisis alcalina.	Se emplea como proceso de pre-esterificación para la adecuación del aceite, antes de aplicar la catálisis alcalina.
		Necesidad de equipos resistentes a la corrosión.	
Catálisis heterogénea	Facilitan la separación de los productos finales.	Desgaste y alto coste de los catalizadores.	Tecnología en desarrollo.
		Condiciones de operación de altas temperaturas y presiones.	
	Permite realizar el proceso en continuo.	Susceptibilidad a impurezas.	
		Bajas conversiones.	
Alcoholes supercríticos	Permite la utilización de materias primas con alto contenido en agua y AGL.	Alto coste debido a las condiciones de operación.	Algunas plantas de producción en Europa.
	Bajos tiempos de reacción.		
	No necesita catalizador.		
Catálisis enzimática mediante lipasas	La reacción no está afectada por la presencia de agua ni por AGL contenidos en la materia prima.	Los tiempos de reacción son elevados, no aptos para un proceso de producción continuo.	Investigación.
	Productos de elevada pureza por lo que disminuyen los costes asociados a las etapas de purificación posteriores.	Inactivación del enzima, que se reduce mediante el empleo de solventes orgánicos y mediante la adición de metanol por pulsos.	
Microbiológica	Emplea materias primas renovables para la obtención de etanol, que posteriormente es empleado en la transesterificación.	Obtención de otras sustancias lipídicas.	Investigación
		Baja tasa de conversión.	

Tabla 2.3 Comparación entre las diferentes tecnologías de transesterificación

2.3.3 GASIFICACIÓN

La gasificación consiste en un proceso de oxidación parcial a elevada temperatura (entre 800 y 1.500 ºC) mediante el cual la biomasa (materiales lignocelulósicos y lejías negras procedentes de la industria

papelera) reacciona con cantidades limitadas de comburente (entre el 10 y 50% del necesario para la combustión) originando un producto gaseoso formado por diferentes proporciones de los siguientes gases: CO, H_2, CO_2, CH_4 y N_2. La composición química de la materia prima influye en la composición del producto gaseoso. Por norma general, es recomendable que la biomasa empleada tenga una relación C/N elevada, un bajo contenido en azufre y un contenido en humedad inferior al 40%.

El comburente empleado puede ser aire, oxígeno, vapor de agua y/o oxígeno, e hidrógeno. Cuando la reacción se realiza con aire como oxidante, genera una mezcla gaseosa con una mayor proporción de N_2, denominado gas pobre o gas de gasógeno. Este gas presenta un poder calorífico bajo, entre 2,5 y 8 MJ/Nm^3, por lo que es generalmente empleado en combustión para la producción de calor, aunque se están desarrollando micro turbinas capaces de generar electricidad a partir de gases con bajo poder calorífico.

Si la gasificación se realiza con oxígeno, el gas producido contiene CO e H_2 como combustibles principales, mezclados con CO_2, lo cual origina un gas, denominado *gas de síntesis*, con poder calorífico medio, entre 10 y 20 MJ/Nm^3.

Otro tipo de proceso de gasificación es la *hidrogasificación*, en la cual la biomasa seca se hace reaccionar con H_2, generando como producto un gas con alto contenido en metano, pequeñas cantidades de etano y

otros gases. Tras retirar el CO_2, el gas resultante presenta un poder calorífico superior al del gas natural.

Además de los anteriores, se están desarrollando métodos avanzados de gasificación en los que se logra mejorar la eficiencia térmica del proceso, como la *gasificación supercrítica* y la *gasificación solar*. En la gasificación supercrítica se emplea agua en estado supercrítico como agente gasificante. De esta manera se pueden gasificar biomasas con cierto contenido en humedad, como las procedentes de residuos ganaderos, obviando el secado previo de la biomasa. En el caso de la gasificación solar, el calentamiento del reactor de gasificación se realiza mediante concentración de la energía solar, por lo que se requiere menor cantidad de biomasa para autoalimentar el proceso. En la Tabla 2.4 se recogen las características de los gases resultantes de los diferentes procesos de gasificación, su poder calorífico y su posterior aplicación. El gas resultante del proceso contiene agua, CO_2 y sustancias contaminantes que hacen necesaria una etapa de acondicionamiento previo a la utilización. Estos contaminantes incluyen partículas (cenizas), compuestos alcalinos, alquitrán, compuestos nitrogenados y azufre que deben reducirse hasta niveles aceptables para su aplicación posterior.

Comburente	Composición	Poder calorífico	Aplicaciones
Aire	Gas pobre o gas gasógeno: 50% N_2, 20% CO, 16% H_2, 12% CO_2, 2% CH_4	2,5-8 MJ/Nm³	Calor Electricidad (microturbinas)
Oxígeno	Gas de síntesis: CO + H_2 enriquecido con diferentes cantidades de CO_2 e hidrocarburos.	10-20 MJ/ Nm³	Electricidad Calor Metanol Etanol Ácido acético Amoníaco Gasolinas
Vapor de agua y/o oxígeno, o vapor de agua	Gas de síntesis enriquecido en H_2 y CO		
H_2	Gas de síntesis con alto contenido en CH_4	> 30 MJ/ Nm³	Sustituto del gas natural

Tabla 2.4 Características de los gases generados por gasificación en función del agente gasificante o comburente.

El proceso se realiza en reactores de gasificación, cuyo diseño influye en la proporción relativa de cada uno de los gases y contaminantes generados y, por tanto, en la posterior aplicación. Básicamente los gasificadores pueden agruparse en tres tipos principales:

- ✓ Lecho móvil a contracorriente (“updraft gasifier”), donde la biomasa y el agente gasificante presentan trayectorias opuestas. A pesar de la eficiencia térmica de este gasificador, presenta limitaciones como la formación de gran cantidad de alquitranes, por lo que la etapa de acondicionamiento de gas posterior encarece mucho el proceso de gasificación.

- ✓ Lecho móvil de corrientes paralelas (“downdraft gasifier”), en los que sólido y gas se mueven en el mismo sentido. En este tipo de gasificador, se reduce la formación de alquitranes respecto al anterior, pero precisa que la biomasa contenga una humedad inferior al 20%, con el consecuente consumo en la etapa de secado.

- ✓ Lecho fluidizado, en los que el sólido es mantenido en suspensión por medio del agente gasificante. El rendimiento en este tipo de gasificador es elevado, además de que admite un mayor porcentaje de humedad de la materia prima de partida.

El gas de síntesis, una vez acondicionado, puede ser empleado como combustible auxiliar en calderas, para la producción de calor y electricidad en turbinas, o bien puede transformarse en combustibles más energéticos mediante síntesis química [biocombustibles sintéticos o BTL ("biomass to liquids") que serán descritos con mayor detalle más adelante. Recientemente se ha inaugurado en Freiberg, Alemania, la primera planta precomercial de biocombustible sintético de segunda generación en el mundo (residuos de madera y restos vegetales), con una capacidad de producción anual de 18 millones de litros de biocombustibles.

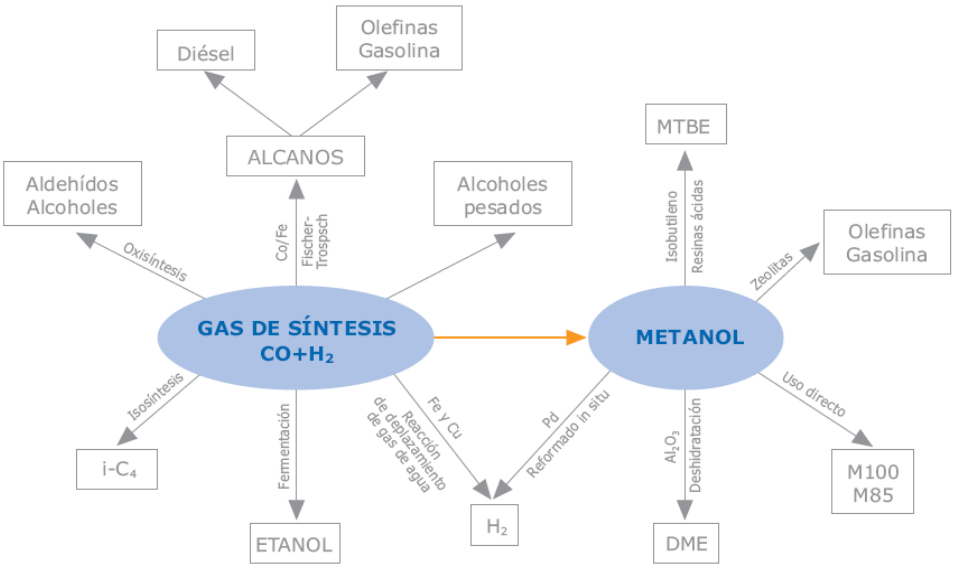

Figura 2.4 Vías de producción de combustibles y sustancias químicas a partir del gas de síntesis.

En la Figura 2.4 están representados los posibles productos que pueden obtenerse a partir de diferentes procesos, siendo los más representativos:

- ✓ Hidrógeno, por la reacción de desplazamiento de gas de agua (water gas shift reaction).
- ✓ Alcanos constituyentes de la gasolina mediante la síntesis de *Fischer-Tropsch* (biodiésel Fischer-Tropsch o biodiésel sintético), reacción que se lleva a cabo sobre catalizadores de cobalto o hierro, a altas presiones (20-30 bar) y temperatura (200 - 350 ºC).
- ✓ El gas de síntesis puede utilizarse como materia prima para la producción de otros compuestos químicos como metanol, etanol y ácido acético por diferentes procesos químicos.

Además de las opciones anteriores, la producción de etanol e hidrógeno a partir del gas de síntesis puede realizarse mediante vía biológica. Un ejemplo lo constituye el microorganismo anaerobio *Clostridium ljungdahlii*.

La tecnología implicada en el proceso global incluye una primera etapa de gasificación de cualquier tipo de material celulósico, una segunda de fermentación de la mezcla gaseosa y una tercera de separación del etanol producido mediante un proceso de pre evaporación.

También puede obtenerse H_2 a partir del gas de síntesis mediante la utilización de bacterias foto-heterótrofas de la familia Rhodospirillaceae

como la bacteria *Rhodosporillum rubrum*. Estos microorganismos son capaces de realizar la síntesis de reacción de desplazamiento de gas de agua a presión y temperatura ambientales, gracias a la enzima monóxido de carbono deshidrogenasa (CODH).

2.3.4 PIRÓLISIS: PIRÓLISIS RÁPIDA

La pirólisis es un proceso de descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno en líquidos, gases y carbón vegetal, mediante oxidación parcial y controlada.

Las cantidades de los diferentes productos dependen de la biomasa a tratar y de los parámetros de operación del equipo. Tiempos de residencia largos y bajas temperaturas (300-500 ºC) favorecen la formación de carbón vegetal. Sin embargo, en la denominada pirólisis rápida (tiempos inferiores a 1 segundo y temperaturas cercanas a los 1.000 ºC) puede obtenerse un combustible líquido denominado Bio-aceite, que denominamos aceite de pirólisis para evitar confusiones con el biodiesel obtenido por transesterificación.

La biomasa lignocelulosica (residuos agrícolas y forestales) es la más apropiada para este proceso de transformación, aunque también pueden utilizarse otras materias primas como los residuos sólidos urbanos. Los productos obtenidos en el proceso de pirólisis:

- ✓ *Carbón vegetal*, residuo sólido carbonoso que contiene carbones, alquitranes y cenizas. Este carbón, de menor contenido en azufre que el de origen fósil, puede emplearse directamente como combustible, con un poder calorífico entre

los 25 y 30 MJ/kg, o bien destinarse a la producción de carbón activo. También el carbón puede disolverse en sal fundida, para utilizarse como materia prima en el cátodo de las pilas de combustible para producir electricidad con una mayor eficiencia energética que las pilas de combustible tradicionales.

- ✓ Un gas compuesto por hidrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos gaseosos como el metano, mezclados con gran cantidad de dióxido de carbono. El poder calorífico de este gas oscila entre 8 y 15 MJ/Nm^3, aunque puede alcanzar valores de hasta 20,9 MJ/Nm^3 aplicando la tecnología de pirólisis rápida. Este gas puede reciclarse para su empleo en la generación de calor del proceso.

- ✓ Un combustible líquido o aceite de *pirólisis*, líquido complejo que se forma por condensación de los vapores de pirólisis que contienen principalmente hidrocarburos oxigenados con un poder calorífico del orden de 25 MJ/kg.

2.3.5 BIOMASA LÍQUIDA VÍA GASIFICACIÓN Y FISCHER-TROPSCH

Este proceso es una modificación del proceso original de Franz Fischer y Hans Tropsch, desarrollado para obtener combustibles líquidos alternos a partir del carbón.

Este comienza con un molido y secado de la biomasa para formar pellets. Los pellets de biomasa son transformados en gas y en una fracción sólida a través de un proceso de gasificación de bajas temperaturas entre 800ºC y 859ºC y presiones entre 24 y 31 atm (350

a 450 psi). Las reacciones que se dan en el proceso de gasificación son las que se presentan:

$$C + CO_2 \xrightarrow[800-859^{o}C]{} 2CO$$

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

Cuando la biomasa es calentada en atmósfera inerte o con una cantidad menor a la tercera parte de oxígeno necesaria para una combustión eficiente, se gasifica a una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, conocida como gas de síntesis o syngas.

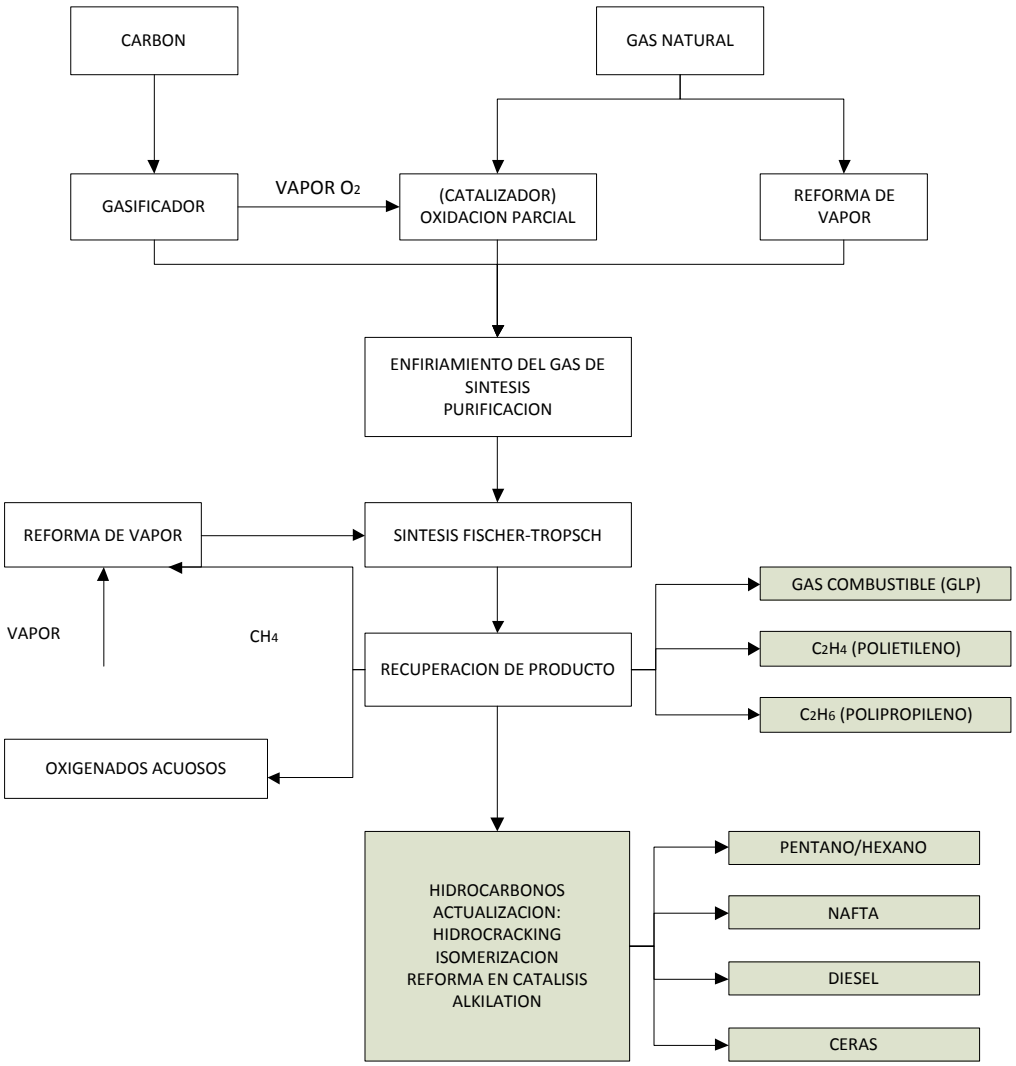

Figura 2.5 Esquema de revisión del proceso Fischer-Tropsch

La combustión es una función de la proporción de oxígeno que se mezcla con el hidrocarburo. Combustibles gaseosos se mezclan con oxígeno más fácilmente que los líquidos, los que a su vez se mezclan más fácilmente con oxígeno que los combustibles sólidos. Por lo tanto, el syngas se quema más eficientemente y de manera más limpia que la biomasa de la cual se ha obtenido.

