CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

EVALUACIÓN BIOECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES EN GUATEMALA

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Ecología)

P r e s e n t a

Milton Abel Sandoval Guerra

La Paz, Baja California Sur, febrero de 2019

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11:00 horas del día 12 del Mes de Noviembre del 2018, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

EVALUACIÓN BIOECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES EN GUATEMALA

Presentada por el alumno:

Milton Abel Sandoval Guerra

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Ecología**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Dr. Luis F. Beltrán Morales
Director de Tesis

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Co-Tutor

Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales
Co-Tutor

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Co-Tutor

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Tutor

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,
Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos

Conformación de Comités

Comité tutorial

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales (Director de tesis)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Cotutora)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Enrique Troyo Diéguez (Cotutor)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Alfredo Ortega Rubio (Cotutor)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales (Cotutor)
Universidad Autónoma de Baja California Sur

Comité revisor de tesis

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales (Director de tesis)

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Cotutora)

Dr. Enrique Troyo Diéguez (Cotutor)

Dr. Alfredo Ortega Rubio (Cotutor)

Dr. Félix Alfredo Beltrán Morales (Cotutor)

Jurado de examen
Suplentes

Dr. Bernardo Murillo Aguilar

Dr. Héctor Cirilo Fraga Palomino

Resumen

El principal objetivo de este trabajo de investigación fue realizar la valoración económica del consumo y producción de materias primas para la elaboración de biodiésel en Guatemala. Se utilizó el Método de Valoración Contingente para estimar el valor económico-ambiental que los consumidores y productores le otorgan a la producción de las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón (*Jatropha curcas*) para generación de biodisel. Para el caso de la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), se utilizó el método de valoración económica denominado Cambio de Productividad para establecer el excedente del productor y el método de valoración contingente para determinar el excedente de los consumidores. Los resultados del análisis de valoración económica ambiental reportan bienestar o excedentes para el consumo de biodiésel y la producción de las tres materias primas a valor presente en el orden de los US $71 millardos de dólares para un periodo de quince años y con la meta de sustituir el 80% del diésel por biodiésel con el cultivo y producción de 374,832 hectáreas. De este excedente total, el 99.76% está dado por el excedente de los consumidores por lo que el bienestar de los productores de las materias primas a valor actual se estimó en US $169 millones. Las limitaciones de esta investigación son las propias de la metodología de valoración económica que se utilizó, ya que al generar mercados hipotéticos se pueden caer en sesgos de la información los cuales se reducen por las técnicas estadísticas utilizadas. Como conclusión se recomienda que la asignación de recursos se debe orientar a la demanda de los compradores que más valoran el consumo de biodiésel, es decir aquellos que muestran una mayor disposición a pagar (DAP). Para que la industria del biodiesel sea viable en Guatemala se requerirá del efectivo cumplimiento de los indicadores del componente institucional bajo el enfoque de políticas públicas inclusivas principalmente para la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*) en el tema ambiental y además fortalecer institucionalmente el sistema social que obtuvo en relación a los cuatro componentes bioeconómicos el promedio más bajo, con un índice de 4.5 y un riesgo inaceptable del 18% de cumplimiento de sus metas de sostenibilidad.

Palabras clave: viabilidad bioeconómica, materias primas, priorización, optimización, valoración económica – socioambiental, índice de sustentabilidad

Vo. Bo.
Dr. Luis F. Beltrán Morales

Summary

The main objective was a make an economic valuation of the consumption and production of raw materials for the production of biodiesel in Guatemala. The methodology was the Contingent Valuation Method (MVC) to estimate the economic-environmental value that consumers and producers give to the production of the raw materials Higuerillo (Ricinus communis) and Piñón (Jatropha curcas) for the generation of biodiesel. In the case of the African Palm (Elaeis guinnensis), the valuation method called Productivity Change was used to establish the surplus of the producer and the Contingent Valuation Method to determine the consumers surplus. The results of the environmental economic valuation analysis, report total welfare or surpluses for the consumption of biodiesel. The production of the three raw materials at present value in the order of US $71 billion for a period of fteen years and with the goal replacing 80% of diesel with biodiesel with the cultivation and production of 374,832 hectares. Of this total surplus, 99.76% is given by the consumer's surplus that the welfare of the producers of raw materials at current value was estimated at US $169 million. Limitations: are those of the economic valuation methodology that was used, since generating hypothetical markets can lead to information biases that are reduced by the statistical techniques used. The conclusión and the recommended that the allocation of resources should be oriented to the demand of the buyers that most value the consumption of biodiésel, that is to say those that show a greater disposition to pay (DAP). In order for the biodiesel industry to be viable in Guatemala, it will be necessary to effectively comply with the indicators of the institutional component under the focus of inclusive institutions or policies, mainly for the African Palm raw material (*Elaeis guineensis Jac*) in the environmental issue and also institutionally strengthen the social system that obtained, in relation to the four bioeconomic components, the lowest average, with an index of 4.5 and an unacceptable risk of 18% of compliance with its sustainability goals.

Keywords: bioeconomic viability, raw materials, prioritization, optimization, economic valuation - socioenvironmental, sustainability index

Vo. Bo.
Dr. Luis F. Beltrán Morales

Dedicatoria

A mis Padres

Fidelina Guerra Solís y José Teodoro Sandoval y Sandoval

En memoria al gran amor que aún me prodigan

A mi Hijas:

María Fernanda y Ana Sofía

Para que este esfuerzo concluido sirva de estímulo al cumplimiento de sus sueños y a la inclaudicable lucha por alcanzar sus aspiraciones

A los productores agrícolas de Guatemala

Héroes anónimos base del desarrollo nacional

Agradecimiento

Al solidario Pueblo de México.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por facilitar mi formación en el programa de estudios y obtener el grado de Doctor en Ciencias.

Al CONACYT y la OEA por el apoyo al desarrollo de mis estudios doctorales.

Al Dr. Luis Felipe Beltrán Morales, por su apoyo, motivación y amistad manifestada de manera constante durante todo el trayecto de mis estudios.

A mis tutores Dra. Alejandra Nieto, Dr. Enrique Troyo, Dr. Alfredo Ortega, Dr. Félix Beltrán, Dr. Hugo Cardona por sus valiosos aportes en mi proceso formativo.

A los colaboradores del CIBNOR y amigos, Dr. Marco Almendarez, MSc. Alfredo Peña, Sra. Paloma Solís, Licda. Marisol Jaime, Lic. Víctor Flores, Lic. Alejandro Borges, Srita. Tania Núñez y a mi compañero de estudios Dr. Jaime Mendivil Mendoza.

A mis familiares Sandoval Guerra por su estímulo y apoyo incondicional. Especialmente a mis hermanos Sheny, Zaida e Iván.

A mis amigos y colegas de la Escuela Nacional Central de Agricultura, especialmente los de mi promoción 84-86, de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) especialmente a mi amigo Ing. MA. Armando Pokus.

Contenido

Resumen……i
Summary……ii
Dedicatoria……iii
Agradecimiento……iv
Contenido……v
Lista de figuras……vii
Lista de tablas……viii

1. INTRODUCCIÓN……1
2. ANTECEDENTES……7
3. JUSTIFICACIÓN……15
4. HIPÓTESIS……19
5. OBJETIVOS……19
5.1 General……19
5.2 Específicos……19
6. MATERIALES Y MÉTODOS……20
6.1 Priorización de materias primas……21
6.2 Optimización por maximización ……27
6.3 Índice bioeconómico de sustentabilidad……30
6.3.1 Selección de indicadores ……35
6.3.1.1 Cálculo de utilidad bioeconómica……37
6.3.2 Integración de matriz de indicadores……42
6.3.3 Aplicación y análisis de la información……44
6.3.4 Valoración económica y socio ambiental ……45
6.3.4.1 Valoración Contingente……46
6.3.4.2 Cambio en la Productividad ……57
7. RESULTADOS …………62
7.1 Priorización de materias primas……62
7.1.1 Marco socioeconómico y ambiental…….. ……62
7.1.1.1 Uso actual y potencial del suelo ……68
7.1.2 Selección por EIA a escala industrial ……72
7.1.3 Selección por competencia con alimentos……75
7.1.4 Priorización para el biodiesel ……78
7.1.5 Priorización por su Importancia Bioeconómica ……79
7.2 Optimización de la producción de materias primas para biodiesel……85
7.2.1 Maximización y plan de sustitución ……85
7.3 Evaluación bioeconómica de producción y consumo de Biodisel ……93
7.3.1 Valor económico y socioambiental del biodisel ……94
7.3.1.1 Excedente del consumidor Piñón e Higuerillo……103
7.3.1.2 Excedente del productor Piñón e Higuerillo……108
7.3.1.3 Excedente total con Piñón e Higuerillo ……110
7.3.1.4 Excedente productores Palma Africana……113
7.3.1.5 Excedente consumidores Palma Africana……113
7.3.1.6 Excedente social del biodiesel……115

7.3.1.7 Análisis de sensibilidad respecto al precio.....117
7.3.2 Evaluación de la sustentabilidad del biodiesel.....118

8. DISCUSION.....130
9. CONCLUSIONES.....139
9.1 Recomendaciones.....144
10. LITERATURA CITADA.....148
11. ANEXOS.....154

Lista de figuras

Figura 1. Modelo P-E-R para la priorización de materias primas usadas en la producción de biocombustibles en Guatemala……..…….23

Figura 2. Primera función económica del medio ambiente como proveedor de recursos naturales…….....38

Figura 3. Segunda función económica del medio ambiente como resumidero de residuos……..……...…39

Figura 4. Tercera función económica del medio ambiente como elemento de asimilación (reciclaje) de residuos……..……..40

Figura 5. Regiones fisiográficas de Guatemala……..……63

Figura 6. Mapa de capacidad de uso del suelo de la República de Guatemala…70

Figura 7. Diagrama para el calculo del excedente del consumidor ……....98

Figura 8. Diagrama para el cálculo del excedente de los productores …….…….99

Figura 9. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*) …….……101

Figura 10. Gráfica de la función de oferta de las toneladas métricas de la materia prima a base de Piñón *(Jatrhopha curcas L*) producidas y comercializadas para la fabricación de biodiesel…….……101

Figura 11. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.)*……..……..…102

Figura 12. Gráfica de la función de oferta de las toneladas métricas de la materia prima a base de Higuerillo (*Ricinus communis L.*) producidas y comercializadas para la fabricación de biodiesel……. …….……102

Figura 13. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) ……..113

Lista de tablas

Tabla I. Valores de ponderación para las variables del Modelo P-E-R en el establecimiento de la importancia relativa de las materias primas usadas para la fabricación de biocombustibles ……..……26

Tabla II. Municipios de la República de Guatemala donde se aplicaron encuestas y se evaluó la sustentabilidad…….……54

Tabla III. Indicadores socioeconómicos generales de Guatemala……66

Tabla IV. Capacidad de uso de la tierra por superficie (hectáreas) y porcentaje para tipo de uso en el territorio nacional de Guatemala ……..….....69

Tabla V. Intensidad de uso de la tierra para la República de Guatemala……71

Tabla VI. Selección de materias primas para la fabricación de bioetanol considerando la competencia o desplazamiento de la producción de alimentos…77

Tabla VII. Selección de materias primas para la fabricación de biodiesel…….. 78

Tabla VIII. Índice del valor de importancia bioeconómica (IVIB) del análisis de la Presión–Estado– Respuesta para las 05 materias primas promisorias seleccionadas para la fabricación de biodiesel……..……80

Tabla IX. Descripción del valor de importancia bioeconómica para las 05 materias primas priorizadas para la fabricación de biodiesel…….....85

Tabla X. Optimización del área apta de producción de los 03 cultivos priorizados…….....87

Tabla XI. Producción bruta de biodiesel al año 20 de cultivo de las tres materias primas priorizadas para Guatemala .....…….....89

Tabla XII. Proyección de sustitución de diésel con la producción bruta optimizada de biodiesel para las 03 materias primas priorizadas en Guatemala……90

Tabla XIII. Rangos de disposición a pagar (DAP) y a ser compensados (DAC) en el análisis de valoración económica y socio ambiental de la producción y comercialización de biodiesel…….……....97

Tabla XIV. Funciones de demanda y oferta para las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con sus respectivos índices de correlación (R^2)……100

Tabla XV. Excedente total del consumo de biodiesel y de su producción con base en las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) usadas para su fabricación en Guatemala ……..…… 108

Tabla XVI. Costo promedio ponderado de capital (WACC) para la producción con proyecto de sostenibilidad en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac,*) dadas las condiciones propuestas para Guatemala 112

Tabla XVII. Valoración económica y socio ambiental total con la producción de materias primas para la fabricación y consumo de biodiesel a base de Piñón (*Jatropha curcas L*.), Higuerillo (*Ricinus communis L*.) y Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.)*……...116

Tabla XVIII. Categorías de sustentabilidad en la fabricación y consumo de biodiesel con base en los índices y utilidad bioeconómica establecida… ……121

Tabla IXX. Detalles de cálculo de la utilidad bioeconómica neta conforme a la probabilidad de riesgo aceptable para generarse……..122

Tabla XX. Índices e indicadores de sostenibilidad en la producción y consumo de biodiesel sin considerar el riesgo probabilístico de cumplimiento dadas las condiciones sociales, económicas, ambientales e institucionales de Guatemala……124

Tabla XXI. Riesgos asociados al cumplimiento de los indicadores social, económico, ambiental e institucional ……126

Tabla XXII. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente social en las 03 materias primas evaluadas .....……127

Tabla XXIII. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente económico para las 03 materias primas evaluadas ..……..128

Tabla XXIV. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente institucional para las 03 materias primas evaluadas……129

1. Introducción

En el sector energético de Guatemala se ha identificado desde la década de los 70´s del siglo pasado (Nueva Visión y Prosol, 2010) el problema de la dependencia en el uso de combustibles fósiles. Esta dependencia a su vez, por razones de contaminación derivadas del uso excesivo del petróleo, como lo indica la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1997) en su Protocolo de Kioto y en el Acuerdo de Paris (2015), ha potenciado a nivel global problemas ecológicos como el efecto invernadero y consecuentemente el cambio climático (tormentas, sequías, desequilibrios ecológicos, entre otros).

Partridge (2003) evaluó que en países en vías del desarrollo los efectos del cambio climático (CC) son impactantes y se traducen en graves crisis de índole socioeconómica, más en un país de alta vulnerabilidad como Guatemala, que de acuerdo a la FAO (2013) está catalogado dentro de los 5 países del mundo más vulnerables para la gestión integrada de riesgo de desastres (GIRD). Para Chahin (2009), los biocombustibles o combustibles neutros son una fuente de energía renovable que se puede utilizar como efectiva estrategia para la adaptación y resiliencia al CC, con diversas aplicaciones alternativas al desmedido consumo de petróleo, reduciendo así entre otros beneficios, el costo de los combustibles para los millones de usuarios en el transporte, industria, calefacción y otras actividades económicas del país centroamericano.

Al ser considerados los biocombustibles como "carbono neutral" y constituirse en una alternativa "verde" para el petróleo, así como por el crecimiento de esta industria a nivel global, su fabricación y comercialización se torna interesante desde el punto de vista ambiental y económico-financiero para la inversión por diferentes sectores, tanto de inversión extrajera directa como también la nacional (ACRG, 2013) en Guatemala. De tal cuenta que, desde inicio del siglo XXI sectores de la población demandan de las autoridades energéticas del país su

impulso como industria nacional (Nueva Visión y Pro Sol, 2010). Como lo explica García (2010) son considerados como "carbono neutral" debido a que la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que se libera cuando se quema, es igual a la cantidad de dióxido de carbono utilizado (fijado) durante el proceso fotosintético del cultivo de las materias primas. Agrega García (2010) que, los biocombustibles, se derivan principalmente de productos agrícolas, que usan como materia prima en su fabricación la biomasa agrícola y en los motores de combustión interna se pueden utilizar puros o mezclados con otros tipos de combustibles. Pueden entonces mezclarse con los combustibles existentes para el transporte sin necesidad de cambiar las infraestructuras actuales de despacho y/o acopio, por lo que se constituyen en una forma práctica y fácil de contribuir a la solución de la problemática del cambio climático, al afrontar de manera inmediata el problema del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector del transporte.

Según la Renewable Fuels Association (RFA, 2014) la producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos 10 años. En el hemisferio, la Organización de Estados Americanos (OEA, 2007) y algunos actores internos en Guatemala, como Ibañez y López (2013), conjuntamente con la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala (ACRG, 2013), consideraran al país como estratégico para el desarrollo de esta industria. Sin embargo, otros grupos como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) y científicos ambientalistas como Sigrid y O´Hara (2001) y Barrera y Schwarze (2004) se oponen. Para García (2010) los principales biocombustibles usados son: bioetanol (alcohol por fermentación de azúcares); biodiesel (ácidos grasos y esteres alcalinos) y biogás (descomposición anaeróbica de materia orgánica). Sin embargo, el Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas II, del IICA (2010), argumenta que de acuerdo a la logística de producción a escala industrial los principales biocombustibles para Centro América son el bioetanol y el

biodiesel dejando la producción de biogás a una escala doméstica o para el autoconsumo en el área rural.
El bioetanol destaca García (2010), sustituye al petróleo fósil gasolina y proviene entre otras materias primas del maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera y del almidón producido, por ejemplo, a partir del trigo y de la cebada. El biodiesel es un sustitutivo del diésel y se elabora a partir de plantas oleaginosas como el aceite de palma africana, brassicas, soya, girasol y de otras materias incluidas las grasas animales.

