

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

Manuel Sebastian Alvarez Alvarado

Marcos Xavier Pacheco Hurtado

Ing. Javier Urquizo Calderón

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CAMPUS GUSTAVO GALINDO, KM 30.5 VÍA PERIMETRAL

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

malvarez@fiec.espol.edu.ec

mpacheco@fiec.espol.edu.ec

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.

Palabras Claves: *Producción de biocombustible, generación eléctrica.*

Abstract

This project has as main objective to present the importance of using biodiesel as a supplemental source of energy from a low-cost oilseed crops, no food and good geographical adaptation in the province of Manabi also make clear that no dilemma in the Ecuadorian case between producing food and serve the purposes of the Biofuels Program. In order to take advantage of biofuel oil obtained from the pinion to produce nine thousand gallons of diesel consumed by the thermal generation of Floreana year.

Throughout the chapters are given to understand the factors that led to the motivation of the project, will also be given an explanation of the biodiesel production process as well as the different alternatives for the production thereof. A notice of the status of biofuels versus fossil fuels worldwide and plans developed to promote the use of biofuels.

Keywords: *Biofuel production, electricity generation.*

1. Introducción

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.

2. 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.

3. 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.

4. 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 subtropical húmedo se encuentra en regiones con temperaturas de entre 18 °C y más de 28° 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. Partes de la planta de piñón

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

-Bajos requerimientos al respecto 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.

5. Transesterificación

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 desgomado 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 alcoholólisis 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.

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

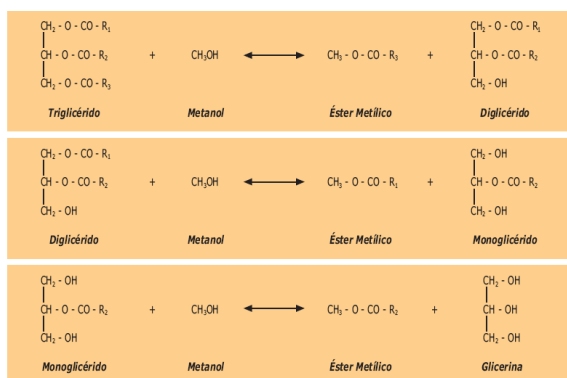


Figura 2. Reacciones que se producen en la transesterificación química con alcohol

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. 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 3 se muestra un esquema con las etapas del proceso de transesterificación química con catalizador básico. Tras la transesterificación, se obtiene una mezcla de ésteres, glicerol, alcohol, catalizador, además de mono/di/triglicéridos, ya que la reacción se produce de forma gradual.

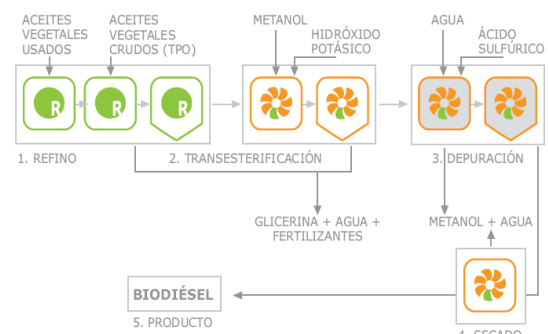


Figura 3. Esquema de las principales etapas de producción de biodiesel mediante transesterificación química

Los ésteres 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 °C).

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.

6. 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.

7. Cantidad de hectáreas de piñón 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 $1 \times 10^8 \text{ cm}^2$, ahora también se sabe que 1 piñón posee en promedio 3 semillas de esta manera se tendría en una hectárea 3×10^6 semillas de piñón.

Una semilla de piñón tiene en su interior $1/16 \text{ cm}^3$ de aceite así en una hectárea se tendrá $3/16 \times 10^3 \text{ m}^3$ 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 $0.7 \times 49,34 \text{ galones} = 34,54 \text{ galones}$ 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.

8. 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%.

9. Análisis económico del proyecto

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:

Tabla 1. Inversión inicial motores a base de biocombustible

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

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:

Tabla 2. Costos de operación y mantenimiento para el 2011 para motores actuales a diesel

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	

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, lo 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.

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 3 que se presenta a continuación, debido que la vida útil restante del motor que se calcula en 3 años.

Tabla 3. Parámetros para cálculo de costos variables

PARÁMETROS PARA CALCULO DE COSTOS VARIABLES			
Combustible	Frecuencia de mantenimiento (por horas de funcionamiento)	Vida útil (años)	Precio galón en USD incluyendo costo de transporte hacia Floreana
DIESEL	500	15	2,73
PIÑÓN BIODIESEL	250	10	3,65
L	250	10	5,29

Como se observa en la tabla, los motores adaptados de Biocombustibles parámetros requieren un mantenimiento cada 250 horas. 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.

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:

$$CUE = CAE \div EAP$$

Donde:

CAE: Costo Anual de Electricidad

EAP: Energía Anual Producida

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:

$$EAP = DA \div DT * FP$$

Donde:

DA: Demanda Anual

DT: Disponibilidad técnica

FP: Factor por poder calórico

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

$$CAE = CO + AI$$

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

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):

Tabla 4. Costo unitario de energía (kw/h) en generadores nuevos para cada combustible seleccionado periodo 2011 - 2021

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

10. 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 útil 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:

Tabla 5. Variación de precios de biocombustible de acuerdo al CAUE

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

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.

11. Tasa interna de retorno (TIR), tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y valor actual neto (VAN)

De todo el análisis realizado se puede 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:

Tabla 4.17 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
Costos fijos + Costos variables	2012	-114380.00	40320	-74060
Costos fijos + Costos variables	2013	-108796.00	50400	-58396
Costos fijos + Costos variables	2014	-93132.00	59400	-33732
Costos fijos + Costos variables	2015	-68468.00	59400	-9068
Costos fijos + Costos variables	2016	-43804.00	59400	15596
Costos fijos + Costos variables	2017	-19140.00	59400	40260
Costos fijos + Costos variables	2018	5524.00	59400	64924
Costos fijos + Costos variables	2019	30188.00	60480	90668
Costos fijos + Costos variables	2020	55932.00	60480	116412
Costos fijos + Costos variables	2021	81676.00	65520	147196

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:

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

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:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_F t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

De esta manera aplicando a este proyecto se obtiene:

$$VAN = 32.689,25$$

12. 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 iniciales.

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.

12. Conclusiones

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.

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.

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.

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

13. Agradecimientos

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, que con su apoyo y conocimiento nos guiaron a lo largo de todo el proyecto.

14. Referencias

- [1] Acosta A., Cero combustibles fósiles en Galápagos [presentación], Quito: MEM, Quito, 04/2010
- [2] Ajila V.; Chilinginga 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.universidadhohenheim.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