La gasificación de la biomasa puede mejorar la eficiencia a gran escala, especialmente cuando se trata de utilizar los residuos forestales industriales como materia prima, como por ejemplo la pulpa y los licores negros provenientes de la industria del papel.

Este gas sintético puede utilizarse directamente como combustible. Si se quiere un combustible líquido, se puede aplicar el proceso de Fischer-Tropsch. Previo a su aplicación, el gas debe someterse a remoción de calor y purificación para remover alquitrán, CO_2 y H_2S. Al licuarse el gas, se permite que el CO e H_2 reaccionen y formen cadenas hidrocarbonadas, caso en el cual es necesario utilizar un catalizador como el hierro o cobalto.

El gas pasa a través de un lecho catalítico contenido en tubos verticales. El calor desprendido lo absorbe el agua caliente que circula afuera de los tubos. El gas de alimentación posee una relación H_2/CO del orden de 2 y las condiciones de operación son aproximadamente 221 a 254ºC y 360 psi. Los gases de síntesis de

lecho fijo y de lecho fluido son contactados con vapor para aumentar la razón H_2/CO a 6. El gas reformado penetra a un lecho fluido, en el cual, el catalizador circula con el gas de síntesis. El gas y el catalizador que dejan el reactor, son separados por medio de ciclones y posteriormente el catalizador es reciclado. Las condiciones de operación son aproximadamente 316 a 329 ºC y 330 psi. Los productos que se obtienen de la síntesis son hidrocarburos de bajo punto de fusión y gasolina de bajo, medio y alto rango; además de productos oxigenados, solventes aromáticos y combustibles de alquitrán.

El líquido resultante es isomerizado para incrementar su estabilidad y luego destilado o hidrotratado. Es en este paso en que se logra que el producto final cumpla con los requerimientos de los motores, alterando la forma y largo de las moléculas del combustible.

Esto no es posible en otros procesos de obtención de biocombustibles. Por esta razón, el BTL es conocido como “diseñador de combustible”. 60% del destilado puede utilizarse directamente como combustible, mientras que el resto de las fracciones puede utilizarse en la industria química o puede ser procesado para obtener gasolina o keroseno.

CAPITULO 3

ESTADO DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE BIODIESEL

3.1 LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESTADOS UNIDOS

El presidente Bush, en su discurso sobre el estado de la nación a inicios de 2003, llamó a los estadounidenses “adictos al petróleo”, y propuso como solución el uso de los biocombustibles. En este contexto, se dictó la Ley de Energías Renovables que tiene como objetivo pasar de un consumo de biocombustibles de 2 000 millones de galones en 2003, a 5000 millones de galones en el año 2012. La nueva legislación energética de Estados Unidos ha previsto incrementar el uso de combustibles renovables, de acuerdo al siguiente calendario:

AÑO	USO DE COMBUSTIBLES RENOVABLES (en mil millones de barriles)
2005	3,1
2006	3,2
2007	3,5
2008	3,8
2009	4,1
2010	4,4
2011	4,7
2012	5,0

Tabla 3.1 Calendario de Uso de Combustibles renovables en USA

3.1.1 BIODIESEL

Entre 2004 y 2005, el consumo de biodiesel aumentó en un 50 % en Estados Unidos. En la primera mitad de 2006, la demanda de biodiesel creció tan rápido que día a día se anuncia la construcción de nuevas refinerías. Al momento hay 67 nuevas plantas de biodiesel en desde el 2008. Hay cerca de 10 plantas que están en expansión y las principales son las siguientes:

EMPRESA	CAPACIDAD (en MMgy)	Materia prima
Cargill	38	Aceite de soya
Minnesota Soybean Processors	30	Aceite de soya
Organic Fuels LLC	30	Múltiples fuentes
Peter Cremer	30	Aceite de soya
SoyMor	30	Aceite de soya
Western Oiwa Energy	30	Aceite de soya y grasas animales
Johann Haltermann Ltd.	20	Aceite de soya
Environmental Alternatives	13	Aceite de soya
Ag Processing Inc.	12	Aceite de soya
Smithfield Bioenergy LLC	12	Grasas animales
Western Central Soy	12	Aceite de soya
TOTAL	489,0	

Fuente: Biodiesel Magazine, 2006

Tabla 3.2 Plantas productoras de Biodiesel en USA

La empresa ADM está también incursionando en el negocio del biodiesel. En octubre de 2005, anunció la construcción de una planta

de biodiesel a base de aceite de colza, con una capacidad de refinación de 85 MMgy. La planta estará ubicada en el estado de Dakota del Norte, cerca de las plantas de elaboración de aceite de colza, y sería la planta de biodiesel más grande de Estados Unidos. Planifica también la construcción de una nueva planta con capacidad de 30 MMgy cerca de México y la construcción de otra planta en Brasil. Cargill también ha entrado en el negocio del biodiesel. Su planta en Iowa Falls, estado de Iowa empezó a producir biodiesel en mayo de 2006. Es la planta con mayor capacidad de producción de biodiesel en Estados Unidos hasta el momento. La planta funciona con el aceite de soya procesado en una planta que la misma empresa Cargill opera en una zona adyacente.

Cargill tiene además otra planta de biodiesel en Port of Montoir en Francia y ahí planea construir una nueva planta de elaboración de aceite de colza, para enviarla a su socio estratégico Diester Industries a través de un oleoducto, para la producción de biodiesel.

A pesar del crecimiento que ha experimentado el sector, expertos en biodiesel en Estados Unidos consideran que la capacidad de producción es muy pequeña para alcanzar la demanda existente. La cantidad de soya y colza disponible como materia prima para esta industria representa apenas el 2 % del consumo anual (Emerging Markets Online, 2006). El Consejo Nacional de Biodiesel se ha propuesto como meta llegar a mil millones de galones de biodiesel para el año 2015, y las empresas estadounidenses no solo aspiran cubrir con su demanda externa, sino también a exportar biodiesel.

Pero la producción de aceite de colza o de soya doméstica en Estados Unidos no podrá cubrir con la creciente demanda de biodiesel, por lo que se requiere mayor producción y nuevos proveedores de materia prima. Algunos productores que se han asociado para controlar de manera vertical el negocio de la soya, como los productores de soya de Minesota, dicen que si tuvieran que priorizar entre la producción de harina de soya o biodiesel, su prioridad sería siempre la harina.

Esto podría significar la expansión de la frontera agrícola en el Tercer Mundo para servir a la siempre creciente demanda por energía existente en Estados Unidos.

Aun si el uso de biocombustibles cumpliera con los pronósticos más optimistas, EE UU seguiría dependiendo del petróleo extranjero. Los biocombustibles no podrán satisfacer todo el apetito energético de ese país. El consumo de energía aumentará drásticamente en los próximos años, a no ser que los estadounidenses comenzaran a usar menos energía.

Las bioenergías servirán entonces para dos propósitos. Por un lado, para crear la apariencia de que Estados Unidos está comprometido con el cambio climático, aunque el incremento en el uso de energía no contribuya de manera significativa a frenar el calentamiento global, y a subsidiar a grandes empresas comercializadoras y procesadoras de maíz y etanol.

3.2 LOS BIOCOMBUSTIBLES Y LA UNIÓN EUROPEA

En Europa, el biocombustible de mayor uso es el biodiesel. Este es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de colza y, en los últimos años, a partir de soya, girasol y palma.

Europa pretende que, en el año 2010, el 5,75 % del combustible que consume el transporte público sea de origen vegetal, es decir, que sea hecho a base de biocombustibles. Sin embargo, la Unión Europea está consciente que no se puede autoabastecer de la materia prima que requiere para cubrir estas cuotas.

La Agencia Europea para el Ambiente calcula que, para cumplir con los objetivos del 5,75 %, se necesitará dedicar entre el 4 y el 13 % del total de tierras agrícolas de la EU-25, en función de la elección de cultivos y del desarrollo tecnológico.

Por tanto, se ven en la necesidad de importar, ya sea la materia prima o los biocombustibles de países del Tercer Mundo, especialmente, de América Latina.

En este contexto, los países de América Latina ven, en esta decisión, una oportunidad de exportar soya o caña de azúcar, o en su lugar biodiesel o etanol. La demanda por diesel en Europa es superior a la demanda de gasolina en Europa, por lo tanto, el mercado de biodiesel es superior al de etanol, por lo que los cultivos que crecerán en América Latina, para servir al demandante consumidor europeo, serán la soya y la palma africana.

Entre 1985 y 2004, el consumo de energía para transporte terrestre en Europa Occidental (automóviles y camiones) creció en casi el 50%.

En el año 2000, la entonces UE-15 importaba 75 % del petróleo que consumía. Tenía pues una gran dependencia a fuentes extranjeras de este recurso. En 2004, Europa Occidental consumió más de 270 millones toneladas métricas (MMT), o aproximadamente 89 mil millones de galones, del combustible del transporte terrestre, de los cuales el 60 % fue gasóleo y el 40 % como gasolina. De este total, el petróleo significó cerca del 98 % y los biocombustibles un poco más del 1 %. Los pronósticos dicen que, para el año 2020, el consumo de combustibles para los vehículos será de 325 MMT en la Unión Europea, y, para cumplir con las obligaciones del Protocolo de Kyoto, se puso como meta reemplazar el 20 % de este combustible, con los combustibles biológicos, el gas natural y los combustibles de hidrógeno.

En la Unión Europea se estipuló que, para 2005, el 5 % de los combustibles debe ser renovable, porcentaje que deberá duplicarse para 2010. En Francia, todos los combustibles diesel poseen un mínimo de 1 % de biodiesel. A pesar de ello, el mercado de biodiesel es bajo: por ejemplo, en Alemania, donde el biodiesel está disponible en cerca de 1000 de un total de 16 000 estaciones de servicios, la participación del biodiesel está en el orden de 0,3 % del diesel vendido, lo cual equivale a 100.000 toneladas. Se espera que estas cifras se eleven a quizás 300.000 toneladas en el futuro, pero incluso los optimistas no esperan que la participación se eleve por sobre un 5% - 10% como máximo.

3.3 TENDENCIAS GLOBALES EN LA PRODUCCIÓN Y COMERCIO DE BIOCOMBUSTIBLES

La producción de biocombustibles ha mostrado un incremento exponencial en los últimos años. El bioetanol que corresponde al 90% de la producción global de biocombustibles ha mostrado un crecimiento anual promedio del 20% desde el año 2000, mientras que el crecimiento anual del biodiesel has sido de 33%.

El potencial respecto a capacidades agrícolas en los países en desarrollo, incluyendo los países Latinoamericanos, es mayor que en otras regiones.

Los cultivos de mejor rendimiento para la producción de biocombustibles, están ubicados en zonas tropicales y semi-tropicales.

El crecimiento explosivo de este sector se ha debido a políticas de los países que han posicionados a los biocombustibles como productos estratégicos en diferentes áreas: seguridad energética, desarrollo de nuevos sectores agro-industriales y políticas para enfrentar el cambio climático.

A pesar de las crecientes tendencias productivas, el comercio internacional de biocombustibles representa actualmente un porcentaje bajo, correspondiente al 10%, y las proyecciones muestran que tendrá un rol moderado en los próximos años. Los procesos comerciales se verán influenciados por cuestiones comerciales, normas y regulaciones, estándares y certificaciones.

Los temas de gran relevancia para el comercio de biocombustibles y sobre los cuales hay un fuerte debate incluyen:

- ✓ **Clasificación HS:** La clasificación de los biocombustibles no ha sido establecida todavía en el Sistema Armonizado (HS por sus siglas en inglés), sistema internacional que homogeniza la descripción y códigos para los diferentes productos bajo la Organización Mundial de Aduanas. Esto limita tanto el comercio internacional de estos productos, como la información y estadísticas que se puedan tener sobre tales flujos.

- ✓ **Tarifas y Cuotas:** Los porcentajes reconocidos para el uso de tarifas y cuotas como medio de protección para los mercados internos aún no es claro. Sin embargo, actualmente sí se hace uso de estas medidas para reducir la competencia de productores externos.

- ✓ **Acceso a Mercados:** Esta área temática en la OMC esta íntimamente relacionada con la clasificación que se determine para los biocombustibles e inclusive con el tipo y alcance de apoyo público que será permitido para estos productos. Estos temas se están tratando en las actuales negociaciones de la Ronda de Doha y todavía no se han determinado conclusiones por la sensibilidad del tema y su estrecha relación varios sectores temáticos: agrícola, industrial y ambiental. Debido a esta falta de unicidad en el tema, en la OMC no se visualiza avances concretos para la liberalización comercial de estos productos.

- ✓ **Subsidios:** Las herramientas económicas de política pública, entre ellas los subsidios, han tenido y tienen una gran incidencia en el desarrollo de los biocombustibles en los diferentes países a nivel mundial. Los subsidios utilizados para biocombustibles han ido mucho

más allá de los subsidios agrícolas, ya que han sido implementados a lo largo de toda la cadena valor. A pesar del alto apoyo doméstico en los países que han desarrollado considerablemente este sector, los países de América Latina, deben analizar con mucha cautela el uso de estas medidas, ya que hay una relación directa con temas de sostenibilidad no sólo económica en cuanto a los gastos públicos del estado, sino también social y productiva en lo referente a la producción agrícola, precios y seguridad alimentaria. Así también el tema de subsidios tendrá implicaciones en el comercio internacional - acceso a mercados.

- ✓ **Criterios de Sustentabilidad:** En cuanto a los criterios de sustentabilidad, en los últimos años han surgido varias iniciativas para definir discernimientos que pudiesen actuar de guía al momento de definir las mejores prácticas bajo las cuales los biocombustibles son producidos y comercializados. Estas iniciativas sobre criterios de sustentabilidad no competen únicamente a los procesos de comercio internacional, como regulaciones no-arancelarias, sino también a los procesos y marcos regulatorios nacionales que garanticen prácticas sostenibles en las áreas social, económica y ambiental. Los criterios de sustentabilidad considerados incluyen:

    - Temas ambientales: emisiones de gases de efecto invernadero, expansión de la frontera agrícola y deforestación, efectos en la biodiversidad, uso y calidad del agua, calidad del suelo, expansión de organismos genéticamente modificados.

- Temas socio-económicos: la inclusión de pequeños productores, distribución de costos y beneficios a lo largo de la cadena de valor y seguridad alimentaria.

✓ **Estándares Técnicos y Certificaciones** Varios de los criterios de sostenibilidad serán implementados bajo certificaciones y estándares técnicos para el comercio, bajo el Acuerdo TBT de la OMC. La efectividad de estas medidas dependerá de la capacidad de regirse a estándares y al mismo tiempo a la capacidad de definir y/o manejar los procesos de certificaciones y los diferentes estándares a ser aplicados. La producción de biocombustibles se está incrementando, pero el progreso responsable de este sector, así como el desarrollo comercial dependerá de la determinación e implementación de parámetros que guíen la sustentabilidad y de la acción conjunta de gobiernos, compañías privadas, ONGs, organismos regionales e internacionales.