En la actualidad, derivado de la investigación científica se están desarrollando biocombustibles más avanzados, con los que se conseguirá convertir la celulosa y la lignina que contienen todas las plantas, además de los desechos orgánicos forestales (aserrín), en biocombustibles líquidos lo cual reducirá la competencia con la producción de alimentos (ACRG y FAO, 2013).

De acuerdo a Dufey (2006), países como Guatemala, con la producción y consumo sustentable de biocombustibles, tiene la oportunidad de construir una imagen diferenciada al mundo. Una economía pequeña que opta por el adecuado manejo de sus recursos naturales, que amplía y diversifica su matriz energética y que está trabajando en el tema del cambio climático. Agrega la autora que, como país se puede mejorar a corto plazo en la disminución de la emisión de los gases de efecto de invernadero, eliminando el MTBE (aditivo químico para incrementar el octanaje de la gasolina).

Respecto de lo anterior, la ACRG (2013) expone que con la fabricación, comercialización y uso de los biocombustibles se puede como país mejorar a corto plazo en la disminución de la emisión de los gases de efecto de invernadero y agregar hasta un 10% de bioetanol en la gasolina. La mezcla propuesta por la Renewable Fuels Association (2010) es la E-10. Además, según el Ministerio de Energía y Minas (2010) se puede dejar de importar 144 millones de litros al año de

gasolina fósil y disminuir la dependencia de importación generando un ahorro de entre US$ 67 y 100 millones en divisas al país.

A pesar de las bondades promocionadas de los biocombustibles, en Guatemala como en otros países, existen como lo expresan Barrera & Schwarze (2004), así como también Bartelmus (2000), un intenso debate respecto a la factibilidad de la producción de los mismos.

Los detractores que manifiestan oposición a la implementación de la industria, como la Organización para la Agricultura y a la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, 2013) argumenta a nivel general competencia y desplazamiento de la producción de alimentos en los países subdesarrollados, estimulo y promoción del monocultivo extensivo, contaminación del ambiente y uso intensivo y degradante de los recursos agua, suelo y biodiversidad.

Otros opositores como Green Peace (2008) indican que, en el proceso de producción de los biocombustibles a gran escala se hace uso de combustión que obviamente genera emisiones, existe amenaza a la seguridad alimentaria y que el avance de la frontera agrícola atenta contra los bosques nativos y la vida silvestre en general. Agrega esta misma organización que en el caso del bioetanol se generan otros subproductos como la vinaza, que es contaminante y debe ser manejada cuidadosamente por la alta magnitud negativa de su impacto en el ambiente.

Estas posiciones encontradas se derivan en gran medida por la falta de información proveniente de estudios científicos, lo que a su vez ha imposibilitado el desarrollo de una política específica y consensuada en torno a la promoción de los biocombustibles en el país. Al respecto, Nueva Visión y PRO SOL (2010), concluyeron su trabajo de consultoría que solo con información científica que parta de la evaluación de la factibilidad de la producción y consumo de biocombustibles se podrá dar paso a la formulación de una política energética que oriente la fabricación y uso sostenible de los biocombustibles en el país.

En respuesta a lo anterior, fue preciso de acuerdo al objetivo del presente estudio, determinar la viabilidad bioeconómica de la producción y consumo de biocombustibles evaluando su impacto en la sustentabilidad ambiental, social, económica e institucional de Guatemala. De manera específica, se priorizó con criterios bioeconómicos las materias primas más promisorias y a partir de esto se optimizó, mediante el uso de programación lineal, la maximización de la producción de las mismas por tipo de agro combustible. Posteriormente fue evaluada, con base a índices e indicadores bioeconómicos, la sustentabilidad de la producción de materias primas priorizadas, así como también la fabricación y comercialización de los biocombustibles, con especial énfasis en los estudios de impacto ambiental (EIA´s) y la determinación de la valoración económica ambiental.

Con el procesamiento y análisis de la información generada se propusieron estrategias que permiten recomendar la producción desde un enfoque bioeconómico, es decir sostenible y avanzar a la sustentabilidad de esta industria en el país.

La data bioeconómica generada fortalecerá los argumentos de personas, programas e instituciones, constituyéndose el conocimiento producido de un valor incalculable para inversionistas y tomadores de decisión y como lo demanda la sociedad guatemalteca. Con la información obtenida, se pueden sentar las bases para diseñar y ejecutar una política de biocombustibles real y acorde a las condiciones prevalecientes en el país, es decir considerando los sub sistemas sociales, económicos, ambientales e institucionales.

De esa cuenta que, el estudio para establecer la viabilidad de la producción y consumo de los biocombustibles en Guatemala, representa el marco primordial para el desarrollo sostenible de la industria en el país, constituyendo esto la justificación del presente estudio, pues solo con información científica que valide desde el enfoque bioeconómco la producción y consumo sostenible de los

biocombustibles, partiendo de las priorización de sus materias primas y estableciendo de manera objetiva la viabilidad de la industria, se podrá dar paso a la formulación de una política que oriente la producción y consumo de biocombustibles, o bien presentar una mejor iniciativa de Ley de Biocombustibles (actualmente en análisis en el Congreso de la República de Guatemala), o para que las reforma al Decreto 17-85 que se deseen incorporar entorno al uso sostenible de los biocombustibles sean óptimas.

2. Antecedentes

Según la RFA (2010), la producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos años. Su desarrollo se ha visto favorecido indica la Asociación por la volatilidad en el precio del petróleo y las políticas de subvención pública adoptadas por los distintos países para cumplir con las exigencias y oportunidades que presenta el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de Paris (ONU, 1997 y 2015).

Además, según la Renewable Fuels Association (RFA,2013) a nivel mundial para el 2009 se reportó con el uso de biocombustibles una reducción de Gases de Efectos de Invernadero (GEI) del orden de 100,00 millones de toneladas métricas. Específicamente en los Estados Unidos de América (USA) con el uso del combustible bioetanol esta Asociación indica que se redujo aproximadamente 10.1 millones de toneladas de CO_2 equivalente de GEI, lo que representa eliminar 1.5 millones de carros de las carreteras.

Ante los potenciales beneficios que presenta el uso de biocombustibles, el Protocolo de Kioto que fue firmado el 10 de diciembre de 1997, y que entró en vigor el 16 de Febrero del año 2005, es el compromiso formal de los países participantes en la tercera conferencia de las partes y en el Acuerdo de Paris (2015) con su COP21 de la convención sobre cambio climático (COP3) de reducir sus emisiones de gases con efecto invernadero para el año 2012, y su relación específica en cuanto a los biocombustibles se puede resumir en los siguientes tres puntos:

- Los biocombustibles, indica el protocolo, se presentan como una manera de captar inversores, elevar la rentabilidad de los proyectos y al mismo tiempo colaborar en lograr un desarrollo limpio y sustentable en el tiempo.
- Las naciones desarrolladas lograron prosperidad a costa de emitir gases de efecto invernadero indiscriminadamente y ahora les toca asumir el liderazgo

de mitigación (esta frase tan frecuentemente utilizada describe perfectamente la responsabilidad que le compete a cada parte).

- Con la firma del Protocolo de Kyoto, los países desarrollados dejaron asentada su responsabilidad hacia con el cambio climático y a través del MDL (Mecanismo para un Desarrollo Limpio) se permite que las naciones en desarrollo reciban beneficios directos del compromiso asumido.

Al respecto del último punto, en el hemisferio, la Organización de Estados Americanos (OEA, 2007) a través de su Departamento de Desarrollo Sostenible, apoya a los Estados miembros de la Organización en el diseño y la implementación de políticas, programas y proyectos orientados a integrar prioridades ambientales con los objetivos de desarrollo socioeconómico, a través de acciones concretas orientadas a la promoción de la sostenibilidad energética, incluyendo el despliegue de tecnologías de energía renovable y de eficiencia energética.

En ese contexto y dentro del marco del Memorando de Entendimiento entre el Gobierno de Brasil y el de los Estados Unidos de América (USA) para promover la Cooperación en Biocombustibles en el hemisferio, firmado en marzo del 2007, se expresa la intención de cooperar en el desarrollo y la difusión de la estrategia de los biocombustibles. Los países considerados estratégicos en dicho acuerdo de cooperación fueron: Perú, Colombia, El Salvador, Honduras, Haití, República Dominicana y Guatemala.

Al respecto, Dufey (2006), destaca que son experiencias positivas en torno a la producción y consumo de biocombustibles actualmente en América Latina las de países como Colombia, Brasil y Chile.

Para el caso de Guatemala, la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala (2013), reporta que en este país se tiene una capacidad de producción de 250,000 toneladas métricas por año de biocombustible por destilación y 165,000 toneladas métricas por año de biocombustibles por deshidratación.

En la actualidad la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala (ACRG, 2013) asume que Guatemala puede abastecer el 10% de bioetanol para el total de su parque vehicular. Según un estudio de Chahin (2009), para el 2007 en Guatemala, era técnicamente viable la mezcla del 10% de etanol en la gasolina. Indicando el mismo estudio que si se consume el 10% del alcohol local no se desplazaría la producción de alimentos que es una de las principales consideraciones al momento de implantar esta industria.

La ACRG (2013) al respecto de la promoción de la industria en el país, recomendó que se tiene que profundizar en el análisis para definir cuál sería el mejor momento para iniciar con un programa de implementación de la producción de biodiesel ya que la industria requerirá de políticas de incentivos y apoyo a los productores. Sin embargo, en el caso del biodiesel, no se cuenta con estadísticas certeras. Limitándose Nueva Visión y Pro Sol en un estudio realizado de 2010 a indicar que esta industria es incipiente en el país, por lo que la producción aún se realiza a pequeña escala especialmente para autoconsumo en motores estacionarios o vehículos que usan diésel.

Guatemala, expone ese estudio realizado por Nueva Visión y Pro Sol (2010), cuenta con una capacidad instalada de producción de biodiesel de 15,200 litros por día agregando que en la actualidad se estima que existen más de 600 mil hectáreas de tierras ociosas y/o subutilizadas que tienen las cualidades de suelo y clima para la siembra de piñón (*Jatropha spp*.) que no compite con la parte comestible.

Al igual que con el biodiesel, de la producción y consumo de de biogás tampoco se cuentan con datos estadísticos confiables. La Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala (ACRG, 2013) indicó que los proyectos de biodigestores son viables únicamente en el área rural, ya que se necesita alrededor de 18 a 28 kilogramos de excrementos o de biomasa al día para producir 8 horas continúas de biogás. Exponen que en el interior de la República

de Guatemala muchas familias poseen animales domésticos lo que permite su implementación por la disponibilidad de desechos biodegradables generadores de metano.

Indica la ACRG (2013) que, a la fecha se cuenta con alrededor de 50 proyectos de biodigestores que funcionan en el interior del país; explicando que un depósito de estiércol de 4.5 metros de largo por un metro de ancho puede generar hasta 8 horas continuas de biogás y tiene un costo aproximado de US $500.00

En todo caso, como lo indica Dufey (2006), que la producción de cualquiera de los tipos de biocombustibles requerirá que el proceso de producción y uso de biomasa cuando sea a una escala industrial cuente con certificado de la Certificación International Sustainability & Carbon Certification (ISCC).

Según la ACRG (2013), la Cámara de Industria de Guatemala, conjuntamente con el Consejo Privado de la Competitividad, en un estudio realizado durante el 2013, detectó que la producción de biocombustibles a partir de la industria forestal representa un negocio atractivo y competitivo para el país. Concretamente manifiestan que en el país se tiene una cosecha anual de madera del orden de los 575,000 m^3 de los cuales el 70% son residuos tipo aserrín que puede usarse para la producción de biodiesel. En dicho estudio determinaron que con una cantidad de materia prima (aserrín) al año de 547,500 toneladas métricas y a través de un proceso enzimático se pueden producir anualmente hasta 41 MG de energía.

Aunque hace falta una política específica, se cuenta en este país centroamericano con el Decreto Legislativo vigente número 17-85, en el cual se indica que toda la gasolina debe estar mezclada con un mínimo de 5% de alcohol. Sin embargo, desde el 2006 se encuentra en el Congreso de la República de Guatemala el proyecto de reforma de Ley de ese Decreto 17-85. Por su parte, el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2010) está trabajando en una propuesta de Iniciativa de Ley que englobe los biocombustibles ya que la normativa actual se considera desfasada en cuanto al rol de los mismos.

El tema de la producción industrial de biocombustibles en Guatemala es polémico y frecuentemente se sitúa en la mesa de discusión. Según estudios de organismos internacionales (OEA, 2007), el país cuenta con la infraestructura necesaria para abastecerse de biocombustibles a considerable porción de la demanda energética y con ello disminuir la dependencia del petróleo. Sin embargo, agrega esta organización existen también adversarios a la promoción e instalación de la industria, principalmente por las implicaciones o potenciales impactos ambientales negativos que pudiese causar.

Respecto de lo anterior, es importante indicar que según la OEA (2007), luego de Brasil y Estados Unidos, Guatemala es el tercer productor de biocombustibles a nivel mundial, específicamente del tipo bioetanol, del cual el 90% se exporta y el 10 restante queda para consumo local. En ese sentido, por sus características industriales, Guatemala es considerado el país centroamericano con mayor capacidad instalada para producir biocombustibles, gracias a la producción de azúcar que aporta como subproducto al bioetanol.

De acuerdo a Nueva Visión y Pro Sol (2010), gracias a que Guatemala es uno de los mayores productores de azúcar (*Sacharum officinarum L.*) del mundo, en la actualidad cinco grandes ingenios compiten para destilar la mayor cantidad de etanol, actividad que se multiplica a otras pequeñas empresas agrícolas que ven en la producción del biodiésel una oportunidad de ganancia. Principalmente en lo referente a la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*)

Para la RFA (2013), países como Alemania, Brasil, China, Estados Unidos, Francia e Italia producen y utilizan biocombustibles, lo que ha significado una reducción en el tonelaje de Gases de efecto invernadero (GEI). Este podría ser el caso de Guatemala, pero en la actualidad el 90% de la producción se dirige a Europa, Estados Unidos y México, mientras el país sigue dependiendo del petróleo y de las fluctuaciones de su mercado.

De acuerdo con datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM,2010), las cinco destilerías en funcionamiento tienen una capacidad instalada de producción de más de 250 mil millones de litros de etanol por año. En el caso del biodiésel, seis plantas de pequeña escala la tienen para generar aproximadamente quince mil litros por día. Aunque en este último punto, la ACRG (2013), señala que el biodiésel no es en la actualidad una solución alternativa para el diésel derivado del petróleo, debido a que su producción es muy baja.

Por otro lado, un estudio de la OLADE (2012), califica a Guatemala como país idóneo para seguir expandiendo la producción de biocombustibles, por la extensa disponibilidad de tierras, amplia experiencia en el procesamiento del azúcar y otras materias primas, así como por su tecnología de punta en el área industrial. En ese punto la OEA (2007) coincide al afirmar que en el país existen aproximadamente un millón de hectáreas que podrían utilizarse para el cultivo de especies para la producción de biocombustibles como piñón (*Jatropha curcas L.*), aceite de palma (*Elaeis guineensis Jac.*), soya (*Glicine max L.*) o higuerillo (*Ricinus cummunis L*).

Según cifras de la OLADE (2012), actualmente el país produce unos 90 millones de litros anuales de bioetanol, a partir de la caña de azúcar. Sin embargo, Guatemala podría generar hasta un millón de litros diarios, con mejoras tecnológicas y expansión de sus cultivos, estima el estudio. Y como explica la Asociación Promotora de Combustibles Renovables de Guatemala (ACRG,2013), no existe un riesgo entre la producción de este tipo de combustibles y la seguridad alimentaria nacional, pues este es un subproducto de la caña de azúcar (*Sacchrum officinarum L*).

Pese a lo expuesto por la ACRG (2013) los detractores señalan que el cultivo y el procesamiento de la caña de azúcar contamina el suelo y las fuentes de agua potable, pues utilizan gran cantidad de productos químicos que van a parar a

afluentes debido a un pésimo trato de aguas residuales (Green Peace, 2008). Además, indica esta organización ambientalista que cada litro de etanol producido dentro del ingenio consume cerca de 12 litros de agua. Por lo tanto, la producción de agro energía representa un riesgo de mayor escasez de recursos naturales. Según los ambientalistas de Green Peace (2008), al producir melaza en la industria azucarera se obtiene vinaza, un desecho industrial que causa desoxigenación del agua. Indicando que por cada litro de etanol producido se obtienen de 10 a 14 litros de vinaza, la cual puede causar graves problemas si no hay un manejo adecuado y responsable.

En tanto, los expertos de la Comisión Nacional de Biocombustibles del MEM (2007), son más cautos al explicar que el peligro de una competencia entre bioetanol, biodiésel y alimentos siempre existe, pero no supone un alto riesgo toda vez esté respaldado con estudios de impacto ambiental (EIA) y planes de mitigación y contingencia, así como también que a pesar de que confirman que se genera otros sub productos como la vinaza, agregan que estos pueden ser manejados de manera adecuada con enfoque de sostenibilidad ambiental.

Para la OEA (2007) y específicamente el Programa de apoyo de la Organización de Estados Americanos para el desarrollo de los biocombustibles en Centroamérica, el tema de la producción de biocombustibles es algo que no puede generalizarse, pues cada país tiene un perfil diferente para el uso de combustibles y un potencial para su producción. Lo importante agrega la organización (2007), es acercar a los gobiernos regionales para que en conjunto se pueda llevar el proceso consultivo a todos los actores y así alcanzar un consenso y se haga un análisis holístico de todos los impactos, buenos y malos. Un análisis adecuado, que no existe, permitirá comparar con el uso actual de combustibles en Guatemala que en este caso son el diésel y la gasolina puntualiza.