Las evaluaciones que realice cada país deberá incluir: análisis, disponibilidad de tierras, impactos ambientales y sociales, aspectos económicos, y ventajas comparativas. En base a estos parámetros se deberá determinar:

- la viabilidad y alcance que tenga el país para producir y comercializar biocombustibles
- las políticas coordinas, integrales y proactivas, para un desarrollo sostenible del sector.

3.4 PANORAMA DE BIOCOMBUSTIBLES A NIVEL GLOBAL: EXPERIENCIAS REGIONALES E INTERNACIONALES

Compartamos una visión sobre algunas experiencias regionales e internacionales para conocer el panorama de biocombustibles en varios países.

3.4.1 VENTAJAS COMPARATIVAS Y CAPACIDADES PRODUCTIVAS

La producción de biocombustibles en la Unión Europea (UE) es predominante de biodiesel, y principalmente de aceite de colza. Actualmente la producción de biocombustibles ocupa aproximadamente 2.8 millones de hectáreas, aproximadamente el 3% del total del área cultivable de la UE o la extensión equivalente a Bélgica.

Por otro lado, Argentina posee grandes extensiones de tierra aptas para el desarrollo de cultivos tradicionales (como la soya, girasol, maíz y sorgo, entre otros) y los insumos necesarios para la elaboración de biocombustibles.

La producción de bioetanol se emprende en Brasil en la década de 1930 con los excedentes de la agroindustria de la caña de azúcar. Este sector representa actualmente el 1,6% del PIB Brasileño y tiene una capacidad instalada de aproximadamente 18 mil millones de litros por año, la cual ocupa 6 millones de hectáreas de este país.

Argentina es el tercer productor mundial y el primer exportador tanto de aceite de soya, como de aceite de girasol; así mismo es el segundo exportador mundial de maíz.

La industria de biocombustibles en EE.UU. se ha desarrollado principalmente con el cultivo de maíz para el etanol, y en menor escala con aceite de soya para biodiesel. Para EE.UU. el desarrollo del sector de biocombustibles ha representado a la vez un medio para incidir en la economía rural: Una planta de etanol de 50 millones de galones provee 800 plazas de trabajo y unos $30 millones en ingresos adicionales. Esta industria está en rápida expansión. A pesar de ello el uso de etanol en los mercados de gasolina representa actualmente únicamente el 3%, mientras que el etanol representa una parte importante del uso del maíz, aproximadamente el 17%, y esta participación está en crecimiento.

En Colombia, la producción de etanol en el 2006 fue de 878,082 litros por día, especialmente a base de caña de azúcar, y el área utilizada para esta producción correspondió a 40,000 hectáreas. Las metas en área y producción de etanol para 2010 han sido determinadas en 149.000 hectáreas y 2’835.663 litros diarios. Para el biodiesel se plantea que las proyecciones de crecimiento de palma para el año 2010 podría suplir la demanda con una mezcla del 15% y en el 2015 para mezclas del 30%.

3.4.2 INICIATIVAS

En el futuro, la UE tiene intenciones de enfocarse en la generación de diesel de segunda generación, principalmente de madera de cortijo y granja, y etanol celulósico de pajilla y desechos.

A la vez, tanto la UE como los EE.UU., han expresado sus intenciones de colaborar para el desarrollo adecuado de los biocombustibles en los países en desarrollo, y especialmente Europa pretende proveer asistencia para promover los criterios de sustentabilidad.

Brasil también está trabajando intensamente en nuevas perspectivas tecnológicas, como en el uso de residuos celulósicos a través de paja de trigo y/o maíz y la hoja de caña. Mediante este enfoque de investigación en nuevas tecnologías ha alcanzado un nivel óptimo de productividad agrícola y de mecanización. Estos niveles de tecnología han sido eficientes en bajar no sólo costos, sino también consumo de energía (mediante la utilización del bagazo), montos de inversión, uso del agua proceso, entre otros. Otra de las iniciativas más importantes de Brasil ha sido el sistema del sello social para su programa de biodiesel, el cual fomenta la inclusión económica de pequeños productores en el desarrollo del sector.

Uno de los objetivos principales del programa nacional de biocombustibles de Argentina es aumentar la eficiencia de cosecha de soja y girasol, lo que disminuirá la presión para aumentar el área a sembrar. Así también, se pretende usar todos o la mayoría de los residuos posibles en los esquemas de producción energéticos y de alimentos. El desarrollo de energía a través de la lignocelulosa (del rastrojo de maíz) es una tecnología de segunda generación en análisis.

Los EE.UU. al igual que la EU y Brasil está impulsando la generación de nuevas tecnologías. Desde el año 2001, este país ha invertido $12

billones en investigación y desarrollo de tecnologías que dan soporte a las políticas de diversificación energética.

La propuesta de la Ley Agrícola (Farm Bill) es la de invertir $1.6 billones en 10 años para nuevas tecnologías.

Colombia ya está analizando y definiendo los procesos de certificación a ser utilizados. Se han definido tres posibles métodos de certificación.

Adicionalmente, se está promoviendo la generación de combustible sustituto a partir del biogas generado de las aguas residuales del proceso de extracción de aceites depositados en lagunas abiertas.

Asimismo, el Ministerio de Ambienta de Colombia ya ha determinado criterios de sostenibilidad para la producción y uso de biocombustibles, entre ellos se encuentran: la biodiversidad, emisiones de GEI y otros efectos ambientales, desarrollo regional y bienestar social, consumo humano vs. aplicaciones locales.

CAPITULO 4

PROCESO DE PRODUCCION DE BIODIESEL A PARTIR EL PIÑON PARA EL USO EN LA GENERACION TERMICA EN LA ISLA FLOREANA

4.1 LA SITUACIÓN ACTUAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA ISLA FLOREANA

Floreana dispone de una red de energía aislada que al momento se compone de dos generadores a diesel y de un sistema fotovoltaico. Adicionalmente cuenta con pequeñas instalaciones fotovoltaicas en la zona agrícola. Con la construcción del nuevo sistema fotovoltaico se ha podido ampliar el abastecimiento de energía por 2 a 6 horas diarias a 24 horas (teóricamente). Sin embargo, Floreana no cuenta con registros de las curvas de cargas diarias y anuales, lo que dificulta el análisis de la demanda de energía y realizar proyecciones hacia el futuro.

La isla Floreana tiene un sistema híbrido que está compuesto por un componente fotovoltaico y dos generadores. El sistema no cuenta con un arranque automático para cuando la tensión de la batería llega a su punto bajo, y por esta razón un operador de ElecGalápagos se encarga de cambiar de las baterías al generador de forma manual. Por este motivo es inevitable que en ciertas horas (por ejemplo en la noche) después de apagarse el equipo de baterías, no funcione la red de energía por varias horas. Hasta el momento, aparentemente esto no ha sido motivo de queja por parte de la población, sin embargo, en algunas ocasiones no se puede encender un aparato eléctrico de alta potencia sin correr el riesgo de que la red no lo soporte y se apague.

4.1.1 EL ESTADO ACTUAL DE LOS GENERADORES

En el sistema híbrido se encuentran instalados dos generadores Deutz de 6 cilindros, con una potencia de motores de 60kW y de 50kW y el año de instalación de los motores que se registra en 1992. Los dos motores Deutz de 6 cilindros (F6L912 6 l- cilindrada) son de inyección directa y constituyen una variante de motor con enfriamiento de aire cuyo desarrollo comenzó en los años 40. El desarrollo de la tecnología utilizada en Floreana se origina en los años 70. A diferencia de las islas más grandes, en Floreana no existen medidores de las horas de funcionamiento de los generadores, por lo tanto, la totalidad de horas de funcionamiento de éstos solo puede ser estimada en base a la información proporcionada por ERGAL, con respecto al consumo de combustible entre los años 2000 y 2005.

CONSUMO ANUAL DE COMBUSTIBLES EN LA ISLA FLOREANA EN GALONES						
AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005
GALONES	7594	7586	7916	8756	8792	6207

Tabla 4.1 Consumo Anual de combustibles en la isla Floreana

La disminución del consumo en el año 2005 se debe a la ampliación del componente fotovoltaico.

En base a los datos existentes en cuanto a los consumos anuales, se puede deducir para los años de 2000 a 2005 un consumo promedio de 7.808 galones al año. Con un factor de coincidencia de 0.7, o sea, 70 % de la carga total del generador, típico en situaciones de red y funcionamiento como éstas, y un consumo promedio de 4,5 galones/hora, se calcula un funcionamiento anual de 1.735 horas. Suponiendo una distribución por igual entre los dos generadores de 868 horas/año, cada generador de 1992 hasta finales de 2007 ha tenido un total de aproximadamente 13.000 horas de funcionamiento. Se estima para los próximos años que el consumo promedio para las islas Floreanas será de 9.000 galones (como un valor medio).

Considerando el número de horas de funcionamiento estimado de los generadores y la existencia de varios repuestos usados junto a los mismos, se puede deducir que se ha realizado una reparación mayor de los generadores.

No se encuentran registros de un programa de mantenimiento, ni de trabajos de reparación que se han ejecutado en los dos generadores. En esta situación se asume que no hay un plan de mantenimiento

predefinido. Debido a que se emplea combustibles de alto contenido de azufre, y que no se utiliza lubricantes de alta calidad, además de que existen condiciones externas (calor, polvo que entra en el galpón de los generadores) que afectan los motores, se puede deducir que los generadores ya han terminado su vida útil.

4.1.2 CANTIDAD DE HECTAREAS DE PIÑON ADECUADA PARA CUBRIR LA DEMANDA DE LA ISLA FLOREANA

Para cubrir la demanda de la isla Floreana se requiere una cantidad adecuada de piñón, a continuación se muestra el cálculo de las hectáreas requeridas:

Se conoce que 1 piñón ocupa de área 10 cm^2 entonces en una hectárea que equivale a 1 x 10^8 cm^2 , ahora también se sabe que 1 piñón posee en promedio 3 semillas de esta manera se tendría en una hectárea 3 x 10^6 semillas de piñón.

Una semilla de piñón tiene en su interior 1/16 cm^3.de aceite así en una hectárea se tendrá 3/16 x 10^3 m^3 si se multiplica este valor por 3,8 que es un factor para obtener el valor en galones se tiene 49,34 galones.

Durante el proceso en el peor de los casos se tendrá una eficiencia del 70% entonces se producirá 0.7 x 49,34 galones = 34,54 galones por hectárea.

Se necesita 9000 galones para las isla Floreana entonces al dividir 9000 para 34,54 se obtiene 260,57 hectáreas requeridas para cubrir la demanda de la isla.

Se conoce que el piñón tarda en crecer aproximadamente 2,5 meses y se necesita cubrir la demanda por 12 meses entonces:

260,57 x (2,5/12)=54,29 hectáreas.

En conclusión se requieren aproximadamente 55 hectáreas para cubrir la demanda durante un año.

4.1.3 GENERADORES PARA LA ISLA FLOREANA

Entre los generadores se distingue entre generadores de velocidad alta y de velocidad media. Se determinó que para la Isla Floreana se requiere de un generador de mínimo 59,32 kWel. En el segmento de generadores de menos de 100 kW, requerido para la Isla Floreana, se trata de generadores de alta velocidad.

En el caso de generadores con menos de 100 kW, los motivos para el uso de biocombustibles principalmente han sido preocupaciones ambientales en zonas de captación de agua o en ecosistemas valiosos. Otra motivación ha sido el uso de un biocombustible producido localmente. Debido a eso y a los costos más altos del biodiesel, no existen muchas experiencias en el uso del biodiesel en generadores estacionarios. Los productores principales de generadores con menos de 100kW no permiten el uso de un 100% de biodiesel como combustible.

Todavía son limitadas las experiencias en la adaptación de generadores para la utilización de biodiesel, aunque las experiencias

con motores móviles similares de las mismas empresas indican que el alcance de la adaptación y el costo es menor en comparación con el aceite vegetal.

En la categoría de generadores aptos para el uso de aceite vegetal existe un limitado número de alternativas disponibles. Esto se debe, en parte, a la complejidad de la adaptación necesaria que tiene que ser realizada para cada modelo incluyendo una comprobación bajo condiciones reales, durante un período de varios años, para poder garantizar su buen funcionamiento. Por otro lado, se debe a una demanda baja de generadores debido al precio, en comparación, más bajo del diesel fósil en el pasado. Después de investigaciones con sistemas de dos tanques - uno con diesel para el calentamiento del motor y el otro con aceite vegetal puro para la operación- que dieron resultados no satisfactorios, actualmente se aplica adaptaciones con sistemas de un solo tanque que permite el uso directo del aceite vegetal.

Como criterios para la propuesta del motor se consideró:

- Las particularidades de Floreana como lugar remoto en lo que dificulta el mantenimiento y reparaciones.
- La confiabilidad del funcionamiento.
- La tolerancia hacia variaciones en la calidad del combustible.
- La vida útil a esperar en condiciones como las de la Isla Floreana.

- El consumo de combustible por kWh.
- Las emisiones causadas por el motor.

Los generadores que disponen de la tecnología más avanzada con valores de emisiones y un consumo de combustible más bajos. Requieren, en cambio, de un combustible con características predefinidas y capacidades avanzadas para el mantenimiento vía análisis computarizado. Otros generadores representan un consumo de unos 223 gr/kWh y representan una tecnología comprobada en este segmento, que se caracteriza por ser más robusta, más fácil en su mantenimiento y más tolerante frente a variaciones en la calidad del combustible.

Considerando estos criterios y el dimensionamiento determinado entre 60 y 70 kWel y frente a los conocimientos limitados al respecto de la variabilidad de las características de los biocombustibles, se propone para la Isla Floreana generadores del segundo tipo.

4.1.4 LA ADAPTACIÓN DE MOTORES PARA EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES/ ACEITE VEGETAL

Un 95% de los motores adaptados al uso de aceite vegetal en Europa se encuentran en Alemania, en este país se ha desarrollado tecnología para los siguientes tipos de motores:

- Motores de vehículos, con un total de miles de vehículos con hasta 550.000 km funcionando con aceite vegetal.

- Motores de máquinas agrarias, con importancia especial por la posibilidad de producción local de aceite vegetal en empresas agrícolas y el uso del aceite para las máquinas de la misma empresa.

- Motores de generación de energía eléctrica: con un enfoque en la generación eléctrica en ecosistemas sensibles y zonas de captación de agua.

Diferentes empresas ofrecen el servicio de adaptación de motores para el uso de aceite vegetal. Una empresa alemana ha adaptado aproximadamente 100 tractores en diferentes países europeos y 5 generadores de alta velocidad, que ahora están funcionando con aceite vegetal, uno de ellos cuenta con tres años y 10.500 horas de funcionamiento en Austria. En América Latina por el momento existen pocas experiencias en la adaptación de motores a uso de aceite vegetal; en el Brasil una empresa ofrece esta adaptación en vehículos.

Otras empresas están en el proceso de desarrollo de motores aptos para el uso de aceite vegetal. Debido a la baja demanda, pocas empresas consideran el desarrollo de generadores aptos para aceite vegetal como tema prioritario.

En Alemania, la mayoría de los motores están funcionando con aceite de colza. Mediante los análisis de los aceites se ha examinado en cuales parámetros relevantes los aceites cumplen con los valores de referencia de la norma de aceites vegetales. De esta manera se puede deducir un probable buen funcionamiento del motor con un aceite

diferente al aceite de colza, pero con las mismas características físicas y químicas.

Considerando las experiencias limitadas en el uso de aceite de piñón en generadores de alta velocidad, el uso del aceite de piñón debería ser acompañado por un programa de investigación y monitoreo.

Para los generadores propuestos para Floreana, se podría considerar el uso de aceite de piñón que cumplan la norma para aceite vegetal, sobre todo en lo que se refiere a fósforo y suciedad, sin un acompañamiento continuo, previendo un cambio más frecuente del aceite del motor, de los filtros e inyectores.

Se debe destacar que, con una adaptación al uso del aceite vegetal, las empresas que producen los generadores no mantienen su garantía normal de funcionamiento del motor. Las empresas que realizan adaptaciones normalmente condicionan una garantía para el funcionamiento del motor al uso de un aceite conocido, mayormente aceite de colza.