Al respecto, Dufey (2006), discute en torno a una de las grandes ventajas de tipo ambiental asociadas a los biocombustibles y una de las principales motivaciones

para su gran aceptación a nivel mundial, concretamente las supuestas reducidas emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) y, por lo tanto, su potencial para ayudar a combatir el problema de cambio climático.

El argumento básico según Bolay (2004) es que, dado que el cultivo de granos energéticos absorbe CO_2, las emisiones de CO_2 que se generan durante la combustión del biocombustible no contribuyen con nuevas emisiones dado que éstas ya son parte del ciclo del carbono fijado. Al respecto la RFA (2014) reporta de acuerdo a sus estudios a nivel mundial, que para el 2009 con el uso de biocombustibles se alcanzó una significativa reducción de GEI, concluyendo que, dependiendo el tipo de materia prima, con los biocarburantes se puede sustituir hasta el 100% de estos gases de efecto de invernadero.

Las experiencias industriales en el globo han demostrado que el 10% del alcohol en la gasolina permite mejorar la mezcla y optimizar la combustión del motor del vehículo, sin necesidad de efectuar adaptaciones mecánicas, lo que genera en el corto plazo significativos beneficios al medio ambiente. La mezcla propuesta es la E-10 (RFA, 2014). Respecto de lo anterior, Chahin (2009), determinó que en Guatemala era técnicamente viable esa mezcla del 10% de etanol en la gasolina, agregando este mismo autor en el estudio exploratorio que realizó, que sí se consume el 10% del alcohol local, se modificaría de manera significativa la matriz energética del país dándole cabida a la industria de los biocombustibles sin desplazar la producción de alimentos que es una de las principales consideraciones al momento de implantar y promover la producción de agro combustibles en Guatemala. En ese sentido, la Organización de Estados Americanos (OEA, 2007) dentro del marco del Memorando de Entendimiento entre los Gobierno de Brasil y de los Estados Unidos de América para promover la Cooperación en Biocombustibles en el Hemisferio expreso la intención de cooperar con el desarrollo y la difusión de la estrategia de promoción de la producción y uso de los biocombustibles en en el país.

3. Justificación

Guatemala es un país netamente importador de combustibles derivados del petróleo. En el año 2016 (MEM, 2017) se importaron al país 38,234,308.54 barriles de productos petroleros, provenientes en su mayoría de los Estados Unidos. Además, agrega el MEM (2017), el volumen importado muestra un aumento sostenido durante el período de 2010 a 2017, siendo el año 2015 el que presenta mayor incremento debido a la baja de precios a nivel internacional que se registró en ese año.

Según los registros de la Dirección de Hidrocarburos del MEM (2017), los productos más importados por Guatemala son el combustible diésel (32%), seguido por la gasolina superior (21%), el gas licuado de petróleo (17.03%) y la gasolina regular (16.85%).

Estimaciones de la ACRG (2013) reportan que Guatemala tiene capacidad de producción de 250,000 toneladas métricas por año de biocombustible por destilación y 165,000 toneladas métricas por año de biocombustibles por deshidratación para sustituir dichas importaciones.

Respecto de lo anterior, las firmas consultoras Nueva Visión y PRO SOL (2010) indican que, para la formulación de una política de promoción y fomento de la industria de los biocombustibles para sustitución de los productos petroleros en el país, que es recomendable y necesaria, se debe profundizar en el análisis de su viabilidad desde un punto de vista integral y con una fuerte base científica y tecnológica que considere los sistemas social, económico, ambiental e institucional.

Tanto Bartelmus (2000) como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2008), acotan sobre la necesidad de definir cuál sería el mejor momento para iniciar con un programa de implementación de la producción de materias primas para la fabricación de los biocombustibles ya que,

para la operatividad de esta industria, se requerirá de un enfoque de sustentabilidad y de incentivos institucionales de apoyo a los productores agrícolas. Sólo así indica Bartelmus (2000) se podrá tener una incidencia significativa en la sustitución de los combustibles fósiles en países como Guatemala.

De acuerdo a la composición de la matriz energética actual y a las proyectadas para los años 2012 al 2022 por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, en su guía del inversionista (MEM, 2010), no se observa que exista el componente de energía derivada de los biocombustibles en Guatemala, a pesar de que en esa misma guía se indica que la fabricación de estos agro combustibles representaría un ahorro por importaciones del orden de aproximadamente 40 millones de barriles de combustibles fósiles. Así también tendría un significativo alivio para la bolsa de los automovilistas nacionales que lo consumirían aún precio menor que el de los combustibles fósiles como lo reporta Chahin (2009).

Además de lo puramente económico, es importante resaltar la afirmación del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN, 2009), de promover el uso de biocombustibles para las fuentes móviles en ruta (parque vehicular) ya que, ello implica inherentemente la sustitución del uso de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel que generan impactos ambientales negativos, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático que se constituye en la actualidad en un trascendental problema nacional.

Este mismo estudio del MARN (2009), indica que Guatemala es considerado dentro de los 10 países más vulnerable en el mundo a los efectos negativos del cambio climático. Agrega además que a pesar del nivel de contaminación mínimo de alrededor del 1% a nivel mundial, el país también contribuiría con la disminución de la carga vehicular a reducir la magnitud de la amenaza que representa a nivel global el cambio climático como lo contempla la Ley específica

para este tema (Decreto número 7-2013 del Congreso de la República de Guatemala).

Los registros del parque vehicular de Guatemala, para el año 2013 por el MEM (2017), reportan un total 2,562,925 unidades. De esta cantidad de vehículos registrados, el 98.7% constituyen fuentes móviles en ruta y únicamente el 1.3% está conformado por unidades haladas y unidades que no circulan por la vía pública. Al respecto, según el MARN (2009), de las fuentes móviles en ruta en el 99.9% combustionan con gasolina y diésel.

El MARN (2009) estimó que para el año base prospectado 2013, las fuentes móviles en ruta emitirían aproximadamente 12,434,057 toneladas métricas de gases de efecto invernadero (GEI); de los cuales, el 99.8% corresponden a emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

Tomando en cuenta la cantidad de emisiones de CO_2 emitidas por las fuentes móviles en ese año base prospectado, se consideró importante modelar las emisiones para el escenario de bajas emisiones tomando en cuenta como fuerza controladora, entre otras, el uso de biocombustibles. Los resultados del modelamiento en el escenario de bajas emisiones realizados para Guatemala por el MARN (2009), presentaron reducciones de emisiones de CO_2 para ese mismo año base prospectado 2013, en el orden de las 3,586,437 toneladas métricas.

Los detractores de la implementación de la industria de los biocombustibles en Guatemala demandan sin embargo mayor y mejor información (científica) para mejorar sus posiciones respecto a la validez de los argumentos en torno a la diferencia neta de captura de CO_2 y la eficiencia en la reducción de la emisión de GEI. Además, en el caso de Green Peace (2008), exigen explicaciones sobre la competencia y desplazamiento de la producción de alimentos, el estímulo del monocultivo y la reducción de la biodiversidad, la contaminación del ambiente y el uso intensivo y degradante de los recursos agua, suelo y biodiversidad.

El hecho es que como lo plantea Holden (2004), estas posiciones, en ocasiones radicales a favor y en contra en torno a la fabricación y comercialización de biocombustibles, demandan de estudios que hasta la fecha aún no se habían realizado en el país centroamericano y en síntesis, para establecer la viabilidad de la industria, se justifica el requerimiento de un enfoque holístico como el bioeconómico planteado por Mansour (2005). Debido a que no se sabrá qué tan conveniente pueda ser la industria para el país hasta que no se compruebe de manera técnica la magnitud de los impactos (positivos y negativos) en los ámbitos social, económico y ambiental. Así también hasta que no se conozca e interprete el importante rol del sector institucional en la promoción y/o regulación de esta actividad económica.

4. Hipótesis

La producción y consumo de biocombustibles en Guatemala al ser sostenible y con las materias primas idoneas en términos económicos, sociales y ambientales tendrá una incidencia positiva en la sustitución de los combustibles fósiles.

5. Objetivos

5.1 General

Determinar la viabilidad bioeconómica de la producción y consumo de biocombustibles evaluando su impacto en la sustentabilidad ambiental, social, económica e institucional de Guatemala.

5.2 Específicos

1. Priorizar con criterios bioeconómicos las materias primas promisorias para la fabricación de biocombustibles dadas las condiciones socioeconómicas, ambientales e institucionales de Guatemala.
2. Determinar para Guatemala la optimización bioeconómica en la máxima producción de las materias primas priorizadas por tipo de biocombustible.
3. Generar y aplicar un índice bioeconómico de evaluación de la sustentabilidad de la producción y consumo de biocombustibles dadas las condiciones socio-económicas, ambientales e institucionales de Guatemala.
4. Proponer estrategias para viabilizar la sustentabilidad de la producción y consumo de los biocombustibles en Guatemala.

6. Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en el territorio nacional de la República de Guatemala. Para el efecto, se partió de la elaboración de un listado de especies y materiales con potencial para su uso como materia prima para la fabricación de biocombustibles. Posteriormente utilizando métodos específicos de análisis de desempeño socio ambiental (EIA, P-E-R y Valoración de la Importancia Bioeconómica) se efectuó la selección y priorización de las más promisorias materias primas. Con estas se efectuó optimización por programación lineal para la maximización de la producción de biocombustibles y sustitución de los combustibles fósiles.

Con el auxilio de índices e indicadores, se evaluó la sustentabilidad de la producción y consumo de biocombustibles, definiéndose estrategias bajo un enfoque bioeconómico para alcanzar la viabilidad social, económica, ambiental e institucional de las materias primas priorizadas para la fabricación y comercialización de los agrocombustibles en el país.

A continuación, se hace una descripción de los materiales y métodos específicos utilizados para alcanzar los objetivos particulares de esta investigación de tipo exploratorio y descriptivo correlacional. En estas descripciones metodológicas, se proporcionan suficientes detalles para establecer diferencias en los grupos de variables en análisis sin atribuir relación de causalidad, lo que permiten que el trabajo pueda ser reproducido o profundizado en otras investigaciones tipo explicativo de causales mediante métodos de carácter experimental.

6.1 Priorización de materias primas

Con base en las recomendaciones metodológicas de Manta (2003), la priorización de las materias primas partió de identificar los diferentes tipos, cantidades y calidades de las materias primas recomendadas o propuestas para la elaboración de biocombustibles en Guatemala y el mundo. Para ello, en primer término, se elaboró una lista de fuentes de información, desarrollando consecuentemente trabajo de investigación secundaria, que incluyó la realización de entrevistas, sondeos, visitas técnicas de campo, revisión y evaluación bibliográfica. Como resultado de la ejecución de las actividades de investigación secundaria se obtuvo una lista preliminar de materias primas, organizadas por tipo de biocombustibles, así como también la caracterización de los sistemas de cultivo y ecosistemas implicados en su producción.

Respecto a la caracterización de los sistemas de cultivo y ecosistemas, conforme a las recomendaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (1991), existió énfasis en describir las condiciones ecológicas de producción y dentro de esto se definieron conforme a verificación de campo *in situ* y/o mediante investigación secundarias las condiciones bióticas y abióticas prevalecientes.

Es decir, se establecieron las características de estructura y función mínimas de los subsistemas: agua, suelo, clima, macro y micro organismos vivos, así como también de las condiciones antropogénicas prevalecientes para el funcionamiento de estos subsistemas que darán como resultado un determinado rendimiento de biomasa de la materia prima derivado del cultivo de las plantaciones (Masera, Astier y López, 1999).

Con esta información y otra de carácter macro, se formuló el marco socioeconómico y ambiental de la producción de biocombustibles en el país. Para ello, se utilizaron sistemas de información geográfica y cartografía (SIG), para que con la información previa de caracterización de los sistemas de cultivo y de los ecosistemas se representasen en mapas de escala 1:50,0000 el uso actual y

potencial del suelo; el área neta cultivable de materias primas para la fabricación de biocombustibles y las condiciones ecológicas de las áreas netas de cultivo, así como también los volúmenes de producción y/o rendimientos, con los requerimientos biotecnológicos específicos de los cultivos agrícolas (Eiszner *et al*., 1997) y Robinson (1993).

Se utilizaron también en esta tarea metodológica los mapas de bosques y uso de los suelos elaborados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2014).

Los mapas cartográficos obtenidos, nos permitieron establecer las áreas netas y potenciales de producción de materias primas de biocombustibles de acuerdo a la delimitación realizada con base a las características climatológicas, edáficas y de capacidad de uso del suelo.

Plenamente identificadas las materias primas en términos del tipo de biocombustible, cantidades y calidades para la elaboración de los agro combustibles se procedió a la priorización de las mismas basado en las cuatro dimensiones del análisis bioeconómico (ecológico, económico, social e institucional) como se expresó en las conclusiones sobre el simposio de bioeconomía del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Argentina (2014) y de acuerdo a los planteamientos sobre el objeto de estudio de la ciencia bioeconómica de Mansour (2005).

El método holístico que se usó para incluir las dimensiones de análisis bioeconómico fue el modelo para la toma de decisiones o elaboración y ejecución de estrategias denominado “Presión-Estado-Respuesta (P-E-R)” adaptado por la OCDE (1993) que se describe gráficamente en la figura 1

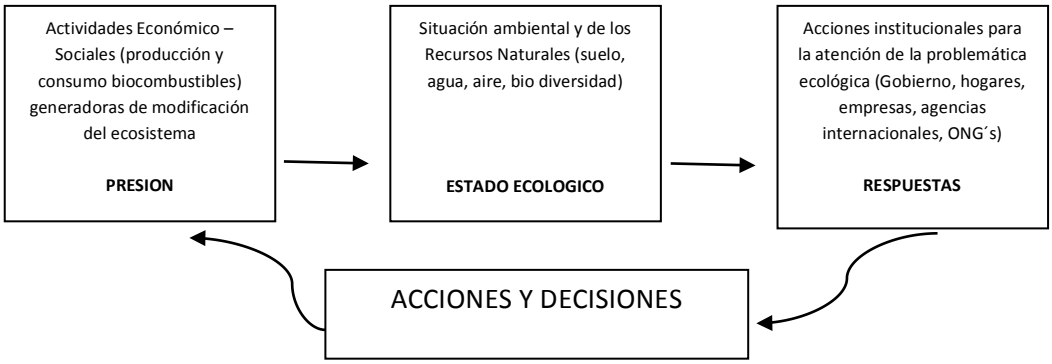


Figura 1. Modelo P-E-R para la priorización de materias primas usadas en la producción de biocombustibles en Guatemala. Fuente: OECD, 1993.

Por su parte, la matriz modificada de Leopold (1971) se utilizó para la evaluación de impactos ambientales (EIAs), en los subsistemas bióticos (flora, fauna, microorganismos), abiótico (suelo, agua, aire, clima, paisaje) y socioeconómico que incluye lo psico-cultural.

Concretamente, para la priorización de materias primas aplicando el Modelo P-E-R, en una primera etapa se evaluaron los impactos o presión sobre el estado del ecosistema (ambientes bióticos, abióticos y socioeconómico) poniendo especial énfasis en el análisis de la capacidad de uso del suelo que otorga la sostenibilidad del cultivo conforme a su carga agrológica. Esto, basado en la metodología de análisis de la capacidad de uso del suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1966).

Bajo este mismo enfoque, se describieron y analizaron las potenciales respuestas institucionales, que también se pueden expresar en términos de la existencia y efectividad de los planes de mitigación y contingencia para la adaptación y/o resiliencia del estado de los ecosistemas. Al respecto, la totalidad de las materias primas analizadas fueron sometidas al tamiz de los criterios básicos de respuesta que a su vez fueron base para la discriminación/priorización de materias primas.

Los criterios básicos utilizados para la discriminación / priorización de materias primas, conforme a la existencia y efectividad de las respuestas, fueron interpretados desde la base de la recomendación de Pedroza (1988). Siendo los siguientes:

- No se priorizaron materias primas que en el proceso de producción de biocombustibles afecten irremediablemente el ambiente al generar presión significativa sobre el estado del ecosistema y/o de los recursos naturales (agua, suelo, aire, biodiversidad) al carecer de respuesta institucional para la atención de la problemática.

- No se incluyeron en la lista de materias primas priorizadas aquellas que como resultado de los estudios de caracterización de los sistemas de cultivo (tipo, cantidades y calidades) no tengan potencial económico significativo para ser usadas en la producción de biocombustibles a pesar de que existan planes de mitigación o contingencia (respuestas) que sean efectivos.
- No se priorizaron para materias primas de biocombustibles aquellas que, según el análisis, a pesar de contar con potencial económico, se carece de respuesta institucional por encontrarse evidentemente su efecto (presión-estado) en el ámbito del riesgo asistémico (procesos legislativos, política, crisis y convulsiones socioeconómicas y financieras, tanto local como internacional) en cualquiera de las cuatro dimensiones bioeconómicas de la sustentabilidad: ecológica, económica, social e institucional).

Agotada la priorización basada en la evaluación de impacto en el estado del ecosistema, por la interacción de las actividades de producción de materias primas y su respuesta institucional, se continuó conforme a las recomendaciones de Spangerberg (2005) y Winograd (1995), con la valoración del potencial o cálculo de la importancia bioeconómica relativa para los tres tipos de biocombustibles: biogás, bioetanol y biodiesel para las materias primas priorizadas.

El concepto de importancia relativa nos permitió valorar la significancia y categorizar las materias primas en cuanto a los resultados de valor de la presión, estado y respuesta ante la producción de cada una de las materias primas priorizadas para la fabricación de bio combustibles en Guatemala respecto a la totalidad de las materias primas priorizadas. Para ello se definió y utilizó el índice de valor de importancia bioeconómica (IVIB).

El índice de valor de importancia se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVIB = IRP + IRE + IRR \quad (1)$$

Donde:

IVIB = Índice de Valor de importancia Bioeconómica para la materia prima “n - 1”

IRP = Importancia relativa de la presión sobre el ecosistema o los recursos naturales renovables

IRE = Importancia relativa del cambio en el estado o situación ecológica del ecosistema o de los recursos naturales renovables

IRR = Importancia relativa de la Respuesta institucional (efectividad) para atender la problemática ecológica y socioeconómica generada con la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles

El cálculo de las importancias relativas para las tres variables (P-E-R) se efectuó de la siguiente manera:

IRP = 100 x ((Presión generada por la producción de materia prima n-1) / ($\sum$ de las presiones de todas las producciones de materias primas)) (2)

IRE = 100 x ((Cambio en el estado ecológico o de los RNR con la producción de materia prima n-1)/($\sum$ de cambios en el estado ecológico o de los RNR con la producción de todas las materias primas)) (3)

IRR = 100 x ((Efectividad de la respuesta para atender la problemática ecológica y socio económica con la producción de materia prima n-1)/($\sum$ de las efectividades de las respuestas para atender las problemáticas ecológicas y socioeconómicas en la producción de todas las materias primas)) (4)

Las ponderaciones para el cálculo de las importancias relativas y para la valoración de impactos en la Matriz Modificada de Leopold, para las tres variables (Presión, Estado, Respuesta) se realizaron considerando 3 categorías, estas fueron: fuerte, moderado y débil. En la tabla I se detallan los valores respectivos para la ponderación de estas variables.

Tabla I. Valores de ponderación para las variables del Modelo P-E-R en el establecimiento de la importancia relativa de las materias primas usadas para la fabricación de biocombustibles.

Variable	Descripción	Categoría	Valores de ponderación
PRESION	A Mayor presión, menor valor	Fuerte	0.01 a 0.49
		Moderada	0.50 a 0.79
		Débil	0.80 a 1.0
ESTADO	A mayor cambio en el Estado ecológico o de los RNR menor valor	Fuerte	0.01 a 0.49
		Moderada	0.50 a 0.79
		Débil	0.80 a 1.0
RESPUESTA	A mayor efectividad de la respuesta mayor valor	Fuerte	0.80 a 1.0
		Moderada	0.50 a 0.79
		Débil	0.01 a 0.49

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.2 Optimización por maximización

Sobre la base de la priorización y categorización por su valor de importancia relativa de las materias primas, se procedió al estudio del aseguramiento de la producción de estas. Para ello se utilizó un modelo de optimización de la producción a nivel nacional.

Concretamente, se desarrolló un modelo de programación lineal para la maximización que se representa en forma algebraica de la forma siguiente:

$$Z = c1X1 + c2X2 + c3X3 + ... + cnXn \quad (5)$$

Definiendo que dicho modelo fuera diseñado para la función que se pretende optimizar (función objetivo), es decir la “producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles, específicamente del tipo biodiesel”. La función objetivo estuvo condicionada entonces al cumplimiento de ciertas restricciones, que para el presente estudio fueron:

$$a11X1 + a12X2 + a13X3 + ... + a1mXn = b1$$

$$a21X1 + a22X2 + a13X3 + ... + a2mXn = b2$$

$$a31X1 + a32X2 + a13X3 + ... + a3mXn = b3$$

. . . . .

. . . . .

$$am1X1 + am2X2 + am3X3 + ... + amnXn = bm \quad (6)$$

Donde:

Z= Representa la función objetivo (volumen máximo de producción de materia prima para la fabricación de biocombustible en el país).

Xj = Actividad j (variables de decisión: hectáreas por especie, destinadas a la producción de la materia prima para la fabricación de biocombustible)

j= 1,2,3, ... , n

n = Número de variables de decisión.

Cj= Coeficiente que representa el aporte de la especie de materia prima

priorizada

bi= Recurso o condición limitante i

i = 1, 2, 3, ... , m

m = Número de recursos o condiciones limitantes.

aij = Cantidad del recurso o factor limitante i, que limita la producción de una unidad de la actividad j.

Mediante la consideración de escenarios (optimista, pesimista y más probable) el procedimiento permitió optimizar el uso y manejo de los recursos naturales, sujeto a las limitaciones de orden ambiental, social, económico e institucional. Para tal efecto, se realizó análisis de sensibilidad para obtener información en términos de política, costo de oportunidad, recursos, identificación de limitantes (laboral, por ejemplo) y valoración del impacto marginal de los mismos (Masera, Astier y López,1999).

Como esta técnica de optimización tiene limitaciones (Winograd, 1995) se tuvo consideración con los supuestos básicos de linealidad, aditividad, divisibilidad y certeza. Las funciones no lineales se trabajaron por segmentos lineales, y la aditividad se resolvió utilizando asociación de cultivos como actividades independientes. La divisibilidad se superó con programación de enteros y mediante análisis de sensibilidad.

Considerando las recomendaciones de Spangerber (1995) la estructuración del modelo de optimización se basó en los componentes u hojas de balance que se describen a continuación:

1) Del modelo de programación lineal propiamente dicho:

- La función objetivo (maximización de la producción)
- Las variables de decisión que para este estudio fueron las hectáreas de cultivo de cada especie priorizada desde el punto de vista bioeconómico y el rendimiento en biomasa como materia prima para la fabricación de biocombustibles.
- Los coeficientes (aportes) que se representan por los volúmenes de biocombustible producido por hectárea y especie de materia prima.
- Las restricciones implícitas en el modelo que para el estudio fueron:

2) De carácter técnico de producción: área disponible, por región del país donde es viable cultivar las materias primas priorizadas y las limitaciones de capital (insumos, tecnología, tierra, equipo, etc.).

3) De carácter ambiental: frontera agrícola, área protegida, áreas de importancia arqueológica, contaminación por efluentes, capacidad agrológica, erosión del suelo y efectos sobre la biodiversidad.

4) De Carácter social: seguridad alimentaria (no se desplazará áreas con cultivos alimenticios), disponibilidad de mano de obra, puede ser calificada y no calificada, generación de empleo, desplazamiento de empleo, salarios.

5) De carácter legal y otras.

6.3 Índice bioeconómico de sustentabilidad

El abordaje de la generación de un indicador de evaluación del desempeño de la sustentabilidad de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala se abordó con un enfoque bioeconómico como lo recomienda Mansour (2005) en la teoría de la sustentabilidad en función de los cuatro sistemas clásicos de la bioeconomía: ecológico-ambiental, económico, social y político o institucional.

Como lo indican Zhang, He y Wen (2003), este método ofrece al tomador de decisión, criterios que le permitirán considerar la viabilidad de la fabricación de biocombustibles desde la óptica de la integración de los componentes o sub sistemas indicados. Al respecto, el proceso metodológico estuvo integrado por etapas distintas, la primera consistió en selección de indicadores de sustentabilidad, la segunda por la recopilación de la información para integrar una matriz de valores de los indicadores y la tercera de aplicación y análisis de la información obtenida. Previo a la descripción metodológica de cada una de estas etapas es importante discutir en torno a la concepción de la sustentabilidad y la sostenibilidad para su evaluación ya que, tanto desde la etimología como de la epistemología son dos conceptos y palabras diferentes.

Al respecto, Ancona *et al.* (2005) indican que, la palabra “sustentable” es un anglicismo del que se derivó la palabra “sustentar” y que tiene como esencia la satisfacción de necesidades para vivir; para lo cual agregan los autores que, los principales obstáculos para vivir de una manera sustentable son de índole político-institucional, por ejemplo, la pobreza, falta de educación, el hambre y la desnutrición. Relacionado lo institucional o político en lo sustentable, Macneill (1989) afirma que, si la pobreza no se reduce, no podrá existir ninguna forma de detener la destrucción de bosques, suelos, agua y otros recursos que utilizan los pobladores en las comunidades campesinas e indígenas y traería consecuentemente la destrucción de especies y la vida misma. Para reducir la

pobreza, agrega Macneill (1989), es necesario incrementar la actividad económica, lo que significaría también un fuerte impacto sobre los recursos naturales que, paradójicamente traería las mismas consecuencias. Sin embargo, puntualiza el autor, se sabe que gran parte del acelerado proceso de deterioro de los recursos naturales se debe a la existencia de políticas económicas que favorecen la sobre explotación de la economía de mercado sin regulación, es decir expone, al uso irresponsable del ambiente que, de continuar así, reducirán de manera más drástica estos mismos recursos naturales y en un menor tiempo.

Respecto del otro concepto del desarrollo definido como “sostenible”, Ancona *et al*. (2005), explican la incorporación en este desde la palabra “sostener” para sólo tres componentes, el social, el económico y el ecológico (ambiental). Considerando estos autores que lograr la sostenibilidad significaría que estos tres componentes o subsistemas deben continuar permanente e indefinidamente sosteniendo el ecosistema. Bolay (2004) por su parte, propone mecanismos para evaluar y elevar tanto la sustentabilidad como la sostenibilidad a través de parámetros como la calidad de vida de la población, grado de conservación y restauración de los recursos naturales (resiliencia), mantenimiento de los procesos ecológicos y la diversidad biológica para lo sostenible.

Mientras que para lo sustentable, los indicadores que propone el autor estarían en el orden de elevar la equidad de género, por raza y credo; mejorar la distribución responsable de la riqueza y disfrute de los recursos y ampliar el acceso a servicios básicos entre otros, que implicarían además la implementación de políticas en torno al cambio de actitudes, de aspectos éticos, educativos, de conciencia, responsabilidad social empresarial y de un compromiso de todos los grupos sociales que habitan el planeta o determinada socio biosfera (territorio).

Alemán (2005), explicita el abusivo uso de la aplicación de los conceptos sustentable y sostenible, agregando el autor que ello los ha puesto al borde de la

retórica científica. Sin embargo, apuntalan Ancona *et al.* (2005) que, cuando los términos los usan los científicos y hacen referencia a lo sostenible, la hace con base del conocimiento que poseen, entendiendo que no existirá sostenibilidad a largo plazo, mientras no se incluya lo político-institucional, que aparece en el discurso como lo sustentable y que este será resultado de la planificación con una visión o política de largo aliento posterior o derivado del desarrollo sostenible. La sustentabilidad entonces, indican Ancona *et al.* (2005), concilia de manera plena el crecimiento económico con el fortalecimiento del tejido o base social, expresándose ello en términos de la solución regulada de carácter político institucional del conflicto entre desarrollo versus equilibrio del ecosistema, lo que implicaría mantener calidad de vida y una elevada capacidad productiva, así como también la protección y la mayor perpetuidad de los recursos naturales. Carpintero (2005) citando a Georgescu-Roegen, confirma que un sistema aislado (el económico, por ejemplo) no puede regular a un súper sistema que lo engloba e incluye a otros (socio-antropológico, ecológico-ambiental y político-institucional, por ejemplo).

Para Bolay (2004), los conceptos de desarrollo sustentable o sostenible siguen aún en construcción, exponiendo sin embargo el autor que, lo sostenible siempre antecederá a lo sustentable. Agrega que una de las críticas más frecuentes que se han manifestado al respecto del uso de los dos conceptos es en relación a los matices contradictorios que de ellos hacen los economistas y los ambientalistas dependiendo de la escuela o nivel de desarrollo del país donde los usen.

Al respecto, Carpintero (2005), estudiando los postulados de Georgescu-Roegen, pone en tela de juicio la racionalidad económica tradicional de occidente (neo clásica), erigida como creencia cuasi-religiosa y concluye que está demostrado científicamente que el crecimiento económico sostenido, sin considerar el avance hacia la sustentabilidad, es sencillamente una forma temeraria de adelantar una especie de suicidio colectivo involuntario de la humanidad. Por su parte, Macneill

(1989), indica que, una de las principales dificultades que enfrentan quienes intentan hacer un riguroso análisis y aplicación de los conceptos sustentable y sostenible es que estos se han convertido en una definición de moda para acompañar discursos politiqueros o incluso como eslogan de diversas empresas que al usarlas de manera deleznable facilitan la perdida de significado, lo que es prácticamente contradictorio si no se sabe cuánto se tiene que conservar y de qué manera.

Por lo anterior agrega Macneill (1989), de todos depende que el desarrollo sea sostenido y sustentable, pero lo más importante es que los principios que originaron y diferencian ambos procesos se apliquen y no caigamos o nos empantanemos en un improductivo babelismo.

En ese sentido apunta Carpintero (2005), los conocimientos bioeconómicos nos permitirán rechazar desde la sabiduría científica, el abuso de los modelos y formalismos matemáticos de la economía tradicional neo clásica, así como también la pretensión de esta de convertirla en una simple ciencia dura. Para el caso de Guatemala, un país en vías de desarrollo, multilingüe, pluricultural y plurinacional, incorporamos y evaluamos la pluralidad de las preferencias, prioridades y percepciones para así poder definir lo que se entiende como sustentable, diferenciando plenamente el concepto, de lo que es la producción sostenible de materias primas para su consiguiente fabricación y consumo de biocombustibles. Principal énfasis se tuvo en la selección de los indicadores específicos de los cuatro componentes (social, económico, ambiental e institucional), ya que como lo plantean Akerlof y Shiller (2016), la economía (como parte de la bioeconomía) es una ciencia social que centra su atención en el comportamiento de los agentes y en sus reacciones, por lo tanto, tiende a asumir hipótesis que están sujetas, como es lógico, al contraste de la observación empírica y a las enmiendas que la realidad depara en términos de intereses gremiales, regulaciones efectivas, mecanismos de incentivos y protección de

productores, consumidores, inversores y ambiente, que dificultarían la aplicación de definiciones importadas y/o estandarizadas en otras latitudes diferentes de lo que es la sustentabilidad y sostenibilidad para Guatemala.

Fue importante entonces para el presente estudio, la definición más amplia posible de los indicadores de sustentabilidad para así lograr la mejor fundamentación de la evaluación de la viabilidad de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala, basada en la ciencia bioeconómica. Con ello, pretendimos también evitar lo que Akerlof y Shiller (2016), denominan como economía de la manipulación y caer como estos mismos autores lo expresan en incautos de las trampas de la planificación simplista y poco realista de la economía.

Respecto de lo anterior, Carpintero (2005), citando al padre de la bioeconomía, Georgescus-Roegen, puntualiza que la base más amplia de indicadores para evaluar la sustentabilidad está en concordancia con la consolidación de una organización social que administre mejor los recursos basados en las leyes de la termodinámica. Con estas ideas, agregan los autores, se trasciende el concepto de libre mercado y al precio, definido por los economistas tradicionales, como la única manera de hacer más eficiente para la asignación de recursos.

En efecto agrega Carpintero (2005), las ideas innovadoras y transgresoras que significaron para el andamiaje tradicional económico (escuela mecanicista) las hipótesis bioeconómicas de Georgescus-Rogen, repercutieron en el mundo académico en cuanto a la concepción contestaría a la tradicional de que, la competencia del mercado es el único proceso de ajuste y refinamiento en los cuales se optimizan los mejores, es decir, los grandes agentes económicos, o en términos biológicos, los grandes sobrevivientes, los más fuertes del proceso de evolución.

Por ello, en la actualidad y basado en las leyes de la termodinámica, que son el fundamento de la bioeconómica, se exige que la ciencia económica amplíe tanto su acervo teórico como práctico, y una vertiente puntualiza Carpintero (2005), que posibilita estos procesos, dado el entramado social, económico, ecológico y político-institucional, sería el abordaje de los efectos del cambio climático por medio de esta relativa nueva ciencia de la bioeconomía.

Para el caso de la evaluación de la sustentabilidad en las condiciones de Guatemala, se refirió metodológicamente a la posibilidad conceptual de medir una serie de objetivos y propiedades deseadas a lo largo del tiempo, tomando en cuenta las diversas dimensiones que sustentan el desarrollo de un sistema-país en sus cuatro componentes, como lo establecen Barrera y Schwarze (2004). En ese sentido, la metodología planteada pretendió generar data bioeconómica útil, que según Spangerberg (2005), al ser procesada exprese de manera sintética en un índice el valor o calificación de la sustentabilidad.

Como lo expone Zhang, He y Wen (2003), en su estudio piloto para China, la interpretación de los índices de sustentabilidad, persiguen de manera práctica fortalecer los argumentos de personas, programas e instituciones, constituyéndose conocimiento de un valor incalculable para inversionistas y tomadores de decisión.

6.3.1 Selección de indicadores

La selección del grupo de indicadores de sustentabilidad de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala partió del grupo recomendado para la toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe (Winograd, 1995), los cuales fueron concebidos usando el marco del modelo Presión – Estado – Respuesta (P-E-R). Lo importante en la selección de los indicadores que se realizó es que con los mismos fuese posible monitorear y evaluar a escala local y nacional; que

revelaran la dirección del cambio; que existiese disponibilidad de datos de calidad y que fueran simples y fáciles de comprender.
Los indicadores seleccionados, tanto los preliminares como los definitivos, fueron definidos también conforme a su aplicación para la elaboración de mapas, utilizando yuxtaposición de la información proveniente de los mismos (sistemas de información geográfica –SIG-). Por tanto, la factibilidad de la utilización de los indicadores en SIG, se constituyó en otro criterio de selección, toda vez que fueron seleccionados aquellos que permitían o facilitarían el estudio y definición de áreas con potencial bioeconómico para la producción de las materias primas priorizadas.

En el sistema social, los indicadores evaluaron la dinámica sociológica de la población en cuanto a la producción de biocombustibles y su relación con el acceso a servicios básicos, principalmente nutrición y agua potable; además incluyeron un indicador que evaluó el grado educativo, el cual estuvo referido a la población menor de 15 años que no sabe leer y escribir.
En el sistema estrictamente económico, se incluyó a la Población Económicamente Activa (PEA), el nivel de desempleo, el pago del salario mínimo y la determinación del valor económico-ambiental con el aprovechamiento de las materias primas en relación al total de la producción en el sector primario, como factores principales de la dinámica económica y su relación con el componente social de incremento de ingresos derivado de la producción de biocombustibles.