4.1.5 EMISIONES CAUSADAS POR LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las emisiones causadas por la generación de energía eléctrica son un criterio importante para la selección, tanto de los biocombustibles como de los generadores. Las emisiones emitidas por generadores con biocombustible deben cumplir las normas ecuatorianas. Se considera necesario, que las emisiones de los motores que funcionan con biocombustibles adicionalmente sean menores que las de motores a

diesel fósil. En vista de la sensibilidad del ecosistema de las Islas Galápagos se considera relevante si los generadores con biocombustible adicionalmente cumplen estándares internacionales.

4.1.5.1 NORMAS INTERNACIONALES

En 1990 la Ley de Aire Limpio (Clear Air Act) dada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en ingles), ha emitido una regulación de emisiones para motores estacionarios a la cual hacen referencia los productores de generadores.

El primer paso de reducción de las emisiones de fuentes fijas por parte de la EPA ha sido la norma conocida como la Tier I. Esta primera norma ha permitido la reducción de los óxidos de nitrógeno (NOX) con un mínimo impacto sobre los motores; posteriormente la EPA ha desarrollado la regulación Tier II con mayores requerimientos.

4.1.5.2 LAS EMISIONES CAUSADAS POR GENERADORES CON BIODIESEL

No existen mediciones de las emisiones de generadores de menos de 100 kW con biodiesel.

Investigaciones generales realizadas por la Universidad de Idaho con diesel y biodiesel (HySEE, Hydrogenated soy ethyl ester), dieron como resultado una disminución del 54% de HC, del 46% de CO y del 14.7% de NOx, así como un leve aumento en las emisiones de CO2 en un 0.57%.

4.1.5.3 LAS EMISIONES CAUSADAS POR GENERADORES CON ACEITE VEGETAL

La norma para aceite vegetal define los valores a cumplir por un aceite vegetal para garantizar un buen funcionamiento del motor incluyendo emisiones que no sobrepasen los valores establecidos.

Por lo tanto, las mediciones de las emisiones con generadores adaptados al uso de aceite vegetal en su mayoría fueron realizadas con aceite de colza. Una evaluación de 20 investigaciones de las emisiones de generadores con diesel fósil y con aceite vegetal no muestra ninguna diferencia en las emisiones al respecto de CO y NOx entre diesel y aceite vegetal. En lo que se refiere a HC y partículas, el aceite tenía aproximadamente la mitad de las emisiones del diesel fósil. Una evaluación de las emisiones de tres generadores de 8, 60 y 110 kWel durante un tiempo de 17 meses, dio como resultado que los generadores adaptados están cumpliendo las normas Tier al respeto de CO, NOx, HC y partículas.

Mediciones realizadas con motores de alta velocidad adaptados al uso de aceite vegetal tuvieron como resultado que el motor estaba cumpliendo la norma Tier vigente en este momento. Para un sistema híbrido como en la Isla Floreana donde -sobre todo en los primeros años- el generador va a trabajar en carga baja, es importante

conocer las emisiones causadas en diferentes porcentajes de carga. Las investigaciones con un motor de cuatro cilindros muestran que en todos los niveles de carga, la operación con aceite vegetal natural muestra menores emisiones en comparación con la operación con diesel.

Solo en carga cero los resultados son al revés y el aceite vegetal muestra una emisión de partículas por arriba de las emisiones con diesel.

La Figura 4.1 muestra como ejemplo en un motor la emisión de partículas con diesel y aceite vegetal en relación a la carga. Las emisiones CO, HC y NOx se comportan de la misma manera.

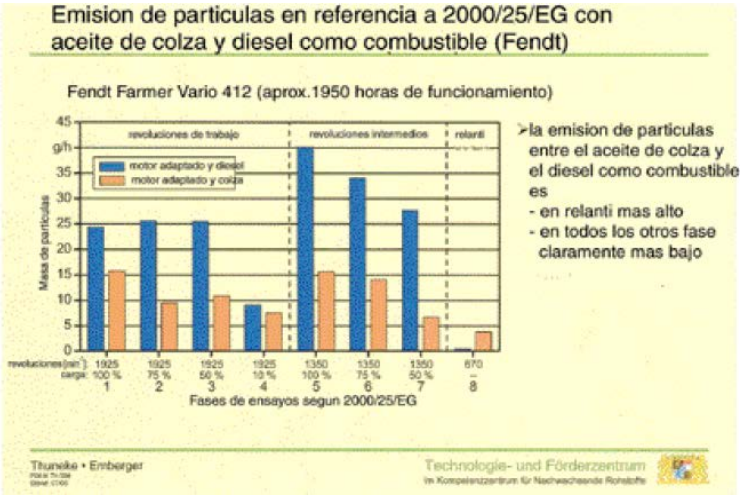

Figura 4.1 Emisiones de particulas

Para evitar una combustión incompleta y residuos en las toberas, pistones y sus anillos, así como una contaminación de los lubricantes y emisiones más elevadas

-además de elegir un motor dimensionado correctamente- se requiere de adaptación exacta del motor diesel para el uso con aceite vegetal.

4.1.5.4 LAS EMISIONES CAUSADAS CON ACEITE DE PIÑÓN

El análisis del aceite de piñón fue realizado para identificar si este biocombustible cumple los estándares definidos por la norma alemana y así permiten un buen funcionamiento del motor incluyendo en lo que refiere a las emisiones. Las mediciones comparativas más detalladas de emisiones de la combustión con aceites -incluyendo aceite de piñón- han sido realizadas por la Universidad Técnica de München. Las mediciones con aceite de colza, soya, mostaza y piñón -entre otros- indican que los aceites entre sí no varían de manera significativa y, en conjunto causan emisiones considerablemente más bajas que el diesel fósil en el caso de partículas, CxHx y PAH y emisiones comparables con el diesel fósil en el caso de CO y NOx.

4.1.5.5 NORMAS ECUATORIANAS

Al no existir una ordenanza propia para las Islas Galápagos, para la evaluación de las emisiones contaminantes de fuentes fijas se deben considerar los límites y procedimientos establecidos en el

“Texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS)”.

Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión que entraron en operación a partir del enero 2003, son los establecidos en la siguiente tabla

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTION. NORMA PARA FUENTES EN OPERACION A PARTIR DE ENERO DE 2003

CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	VALOR	UNIDADES
PARTICULAS TOTALES	SOLIDO	150	mg/Nm3
	LIQUIDO	150	mg/Nm3
	GASEOSO	NO APLICABLE	NO APLICABLE
OXIDOS DE NITROGENO	SOLIDO	850	mg/Nm3
	LIQUIDO	550	mg/Nm3
	GASEOSO	400	mg/Nm3
DIOXIDO DE AZUFRE	SOLIDO	1650	mg/Nm3
	LIQUIDO	1650	mg/Nm3
	GASEOSO	NO APLICABLE	NO APLICABLE

Tabla 4.2 Limites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión

Combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosén, búnker C, petróleo crudo, naftas.

También se puede considerar los límites máximos para generadores eléctricos y motores a combustión interna permitidos por el Ministerio de Energía y Mina, ver a continuación tabla de la Dirección Nacional de Protección Ambiental (DINAPA) de este ministerio:

LIMITES MAXIMOS PARA GENERADORES ELECTRICOS Y MOTORES A COMBUSTION INTERNA PERMITIDOS POR (DINAPA)

CONTAMINANTE	TIPO DE COMBUSTIBLE QUE SE UTILIZA		
(mg/dsm3)	GLP O GAS	DIESEL	BUNKER O CRUDO
MATERIALES PARTICULADOS (MP)	100	150	150
OXIDO DE CARBONO (CO)	1500;500	1500;500	1500;500
OXIDO DE NITROGENO (NOx)	300	1900	1900
OXIDO DE AZUFRE (SOx)	0.1	0.1	0.1
HAPs	0.1	0.1	0.1
COVs	5	10	10

Tabla 4.3 Límites máximos para generadores eléctricos y motores de combustión interna

En el país existen varios laboratorios, con certificación ISO 17025, dedicados a la evaluación de fuentes fijas, los mismos que podrían realizar el monitoreo de los generadores que funcionarán con biocombustibles.

4.2 LOGISTICA DE TRANSPORTE

4.2.1 TRANSPORTE ACTUAL DE DIESEL

Como preámbulo para definir la dinámica del transporte de biocombustible hacia las Islas Galápagos, se indaga sobre la forma en que actualmente se realiza el envío de diesel. Por ser un hidrocarburo distribuido por el Estado, el transporte de este combustible está bajo la responsabilidad de Petrocomercial. El embarque se realiza desde la estación de almacenamiento de derivados de petróleo de La Libertad,

Provincia de Santa Elena, lugar donde es cargado en el Buque Taurus, con destino a la Isla San Cristóbal y los tanques de almacenamiento de la II. Zona Naval. Desde la Isla San Cristóbal es transportado en lanchas por la Armada del Ecuador hacia la Isla Floreana, en tanques de 55 galones.

COSTO POR GALON DE TRANSPORTE DE DIESEL FOSIL A ISLA FLOREANA EN USD

FLETE MARITIMO DE LA LIBERTAD A SAN CRISTOBAL	FLETE MARITIMO DE SAN CRISTOBAL A FLOREANA	FLETE TERRESTRE MUELLE FLOREANA A CENTRAL TERMICA	COSTO TOTAL DEL TRANSPORTE DE LA LIBERTAD A FLOREANA
0.209	0.200	0.040	0.449

Tabla 4.4 Costo por galón de transporte de diesel fósil a isla Floreana en USD

Para Floreana se destinan actualmente 2 000 galones los cuales abastecen a los generadores por un período de aproximadamente tres meses (dependiendo de la demanda de energía). El desembarque del combustible está a cargo del personal de ElecGalápagos con el apoyo de la tripulación de la embarcación. El combustible es almacenado en un tanque provisional en el muelle de Floreana para finalmente ser transportado en barriles de 55 galones (en camioneta) hacia el tanque de almacenamiento de la casa de máquinas. La logística de transporte del carburante diesel del continente a las islas y al generador requiere por lo tanto de constante bombeo y carga y descarga de estos tanques, con el riesgo de pequeños derrames en cada bombeo.

Frente a las dificultades de transporte, Petrocomercial tiene planeado realizar estudios complementarios e invertir en la construcción de infraestructura adicional para el transporte de combustible hacía y entre las islas, esto comprende: miniboyas en la Isla Isabela, muelle en la Isla San Cristóbal, ducto submarino en el canal de Itabaca e instalaciones de dolphins muelle en la Isla de Baltra.

4.2.2 TRANSPORTE RECOMENDADO PARA BIOCOMBUSTIBLES HACIA FLOREANA

Como paso previo se identificaron a las empresas de refinamiento de aceites vegetales y biodiesel que presentaron proformas detalladas en la tabla que se encuentra a continuación; se puede observar además el lugar de fabricación, el tipo de envasado y el lugar donde se entrega del biocombustible.

PROVEEDORES DE BIOCOMBUSTIBLE Y LUGAR DE ENTREGA

FABRICA	LUGAR DE FABRICACION	BIOCOMBUSTIBLE	ENVASES/ TANQUES	TRANSPORTE HASTA EL PUERTO DE GUAYAQUIL	INCLUYE TRANSPORTE HASTA LAS ISLA FLOREANA
RAFEKOLKA	MANTA	ACEITE PURO DE PIÑON	SI	SI	NO
PROYCOMTEC	MANTA	ACEITE PURO DE PIÑON	SI	SI	SI
LA FABRIL	MANTA	BIODIESEL	SI	SI	NO

Tabla 4.5 Proveedores de biocombustible y lugar de entrega

Para el caso de los aceites vegetales, se definió que este, a diferencia del diesel, no tiene que ser transportado en un buque tanque, por las siguientes razones:

- El aceite vegetal es considerado no contaminante para el agua con una biodegradación de 95% en 21 días. Por lo tanto, puede ser

transportado en los buques que realizan el aprovisionamiento de carga y víveres desde Guayaquil hacia las Islas Galápagos.

- Por efecto de la eficiencia del nuevo motor sugerido por este estudio, se requiere para el primer año 3 134 galones, cantidad que aumenta anualmente para llegar a un máximo de 12 016 galones al cumplirse los 10 años de vida útil del motor; las cantidades de aceite vegetal requeridas pueden ser transportados en tanques de metal de 55 galones -y los mismos pueden ser reutilizados y reciclados en Ecuador continental una vez que cumplan su vida útil.

La ruta sugerida para los aceites vegetales tanto de forma terrestre como marítima es la siguiente:

- Transporte terrestre de las zonas de producción de los biocombustibles hasta el Puerto de Guayaquil; único puerto de embarque desde el cual existe una ruta regular de carga marítima hacia las Islas Galápagos.

- Transporte marítimo del Puerto de Guayaquil hasta la Isla San Cristóbal, desde donde se trasborda la carga a lanchas más pequeñas que la trasladan a la Isla Floreana. Una vez que llega a la isla es transportado en camioneta hacia la casa de máquinas, ubicada a 5 minutos del lugar de desembarco.

Se realizaron consultas a cooperativas de transporte terrestre y empresas dueñas de barcos que envían carga a Galápagos, para de

esta forma obtener información al respecto de capacidades y costos del transporte de biocombustible.

Como se observa en la tabla de empresas que presentaron proformas, sólo una no está dispuesta a poner la oleína de palma en el Puerto de Guayaquil. El resto formuló propuestas que incluyen la entrega de los biocombustibles en dicho puerto, incluyendo los tanques de 55 galones.

En cuanto al transporte marítimo, tres barcos cargueros (Marina, Cristóbal y Paola- realizan transportes desde Guayaquil hasta las Islas San Cristóbal y/o Santa Cruz). El transporte inter-isla (como en el caso de diesel) podría seguir siendo realizado (bajo la misma logística y con los mismos costos) por la Armada ecuatoriana. Todas las fábricas aceiteras (con excepción de ALES), están en capacidad de poner el biocombustible en el Puerto de Guayaquil. Bajo este esquema propuesto, transportar un galón de biocombustible desde el Puerto de Guayaquil hasta Floreana tendría un costo de 0,89 USD**,** siendo este USD 0,45 centavos más caro que el costo actual de transportar diesel. En el caso de que se aumente la demanda de aceites vegetales por la implementación de la iniciativa “Cero Combustibles Fósiles en Galápagos”, y si se transporta grandes cantidades de biocombustibles en un buque tanque, los costos podrían bajar a los niveles actuales del transporte de diesel fósil.

COSTOS DE TRANSPORTE MARITIMO DE ACEITES VEGETALES DEL PUERTO DE GUAYAQUIL A FLOREANA

TRAYECTO	COSTO POR GALON EN USD
GUAYAQUIL-ISLA SANTA CRUZ O ISLA SAN CRISTOBAL	0.69
ISLA SAN CRISTOBAL-ISLA FLOREANA	0.20
COSTO TOTAL POR GALON	**0.89**

Tabla 4.6 Costos de transporte marítimo de aceites vegetales

Para el caso del Biodiesel, debido a su punto de combustión más bajo, demanda ciertas medidas de precaución en el transporte y almacenamiento. Por sus características higroscópicas, requiere de una cadena de transporte y de almacenamiento cerrada, sobre todo en regiones con alta humedad.

La FABRIL es la única empresa que ha producido biodiesel en el Ecuador, dedicando toda su producción a la exportación. En la proforma que fue enviada para efectos de este estudio de factibilidad, su propuesta incluye poner este biocombustible en el Puerto de Guayaquil, en tanques de 55 galones. El biodiesel por sus características no puede ser transportado en un buque de carga, excepto en un comportamiento aislado. Es recomendable que el biodiesel sea transportado en un buque tanque, pero el transporte de la pequeña cantidad, que requieren los generadores de Floreana, en un buque tanque es poco factible.

Con relación al transporte marítimo del biodiesel, no existe ningún reglamento específico que lo norme. Por ser más inflamable que el

aceite vegetal y por su composición química, se considera que deben ser aplicadas las normas que rigen para el transporte de combustibles que constan en el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas, establecido en el Decreto Ejecutivo No.1215, firmado en el Gobierno de Gustavo Noboa; y, el Reglamento de Transporte Marítimo de Productos Tóxicos de Alto Riesgo en la Reserva Marina de Galápagos, emitido el 31 de marzo de 2003.

En la investigación no se encontraron normativas a nivel internacional que rijan el transporte de este biocombustible. La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en un documento de abril de 2007, donde realiza un Análisis de la Legislación sobre Biocombustible en América Latina, tampoco registra normativas en cuanto al transporte de biodiesel.

Por las razones antes mencionadas y en caso de que en un futuro cercano pueda adquirirse biodiesel en el mercado nacional, éste no podría ser enviado en un barco de aprovisionamiento de carga y víveres, sino debe ser transportado bajo el mismo esquema de transporte del diesel en un buque adaptado para el transporte de combustibles; por lo tanto, los costos de transporte serían iguales al costo actual de transporte de diesel fósil. Desde el punto de vista económico, esta medida solo es viable siempre y cuando dicho biocombustible sea requerido por las demás Islas, debido a que Floreana representa una demanda poco significativa en términos de volumen a ser transportado y por lo tanto, económicamente poco interesante para las empresas navieras.

4.3 EXTRACCIÓN DEL ACEITE (PRENSADO) Y PURIFICACIÓN

4.3.1 INTRODUCCIÓN

Básicamente, el proceso de obtener aceite de semillas oleaginosas es tan antiguo como la humanidad misma. Aunque los medios que se utilizan para este propósito se han desarrollado, todavía implica la trituración de semillas para extracción del aceite. No obstante, todavía no existe mucha experiencia en el prensado de semillas de Jatropha. La GTZ (Agencia Alemana para la Cooperación Técnica) fue una de las primeras organizaciones involucrada en el tema de prensado de semillas de Jatropha desde finales de las décadas de los 80 y 90. Varias instituciones iniciaron nuevos estudios sobre la extracción y purificación del aceite de Jatropha, entre ellas la WUR (Wageningen University and Research Centre) y la RUG (Universidad de Groningen), en Holanda. Además de las investigaciones realizadas por estos institutos de gran envergadura, se han realizado iniciativas pequeñas en el tema de Jatropha que han arrojado resultados interesantes.

El proceso de producción de las semillas de Jatropha a aceite se muestra a continuación. Se detalla cada paso del proceso de acuerdo a cada tema indicado.

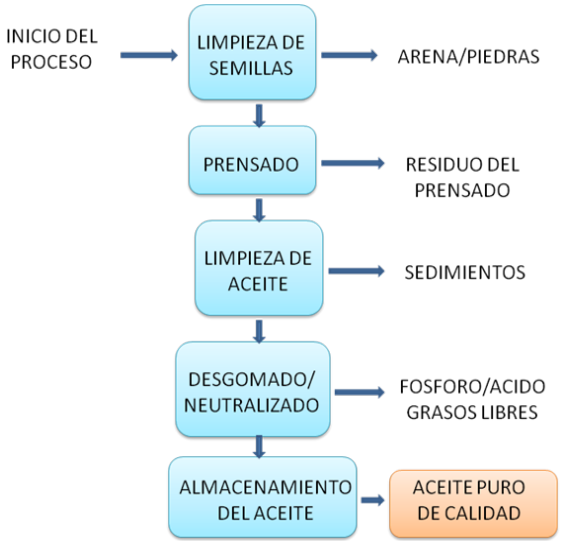

Figura 4.2 Proceso de obtención del aceite

Esta parte del capítulo trata sobre los métodos de extracción mecánica del aceite de Jatropha y los aspectos de calidad del aceite. La extracción mecánica del aceite significa usar algún tipo de máquina de presión o prensa para extraer el aceite de las semillas. Actualmente se encuentran disponibles diferentes tipos de tecnologías para la extracción de aceite. La selección de la tecnología a utilizar consiste en encontrar un equilibrio entre el nivel de complejidad aceptable, los costos de la tecnología y la calidad requerida del aceite. La escala o tamaño de la producción es un factor limitante en la selección de la tecnología.

La extracción es sólo un aspecto de la producción de aceite. Luego del prensado de semillas para la extracción, el aceite de Jatropha necesita purificación adicional antes de que pueda ser utilizado. Existen diferentes formas de separar lo sólido del líquido, las cuales son detalladas más adelante.

4.3.2 EXTRACCIÓN MECÁNICA DE ACEITE

Hay diferentes maneras de extraer el aceite de semillas oleaginosas. Una forma mecánica de extracción es mediante el uso de una máquina que ejerce presión sobre las semillas oleaginosas para extraer el aceite. Un segundo método es el uso de solventes, los cuales se añaden a las semillas previamente trituradas para que se disuelva el aceite. Luego, el aceite puede ser recuperado del solvente. En las fábricas industriales de aceite, los dos procesos - extracción mecánica y con solventes - a menudo se combinan para obtener mayores rendimientos. La extracción mecánica de aceite logra recuperar el 90-95% del aceite presente en las semillas, mientras que la extracción con solventes puede alcanzar hasta un 99%. La extracción con solventes es una solución compleja, a gran escala que involucra el uso de productos químicos peligrosos.

Dado que este manual se centra en aplicaciones a pequeña escala, la extracción con solventes no es considerada como una alternativa viable. La extracción mecánica utilizando prensas es el método más común para la extracción de aceite para consumo, ya que es un método simple, continuo, flexible y seguro.

4.3.2.1 LIMPIEZA Y CONTROL DE SEMILLAS

La limpieza y control de semillas puede reducir el riesgo de deterioro de la prensa. La mayor parte de la contaminación consiste en arena, pedazos de madera y piedras, que dañan la prensa. La manera más común para remover las piedras y arena es a través del uso de una trilladora o un

tamiz vibrador. La elección entre el tamizado manual o mecánico dependerá de la capacidad de producción.

4.3.2.2 PROCESO DE PRENSADO

Durante el proceso de prensado, las semillas se introducen en una tolva y luego son aplastadas y transportadas en dirección de una restricción (también conocida como 'boquilla') mediante un tornillo que gira (a menudo llamado "gusano"). Mientras la sección de alimentación de la prensa se llena de semillas sueltas, el primer paso del proceso consiste en el rodaje, ruptura, desplazamiento de semillas y eliminación de aire entre los huecos del material. Tan pronto, se eliminan los huecos, las semillas comienzan a ceder ante la fuerza aplicada a través del contacto mutuo y la deformación. El transporte continuo de material nuevo de la tolva hace que la presión aumente a un nivel necesario en la boquilla.

A este punto la prensa está en funcionamiento. La presión acumulada causa la extracción del aceite del material sólido dentro de prensa.

4.3.2.3 PARÁMETROS IMPORTANTES EN EL PRENSADO

Al diseñar o instalar una prensa de semillas de Jatropha es útil conocer las principales variables que afectan a la recuperación y calidad del aceite. La información que se presenta a continuación se aplica al proceso de extracción

en general y no podría aplicarse a casos específicos. El siguiente grafico resume posteriormente, la influencia y el impacto de las variables.

Párametros de prensado		Recuperación de aceite	Presión	Temperatura	Capacidad (kg / hora)	Energía/ litro
RPM	↓	↑	↑	-	↓	↑
Tamaño boquilla	↓	↑	↑	↑	-	↑
Tratamientos de la semillas						
Calentado	↑	-	↓	↑	-	↓
Escamado		↓	-	↓	-	↓
Contenido de humedad	↓	↑	↑	↑	↓	↑
Contenido de cáscara	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Hervido		↑	↑	↑	-	↑

Figura 4.3 Influencia e Impacto de las variables

4.3.3 PROCESO DE REFINAMIENTO QUIMICO DEL ACEITE

El proceso para el refinamiento químico del aceite consiste en 5 procesos básicos los cuales son:

- Proceso de desgomado de aceite
- Proceso de neutralizado del aceite
- Proceso de blanqueado de aceite
- Proceso de desodorizado del aceite
- Proceso de evaporación de agua

4.3.3.1 PROCESO DE DESGOMADO DEL ACEITE

El proceso de desgomado consiste en eliminar los fosfátidos presentes en el aceite; separando las gomas del aceite por medio de la adición de ácido, que posteriormente se precipitan y se extraen mediante decantado.

Usualmente se adiciona 0.05-0.1 % de ácido fosfórico al aceite crudo, agitando constantemente por 60 minutos, manteniendo la reacción a 60 ˚C y luego dejar reposar hasta que las gomas (fosfátidos) se hayan precipitado (Schmutzler 1991).

Además del ácido fosfórico, se puede utilizar ácido acético para precipitar los fosfátidos presentes en el aceite. Según Schmutzler (1991), se debe agregar 1 % de ácido acético con base al peso del aceite utilizado, agitar fuertemente por 10 minutos y luego agitar suavemente por 20 minutos, preferiblemente dejar reaccionando por 30 minutos.

4.3.3.2 PROCESO DE NEUTRALIZADO DEL ACEITE

En el proceso de neutralizado de aceite, se pretende eliminar los ácidos grasos libres contenidos en el aceite. Se debe agregar 10 % de una solución acuosa de silicato de sodio (0.17 % puro silicato de sodio), con base al peso del aceite utilizado, agitar fuertemente por 5 minutos y luego agitar suavemente por 10 minutos (Schmutzler 1991).

Otra forma de neutralizar el aceite es adicionarle soda cáustica, con base en la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite. Según Affandi (1974), la concentración de soda a utilizar variará, con respecto a la concentración de ácidos grasos libres presentes en el aceite. El proceso de neutralizado de aceite tarda de una a

dos horas, manteniendo la reacción a una temperatura de 80 ˚C (Acosta 2009).

4.3.3.3 PROCESO DE BLANQUEADO DEL ACEITE

El proceso de blanqueado consiste en eliminar pigmentos que le dan al aceite una tonalidad oscura. Según Affandi (1974), el blanqueado de aceite debe realizarse a una temperatura de 100 ˚C, la cantidad de arcilla a usar, varía de acuerdo a la cantidad de aceite a blanquear, usualmente se agrega de 0.5-1 % de arcilla activada, con base en la cantidad de aceite utilizado.

La arcilla activada, además de atrapar pigmentos durante la reacción, atrapa trazas de aceite que deben ser consideradas cuando se procesan volúmenes significativos de aceite, ya que representan mermas en el proceso; según Affandi (1974), el porcentaje de aceite que usualmente se pierde durante el proceso de blanqueado, varía de 40-45 % del peso de la arcilla seca.

4.3.3.4 PROCESO DE DESODORIZADO

Según Affandi (1974), la desodorización de aceites es necesaria para remover los olores y sabores desagradables contenidos naturalmente en el aceite y aquellos adquiridos durante su procesamiento, el aceite es generalmente calentado de 220 ˚C a 240 ˚C, se utiliza una

presión de 2 mbar. De esta manera se eliminan los carotenoides, sabores y olores no deseables.

En Europa, las temperaturas de desodorización que comúnmente se utilizan, varían entre 175 °C y 205 °C, pero en los Estados Unidos, utilizan temperaturas de 235 °C - 250 °C, Adicionándole 0,01 % de ácido cítrico, para inactivar trazas de contaminantes metálicos como el hierro soluble o compuestos de cobre (Baldwin y Formo 2009).

4.4 METODO DE ELABORACIÓN APLICADO

En el presente estudio el proceso se lo realiza a partir del aceite de piñón. Una vez montado el equipo se procede a la transesterificación con el metóxido (catalizador básico), terminada esta etapa se decanta y separa el biodiesel de la glicerina, para su posterior destilación de excesos de metanol y acidificación.

Durante el proceso la reacción y la destilación del metanol en exceso se realiza por destilación normal teniendo como gran ventaja que el metanol recuperado se puede reutilizar.

A diferencia de otros procesos comerciales, el presente se caracteriza por ser más económico, de fácil montaje y obtención, sin necesidad de tener que recurrir a equipos costosos, que requieren además mantenimiento y cuidados especializados.

La elaboración de biodiesel con catalizador básico se divide en las siguientes etapas:

- Pre-tratamiento del aceite
- Mezcla del Metanol con el catalizador
- Reacción química (transesterificación)
- Decantación (Separación del Biodiesel de la glicerina)
- Destilación
- Adecuación del Biodiesel y glicerina

4.4.1 PRETRATAMIENTO DEL ACEITE

Antes de iniciar con el proceso de obtención del biodiesel se debe realizar la eliminación de agua y otras impurezas ya que la materia prima es residual y debido a que las muestras provienen de diferentes fuentes y usos, es necesaria la homogenización de las mismas, por lo que necesitan ser mezcladas en un solo contenedor y luego pasando por un filtro o cedazo, para retener las partículas en suspensión y otros restos sólidos como carnes, pulpas y trozos de harinas, papas, etc. A continuación, se debe llevar el aceite residual a un recipiente de aluminio para iniciar con el proceso de ebullición con la finalidad de eliminar el excedente de agua para disminuir la formación de jabones durante el proceso de transesterificación en la reacción química.

4.4.2 MEZCLA DEL METANOL CON EL CATALIZADOR

Para un mejor rendimiento el metanol se mezcla con el catalizador, en este caso se prefiere usar Hidróxido de Potasio (KOH).

- La cantidad de metanol a utilizar variará de 10% al 50% del volumen de aceite con el que va a reaccionar.

- La cantidad necesaria de catalizador se determina teniendo en cuenta la acidez del aceite. Para ello, se titula 10ml de aceite en 1ml de metanol y una solución acuosa de hidróxido de potasio, de concentración 1g/l.

- El procedimiento utilizado es el calentamiento de una mezcla de metanol y de catalizador, para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer). El hidróxido de potasio sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción, pudiendo tener algunos inconvenientes: el metanol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio hidróxido de potasio o de formación del éter, esta reacción se puede dar cuando se encuentra a elevadas temperaturas y tiempos largos de reacción.

- Se agita vigorosamente hasta que el hidróxido de potasio se disuelva totalmente con el metanol. Al tener el metóxido totalmente diluido se coloca en el embudo de separación para dejar caer al aceite residual.

- La mezcla se realiza en un recipiente con tapa cerrada ya que los gases que se emiten en la reacción son tóxicos, Se debe tener en cuenta la seguridad al trabajar con ambas sustancias, ya que esta reacción es exotérmica y corrosivo.

4.4.3 REACCIÓN QUÍMICA (TRANSESTERIFICACIÓN)

Como ya se menciono anteriormente el metóxido en este siguiente paso se adicionará al aceite residual. Esto se realiza controlando la temperatura y agitación en el reactor (balón de destilación a reflujo), para evitar la condensación al agregar el reactivo, la agitación ayudará a mejorar la reacción y se comenzarán a formar los ésteres metílicos y residuos de glicerina.

- Colocar sobre el agitador un recipiente con un 1lt de agua para baño a maría e introducir un balón de destilación de 1000 cm_3 con 500 ml de aceite residual conjuntamente con la pesa magnética cerrando con el corcho que contiene las mangueras de salida de gases y entrada del metóxido.

- Calentar a 55 ° C y agitando a 10 rev/seg continuamente, con esto e facilitará la reacción y habrá una mayor uniformidad de la materia a tratar, considerando que el calor reduce la viscosidad aún siendo el aceite líquido.

- Agregar la solución de metóxido al aceite residual en un tiempo aproximado de 2 min, con la reacción se producen variaciones caloríficas de 45° C hasta 60° C.

- A continuación se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones irreversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de Ester metílico es liberado.

- Sin embargo, la utilización de KOH es la mejor opción pero implica cuidados en los ensayos, la mezcla de los glicéridos y el metanol deben ser anhidros para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones. De esta manera la reacción secundaria que se pueden dar es la saponificación.

- El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo el metanol, que en presencia de agua da lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación).

- La saponificación está favorecida cuando se utiliza el hidróxido potásico, porque sus moléculas contienen los grupos OH responsables de esta reacción. Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador porque si existe un exceso se estaría facilitando la creación de jabones.

4.4.4 DECANTACIÓN (SEPARACIÓN DEL BIODIESEL DE LA GLICERINA)

En este paso se deberá tener en cuenta el tiempo que dure la decantación para evitar que el biodiesel se contamine con trazas de glicerina y no tener inconvenientes en el momento de separación.