Por su parte, los indicadores del sistema ambiental hicieron referencia a la evaluación y medición de aspectos involucrados en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales renovables (suelo, agua, y aire) y de la intensidad del uso del ambiente en la actividad económico productiva de fabricación y consumo de biocombustibles.

En relación a los indicadores institucionales, se consideró aquellos que indiquen la presencia regulatoria y poder de formulación e implementación de políticas

públicas que incentiven o controlen la producción de materias primas y la fabricación de agro combustibles propiamente dicha (planes de mitigación y contingencia) en beneficio y protección de la persona y la familia, pues como lo establece el artículo primero de la constitución Política de la República de Guatemala (1985), el Estado de Guatemala se organiza para proteger a la persona y a la familia, siendo su fin supremo la realización del bien común.

Además de la consideración separada de los indicadores para los sistemas clásicos (social, económico, ambiental e institucional), se generó una liga bioeconómica con la evaluación integral de las funciones y comportamiento de estos sub-sistemas en el proceso socio-económico de producción ambientalmente sustentable de los biocombustibles en Guatemala (súper sistema). Es decir que la selección de los indicadores también fue motivada en términos de que permitieran el cálculo de los índices de explotación y el de regeneración (resiliencia) de los recursos naturales y del ambiente, para finalmente mediante la utilización de estos dos índices se calculará la utilidad bioeconómica.

6.3.1.1 Cálculo de la utilidad bioeconómica

El planteamiento para la determinación de la utilidad bioeconómica partió de la concepción de que la producción y consumo sustentable de los biocombustibles debe transcender al enfoque de una economía circular, es decir, aquel modelo tradicional en el que se desarrolla el proceso productivo con base al capital inherente invertido en un tiempo y espacio determinado, y que con base a los patrones de consumo, se establezca un crecimiento (ascendente o descendente) en el uso de los biocombustibles para generar en última instancia utilidad económica, concebida normalmente bajo el paradigma financiero economicista.

En el enfoque bioeconómico que se usó para la generación del índice de evaluación de la sustentabilidad, se incorporó en primer término las funciones

medio ambientales en el proceso de producción de biocombustibles. De esa cuenta, como se aprecia en la figura 2, se incluyó la primera función del medio ambiente, es decir, la de proveer de recursos naturales para la producción de materias primas y consecuentemente de los biocombustibles.

Figura 2. Primera función económica del medio ambiente como proveedor de recursos naturales. Fuente: Bartelmus (2000).

Los recursos naturales bajo este enfoque son concebidos como agotables si no se hace un manejo sostenible de los mismos. El valor del ambiente como proveedor, se determinó aplicando el modelo de programación lineal que permitió evaluar el aseguramiento de las materias primas en la fabricación de biocombustibles (optimización por maximización de la producción de materias primas) de acuerdo a la siguiente ecuación discutida en el inciso 6.2.

$$Z = c1X1 + c2X2 + c3X3 + ... + cnXn \tag{7}$$

Al constituirse los recursos naturales, en este caso las materias primas, en insumos del sistema económico de producción de biocombustibles, se generarán residuos, lo que da origen a la segunda función económica del medio ambiente (Fig. 3). Es decir, la de considerar al ambiente como resumidero de los residuos de la producción “n”. Concebido el fenómeno de producción de biocombustibles desde la óptica bioeconomica, es decir sistémica, entendemos que todos los residuos generados en el sistema de producción, dependiendo de su naturaleza (renovable o no renovable) podrán ser sujetos de reciclaje.

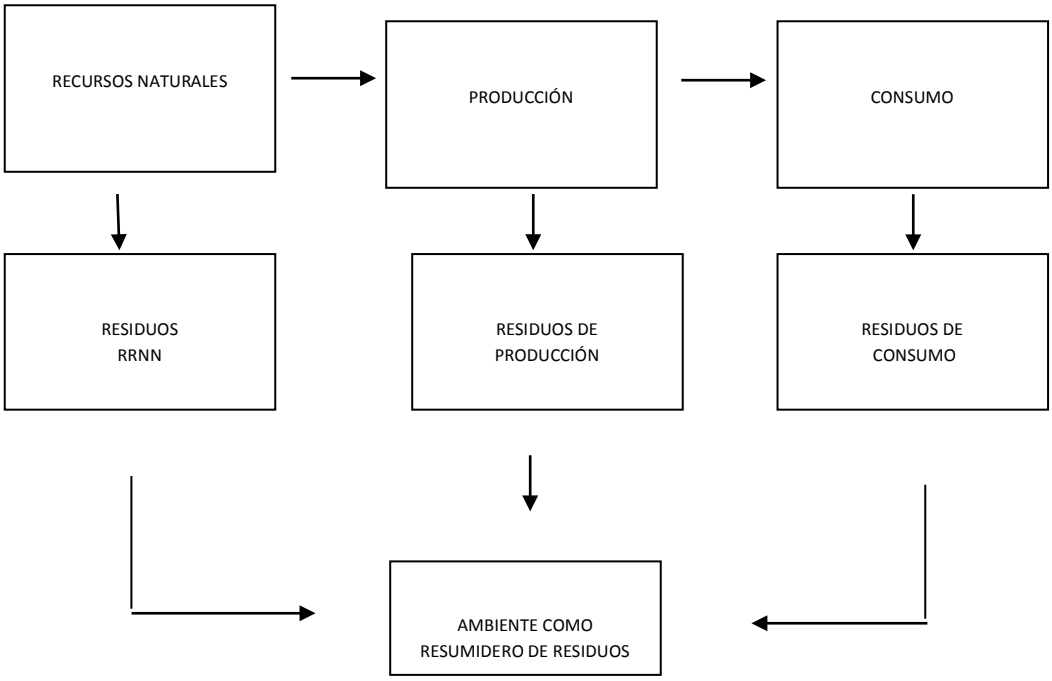


Figura 3. Segunda función económica del medio ambiente como resumidero de residuos. Fuente: Bartelmus (2000).

Como se aprecia en la figura 4, el reciclaje consiste en la capacidad de asimilación de los residuos por parte del medio ambiente, lo que constituye la tercera función económica del medio ambiente en cuanto a que dependiendo de la tasa de regeneración (crecimiento) del recurso (materia prima), las extracciones no limitaran el stock del recurso natural (materia prima), independiente del ritmo de explotación de dicho recurso.

Los recursos naturales renovables (RNR) tienen la capacidad de renovarse a sí mismos y ello constituye según Bartelmus (2000) la regla principal de una explotación óptima para el desarrollo sostenible. Es decir, sí deseamos mantener el ambiente y los RNR bajo un planteamiento de desarrollo sostenible, debemos tratar de utilizarlos a un ritmo no superior al de su capacidad de regeneración natural.

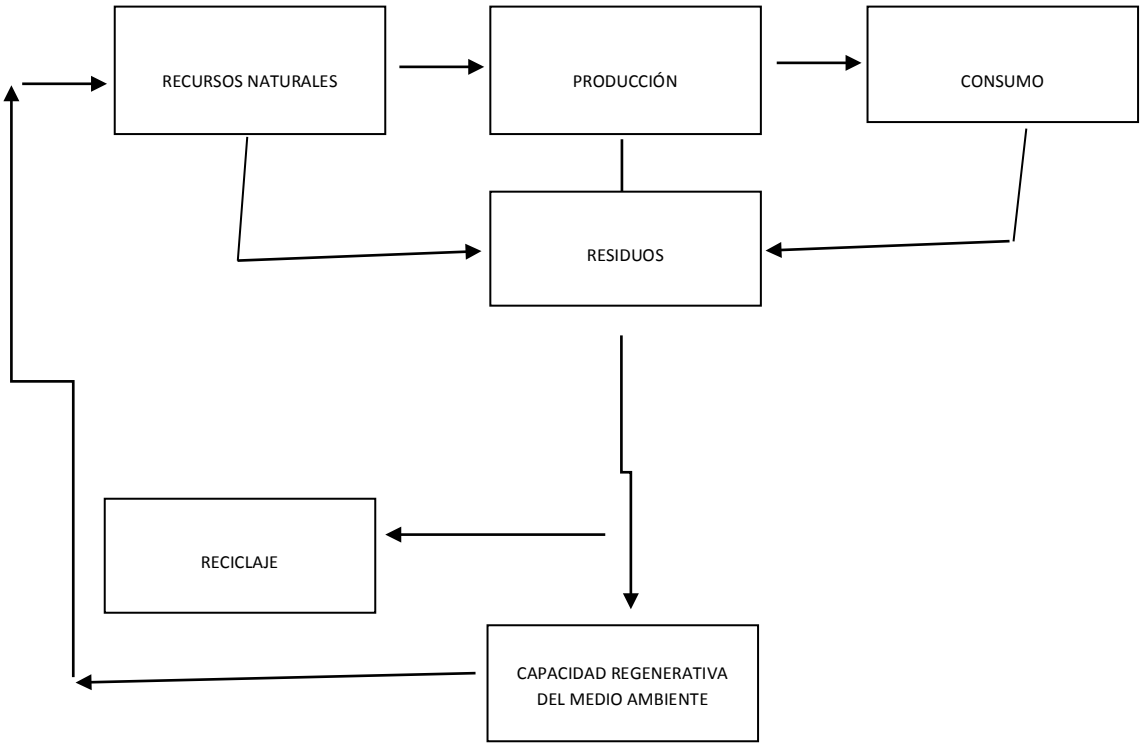


Figura 4. Tercera función económica del medio ambiente como elemento de regeneración. Fuente: Bartelmus (2000).

Cabe indicar que el stock del recurso se reduce principalmente por efecto de un inadecuado ritmo de explotación humana. Así, si tenemos que “h > f (x)”, no existe sostenibilidad, mientras que sí “h ≤ f(x)” existe sostenibilidad, debido a que:

f (x): Tasa de regeneración del recurso

h: Ritmo de explotación del recurso

La cuarta función del medio ambiente está asociada al teorema de la perpetuidad en la prestación de servicios medio ambientales siempre que exista capacidad regenerativa, lo que Carpintero (2007) define como amenidades. Las clases de

servicios medio ambientales a los que se hizo referencia metodológicamente en el estudio se clasificaron en:

a) Servicios relacionados con el consumo directo y consciente

-atractivo turístico para recreación

-incremento de conocimiento que se facilitan a través de la investigación científica

b) Servicios de consumo indirecto e inconsciente

-soporte de la vida

-estabilización de ecosistemas

-regulación del clima

Esta cuarta función económica del medio ambiente se pudo expresar en términos de utilidad (bioeconómica) que, bajo el enfoque de amenidades, satisfacción o disponibilidad de los recursos naturales para el consumo directo (consciente) o indirecto (inconsciente), se calculó así:

(8)

Donde:

f (UBioeconómica): Función de la utilidad bioeconómica

W: Cantidad de residuos generados o índice de explotación

A: Asimilación, resiliencia o índice de regeneración

U: Utilidad (amenidades, satisfacción y disponibilidad de recursos naturales)

6.3.2 Integración de matriz de indicadores e índices de sustenbilidad

El proceso de generación de un instrumento de evaluación de la sustentabilidad de la producción de biocombustibles en Guatemala implicó la concreción, bajo una sustentación de utilidad bioeconómica, de la creación de una matriz de indicadores e índices.

Para la recopilación, vaciado de la información e integración de la matriz, se realizó en primer término la delimitación de las zonas biofísicas y su respectivo mapeo (escalas 1:50,000) como áreas ecológicamente aptas para la producción de materias primas. Posteriormente, se trasladó la delimitación de las zonas biofísicas al plano de la división política del país, específicamente a nivel de municipios. En estos, se continuó con la recopilación de la información mediante investigación secundaria, paso de encuestas y la realización de entrevistas, sondeos de opinión y mediciones de campo para así, establecer el valor relativo de cada indicador específico.

El procesamiento de la información a nivel municipal, permitió establecer los índices para las 4 variables o sistemas bioeconómicos y así generar el índice de sostenibilidad compuesto por las variables: social, económico, ambiental e institucional, con un valor para cada uno de estos subsistemas o componentes del 25% ó ¼, para que la sumatoria de los mismos adquiriera un máximo de “uno”.

Con los índices social, económico, ambiental e institucional, se procedió a determinar los índices de explotación y de regeneración, para posteriormente con estos dos, calcular la utilidad bioeconómica. Con el valor de la utilidad bioeconómica y el índice compuesto de sostenibilidad se procedió a la determinación del índice de sustentabilidad.

Lo que se persiguió con la integración de la matriz de evaluación de los indicadores e índices para el manejo sostenible o sustentable de los recursos, fue estudiar la función “f (x) > 0”, es decir, analizar la condición en que la tasa de

regeneración, favorecida institucionalmente, sea mayor a la tasa de explotación del recurso y medio ambiente, considerando para ello el comportamiento de la sostenibilidad de los otros subsistemas (social, económico y ambiental).

Con la recopilación de la información y la integración de la matriz respectiva, se determinó de manera específica para cada materia prima, la capacidad del medio ambiente para asimilar los desechos, residuos o subproductos que se generan en las actividades productivas tanto de las materias primas como de aquellas subsecuentes ejecutadas en la fabricación y consumo del agro combustible.

Para poder medir la capacidad asimilativa de residuos por parte del medio ambiente, se estableció desde la óptica institucional, el criterio de los límites permitidos. De manera que, sí se respeta la regulación, el medio ambiente los absorberá y se reciclarán sin ocasionar impactos ecológicos de relevancia. Si este límite se sobrepasa, aparecerá entonces la contaminación y degradación del ambiente. Es decir que, siempre que no se sobrepasasen los límites permitidos, no existirá degradación ambiental ya que los mismos se asimilaran.

Para establecer que se respeta el límite de asimilación (no hay contaminación ni degradación de los recursos o del medio ambiente) se usaron dependiendo del caso, análisis comparativos de las mediciones realizadas en campo con las tablas de límites permitidos existentes, tanto de la normativa ambiental nacional como internacional indicados en el Compendio de Regulaciones Medio Ambientales para Guatemala (2007).

Al respecto, las mediciones se realizaron de muy diversas maneras, dependiendo del residuo o sub producto analizado, definidos a su vez por el tipo de materia prima. Por ejemplo:

-dispersión de residuos líquidos en ríos, mares y suelos.

-dispersión de emisiones gaseosas en la atmósfera.

-degradación de residuos sólidos en los suelos o en las aguas.

6.3.3 Aplicación y análisis de la información

Como se indicó, mediante evaluaciones, mediciones y verificaciones de campo, así como proyecciones tanto prospectivas como retrospectivas, se aplicaron los indicadores definidos para las 4 variables o subsistemas bioeconómicos (social, económica, ambiental e institucional).

La sumatoria ponderada, considerando la totalidad de indicadores específicos para cada variable representó 1/4 de valor (25%) y arrojó como resultado los valores de los índices de sostenibilidad social, económica, ambiental e institucional. Con estos, se calculó el índice de explotación y regeneración. Con estos dos, se estimó la utilidad bioeconómica (capacidad regenerativa del medio ambiente para presentar a pesar de la explotación disponibilidad de recursos, servicios, satisfacción y amenidades) y posteriormente el índice de sustentabilidad.

Para el cálculo del índice de sustentabilidad se procedió adicionando al índice compuesto de sostenibilidad, resultado obtenido de la sumatoria de las 04 variables (social, económica, ambiental e institucional), el valor de la utilidad bioeconómica duplicada (multiplicando el dato de esta por 2).

Se duplicó el valor de la utilidad bioeconómica conforme a las recomendaciones de Manta (2003), quien sugiere el procedimiento como un mecanismo para estimular la intención o carácter de la adecuada respuesta institucional o voluntad política para la sustentabilidad, sin restringir la producción y el crecimiento económico en una economía de libre mercado. De esa cuenta, el índice de evaluación de la sustentabilidad de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala se calculó de la siguiente manera:

$$I\ SB = (S(1/4) + E(1/4) + A(1/4) + I(1/4) + U(2)\ ) \qquad (9)$$

Donde:

ISB = Índice de Sustentabilidad Bioeconómica

S = Componente Social

E = Componente Económico

A = Componente Ambiental

I = Componente Institucional

U = Utilidad Bio economica

Los criterios utilizados para calificar la sustentabilidad mediante el índice de evaluación fueron los siguientes:

Producción sustentable = ≥ 2

Producción sostenible = > 1

Producción no sostenible = ≤ 1

6.3.4 Valoración económica y socio ambiental

Para poder obtener el índice de evaluación de la sustentabilidad en la producción de biocombustibles, fue necesario conocer previamente el valor económico ambiental asignado por la sociedad guatemalteca a dichos combustibles neutros, como alternativa a los combustibles fósiles y en función de las bondades bioeconómicas con que son percibidos.

Por lo tanto, esta medición se constituyó en un instrumento de importancia estratégica tanto como herramienta de apoyo para la recomendación y toma de decisiones y así también para la implementación de posibles proyectos de mejora e inversión que implicaría la fabricación y consumo de biocombustibles en

Guatemala. Es decir que, como lo indica Holden (2004), el conocimiento que necesariamente deben tener los inversionistas y tomadores de decisiones sobre la percepción de los usuarios y productores de los beneficios que generan los biocombustibles y la disposición que tiene a pagar (DAP) y ser compensados por ellos (DAC).