- Luego de este intervalo de tiempo se retira el balón y se procede a colocar la solución en el embudo de decantación, dejando reposar al menos 1 hora, si se aprecia que aún no está separado se procede a dejar el tiempo necesario, ya que por diferencia de densidades la glicerina y el biodiesel se separan, quedando la glicerina en la parte baja y el biodiesel arriba como se observa en la siguiente figura:

Figura 4.4 Decantación del Biodiesel

La fase más pesada o densa formada por agua más glicerina es formada durante la neutralización de los ésteres metílicos y la otra fase menos densa que son los ésteres metílicos o biodiesel se presenta en un color más claro.

- Se retira el glicerol formado, utilizando la llave del embudo por la parte de abajo, medimos en una probeta y colocamos en botellas de vidrio.

- Se retira el biodiesel, medimos en la probeta y se observa el rendimiento, se controla el pH y se coloca en un frasco de vidrio con tapa herméticamente cerrada como se muestra en la figura siguiente:

Figura 4.5 Biodiesel decantado y glicerol

4.4.5 DESTILACIÓN (RECUPERACIÓN DEL EXCESO DE METANOL)

Cuando la reacción es más rápida, se cataliza con un alquilo en el primer paso de la reacción, un ión óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ión del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la re-disposición del compuesto tetraedro intermedio da lugar a un éster y a diglicerina quedando iones en el segundo paso sin reaccionar completamente por lo que al finalizar la reacción aun se puede recuperar, teniendo este las mismas características sin altearse.

- Colocar la capa de Biodiesel en un balón de destilación normal hasta que el exceso de metanol sea recuperado, porque este no

reacciona completamente, como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 4.6 Destilación del Biodiesel

- Del mismo modo se coloca la capa de glicerina y se destila el exceso de metanol.
- Se procede a medir el metanol recuperado y se conserva para la siguiente reacción, mientras que el biodiesel y la glicerina también se mide nuevamente, colocando en sus envases originales para proceder a medir el pH.
- Este proceso ayuda a abaratar costos de producción por que el metanol recuperado es más o menos un 40% del invertido y con esto se neutraliza el biodiesel.

4.4.6 ADECUACIÓN DEL BIODIESEL

El biodiesel producido se almacenara en botellas de vidrio o en plástico transparentes para observar el comportamiento.

- Es necesario que el almacenamiento se haga en un lugar seco y con una temperatura no menor a 6° C, porque al estar en contacto con humedad y temperaturas bajas el biodiesel tiende a solidificarse y podría también variar la calidad y el comportamiento del biocombustible teniendo periodos más largos en la reacción y tiempos de retardo en la combustión.

- Por ser fuente principal la cadena de ácidos grasos saturados (esteres metílicos) el contacto con metales también puede afectar a la estabilidad del biodiesel durante su almacenamiento.

- Se debe tener en cuenta la presencia de agua porque esto influirá en el desarrollo del crecimiento microbiano.

- La oxidación del biodiesel conduce a la formación de hidroperóxidos que pueden polimerizar y formar gomas insolubles que provocan problemas en el sistema de combustión y filtros.

4.5 EXPERIENCIA PRÁCTICA Y POSIBLES PROBLEMAS CON EL USO DE ACEITE VEGETAL PURO EN MOTORES

El combustible para motores diesel debe cumplir con cierta calidad para evitar problemas en el funcionamiento. Al utilizar combustibles sin la calidad adecuada, el motor puede presentar los siguientes problemas:

- Erosión de la cabeza del pistón y la entrada
- Aumento del desgaste de los anillos de pistón
- Polimerización del aceite lubricante

- Corrosión de inyectores, debido a un alto contenido de agua en el aceite
- Combustión incompleta con exceso de ruido, olor y emisiones debido a su alta viscosidad
- Fallo de los inyectores, debido al alto contenido de ácidos grasos libres
- Efecto abrasivo sobre los inyectores de combustible y las cámaras de combustión, debido a la presencia de fósforo
- Frecuente obstrucción del filtro de combustible del motor debido a la presencia de fósforo y sólidos

Algunas experiencias concretas se describen a continuación:

4.5.1 HOLANDA / MOZAMBIQUE: PROYECTO FACT (FUELS FROM AGRICULTURE IN COMMUNAL TECHNOLOGY)

A finales de 2008 Ger Groeneveld de la empresa PPO Groeneveld llevó a cabo varias pruebas de purificación del aceite y pruebas del motor. Ajustó dos motores para funcionar con aceite vegetal puro: un ST3 Lister de 17 kW y un Feidong 18 kW 295 GJ. Se realizaron pruebas de resistencia con los dos motores. Después de 500 horas de pruebas, el motor Lister, usando principalmente aceite de girasol, no mostró problemas relacionados con el combustible. La viscosidad del aceite de girasol (17.1 cS a 38 °C) es algo menor que el aceite de jatropha (37-54 cS a 30 °C).

La elevada viscosidad del aceite de Jatropha puede provocar que al motor le haga falta combustible. Los motores diesel han sido diseñados para viscosidades de 1.7-2.4 cS. Cuando al motor le hace falta

combustible, puede dañar los pistones y el rocío de los inyectores o incluso su obstrucción. La viscosidad de los aceites vegetales se puede reducir a través de su calentamiento. Una viscosidad inferior a 5 cS es aceptable para la mayoría de los motores diesel.

Si el nivel de ácidos grasos libres es superior al 3%, hay un riesgo de daños en el motor por corrosión. Los problemas de corrosión son relevantes en motores que funcionan de manera continua. El oxígeno tiene un cambio para catalizar la corrosión. El ácido del aceite vegetal puro destruirá las capas protectoras que normalmente evitan la corrosión.

4.5.2 MICHAEL ALLAN (2002)

Pruebas de resistencia llevadas a cabo con un motor Kabota diesel con aceite de palma. El motor funcionó perfectamente durante más de 2000 horas con aceite de palma refinado. La refinación incluye el desgomado y neutralización. Sin embargo, utilizando aceite de palma crudo, el motor se rompió después de 300 horas y otra vez después de 550. Tanto el puerto de entrada y la cabeza del pistón parecían muy erosionadas, los anillo estaban desgastados y el aceite lubricante se había polimerizado. Estos son claramente los efectos del uso de combustibles de mala calidad.

4.5.3 COLOMBIA, APROTEC

Mauricio Gnecco encontró grandes cantidades de carbón en la precámara de motores de inyección indirecta al utilizar aceite de palma refinado. Usuarios del motor Lister de 10HP reportaron un sello de calor quemado al romperse el motor. El análisis de Mauricio mostró de

nuevo grandes depósitos de carbón en la garganta de la precámara de inyección indirecta.

4.6 USOS DE LA GLICERINA

4.6.1 PURIFICACIÓN DE LA GLICERINA

La glicerina en su forma pura es incolora, inodora y su sabor es dulce. Evite probar la glicerina que resulta del proceso de producción de biodiesel, porque nunca es pura. Especialmente cuando el biodiesel y la glicerina se producen a partir de aceite de Jatropha con altos niveles de contenido de ácidos grasos libres. En ese caso, la glicerina contien emetanol o etanol, lejía (KOH hidróxido de potasio o hidróxido de sodio NaOH), agua, residuos de jabón, biodiesel, ácidos grasos libres y mono, di o triglicéridos no reactivos. La mayoría de estos residuos se disuelven en el metanol y se puede filtrar fuera de la glicerina, una vez que el metanol se destila. Otros tienen que ser neutralizados con ácidos y se separan por gravedad.

Para obtener glicerina pura al 100% debe ser destilada. Sin embargo, este es un proceso muy costoso ya que el punto de ebullición de la glicerina es de 290 °C. Este costo no suele compensar la ganancia a menos que se haga a escala industrial.

4.6.2 APLICACIONES PRÁCTICAS DE GLICERINA DE BIODIESEL

Las aplicaciones de glicerina pura se dan principalmente en la industria química y farmacéutica. La glicerina cruda puede utilizarse en aplicaciones más prácticas que se describen a continuación:

JABÓN

El jabón puede ser elaborado por saponificación de grasas y lejía o con ácidos grasos y lejía. El producto final se utiliza con agua para obtener su efecto de limpieza. La glicerina contiene ácidos grasos libres que pueden ser convertidos en jabón. La presencia de glicerina hace que el jabón tenga una textura suave e hidrate la piel mientras que se usa. Para el proceso de saponificación se utiliza la misma lejía utilizada durante el proceso de transesterificación. El hidróxido de sodio (NaOH) produce una barra de jabón sólido, el hidróxido de potasio (KOH) produce un jabón líquido. Antes de hacer jabón de glicerina, el alcohol (metanol o etanol) se debe destilar. En el caso de metanol, es importante que se elimine todo el metanol ya que es un químico altamente tóxico y combustible que tiene un punto de inflamación extremadamente bajo, lo que lo hace muy fácil de inhalar accidentalmente. Entonces, dependiendo del nivel de ácidos grasos libres, se determina la cantidad de lejía (normalmente entre 40 gramos y 80 gramos por litro de glicerina). La cantidad de agua que debe añadirse es de aproximadamente 40% de la cantidad original de glicerina. Al añadir más agua se produce un jabón más líquido. Al añadir más lejía, el jabón se siente más corrosivo. Por lo que, la lejía y el agua se mezclan hasta que la lejía se ha disuelto totalmente. Precaución: el hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) son sustancias corrosivas49. Añadir la mezcla de la glicerina y mezclar durante 20 minutos. Dejar durante tres semanas, sacudiendo a diario. En caso de utilizar glicerina purificada, se puede agregar colorantes y

fragancias para uso doméstico. Cantidades industriales de jabón de glicerina pueden utilizarse en el lavado de autos y en talleres mecánicos.

FERTILIZANTE ORGÁNICO

Se dice que la glicerina es un excelente fertilizante. Pero, ¿es esto cierto? La composición química de la glicerina depende indirectamente de la calidad del aceite y la cantidad de productos químicos añadidos en el proceso de transesterificación. Los residuos de alcohol, si es metanol, se destila antes de utilizar la glicerina como fertilizante orgánico para prevenir problemas en la salud humana. Sin embargo, el metanol en el medio ambiente es biodegradable. El alcohol metílico se evapora y se biodegrada muy rápidamente en el suelo y agua. Este producto demuestra una alta movilidad en el suelo y se degrada de la atmósfera ambiente por la reacción con radicales hyroxyl fotoquímicamente producidos con una vida media estimada de 17.8 días. Puede ser peligrosa para la vida acuática en alta concentraciones. Asimismo, la glicerina pura, y los ácidos grasos libres son biodegradables. El potasio (K) es uno de los principales elementos para el crecimiento vegetal y el sodio (Na) es necesario para controlar la humedad en las células, en una cantidad inferior.

Dado que la composición de nutrientes no está en equilibrio con las necesidades de la planta, la glicerina de biodiesel podría servir como un abono adicional. Por otra parte, la producción de otros productos de más valor económico a partir de la glicerina, hacen que el uso de la glicerina como fertilizante sea menos interesante.

BIOGÁS

La glicerina también puede ser utilizada como un ingrediente adicional para la producción de biogás. El biogás se produce dentro de una unidad de digestión anaeróbica. La glicerina junto con el residuo del prensado de semillas de Jatropha y estiércol de vaca fresco ha demostrado ser un ingrediente eficaz en la digestión en la siguiente composición: 5% de glicerina, 10% residuo de prensado de semillas de jatropha, 35% de estiércol de vaca y 50% de agua. Se requiere de más investigación para optimizar este proceso de digestión anaeróbica. Se debe tener cuidado con la adición de la hierbas o grama, ya que se digiere lentamente y puede afectar el reactor.

APLICACIONES EN EL PROCESO DE BIODIESEL

Teniendo en cuenta el hecho de que la glicerina contiene un alto contenido de alcohol (metanol o etanol) puede utilizarse como un sustituto parcial del alcohol en el proceso de transesterificación. El contenido de metanol en la glicerina puede llegar hasta el 35%. La sustitución de 30% de alcohol por glicerina puede resultar en un ahorro del 20% de metanol. Otra aplicación de la glicerina cruda en el proceso de producción de biodiesel es utilizarla como un líquido para el prelavado del biodiesel. Los residuos de jabón se disuelven en la glicerina cruda lo que se traduce en un menor uso de agua de purificadores de sólidos.

4.7 SOSTENIBILIDAD DE PROYECTOS DE JATROPHA

Al buscar la sostenibilidad de proyectos de Jatropha, la mayoría de los temas pueden organizarse de acuerdo a los términos o dimensiones de la sostenibilidad, es decir, ambiental, social y económica. Algunos de los temas pertenecen a dos o incluso a las tres dimensiones, pero son mencionados en uno sola. En lugar de una conceptualización como criterios, los temas se discuten aquí considerando el impacto potencial de los proyectos de Jatropha.

AMBIENTAL	**SOCIAL**	**ECONOMICO**
BIODIVERSIDAD	DERECHO DE LOS TRABAJADORES	SALARIOS
EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)	RELACIONES DE TRABAJO	MEJORES INGRESOS
USO DE SUELO	PARTICIPACION DE LA COMUNIDAD	INTERESES COMERCIALES
IMPACTO EN EL SUELO, AGUA Y AIRE	DERECHOS DE LA TIERRA	ALIMENTOS VS. COMBUSTIBLE
		TRANSPORTE

Tabla 4.7 Aspectos de sostenibilidad en proyectos de Jatropha

Los "Proyectos de Jatropha" necesitan explicarse mejor. Al hablar de sostenibilidad, se debe distinguir los monocultivos a pequeña escala (por ejemplo hasta 1500 hectáreas de plantaciones de Jatropha) de proyectos a escalas mayores. Las plantaciones a gran escala implican el uso de economías de escala con mayor nivel de mecanización, por lo que emplean a menos personas, actuando por un interés comercial.

Dado que los impactos en proyectos a gran escala son mayores, serán discutidos aquí. Al final se hace una comparación entre los impactos causados por plantaciones a pequeña y grande escala. Junto al tamaño de las plantaciones, hay muchas otras características que deben tenerse en cuenta en los proyectos de Jatropha, como ser, las tecnologías a utilizar, el

número de personas locales involucradas, el sistema de organización de las plantaciones (propio, por productores subcontratados, por cooperación) etc. Este apartado hace una reseña breve de los aspectos generales de sostenibilidad aplicables a proyectos de Jatropha presentados en el cuadro anterior.

4.7.1 ASPECTOS AMBIENTALES

BIODIVERSIDAD Y ÁREAS DE CONSERVACIÓN

La biodiversidad es un tema importante en todas las plantaciones establecidas para la producción de biocombustibles ya que implican el monocultivo en áreas que se limpian para este fin. Por lo tanto, el impacto sobre la biodiversidad dependerá del uso previo del suelo y la intensidad de la producción. De esa manera, será distinto si el terreno a cultivar estuvo originalmente cubierto con vegetación natural primaria que si el terreno estuvo ya cultivado o catalogado como tierras inadecuadas. El impacto sobre la biodiversidad ha sido plasmado en mapas en la mayoría de los países. En muchos países existen varios tipos de mapas de las zonas con alto potencial de biodiversidad. A menudo, esto coincide con la protección de zonas con alto valor de conservación, y que, por tanto, no pueden utilizarse. En ese sentido, muchas veces se requiere que tanto las áreas con alto valor de conservación como las áreas protegidas, se proyecten en un solo mapa. De esa manera, las zonas que quedaron fuera de las áreas con alto potencial de diversidad biológica, valor de conservación y áreas de protección, podrían ser consideradas para la producción.

Sin embargo, algunas áreas protegidas permiten la plantación de árboles para uso de la población local, para protección de animales, entre otros. Un caso es el de Tanzania dónde al hacer la proyección, resultó que la mayoría de las zonas del país no estaban disponibles para la plantación de Jatropha. Un buen ejemplo es el estudio de Pro Forest ltd. que buscó en los bosques de sabanas, bosque de miombo, en el bosque mopane y en el bosque seco, la diversidad biológica forestal.

La biodiversidad puede ser cambiada de manera positiva o negativa cuando tierras sin uso y con muy poca vegetación son utilizadas para plantar Jatropha. Las plantas de Jatropha pueden mejorar la estructura del suelo proporcionando un hábitat adecuado para algunas especies, y en consecuencia, la reducción de otras. La biodiversidad en sí consiste en la variedad de especies en un hábitat. En ese sentido, en algunos casos, es difícil evaluar el equilibrio.

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las emisiones de gases de efecto invernadero de Jatropha pueden ocurrir en la zona de producción de plantas, en la producción de combustible, en la distribución al usuario final en forma ya sea de electricidad, jabón, biofertilizante u otros productos finales. Algunos de los productos finales de Jatropha producen más emisiones de gases de efecto invernadero que otros. Por ejemplo, el 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida del biodiesel de Jatropha son resultado de su utilización final.

En cada una de las partes de la cadena de producción, diferentes condiciones pueden darse según sea el proyecto. Por ello, no es posible referirse a un resultado del Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés) de la Jatropha. Cada proyecto tendrá que llevarse a cabo en condiciones particulares. No obstante, a fin de comparar los diferentes resultados de proyectos de plantación de Jatropha, es importante que se desarrolle una metodología análisis del ciclo de vida para la Jatropha. Esto ayudará a los profesionales que trabajan con Jatropha a elegir las mejores opciones de equilibrio entre economía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Una serie de LCA y métodos de estimación de emisiones de CO2 han sido desarrollados por instituciones de investigación, tales como la Universidad de Lovaina en Bélgica, EMPA, que es una institución de investigación interdisciplinaria y de servicios para las ciencias de materiales y tecnología en Suiza, la Universidad Chiang Mai en Tailandia, etc. Al mirar el LCA algunos factores parecen ser más importantes que otros. Algunos se discuten:

- Las emisiones de gases de efecto invernadero de los cambios de uso del suelo para la producción de Jatropha también debe tenerse en cuenta, ya que se remueve la vegetación existente en el sitio a cultivar. La magnitud de la contribución a las emisiones de carbono dependerá fuertemente de la cobertura de suelo original removida. Al plantar Jatropha en tierras degradadas en desuso, el secuestro de

carbono se mejorará, en cambio, al descombrar bosques para establecer plantaciones de Jatropha, se causarán emisiones de gases de efecto invernadero.

- Se requerirá la incorporación de nutrientes al suelo, debido a la pérdida asociada a la producción de plantas de Jatropha. Es posible utilizar los residuos de prensado de semillas de Jatropha como un fertilizante orgánico, pero en ese caso, es necesario transportar este residuo desde el sitio de procesamiento hasta el campo de cultivo. Dependiendo de la organización del proyecto, esto será posible o no, y los costos de transporte será un parámetro importante. Desde el punto de vista de la sostenibilidad esta es una buena opción. Si el abono orgánico puede ser utilizado, o la fertilización con leguminosas fijadoras de nitrógeno, son preferibles al uso de fertilizantes químicos, ya que para su producción, especialmente los fertilizantes nitrogenados químicos, requieren de una gran cantidad de energía basada en combustibles fósiles.
- En la producción de biodiesel, la generación de emisiones de gases de efecto invernadero son mayores en comparación con la producción de aceite vegetal puro ya que requiere de un paso

adicional en el proceso de producción en el cual se utilizan sustancias químicas y energía. Además, este paso del proceso es caro y un poco complicado y requiere de algunos equipos de procesamiento. Por esta razón, los proyectos a pequeña escala en zonas rurales por lo general solo producen aceite vegetal puro. Al ver el balance de energía, la producción de biodiesel no es tanto como la energía que se utiliza durante su producción. Desde este punto de vista, no es de mucho beneficio agregar este paso.

IMPACTO EN EL SUELO, AGUA Y AIRE

En tierras degradadas, el cultivo de Jatropha tendrá una influencia positiva sobre el estado del suelo, ya que mejorará la estructura vegetal y la diversidad biológica, además de que las raíces de las plantas, proporcionarán una estructura de protección contra la erosión del suelo. Sin embargo, se puede esperar lo contrario cuando los bosques o tierras de sabana son convertidos en plantaciones de Jatropha. Además, cuando no se reintegran los nutrientes al suelo en las plantaciones después de la cosecha, el suelo se vuelve más pobre. El impacto de la Jatropha en el suelo será en función de ¿qué tipo de vegetación existía en el sitio de cultivo?, ¿qué técnicas de cultivo de Jatropha se están utilizando?, etc.

La Jatropha puede sobrevivir en climas con una lluvia constante de al menos 600 milímetros. Sin embargo, para cosechar frutos se necesita

más lluvia. Dependiendo del clima, puede que no sea necesario el riego, aunque los rendimientos pueden mejorar mucho mediante un suministro suficiente de agua. Al existir limitación del agua en las plantas de Jatropha, pierden sus hojas y de esa forma resisten la sequía. Sin embargo, al no haber hojas, no se realiza de manera adecuada la fotosíntesis. En las plantaciones de Jatropha se pueden utilizar métodos de captación de agua, tales como la construcción de presas pequeñas en las pendientes del terreno, contribuyendo a un aumento en el nivel de agua subterránea, con buenos resultados. Este método en Jatropha fue es comúnmente utilizado en algunos países del Sahel.

El mayor y más importante impacto en el aire se ha discutido en la sección anterior, pero esta relación se debe hacer no sólo con las emisiones derivadas de las actividades agrícolas y de transporte para el establecimiento de una plantación de Jatropha, sino también, las emisiones de la combustión de Aceite Vegetal Puro de Jatropha en motores y su transformación en biodiesel y uso, así como en el uso del biogás producido a partir del residuo de prensado de semillas de Jatropha.

4.7.2 ASPECTOS SOCIALES

Debido a la mano de forma intensiva utilizada en la cosecha de Jatropha, pueden crearse nuevos puestos de trabajo para las comunidades. Las plantaciones a gran escala son fuentes de trabajo para los habitantes locales. Sin embargo, en un futuro cuando la recolección se haga de manera mecánica, la generación de empleo

puede ser menos de lo esperada, pero los salarios más altos. A largo plazo, la recolección mecánica será una condición para el progreso social. El costo del trabajo de cosecha es el costo más importante del proceso de producción del aceite de Jatropha. La baja productividad del trabajo de cosecha hace que la producción de Jatropha sea rentable sólo en países dónde la mano de obra local es de bajo costo (<2,50 dólares americanos por día). Este ingreso no es suficiente para proporcionar un nivel de vida aceptable. Por otra parte, la escasez de mano de obra debe preverse si las plantaciones se amplían y se desarrollen otros sectores de desarrollo económico.

La creación de empleo no implica necesariamente buenas condiciones de trabajo. Si el número de personas dentro de la zona, dispuestas a trabajar en las plantaciones excede al número necesario, la gerencia de la plantación tendrá una posición fuerte y no necesariamente tendrá que cuidar bien de su personal en materia de salarios, condiciones de trabajo, etc. La creación de instalaciones de procesamiento por inversionistas locales o extranjeros, también puede crear puestos de trabajo para las comunidades, y si existe una vinculación a largo plazo con las comunidades, se garantizará la estabilidad del proyecto a largo plazo.

El Proyecto FACT en Malí es un buen ejemplo de ello, ya que el cultivo de Jatropha, la producción de aceite y luego la producción de electricidad se integran en la aldea de Garalo, dónde la comunidad es propietaria del proyecto. Otro ejemplo es la empresa hondureña de procesamiento de biocombustibles BYSA, que es propiedad de los

agricultores proveedores en un 49% y un 51% restantes por una institución de desarrollo empresarial rural sin fines de lucro (FUNDER). En proyectos de pequeña escala de propiedad comunitaria, es necesaria la participación continua para lograr un proyecto sostenible. En los proyectos a gran escala, las relaciones con los agricultores podría ser menos estrictas, por ejemplo, en la contratación temporal de trabajadores, la participación de la comunidad puede ser mínimo.

DERECHOS SOBRE LA TIERRA

Debido a los grandes intereses comerciales de las empresas extranjeras que influyen en los gobiernos de los países del sur, a veces los derechos de las personas que viven en zonas remotas son ignorados. A menudo, el gobierno es propietario de la tierra y la arrienda a empresas extranjeras que podrían estar pagando más de lo suficiente. Las personas que originalmente viven o trabajan en estas tierras podrían entonces ser desalojadas. Por lo tanto, la mayoría de los criterios de sostenibilidad añaden la cuestión de derecho sobre la tierra, afirmando que los derechos locales de tierras y la propiedad (formal e informal) deben ser respetados.

4.7.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

Lo más importante es la sostenibilidad financiera de un proyecto de Jatropha. Esto depende de una serie de cuestiones tales como el precio mundial del petróleo, la política del gobierno (por ejemplo, subsidios a los combustibles), el nivel local de salarios de agricultores y cosechadores, gastos de transporte de las semillas y aceite / diesel, costos de inversión de el equipo y su eficacia, si la tierra dónde se va a

cultivar debe ser descombrada, si es necesario el riego, etc. Además, una predicción fiable y no demasiado optimista del rendimiento es importante.

Los salarios no pueden ser tan altos como los márgenes de beneficio del aceite de Jatropha. A pequeños agricultores se les suele pagar por kilogramo de semilla entregada. Si los agricultores deciden cultivar Jatropha junto a su cultivo tradicional (cultivo mixto) se puede esperar un aumento de los ingresos y por ende la creación de posibilidades para el desarrollo.

Si la gente local trabaja en plantaciones a gran escala, probablemente el beneficio se reducirá sobre todo en su salario diario.

Es probable que la política se verá influida por el gran interés del uso de los biocombustibles en general y de la Jatropha curcas L en particular. Además, si los grandes inversionistas comerciales están interesados en utilizar por ejemplo, áreas que pueden utilizarse para cultivos alimentarios, los intereses comerciales pueden interponerse a los impactos de índole social y ambiental.

ALIMENTOS VS COMBUSTIBLE

Para los agricultores, la decisión de producir alimentos o combustibles se basa en el razonamiento económico. Para un país en su conjunto, o incluso para el mundo será un tema la estimulación de agricultores para el cultivo de alimentos en lugar de combustibles, si la falta de cosechas de alimentos existe.

Sobre la controversia de los combustibles y alimentos, está claro que el problema se puede reproducir en proyectos mal diseñados

enfocados en la producción a gran escala de biocombustibles para exportación. Sin embargo, si los proyectos de producción de biocombustibles contemplan el beneficio de la población local y se presta atención en la combinación de cultivo de alimentos y combustibles, mejoramiento de las semillas para alimentación, reciclado de nutrientes, mejora de prácticas agrícolas, la misma hectárea puede producir más alimentos y biocombustibles que en la mayoría de las actuales condiciones de baja productividad. En el ejemplo, en los proyectos del FACT en Honduras (Gota Verde), Mozambique (ADDP Mozambique) y Malí (MFC), los extensionistas agrícolas promueven este enfoque.

Cuando el cultivo intercalado puede ser desarrollado con éxito, la producción de Jatropha puede ir de la mano con la producción de alimentos. Además, la Jatropha puede crecer en tierras degradadas que no se utilizan para la producción de alimentos. A menudo, existen otras limitantes más importantes para la producción eficiente de alimentos, que solamente la disponibilidad de tierra. El acceso al crédito es una limitante conocida en el caso de los pequeños agricultores.

El debate alimentos versus combustible no es muy relevante cuando los agricultores deciden utilizar tierras que no estaban en uso antes para la producción de alimentos y, concretamente, si se trata de tierra que no puede ser usado para la producción de alimentos debido a su condición degradada o a su baja fertilidad. Las plantaciones de muy

pequeña escala, así como el uso de Jatropha en cercos vivos no se limitan a esta discusión.

La discusión se hace pertinente cuando una gran cantidad de tierras fértiles se utilizan y sobre todo cuando estas tierras están destinadas a la producción de alimentos. En opinión del FACT deben ser los agricultores quienes decidan qué cultivar, sobre la base de decisiones informadas y un equilibrio de beneficios y riesgos. En algunos casos, los agricultores pueden utilizar incluso una estrategia para producir ambos cultivos.

TRANSPORTE

En general, mayor transporte en cada uno de los pasos del proceso de producción contribuye a más emisiones de gases de efecto invernadero, así como a costos adicionales.

Depende en gran medida de la extensión de la zona del proyecto y si las semillas se procesan en un área central o en varias áreas descentralizadas o móviles. Para la producción a gran escala se necesita una cuidadosa planificación de la logística.

Para las actividades en pequeñas plantaciones, las despulpadoras manuales (que separan las semillas del resto de la fruta) son baratas y tienen una gran capacidad lo que permite a los agricultores dar valor agregado a su producto, y al mismo tiempo, reducir los costos de transporte. Aquí de nuevo, se encuentra el equilibrio.

4.8 ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

Los datos que se presentan a continuación sirven como base para calcular el Costo Unitario de la Energía (CUE).

4.8.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial considera la adquisición de motores a diesel y la adaptación de los mismos para que funcionen en base a biocombustibles. Otros costos considerados son: transporte del generador hacia las islas (Guayaquil - Floreana), instalación y capacitación a personal local –operarios, en tanto en lo referente a la tecnología utilizada para adaptación de los motores y sobre los aspectos relacionados con el mantenimiento regular previsto para estos motores. Ver siguiente tabla:

INVERSIÓN INICIAL MOTORES A BASE DE BIOCOMBUSTIBLES			
Descripción	**Cantidad**	**Valor Unitario (USD)**	**Costos para motores a base de biocombustibles (USD)**
Generador	2	17.472	34.944
Transporte	2	200	400
Adaptación de los motores	2	12.350	24.700
Instalación del generador	2	5.800	11.600
Capacitación de adaptación	1	4.000	4.000
Capacitación de mantenimiento	1	1.000	1.000
			76.644

Tabla 4.8 Inversión inicial motores a base de biocombustible

4.8.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos fijos de operación y mantenimiento, están basados en información provista por ERGAL basados sobre los costos establecidos por ElecGalápagos para el 2011, a los cuales para determinar los costos de 2012 se les aplico una inflación anual del 4%. Los gastos generales de generación son iguales tanto para la generación eléctrica en base a biocombustibles como para motores a

diesel. A continuación se presentan los costos de operación tanto para Biocombustible:

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL 2011 PARA MOTORES ACTUALES A DIESEL	
Concepto	**Diesel (USD)**
Mantenimiento de los motores	1.709
Gastos generales de generación	22.007
Gastos generales de distribución	1.473
Gastos generales de comercialización	1.216
Gastos generales de administración	8.331
	34.736

Tabla 4.9 Costos de operación y mantenimiento para el 2011 para motores actuales a diesel

El valor contable de cada equipo luego de transcurrir los 10 años del proyecto, para el caso del diesel, el equipo todavía tiene 3 años de vida útil, que equivale a 3 años * 2 equipos * 1164.8 USD.

Debido a que existe un mayor requerimiento de cambio de aceite de motor, los cual implica los costos de mantenimiento y la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en la generación de energía eléctrica en la Isla Floreana estos valores se incluyen dentro del mantenimiento de los motores.

4.8.3 COSTOS VARIABLES PROYECTADOS PARA EL PERIODO 2011 – 2020

Se consideró los siguientes costos variables: mantenimiento preventivo de los generadores, a un valor de USD 200 cada mantenimiento; costo de transporte del biocombustible, que dadas las condiciones actuales, se estima en USD 0,91/ galón (del Puerto de Guayaquil - Floreana en

barcos de carga); gastos de depreciación del equipo en un periodo de 10 años.

En cuanto a los costos de los combustibles, para efectos del cálculo se tomaron los costos más bajos. Estos valores son proyectados para los 10 años de vida útil del proyecto. En el caso del diesel existe un valor residual tal como se aprecia en la tabla 4.10 que se presenta a continuación, debido que la vida útil restante del motor que se calcula en 3 años.