Esta información, por su naturaleza estratégica, debió ser objetivamente determinada, así como también, generada con rigor científico para que el potencial inversor o el tomador de decisiones cuente con instrumentos eficientes desde el punto de vista estrictamente económico en torno a la promoción de la industria de los biocombustibles en Guatemala. A continuación, se describen los métodos usados de acuerdo a las cualidades y situación de la materia prima priorizada.

6.3.4.1 Valoración Contingente

Algunos autores, por ejemplo, Bolay (2004), Carson y Hanemann (2005), lo consideran como un método de valoración directa, pues dicha valoración se obtiene mediante la formulación de preguntas directas.

La idea general con la aplicación del método fue obtener el valor de un bien (biocombustible) para el cual no existe un mercado.

Para el efecto, se construyó un mercado hipotético por lo que el método se considera subjetivo en su valoración y se basa en la determinación del valor económico-ambiental asignado individualmente al bien esperado (Carson y Hanemann (2005). De esa cuenta, en la encuesta realizada para la colecta de información, se incorporaron preguntas relacionadas siguiendo una estructura de tres partes:

1. Datos generales y referenciales del encuestado (sexo, edad, profesión, escolaridad, ingreso familiar entre otros)

2. Preguntas clave (disposición a pagar –DAP- y disposición a ser compensados –DAC-.)
3. Ordenamientos jerárquicos respecto de: a.) ¿Beneficios potenciales otorgados por los actores involucrados (productores y consumidores en general) a la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles; b.) ¿Beneficios otorgados por los consumidores de la fabricación de biocombustibles en Guatemala?; c) ¿Disposición de los productores a recibir un precio por cada unidad de volumen de producción de materia prima?; d.) ¿Disposición a pagar, a cambio de obtener esos beneficios económicos–ambientales por los consumidores?; e) De existir disposición a producir (agricultores) ¿cuál es el máximo de margen que están dispuestos a aceptar?; f.) De manifestarse disposición a pagar, ¿cuál es el monto máximo que estarían dispuestos a pagar?; g) De no estar dispuestos a pagar, ¿cuáles son las principales razones para no hacerlo?; h) De no estar dispuestos a aceptar un margen menor, ¿cuáles son las principales razones para no hacerlo?

La encuesta se realizó en los municipios establecidos con potencial físico-natural para la producción de las materias primas priorizadas, considerando para ello la totalidad del territorio nacional (108,889 Km^2).

Metodológicamente se tuvo presente que, en virtud de que es un mercado hipotético, las mejoras aún no existen, por lo que el mercado hipotético se valoró utilizando el método de Valoración Contingente, donde los usuarios “expresan” su disposición a pagar (DAP), con base en la información que se les presentó por parte del entrevistador, específicamente sobre los beneficios de la producción y consumo de biocombustibles. En tal sentido, se partió de la premisa de que dicha información es genuina y verídica.

Inicialmente se propuso la aplicación de una encuesta de DAP con formato abierto, utilizando una tarjeta de pagos, pero la decisión final dependió de la prueba piloto que se aplicó previamente.

Con base en las preferencias expresadas por los usuarios se generó la función de demanda que correlacionó la disposición a pagar (proxy del precio) con la proporción de usuarios dispuestos a pagar (proxy de la cantidad demandada). A continuación, se describen los criterios fundamentales que se utilizaron para el desarrollo del método.

i. Ceros reales versus ceros protesta

La literatura de Valoración Contingente (Bolay, 2004) destaca que siempre habrá personas que manifestarán una Disposición a Pagar igual a cero (DAP = 0). Esa expresión de no disposición a pagar puede deberse a razones genuinas, es decir que el proyecto es irrelevante o inalcanzable para el usuario; o, a razones de protesta, es decir cuando el usuario potencial sí valora positivamente el proyecto, pero cree que no es su responsabilidad pagar por él, por razones distintas.

De esa cuenta, una de las primeras decisiones que se tomó como parte de la metodología es sí los “ceros protesta” deben ser o no deben ser considerados para la construcción del mercado hipotético.

Al entrevistado que indicó no estar dispuesto a pagar por el proyecto, se le efectuó una pregunta de seguimiento, con el fin de discriminar ceros reales de ceros protesta, consistente con lo señalado por Rodríguez (2013). De acuerdo, con lo indicado, se procedió a eliminar los ceros protesta de la base de datos y se construyó la distribución de frecuencias correspondiente.

ii) Diagrama de cajas

Otra preocupación importante cuando se utiliza el formato abierto en Valoración Contingente, es que con alguna frecuencia se obtienen muchos valores muy altos de DAP, lo cual podrían ser considerados valores extremos (outliers).

Respecto de lo anterior, se aplica un Diagrama de Cajas a la muestra original, para identificar y decidir la eliminación o no de valores extremos. El uso de la Tarjeta de Pagos, comparado con el formato completamente abierto, tiene la ventaja de que reduce la incertidumbre que puede tener el encuestado sobre cuál es el costo "correcto" del proyecto y en ese sentido propicia estimadores robustos de la disposición a pagar como lo indican Carson y Hanemann (2005), citados por Rodríguez (2013).

Para la estimación de la función de demanda de la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles y debido a la naturaleza de las variables: "DAP" y "frecuencia de usuarios", que excluyen observaciones negativas, se utilizó como lo plantea Rodríguez (2013), el modelo Tobit, que depende críticamente de la premisa de normalidad de la distribución de los datos de la variable dependiente (frecuencia de usuarios). En virtud de lo anterior, se procedió a evaluar si las variables Monto y disponibilidad de pago, cumplen con la condición de normalidad. Para el efecto se aplicaron según recomendación de Rodríguez (2013), las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para ambas variables, y si las mismas, en su condición original, no cumplen con la condición de normalidad, se procedió a la transformación de las ellas, siguiendo los protocolos convencionales en cada caso.

iii) Funciones de demanda y oferta

Con las variables anteriores, originales o transformadas, se procedió a correr el modelo Tobit en el cual, para el caso de la demanda, se esperó una relación inversa entre la DAP y la cantidad de usuarios dispuestos a pagar. Caso contrario para la función de oferta en la cual se estimó una relación directa entre la DAC (Disposición a ser Compensados) y la cantidad de productores-comercializadores de materia prima.

Para ambas funciones, se procedió posteriormente a la representación gráfica de los resultados obtenidos, en las cuales se apreció la relación inversa entre la DAP

y la frecuencia inversamente acumulada de usuarios dispuestos a pagar y el caso contrario de la relación positiva entre el monto a ser compensados (DAC) y la cantidad de los productores-comercializadores de la materia prima.

iv) Valoración Socio ambiental

El valor socio ambiental de la propuesta de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles, estuvo dado por el valor que los actores clave le asignan a dicha sustitución. De manera específica, la medida de ese valor estuvo determinada por la suma del Excedente del Consumidor más la del Excedente del Productor.

Es decir, la ganancia derivada del ahorro por la diferencia entre lo que los usuarios estarían dispuestos a pagar por dichas mejoras y lo que finalmente pagan y, para el caso del Excedente del Productor, como la cantidad monetaria que los productores-comercializadores de la materia prima recibirían como medida de "ganancia extra" fuera del costo de producción al comercializar (vender) las materias primas a un precio mayor al disponible en el mercado hipotético.

Para las frecuencias de cantidad de consumidores y/o productores observados en cada nivel de monto correspondiente (precio), se estimó el excedente promedio, tanto para el consumidor como para el productor. Con estos valores se procedió al calculó del área bajo la curva (demanda y oferta) establecidas gráficamente mediante las funciones lineales previamente determinadas.

Bajo el mismo esquema de en primer término establecer las curvas de la demanda y la oferta para los consumidores y productores, se procedió a la determinación del área bajo estas curvas de función lineal. Ello, conforme a la resolución de la integral definida por los límites (superior e inferior) de la cantidad de consumidores y productores, en cuanto a las cantidades máximas y mínimas de personas dispuestas a pagar y ser compensadas (DAP y DAC respectivamente).

Mediante la relación entre la cantidad de productores dispuestos a ser compensados (DAC) con monto monetario determinado por tonelada métrica de

materia prima, se obtuvo el excedente de los productores con pendiente positiva. Para el caso del excedente de los consumidores (DAP), se obtuvo la curva con pendiente negativa relacionando para este caso la cantidad de litros consumidos de biocombustible por persona a determinado precio de los mismos.

La suma del sub total de los excedentes de productores (DAC) más el de los consumidores (DAP), reflejó el excedente total o economía de bienestar implicado en la actividad de producir las materias primas priorizadas para la comercialización y posterior fabricación y mercadeo de los biocombustibles en el país.

El enfoque bioeconómico contempló para la valoración socio ambiental la consideración integral de los subsistemas ambiental, social, institucional y económico.

En el componente económico, se centró el análisis en los actores clave: consumidores de biocombustible y en los productores-comercializadores de las materias primas para su fabricación. Entonces, una vez estimados los excedentes se procedió a adicionar los valores calculados, para así estimar el monto total de ganancia o economía de bienestar para la sociedad guatemalteca en su conjunto.

iv) Factores que afectan la disposición a pagar y ser compensados

La identificación de los principales factores determinantes de la disposición a pagar (DAP) y ser Compensados (DAC), así como su magnitud de impacto, es fundamental para la toma de decisiones.

Debido a ello, se procedió a realizar un análisis cuantitativo que permitió, por un lado, identificar esos factores, y por el otro determinar cuánto impacta sobre la posición de los potenciales usuarios y productores con respecto a estar o no, dispuestos a pagar y ser compensados por las mejoras propuestas con la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala. Como es sabido, en este caso la pregunta crítica es, “sí dadas las mejoras propuestas la persona está dispuesta a pagar o ser compensados por ellas”. La pregunta solo puede tener

dos posibles respuestas: SI o NO. Es decir, nos encontramos con una variable dependiente que es de naturaleza binaria. Se codificó de tal manera la pregunta que sí la respuesta fuese SI entonces la variable binaria tendrá un valor de 1, y si la respuesta es NO, entonces tendrá un valor de 0 (cero). Con una variable dependiente de naturaleza dicotómica, supusimos un modelo de regresión y previo a estimar los parámetros de la función, procedimos a hacer un análisis de correlación entre las variables independientes incluidas en el estudio, sometiéndolas a las correspondientes pruebas de correlación de Pearson.

Respecto a los efectos marginales de los factores que afectan la disposición a pagar y ser compensados, los indicadores más importantes en el caso del modelo Logit son los efectos marginales propiamente dichos que tienen cada uno de los factores sobre la DAP y la DAC, esto porque el efecto marginal de cada una de las variables independientes del modelo representó la proporción en que se incrementa (o disminuye, según el signo) la probabilidad de que un individuo esté dispuesto a pagar o ser compensado por la(s) mejora(s) propuesta(s) con la producción y consumo de agro combustibles en el país.

Para fijar los rangos a estudiar en términos de DAP y DAC, se desarrolló el enfoque de sub muestras de referencia, para lo cual, se realizó un pre muestreo con formato abierto con el objeto de definir los valores correspondientes. Tanto el pre muestreo como la encuesta propiamente dicha se realizaron a nivel de los departamentos y municipios establecidos con potencial para la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles, definidos estos con el auxilio de sistemas de información geográfica (SIG). Como se observa en la tabla II, para definir los municipios y la cantidad a estudiar, se realizó un muestreo aleatorio estratificado por materia prima priorizada, municipio y departamento con potencial para la producción y consumo de biocombustible. Con los municipios identificados se estableció una muestra representativa de acuerdo al tamaño total de la población y el porcentaje de la población reportado como dedicado a las actividades agrícolas. La única exclusión para ser encuestado fue el que fuera

mayor de edad. Para el cálculo del tamaño de la muestra, conociendo el tamaño de la población se utilizó la fórmula:

$$n = N * Za^2 * p * q / d^2 * (N-1) + Za^2 * p * q \quad (10)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra / municipio

N: Tamaño de la población del municipio

Za: Nivel de confianza del 98% para un valor de 1.97

p: Probabilidad de éxito o proporción esperada (0.5)

q: Probabilidad de fracaso o proporción esperada (0.5)

d: Precisión (error máximo admisible en 3%)

Se tuvo presente al momento de aplicar el método que es un mercado hipotético y las mejoras aún no existen, por lo que los productores y usuarios “expresaron” su disposición a pagar (DAP) y ser compensados (DAC), con base en la información que se les presentó. De acuerdo a la cantidad de municipios y a la dispersión de los mismos en el territorio nacional, inicialmente se propuso la aplicación de una encuesta de DAP con formato abierto, utilizando una tarjeta de pagos. Al respecto, nos auxiliamos de las redes sociales para pasar la encuesta a la mayor cantidad de informantes. La totalidad de la muestra se completó con la modalidad de entrevista directa y visitas *in situ*.

Se estimó técnicamente el tamaño de la muestra, sobre la base de la DAP (dinero dispuesto a pagar por litro de biocombustible) y la DAC (la cantidad de dinero dispuesto a recibir por tonelada métrica de materia prima para la fabricación del agro biocombustible). En tal sentido, se partió de la premisa de que dicha información fue genuina y verídica en torno de los beneficios que la propuesta ofrece.

Tabla II. Municipios de la República de Guatemala.

Materia Prima	Departamentos reportados con factibilidad para la producción de la materia prima priorizada	Departamentos seleccionados como muestra para la evaluación de los indicadores	Municipios reportados con factibilidad para la producción de la materia prima priorizada	Municipios/ departamento seleccionados para la evaluación - muestra de los indicadores
Piñón (*Jathropha curcas L.*)	11	Jutiapa	87	Agua Blanca, Jutiapa
		Guatemala		Chinautla
		Chiquimula		Chiquimula
		Izabal		Morales
		Huhuetenango		Chiantla, Huhuetenango
Higuerillo (*Ricinus comunnis L.*)	7	Jutiapa	38	El Progreso, Santa Catarina Mita
		Jalapa		Monjas, San Manuel Chaparron, San Luis Jilotepeque
		Chiquimula		Chiquimula, Ipala
		El Progreso		Sanarate, Sansare
		Baja Verapaz		Rabinal, Salamá
		Quiché		Cunén, San Luis Ixcán
		Huhuetenango		Aguacatán, Todos Santos Cuchumatanes, Chiantla
Palma africana (*Elaeis guinnensis Jac.*)	9	Peten	65	Sayaxché, San Francisco
		Izabal		Morales, El Estor
		Santa Rosa		Guazacapán
		Alta Verapaz		Cobán, Cahabón
		Quetzaltenango		Coatpeque
		Retalhuleu		Retalhuleu

Fuente: Elaboración propia (2018).

Posterior a la realización de la encuesta (entrevista) se explotaron estadísticamente los resultados. La información fue procesada y presentada utilizando tablas de datos y gráficas. De manera específica, con base en las preferencias expresadas por los entrevistados se generaron las funciones de demanda y oferta que correlacionó la disposición a pagar o ser compensados (proxy del precio) con la proporción de usuarios dispuestos a pagar (proxy de la cantidad demandada y ofertada). Establecido los límites y valores de la DAP y DAC, se definió el punto de equilibrio y se calculó a través de integrales definidas los valores de excedente del consumidor, excedente del productor y excedente total o economía de bienestar.

A continuación, se describen los pasos y criterios fundamentales para el desarrollo del método implementado:

Paso 1. Definición con precisión de lo que se quería medir. Excedente total. Para ello, se definieron un modelo para el excedente del consumidor y otro modelo para el excedente del productor.

Paso 2. En el caso del modelo del consumidor se estableció que el comportamiento del individuo, en lo que respecta a su disposición a pagar (DAP), se basó en la hipótesis común de maximización de la utilidad sujeta a una restricción por precio (presupuestaria). Desde el punto de vista económico, se estudió al individuo que adquiere biocombustible en el mercado ya que ello le produce satisfacción en términos de que contribuye al mejoramiento del ambiente y obtiene mejores precios que los combustibles de origen fósil. Asumiendo, que existe disponibilidad y que es factible adaptar el problema de decisión de compra del individuo. Para el caso del productor se estableció el comportamiento individual de este en lo que respecta a su disposición a ser compensado (DAC) por la producción de materias primas para la fabricación de agro combustibles. Esto se basó de igual manera en la hipótesis común de que la maximización de la utilidad está sujeta al margen obtenido por la diferencia entre los ingresos

resultado del precio y volumen de venta, menos los costos totales de producción (fijos y variables).

En esencia, se establecieron las funciones de demanda y oferta que se obtienen al resolver el problema primal. Al respecto, la restricción presupuestaria con base al precio que se estableció tuvo un carácter lineal.

Paso 3. Cálculos de los elementos y rangos de simulación del mercado (pre muestreos para establecer disposiciones a pagar y a ser compensados).

Paso 4. Formulación de las modalidades de encuesta (indirecta por internet auxiliándose de las redes sociales, directa por teléfono y entrevista personal, con la exclusión de que los encuestados deben ser mayores de edad).

Paso 5. Redacción de cuestionario y pruebas piloto de la misma.

Paso 6. Realización encuesta (entrevista)

Paso 7. Explotación estadística y matemáticamente de los resultados (tablas y gráficas, análisis de sensibilidad, cálculo de regresión y correlación, análisis de sensibilidad, deriva de la curva de la demanda y deriva de la función de oferta).

Como parte de la descripción de los datos, se emplearon dos tipos de fuentes. Una con datos oficiales proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística INE (2017), Secretaria de Programación y Planificación de la Presidencia SEGEPLAN (2017), Banco de Guatemala BANGUAT (2017) y Planes de Desarrollo Municipal de los diferentes municipios estudiados. La otra data fue la generada a partir de la encuesta.