PARÁMETROS PARA CALCULO DE COSTOS VARIABLES						
Combustible	**Frecuencia de mantenimiento (por horas de funcionamiento)**	**Vida útil (años)**	**Valor residual a 10 años**	**Depreciación total a 10 años**	**Precio galón en USD sin incluir costo de transporte hacia Floreana**	**Precio galón en USD incluyendo costo de transporte hacia Floreana**
DIESEL	500	15	3.494	2.33	-	2,73
PIÑÓN	250	10	0	3.494	2,76	3,65
BIODIESEL	250	10	0	3.494	4,80	5,29

Tabla 4.10 Parámetros para calculo de costos variables

Como se observa en la tabla, los motores adaptados de Biocombustibles parámetros requieren un mantenimiento cada 250 horas.107 La vida útil con biocombustible se calcula en 10 años, 5 menos del periodo calculado para motores que funcionan con diesel fósil. Por esta razón los motores a diesel tienen un valor residual de 3.494 USD, y los costos de depreciación están en 10 años para los motores en base a biocombustible, y en 15 años para los de diesel.

Los costos de los combustibles incluyendo el transporte hacia Floreana, -como se observa en la tabla anterior- varían entre 2,73 USD para el diesel fósil y 5,29 USD para el biodiesel.

Con esta información se proyectó a un período de 10 años los costos variables para cada uno de los años y se calculo el costo de kWh para cada año en Floreana.

4.8.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO UNITARIO DE ENERGIA (CUE)

El cálculo de costo de kWh varía según el tipo de combustible y el año que se analice. El Costo Unitario de Energía (CUE) se calcula con la siguiente fórmula:

CUE = Costo Anual de Electricidad (CAE) / Energía Anual Producida (EAP)

La EAP se obtiene del cuadro de demanda proyectada ajustada para cada combustible generado por el sistema térmico. Además se considera un factor debido a la disminución del poder calórico de los biocombustible, de 92% para biodiesel y 96% para el aceite vegetal; para el diesel es 100%, y un factor de disponibilidad técnica108 del 95%, entonces:

EAP = Demanda Anual / (Disponibilidad Técnica * Factor por poder calórico)

El CAE, se obtiene de sumar los costos operativos (CO) con la amortización de la inversión (AI):

CAE = Costo Operativo (CO) + Amortización de la inversión (AI)

Los CO se obtienen al sumar: costo de combustibles, costos mantenimiento, gastos de transporte y costos fijos de operación y mantenimiento:

CO = Costo combustible + Costo Mantenimiento + Gasto transporte + Costos fijos

La amortización de la inversión (AI) es igual a 10 años al 7% anual de tasa de ganancia, que es para:

Diesel = 6.826 USD

Biocombustibles = 10.912 USD

En resumen se tiene el siguiente cuadro de CUE por combustible y por año para el periodo 2011 - 2020 (se analiza solamente los biocombustibles, puesto que son los únicos en los que se calcula las depreciaciones):

COSTO UNITARIO DE ENERGÍA (Kw/H) EN GENERADORES NUEVOS PARA CADA COMBUSTIBLE SELECCIONADO PERIODO 2011 - 2021										
Combustible	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Costo kWh sin depreciación al año (Palma)	1,76	0,89	0,90	0,91	0,93	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99
Costo kWh sin depreciación al año (Piñón)	1,72	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
Costo kWh con depreciación al año (Piñón)	1,78	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
Costo kWh sin depreciación al año (Biodiesel)	1,88	1,01	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16
Costo kWh con depreciación al año (Biodiesel)	1,95	1,04	1,05	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18

Tabla 4.11 Costo unitario de energía (kw/h) en generadores nuevos para cada combustible seleccionado periodo 2011 - 2021

Como en el caso del diesel no existe inversión, ni tampoco depreciación, es conveniente analizar los costos de operación del proyecto, para cada tipo de combustible.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de costos totales de operación, exclusivamente de generación eléctrica para el caso de diesel y de los biocombustibles: (no incluye depreciación).

COSTOS DE OPERACIÓN TOTALES EN GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA EL CASO DE DIESEL Y DE LOS BIOCOMBUSTIBLES - no incluye depreciación										
Costo USD	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
DIESEL	79.905	122.310	129.084	136.268	143.889	161.341	161.341	170.294	180.218	191.429
PIÑÓN	76.003	108.574	114.473	120.722	127.346	134.986	142.460	150.390	158.808	168.470
BIODIESEL	84.338	132.868	140.967	149.024	157.886	168.314	178.400	189.141	200.589	213.960

Tabla 4.12 Costos de operación totales en generación eléctrica para el caso de diesel y de los biocombustibles

Aquí se puede observar que los costos de generación eléctrica son más bajos en el caso de los biocombustibles con los nuevos generadores (excepto en el caso del biodiesel), comparados con los costos utilizando diesel con los equipos actuales. Esto también se puede verificar en la siguiente tabla del costo unitario de generación de energía:

COSTO UNITARIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (KWH) PARA DIESEL PERIODO 2011 - 2020 (SOLO COSTOS OPERATIVOS)										
Combustible	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Costo kWH (Generador antiguo a diesel)	1,70	0,93	0,94	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02	1,04	1,06
Costo kWhH (Piñón)	1,61	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93
Costo kWhH (Biocombustible)	1,79	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,14	1,16	1,18

Tabla 4.13 Costo unitario de generación de energía (kwh) para diesel periodo 2011 - 2020

De lo anterior, se puede calcular la diferencia en costo de generación, al utilizar el diesel respecto a los otros biocombustibles:

DIFERENCIA DE COSTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (KWH) BIOCOMBUSTIBLES - DIESEL, PERIODO 2011 - 2020										
Combustible	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Costo kWH (Piñón)	0,08	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	1,12	0,13
Costo kWH (Biocombustible)	-0,09	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,10	-0,11	-0,11	-0,12	-0,12

Tabla 4.14 Diferencia de costo de generación de energía (kwh) biocombustibles - diesel, periodo 2011 - 2020

De la última tabla, también se puede observar que existe ahorro en todos los años, en el caso de utilizar el aceite de piñón. Esto no ocurre en el caso del biodiesel debido a que el precio de este biocombustible es muy alto respecto a los otros combustibles analizados.

4.9 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.9.1 ANÁLISIS DEL INGRESO POR CAPTACIÓN DE CO2 CON ACEITE DE PIÑÓN

Para verificar la influencia del ingreso del CO2 en la rentabilidad del proyecto, consideramos el caso del aceite de Palma a su precio referencial y determinamos utilidades valor actual de los ingresos con y sin el ingreso de CO2, obteniendo la siguiente tabla:

TIPO DE COMBUSTIBLE ACEITE DE PIÑÓN

INGRESOS CO2	SI	NO
Valor actual de los ingresos USD	98.323,54	81.463,19

Tabla 4.15 Tipo de combustible aceite de piñón

Como podemos observar, el ingreso por captación de CO2 no influye de manera relevante en la rentabilidad del proyecto, pues los valores generados por ese concepto son bajos en comparación con los de generación eléctrica. (15 usd por ton de CO2 reducido)

4.9.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LOS PRECIOS

Para este análisis se considera como escenario básico de comparación el caso de Diesel sin variación de precios. De esta forma se considera cada uno de los biocombustibles, con niveles de variación en sus precios desde un 5% hasta en 20%. Para el análisis de sensibilidad, se utiliza el CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente), esta técnica de la ingeniería económica que permite establecer un valor promedio de referencia para comparar costos en proyectos. El CAUE se calcula anualizando el costo de generación eléctrica, a una tasa del 7%, que es el rendimiento utilizado para este tipo de proyectos. El resultado es una estimación del costo por año para cada tipo de combustible. La mejor decisión equivale a aquella que genere el menor costo anual (menor CAUE).

El proceso de cálculo es el siguiente: como el proyecto tiene costos diferentes cada año, primero se calcula el valor presente de estos costos, al 2008, con una tasa de rendimiento del 7%, utilizando la fórmula:

$$VA = \sum_{k=1}^{n} \frac{C_k}{(1+i)^k}$$

Donde: VA= el valor actualizado del costo del proyecto;

n=vida útil del proyecto (10 años),

Ck = costos del año k; i = 7%

Donde: VA= el valor actualizado del costo del proyecto;

n=vida util del proyecto (10 años),

Ck = costos del año k; i = 7%

Luego, este valor presente se expresa como una anualidad al 7%, con la fórmula utilizada anteriormente (ver cálculo del CUE). El resultado es una especie de "costo promedio por año", que es precisamente el Costo Anualizado Uniforme Equivalente (CAUE).

Analizando los datos de Diesel, se tiene que en promedio este combustible costaría:

CAUE Diesel USD140.987,61

Variando los precios de cada biocombustible, se obtiene la siguiente tabla:

VARIACIÓN DE PRECIOS DE BIOCOMBUSTIBLE DE ACUERDO A EL CAUE (COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE)							
Variación de precios	-20%	-10%	-5%	0%	5%	10%	20%
CAUE Piñón	118.186	121.703	123.527	125.352	127.176	129.000	132.518
CAUE Biodiesel	141.803	148.297	151.544	154.792	158.039	161.286	167.781

Tabla 4.16 Variación de precios de biocombustible de acuerdo a el CAUE

El análisis de sensibilidad del proyecto muestra, que este es mucho más económico con cada uno de los biocombustibles (excepto el

biodiesel) y para cada variación de precio considerada. El CAUE en todos estos casos es menor que al obtenido en el caso del Diesel con equipos actuales.

4.9.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR), TASA MINIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR) Y VALOR ACTUAL NETO (VAN).

De todo el análisis realizado se pude resumir y obtener los datos requeridos para determinar la tasa interna de retorno (TIR), la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y el valor actual neto (VAN).

En la siguiente tabla se muestra los valores de ingresos, costos fijos, costos variables y los ingresos obtenidos cada año durante el periodo 2011 – 2021:

	PERIODO	PAGO	INGRESO	INGRESO - PAGO
Inversion	2011	-76644	0	-79644.00
Costos fijos + Costos variables	2012	-114380.00	40320	-74060.00
Costos fijos + Costos variables	2013	-108796.00	50400	-58396.00
Costos fijos + Costos variables	2014	-93132.00	59400	-33732.00
Costos fijos + Costos variables	2015	-68468.00	59400	-9068.00
Costos fijos + Costos variables	2016	-43804.00	59400	15596.00
Costos fijos + Costos variables	2017	-19140.00	59400	40260.00
Costos fijos + Costos variables	2018	5524.00	59400	64924.00
Costos fijos + Costos variables	2019	30188.00	60480	90668.00
Costos fijos + Costos variables	2020	55932.00	60480	116412.00
Costos fijos + Costos variables	2021	81676.00	65520	147196.00

Tabla 4.17 Valores de ingresos, costos fijos, costos variables y los ingresos obtenidos cada año durante el periodo 2011 – 2021

Para aplicar la TIR, se parte del supuesto que el VAN=0, entonces se buscará encontrar una tasa de actualización con la cual el valor

actualizado de las entradas de un proyecto, se haga igual al valor actualizado de las salidas.

La ecuación de la TIR es la siguiente:

$$\sum_{t=0}^{t=n} (It - Et) \frac{1}{(1+i)^n} = 0$$

De esta manera aplicando a este proyecto se obtiene:

TIR = 9,12%

De esta manera debe cumplirse para que la tasa interna de retorno (TIR) sea mayor que la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) para que el proyecto sea sustentable así se determina:

TMAR < 9,12%

Y con un valor de TMAR igual al 7 % determinamos valor actual neto (VAN) del proyecto de usando la ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{V_F t}{(1+TIR)^t} - Io = 0$$

VAN = 32.689,25

4.10 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Debido a que los costos de inversión inicial para la compra y conversión de motores de diesel a biocombustibles es alta y por ende encarece el costo de generación de energía para los habitantes de la Isla Floreana -que en si representan un pequeño grupo de consumidores-, se recomienda obtener una donación para de esta forma cubrir estos gastos iníciales.

El análisis económico propone considerar esta sugerencia y realiza el análisis comparativo de precios de generación de energía sin considerar la inversión inicial. Es así que los costos de generación eléctrica son más bajos en el caso de los biocombustibles con los nuevos generadores (excepto en el caso del biodiesel, que por la baja competencia que existe en torno a su producción resulta caro en el contexto actual, se espera que en un futuro cercano nuevas fabricas inicien la producción de biodiesel y su costo de venta se reduzca considerablemente), comparados con los costos utilizando diesel con los equipos actuales. Lo que implica un ahorro de 0,03 USD/kWh al generar la electricidad utilizando el aceite de piñón con los generadores nuevos, en lugar de utilizar el diesel con los equipos actuales. Se puede observar además, que existe ahorro en todos los años, en el caso de utilizar el aceite de piñón.

Con respecto al análisis de sensibilidad el ingreso por captación de CO2 no influye de manera considerable en la rentabilidad del proyecto, pues los valores generados por ese concepto son bajos en comparación con los de generación eléctrica. (15USD por ton de CO2 reducido).

El análisis de sensibilidad se considera como escenario básico de comparación el caso de diesel sin variación de precios. El análisis CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) se calculó anualizando el costo de generación eléctrica, a una tasa del 7%.

El resultado es una estimación del costo por año para cada tipo de combustible. La mejor decisión equivale a aquella que genere el menor costo anual (menor CAUE), en este contexto se observa que utilizar

biocombustibles (excepto el biodiesel) es mucho más económico para cada variación de precio considerada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La producción de biocombustibles es un proceso complejo el cual involucra muchos factores los cuales deben estar en equilibrio de tal manera que produzcan el beneficio esperado.

2. La alimentación de los generadores para la isla Floreana se lo debería hacer con aceite vegetal no solo porque su `producción tiene un menor costo sino debido a que es biodegradable en un tiempo corto lo que aseguraría si existiera un accidente inesperado que las repercusiones dentro de la biodiversidad de las Islas sea el menor posible.

3. Las plantaciones de Jatropha deberán hacerse bajo estrictas normas de calidad y en zonas que no sirvan para cultivos alimenticios para obtener la mayor producción posible, de la mejor calidad posible sin tener que hacer uso de tierras necesarias para la alimentación ya sea humana o animal.

4. Se debe evaluar la cantidad de cultivo necesario para que la producción de aceite vegetal sea la que necesita la generación en Floreana.

RECOMENDACIONES

1. Analizar la posibilidad de ampliar el proyecto a generadores en Ecuador continental de tal manera que si existen excesos en la producción de aceite vegetal pueda ser aprovechado de manera correcta.

2. Impulsar proyectos de 3ra generación en la producción de biocombustibles de tal manera que no sea necesaria la utilización de tierra sino que en el caso particular de las algas usemos el espacio marítimo.

3. Impulsar la creación de una planta bajo el sistema Fischer-Tropsh de tal forma que pueda crear de un programa especial para la utilización de basura orgánica además de los desechos de las cosechas para la producción de biocombustible.

BIBLIOGRAFIA

[1] Acosta A., Cero combustibles fósiles en Galápagos [presentación], Quito: MEM, Quito, 04/2010

[2] Ajila V.; Chiliquinga B., Análisis de legislación sobre biocombustible, http://www.olade.org/documentos/publicaciones/Análisis%20de%20legislación%20sobre%20Biocombustibles%20en%20LAC-OLADE.pdf, Olade, abril 2007.

[3] Atkinson R., Manual de Identificación y Manejo de Malezas. Ed. 2. Quito: Fundación Charles Darwin, 2006.

[4] Bravo E., Biocombustibles Cultivos Energéticos y soberanía alimentaria en América Latina, http:/www.darwinfoundation.org/files/library/pdf/guía_ID_ Manejo_Malezas.pdf, Quito: Acción Ecológica, 2007

[5] Gailfuss M., Einführung in die Problematik der Pflanzenölnutzung in BHKW-Anlagen, Leipzig 2nd Ed, 28.03.2009

[6] Garcia J., Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol, Prentice Hall 3rd Ed, 2006

[7] Henning, R: Jatropha Curcas in Africa: assessment of the impact of the dissemination of Jatropha, http://www.sae.org/technical/papers/951047, fecha de consulta enero 2011

[8] Maurer K., Investigación sobre el funcionamiento de motores con mezclas de aceite de colza con diesel fósil, http//:www.universidad hohenheim.org.ec/biocombustibles/Documents.pdf, fecha de consulta febrero 2011

[9] MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGIAS RENOVABLES: Programa de formulación de biocombustibles: Seminario Internacional de Biocombustibles, http//:www.olade.org.ec/biocombustibles/Documents/PDF-22-3%20Ecuador.pdf, fecha de consulta abril 2011