Al respecto, con la finalidad de analizar los factores que inciden en el monto de la disposición a pagar (DAP) o a ser compensados (DAC) se realizó la estrategia econométrica de estimar la verificación de todos los coeficientes del modelo mediante la prueba de su significancia en términos estadísticos. El valor crítico para la distribución escogida tuvo un nivel de confianza mínimo del 90% y para

este nivel de confianza, se rechazó la hipótesis nula, lo que indicó que, en conjunto las variables incluidas explican el modelo.

Paso 8. Calculo de excedente total, bienestar social o economía del bienestar (sumatoria del excedente del consumidor más el excedente del productor).

6.3.4.2 Cambio en la Productividad

Para el caso de biocombustibles que cuentan con mercado real (precios y costos) en la producción de sus materias primas, se utilizó el método de Cambio en la Productividad Física. Este consistió en el establecimiento a valor presente de la relación beneficio / costo, sin y con proyecto ambiental para el desarrollo sostenible, lo que implica un cambio en la productividad con consideración de externalidades, estructuras mixtas de capital con préstamos blandos, volúmenes de venta, ingresos -por mejores precios- y costos definidos mediante economía ambiental, por ejemplo.

De manera específica, la diferencia de los montos con y sin proyecto, representó la valoración económico ambiental de los productores de materias primas. Es decir, el valor neto obtenido (US$) por el incremento en la productividad (volumen de venta de materia prima) en una determinada extensión de área productiva que para nuestro caso fue la hectárea (10,000 m^2). En concordancia con Contreras (2009) se usó este método debido a que es el adecuado cuando se desea establecer la relación entre una actividad productiva y los medios socio ambientales que han sido necesarios para obtener dicha producción en un mercado real. Bajo ese criterio, se estimó la contribución del capital natural a la actividad económica referida a la producción de materia prima con base de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) para la fabricación del agro combustible tipo biodiesel.

La valoración conllevó un enfoque objetivo de análisis del costo beneficio de la interacción directa entre los componentes ambiental, económico, social e

institucional que determinó flujos de efectivo para un horizonte de 15 años de producción y/o cambio de productividad (positiva a o negativa) en un determinado territorio. En nuestro caso, los 9 municipios seleccionados en el país con potencial productivo para la materia prima palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*).

La técnica se basó en la valoración de los cambios físicos en la producción utilizando precios de mercados para los costos y beneficios. Cuando los precios de mercado estuvieron distorsionados, usamos los correctivos respectivos como precios de cuenta, precios sombra, hedónicos, etc., de modo que reflejen verdaderos valores económicos. En síntesis, los cambios se valoraron usando los precios económicos reales en dólares estadounidenses (normales o corregidos, cuando existieron distorsiones en el mercado).

Procedimiento para la ejecución del método:

1. Por medio del estudio de impacto ambiental (EIA) se identificaron los cambios de productividad originados por el proyecto de producción de materia prima para biodiesel a base de palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*). Para esto fue necesario definir 03 escenarios: 1.1) Situación base o inicial; 1.2.) Situación con identificación del factor de cambio (contaminación de agua y suelo, por ejemplo) y, 1.3) Valor individual del cambio generado resultante de la diferencia entre la situación base y la situación cambio a valor actual o presente neto para una hectárea de producción. Se evaluaron los cambios de productividad tomando en cuenta la situación con y sin proyecto, así como también considerando las externalidades económicas y ambientales identificadas con el EIA.
2. El cambio de productividad (ingreso, costos, egresos y rentabilidad) se evaluó no sólo para un momento, sino para un período (horizonte) de tiempo de 15 años. El resultado fueron los flujos de efectivo neto para el horizonte de análisis.
3. Los supuestos adoptados para aplicar el método fueron ajustados en cuanto a inflación y su efecto sobre los precios usados, tiempo de evaluación del cambio de productividad (15 años como período de análisis), los cambios futuros en los

precios (inflación acumulada de 4.1% anual) y la tasa de descuento (costo de oportunidad) considerando el escudo fiscal respectivo. Para el análisis con proyecto de sostenibilidad uso una estructura mixta de capital con el 70% de préstamo preferente a una tasa del 8% anual para incentivar la producción de biodiesel y una tasa de rendimiento mínima aceptada (TREMA) del 15%. La obtención del factor de actualización implicó la utilización de una tasa de descuento o actualización del 8.5% considerando como se indicó el respectivo escudo fiscal del préstamo. Por su parte, la tasa de descuento en el análisis sin proyecto de cambio en la productividad fue del 12%.

4. Posteriormente se determinó el Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de efectivo y se realizó el cálculo del beneficio social individual.

Con esta técnica, para Contreras (2009), el costo de oportunidad de la producción agrícola obtenida (con y sin proyecto), se convierte en una medida de valor de los servicios ambientales de los sistemas de producción de materias primas con enfoque a la sostenibilidad.

Al realizar los análisis de flujo de efectivo por los cambios en la productividad a valor presente neto, con precios de mercado y considerando la diferencia de ingresos/egresos con la internación de las externalidades económicas y ambientales y sus consiguientes cambios en la producción agrícola, se obtuvo a nivel unitario (hectárea de producción) el monto o beneficio individual.

El Beneficio total para los productores-comercializadores de materia prima (excedente del productor), fue considerado como la sumatoria de los beneficios individuales, en este caso, la totalidad de hectáreas estimadas para la producción de la materia prima para la fabricación de biodiesel en un período de 15 años.

El índice de explotación (W) es el resultado de la relación entre la generación de residuos contaminantes y/o la degradación de los recursos naturales generados

por la actividad económica regulada, entre el nivel de asimilación y/o resiliencia socio ambiental.

El índice de explotación (W) se calculó como lo recomienda Masera, Astier y López (1999), dividiendo dentro de 6 la sumatoria del valor medio o habitual para la sustentabilidad, más el valor ideal definido como “1” más la suma del valor pésimo definido como mayor de 1 que para este caso arbitrariamente se estableció en “1.1”. Siguiendo las recomendaciones de Masera, Astier y López (1999), el valor medio o habitual para la sustentabilidad fue obtenido mediante la multiplicación de 4 veces la división de la suma de los indicadores económico e institucional entre la suma de los indicadores social y ambiental, como se observa a continuación:

$$\text{Índice de explotación (W)} = [(1 + (4*((IEco + IInst) / (ISoc + IAmb)) + 1.1)] / 6$$

Respecto al índice de regeneración (A), que también se puede denominar como índice de resiliencia, según Mansour (2005), se definió para su cálculo y análisis como el resultado de la relación entre la intensidad de uso de los recursos ambientales y la generación de amenidades, satisfacción y disponibilidad de los mismos recursos ambientales. Para ello, se conceptualizó que la regeneración ideal debería obtener un valor de “1”. Sí fuese mayor de “1”, se estaría sobre utilizando el ambiente y no existiría regeneración. Por el contrario, sí es menor de “1” se estaría sub utilizando los recursos y, por lo tanto, la actividad económico productiva no sería tampoco eficiente (sustentable) en su proceso de regeneración.

Para el cálculo del índice de regeneración (A), se asumió el valor de “1” como ideal. El valor habitual o probable como el valor medio obtenido del índice de explotación “W”, mientras que, para el pésimo, se calculó en condición de sobre utilización y de su utilización con las siguientes fórmulas que relacionan los

diferentes índices establecidos primerariamente para los 4 sistemas bioeconómicos.

Pésimo sobre utilización (Sobreu) = (IEco + ISoc + IAmb) / IInst

Pésimo sub utilización (Subu) = IInst / (IEco + ISoc + IAmb)

En la consideración del enfoque bioeconómico y el establecimiento del índice de sustentabilidad, se determinó la utilidad bioeconómica resultando esta de la diferencia entre el índice de regeneración (A) menos el índice de explotación (W).

Utilidad bioeconómica (UBioeco) = (A) – (W)

Para el cálculo de la utilidad bioeconómica, fue necesario establecer la probabilidad de generarse en el contexto del valor meta tipificado como ideal, es decir con valor de “1”, donde:

W: Cantidad de residuos contaminantes o degradantes del ambiente y/o recursos

A: Asimilación (regeneración o resiiencia)

UBioeco: Utilidad bio económica (amenidades, satisfacción y disponibilidad de recursos naturales)

$$W \leq A \text{ entonces } > U$$

7. Resultados

7.1 Priorización de materias primas

El estudio determinó para las condiciones de Guatemala una lista de 69 fuentes potenciales de materias primas para la fabricación de biocombustibles. Al clasificar esta lista por tipo de biocombustibles se determinó que 08 serían para la fabricación de biogás; 28 para bioetanol y 33 para biodiesel.

Para la priorización de las materias primas, que implicó la realización de evaluación de impacto ambiental (EIA), fue necesario elaborar el marco institucional, socio – económico y ambiental en el que se desarrollaría la producción de las mismas en Guatemala y a partir de este, se discriminó por selección de materias primas a aquellas que, manifestaron uso del suelo a capacidad, que fuesen factibles de producir para la fabricación a nivel industrial los biocombustibles y a una escala nacional económicamente interesante, así como también que la producción agrícola de las materias primas no desplacen la producción de alimentos.

7.1.1 Marco socioeconómico y ambiental

Se estableció que la República de Guatemala se encuentra situada en la América Central, entre las coordenadas geográficas: 13° 44’ - 18° 3’ Latitud Norte y 87° 03´ - 92° 13’ Longitud Oeste en el Meridiano de Greenwich. Limita al Norte y Oeste, con México; al Sur, con el Océano Pacífico y al Este, con Belice, Honduras, El Salvador y el Océano Atlántico. Posee una extensión territorial de 108,889 km. El territorio está localizado entre dos de las principales placas o fallas geológicas del continente americano: la del Caribe y la de Cocos en el Océano Pacífico (CALAS, 2011). La situación descrita anteriormente define a Guatemala como un territorio con alta actividad sísmica. Con respecto a los materiales geológicos identificados, destacan para el MAGA (2014) principalmente dos tipos de rocas parentales las que se describen a continuación: a) la roca sedimentaria que ocupa el 68% del

área del país, con predominancia en los departamentos de Petén y Alta Verapaz y b) las rocas ígneas y metamórficas, que en conjunto representan el 32% del territorio y presentan predominancia en los departamentos de la meseta central del país. Su origen geológico es producto de actividades volcánicas. Fisiográficamente como se observa en la figura 5 se identifican 3 regiones denominadas: "Tierras Altas Volcánicas", "Tierras Sedimentarias" y "Tierras Cristalinas" (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala –MAGA-, 2014).

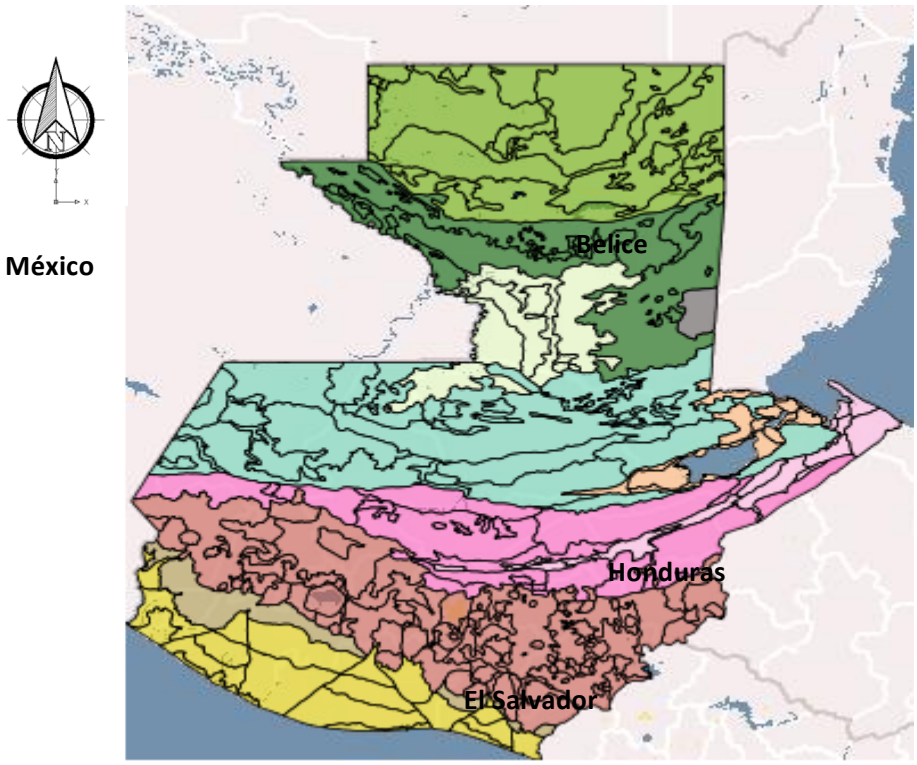


Figura 5. Regiones fisiográficas de Guatemala. Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería de Guatemala MAGA (2014).

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística INE (2015) dan cuenta que Guatemala cuenta con una población total de aproximada de 16 millones de habitantes al 2015, con una densidad de población de 146 habitantes

por km². La composición por sexo es del 50.3% mujeres y de 49.7% para hombres.

SEGEPLAN (2005) estipula que, desde el punto de vista de la división político administrativa, Guatemala se organiza en 22 departamentos y 340 municipios, adicionando que, por su condición mesoamericana, el país cuenta con una diversidad de 23 etnias de origen maya, 01 etnia garífuna y otra más definida como de ladinos o mestizos.

Otro punto importante que se observó en la construcción de este marco socio-económico y ambiental, fue el predominio en los departamentos con potencial de producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles, de mayoritaria población comprendida entre 15 y 19 años de edad (INE, 2015), lo que indica la posible disponibilidad de mano de obra para la producción de materias primas y fabricación de biocombustibles.

La pobreza es una de las principales barreras para el desarrollo social, no sólo de los departamentos con potencial de producción de materias primas sino también en todo el país ya que como lo reporta la Secretaria de Programación y Planificación de la Presidencia (SEGEPLAN, 2005), el 51% de la población vive en condiciones de pobreza y el 16% del total en condiciones de extrema pobreza. Este hecho evidencia la necesidad de la inversión en políticas públicas para mejorar la calidad y promoción del acceso de la población a la salud y enseñanza escolar, además del combate a la pobreza, pues garantizar la mano de obra es uno de los factores que son determinantes en la viabilidad de la potencial industria de los biocombustibles en el país (Nueva Visión y PRO SOL, 2010).

Indicador importante en la construcción del presente marco fue el referente a la estructura en la distribución de la tierra. Al respecto, se sigue generando en Guatemala considerable presión sobre el uso de la tierra, lo que adquiere características de desigualdad en el reparto de su utilidad como medio de

subsistencia, que a su vez determina conflictividad agraria por el limitado acceso de la mayoría de la población al factor de producción.

De acuerdo con los datos del último Censo Nacional Agropecuario descritos por SEGEPLAN (2005), Guatemala tiene uno de los coeficientes de Gini de concentración de la tierra más altos a nivel mundial, correspondiente al 0.84. Al respecto, la información más reciente que permite el análisis de la situación agraria realizada por SEGEPLAN (2005) refleja la persistencia en los desequilibrios de ingresos y disponibilidad del recurso, al describir la concentración de tierra (80.13%) en pocas manos equivalente sólo al 7.9% de la población agrícola constituida por productores excedentarios y comerciales de exportación. En la tabla III, se presenta un resumen de los principales indicadores socioeconómicos del país.

Entre el 2000 y el 2011 afirma Romero (2013), las actividades económicas agrícolas perdieron diez puntos porcentuales en el país, con lo cual la estructura minifundista en Guatemala cambió significativamente.

La diversificación en el uso de la tierra con fines agropecuarios se alcanzó en tiempos de la Revolución de Octubre (de 1944-1954), mediante el estímulo público de los cultivos asociativos de algodón (*Gossypium hirsutum L.*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), banano (*Musa sapientium L.*) y cardamomo *(Elettaria cardamomum L.)* MAGA (2014).

Tabla III. Indicadores socioeconómicos generales de Guatemala.

Demografía	Cantidad
Población (2014)	16 millones de habitantes
Densidad de la población	146 hab /km2
Tasa de crecimiento anual	2.68 %
Población urbana	42.7 %
Población masculina	49.7 %
Población indígena	42.8 %
Tasa de analfabetismo	35.8 %
Población en extrema pobreza	15.20 %
Infraestructura	Insuficiente para la logística comercial
Índice de electricidad	63.5 % de la población tiene electricidad
Acceso a agua potable	62% de la población
Carreteras en buen estado	82% de la red vial pavimentada y 21% de la red vial no pavimentada

Fuente: SEGEPLAN (2010).

Sin embargo, por las acciones de la contra revolución, las medidas adoptadas en este periodo no pudieron continuar y el desarrollo del modelo capitalista del país de forma independiente fue truncado, se consolidó el enfoque de desarrollo agro-exportador privado bajo una íntima relación de latifundio-minifundio, que privilegió la ampliación de tierras con el objetivo de producir cultivos para la generación de divisas. Romero (2013) indica que desde 1950 hasta nuestros días, el sector agrícola guatemalteco ha mostrado una elevada capacidad de expansión y diversificación, pero que, a pesar de la introducción y/o estimulo en la década de los ochentas del siglo pasado, del cultivo de legumbres, hortalizas, mango (*Mangifera indica L.*), hule (*Hevea brasiliensis Willd. ex A.Juss.*), palma africana (*Elaeis guineensis Jacq.*), apiarios para la producción de miel e hidrobiológicos, entre otros, considerados como productos agrícolas no tradicionales de exportación, el número de agricultores sigue siendo en proporción al área productiva dedicado a ellos reducido, lo que ha traído como consecuencia el

estancamiento o la disminución del número de agricultores incorporados al proceso de producción agrícola comercial para la exportación.

Este proceso ha generado en los últimos años, diferencias en los niveles de productividad y renta entre los cultivos de exportación y los dedicados al consumo interno. Así también, entre las diferentes regiones agrícolas donde producen, como las del Pacífico Sur, la del departamento de Izabal y de Él Peten que se incluyen en la Franja Transversal de Norte (para exportación), respecto al resto mayoritariamente de altiplano (occidental y oriental) del país en condiciones de minifundio y agricultura familiar (Romero, 2013).

La estructura agraria repercute en gran medida en la tecnología empleada, en el tamaño de las unidades productivas (fincas multifamiliares, familiares, de subsistencia e infra subsistencia), el tipo de cultivos (de exportación o para el consumo alimenticio interno), así como también, respecto del acceso a paquetes tecnológicos sobre nutrición y fertilidad de los suelos, semillas mejoradas, insumos químicos, además de la inversión en infraestructura en investigación y desarrollo, mercados, sistema de riego, centros de acopio, invernaderos y otras formas de agricultura controlada, que analizado de manera integral, afecta los precios obtenidos por la venta de la producción y el desarrollo mismo de los agricultores.

De acuerdo a los estudios realizados por Romero (2013), la expansión de la agricultura de exportación implicó una división social del trabajo, en la que proliferó la proletarización, el minifundio y la mercantilización de la fuerza de trabajo. Al respecto, concluye Cambranes (1986), que la estructura agraria y la relación latifundio-minifundio se ha mantenido en el país, sólo sustituyéndose el cultivo latifundista. Desde 1979 apunta, se ha observado, por ejemplo, la sustitución del algodón con el intensivo cultivo de la caña de azúcar.

7.1.1.1 Uso actual y potencial del suelo

Al reunir las distintas características de formación, material original, relieve y las aptitudes de uso del suelo, se permiten diversas actividades productivas (cultivos con y sin limitaciones, cultivos no arables, cultivos no agrícolas, tierras para protección y/o conservación de la agro diversidad). En la tabla IV y figura 6, se describen las principales clases de capacidad de uso del suelo determinadas para el territorio nacional de Guatemala, conforme a la Clasificación USDA de 1961.

La capacidad de uso de las tierras se orienta a las agrícolas "sin limitaciones" y "con limitaciones" correspondiente a las clases I, II y III para las primeras. Las tierras de la clase IV, pueden ser utilizadas para fines agrícolas, pero deben incluirse prácticas de conservación de suelos y no ser objeto de mecanización. En total estas tierras suman el 34.4%.

En las tierras V y VI (17%), la capacidad de uso se reduce a cultivos sin mecanización, ganado de tipo extensivo, lo que permiten la realización de cultivos seleccionados por las limitantes para ser arables y el manejo de la humedad. La recomendación para las tierras con clase VI (14.7%) es del asocio de cultivos agrícolas permanentes y árboles. Mientras que la clase VII (41.2%), es principalmente para la producción de bosques. Finalmente se recomienda que las tierras de la clase VIII (7.1%), se dediquen a actividades de conservación y/o protección de hábitat naturales. En síntesis, las tierras con aptitud para agricultura propiamente dicha ocupan según el MAGA (2014) el 8.0% del territorio nacional, mientras que la mayor parte (79.9%) deberá permanecer con algún tipo de cubierta vegetal.

Sin embargo, en general el espacio territorial guatemalteco está siendo utilizado para los siguientes tipos de usos de la tierra: a) Cultivos: anuales y perennes, donde sobresalen los cultivos de maíz, caña de azúcar y café; b) Pastos: naturales y cultivados; c) Bosques: conífero, latifoliado y mixto, dentro del mismo grupo se incluyen el bosque secundario (arbustal) y los charrales y/o matorrales; d)

Humedales, con y sin cobertura boscosa; e) Cuerpos de agua, incluidas aquellas áreas con embalses; f) Centros Poblados: áreas urbana y rural y g) "otras áreas", donde se incluyen áreas dedicadas a procesos de extracción de minerales, playa, rocas expuestas, etc.

Tabla IV. Capacidad de uso de la tierra por superficie (hectáreas) y porcentaje para tipo de uso en el territorio nacional de Guatemala.

Clase	Capacidad	Aptitud de uso	Superficie (Has)	% Tipo de uso
I	Cultivos agrícolas	Sin Limitaciones	119,782.7 1	
II			744,149.8	
III		Con Limitaciones	1,829,649.2	34.4
IV			1,035,945.8	
V	Cultivos agrícolas no arables	Pecuario	243,799.9	
VI		Pecuario / Forestal	1,592,488.8	17.0
VII	Cultivos no agrícolas	Forestal	4,475,521.1	41.2
VIII	Tierras de protección	Protección	774,723.1	7.1
	Cuerpos de Agua		32,194.8	0.3
	Total		10,848,255.3	100

Fuente: MAGA, 2014.

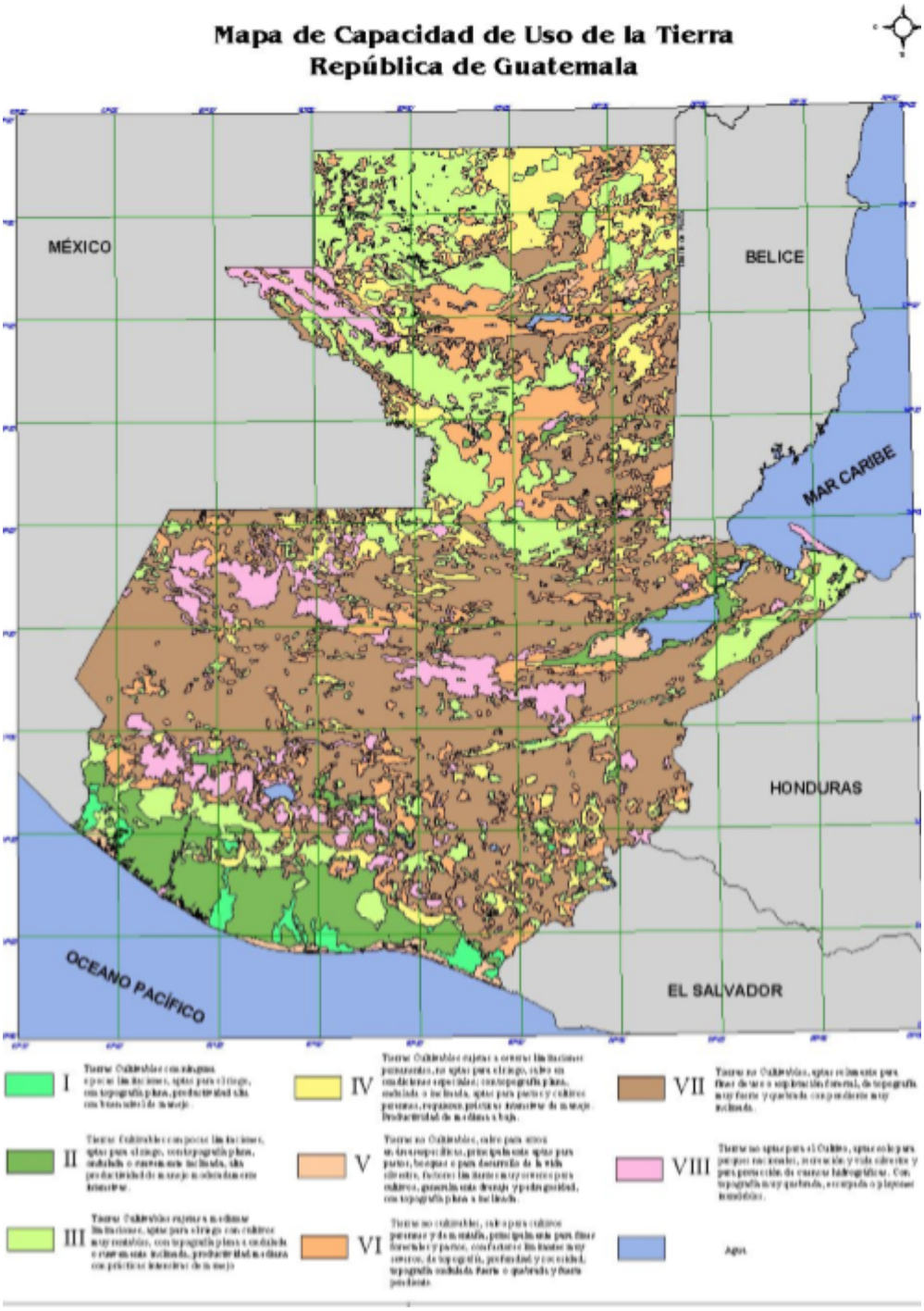


Figura 6. Mapa de capacidad de uso del suelo de la República de Guatemala. Fuente: MAGA (2014).

La intensidad del uso de la tierra es la variable que desde el punto de vista de la sostenibilidad genera más conflictos de uso y se constituye entonces en una importante variable de análisis para priorizar la producción de materias primas usadas para la fabricación de biocombustibles. Esta variable es resultante de la comparación entre la capacidad de uso de la tierra con el uso actual de la misma. USDA (1961). Al respecto, la variable de intensidad de uso nos permitió identificar conflictos de uso en términos de la medida en que la intervención humana o de la naturaleza es acorde o no con la aptitud de una unidad de tierra. Para nuestro caso, el establecimiento de sistemas de cultivo referidos a la producción de materias primas para la producción de biocombustibles.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (1961), en su clasificación agrologica de suelos generalmente define tres categorías: i) tierras subutilizadas; ii) tierras sobre utilizadas y iii) tierras con uso a capacidad. En la tabla V se presenta la superficie del territorio nacional de Guatemala con las diferentes categorías de uso de la tierra.

Tabla V. Intensidad de uso de la tierra para la República de Guatemala.

Categoría de intensidad de uso de la tierra	**Has**	**Superficie %**
Uso a Capacidad	4,976,742.1	45.9
Sub utilizado	3,042,505.2	28.1
Sobre utilizado	2,708,279.7	25
Áreas urbanas	59,126.5	0.6
Cuerpos de Agua	58,501.7	0.5
Total	10,845,155.2	100

Fuente: MAGA, 2014.

7.1.2 Selección por EIA a escala industrial

La caracterización de los ecosistemas de producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles descrita en el marco institucional, socio económico y ambiental de Guatemala, fue fundamental para que en una primera fase de priorización de las 69 materia primas listada con potencial para ser usadas en la fabricación del combustible neutro, se estableciera como parte de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), la intensidad de uso del suelo por sistema de cultivo para cada una de ellas.

Como cualquier actividad productiva, la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles implica ciertos impactos positivos, negativos y neutros al ambiente. Los mismos se identificaron utilizando la matriz modificada de Leopold. Además, con base al modelo PER (Presión-Estado-Respuesta) de la OECD (1993), se determinó la magnitud del impacto en cuanto a la presión que estos provocarían sobre el estado del ecosistema o ambiente. Es por ello que, utilizando dicho modelo y con la respectiva evaluación de impactos ambientales, que incluyeron criterios o parámetros de análisis para la priorización-discriminación, se estableció que en Guatemala la producción de materias primas no es factible desde el punto de vista bioeconómico para la totalidad de las 69 materias primas listadas y tampoco para los tres tipos de biocombustible estudiados (bioetanol, biodiesel y biogás).

Respecto de lo anterior, las categorías de intensidad de uso del suelo establecidas para la producción de materias primas en el territorio nacional, fue un criterio determinante para detectar hallazgos, principalmente referidos al porcentaje de tierras en “sobre uso” que impactarían de manera severa en los ecosistemas naturales y los mismos sistemas de cultivo que a futuro condicionarían la fabricación sustentable del biocombustible.

Tierras con uso a capacidad (UC) significó que las tierras estarían siendo utilizadas con conservación de los recursos y asegurando la producción de las

materias primas toda vez que se mantenga en los límites del uso recomendado por USDA (1961). Tierras con subuso (Sub) correspondió a tierras que no están siendo utilizadas a su capacidad, es decir que el potencial de las mismas está siendo desaprovechado, con acciones que no corresponden a su capacidad productiva.

Las Tierras con sobreuso (Sob) fue aquella categoría que incluyó las tierras con mayor grado de conflictividad y por lo tanto mayor magnitud de impacto, pues se realizan actividades productivas que no correspondientes a la capacidad de uso del suelo. En este sentido, se dice que se sobre utiliza, porque el recurso se degrada, se expone y se provocan consecuentemente procesos de erosión acelerado. Todas las materias primas que se encontraron dentro de esta categoría no fueron seleccionadas.

Interpretando mediante sistemas de información geográfica (SIG), específicamente la yuxtaposición de los mapas de cobertura agrologica recomendado o potencial en relación con el uso actual de la tierra, observamos que de las 28 materias primas listadas para la fabricación de bioetanol, no se priorizaron por manifestar sobre uso del suelo las materias primas siguientes: i) maíz *(Zea mais L.)*; ii) sorgo *(Sorghum vulgare L.*); iii) papa (*Solanum tuberusum L.*); iv) mango *(Mangifera indica L.*); v) banano (*Musa sapientum L.*); vi) manzana (*Malus domestica L.*), vii) pera (*Pirus communis L.*) y viii) melocotón (*Prunus pérsica L.*) . Basados en este criterio de sobreutilización del suelo se descartaron las 08 materias primas y se quedó con 20 materias primas potenciales para la fabricación de bioetanol que se presentan en la tabla VI.

Para el caso del biodiesel, de las 33 materias primas listadas, no se seleccionaron por presentar sobre uso del suelo 6 materias primas. Estas fueron: i) el nabo (*Brassica rapa L.*); ii) la manía (*Arachis hypogaea L.*); iii) el repollo (*Brassica* cd*oleracea vr. Capitata L.*); iv) la coliflor (*Brassica oleracea vr. Botrytis L.*); v) la col de Bruselas (*Brassica oleracea vr. Gemmifera L.*) y vi) el coco (*Cocos mucifer L.*).

Además, por dificultad para usarse en una escala industrial, así como por ubicarse la producción fuera del enfoque propiamente agrologico o de uso del suelo tampoco se seleccionaron para el tipo biodiesel las materias primas: i) Pastos marinos; ii) Algas; iii) Micro algas; iv) Sebo y estiércol de vaca; v) Sebo y estiércol de búfalo; vi) Sebo y estiércol de cerdo; vii) Sebo y estiércol de cabras, ovejas y pelibuelles; viii) Grasa de pollo y gallinaza de aves; ix) Grasa de pescado y x) Aceites de fritura usados. Para hacer un total de 16 materias primas las descartadas para el biodiesel tanto por sobre utilización del suelo como por no estar en la capacidad de generar producción a escala industrial quedando en esta etapa de priorización como potenciales materias primas para la fabricación de biodiesel la cantidad de 17 materias primas de las 33 listadas originalmente.

Respecto del tipo biogás, la evaluación ambiental (EIA) encontró de manera sobresaliente impactos ambientales positivos al ambiente, debido esto principalmente a que su producción mejora la sostenibilidad de los ecosistemas al reciclarse los sub productos y desechos de la finca y al no requerirse de energía externa contaminante para el desarrollo de las actividades socio productivas. Para el biogás, no se detectó ninguna presión o impacto negativo. Sin embargo, al evaluar el ambiente socio económico y psíco cultural, se detectó que, por ser su utilización a pequeña escala o para el autoconsumo energético, se estableció un impacto significativo neutro a nivel macro y un impacto significativo positivo a nivel micro (finca, granja, hogar), ya que se favorece con su producción un importante ahorro económico en la producción y gestión de la energía a nivel individual.

De las 08 materias primas listadas para el tipo de biocombustibles biogás (estiércol de ganado mayor y menor, gallinaza y estiércol de otras aves, purín vacuno, de cerdo o aves, paja o pasto seco, heces humanas, heces de mascotas y celulosa o aserrín) no se seleccionaron como viables ya que su producción no es significativa a nivel nacional para ser llevada a una escala industrial la fabricación de biocombustible. Además, porque, en un esfuerzo para su impulso, se requeriría de una compleja logística y de una cultura de ahorro energético que esta poco

desarrollada en el país. De modo que la promoción de la producción sostenible para el tipo de combustible biogás, obtenido a partir de los residuos procedentes del sector agroalimentario (que fue la principal materia prima identificada para su fabricación), es recomendable fundamentalmente a nivel micro o individual.

7.1.3 Selección por competencia con alimentos

En el proceso de selección de materias primas para la fabricación de los biocombustibles por magnitud de impacto a escala de interés industrial se encontró para el caso del bioetanol (tabla VI) que, con la excepción del pajón (*Panicum maximun Jac.*) y del miscanto (*Miscanthus spp. Anderss*) el resto de las materias primas al ser total o parcialmente comestibles compiten o desplazan la producción de alimentos y por tanto se descartaron.

Tanto para el pajón (*Panicum maximun Jac.*) como para el miscanto (*Miscanthus spp*. *Anderss*) al realizar el análisis agrologico y compararlo con el uso actual del suelo en Guatemala, observamos que se ubica potencialmente su producción para las mismas clases agrológicas que las del cultivo del café (*Coffea spp*. *L.*) y la caña de azúcar (*Saccharom officinarum L.*). Fenómeno que imposibilitaría en la práctica el establecimiento de sus plantaciones ya que estas dos agroindustrias cuentan con fuerte arraigo en el país y sería sumamente costoso diversificarlas con estos nuevos cultivos.

En el caso del Maguey (*Agave americana L.*) y la uva (*Vitis vinífera L.*) se descartó su potencial como materias primas para la fabricación de bioetanol ya que el área neta, dados los requerimientos ecológicos de sus cultivos, es relativamente pequeña para que su producción surta la industria a una escala de interés económico en Guatemala.

Por lo tanto, desde el punto de vista bioeconómico, no existe posibilidad de producir bioetanol en el país. Esto a pesar de que, al realizar la evaluación de impactos, así como la determinación de la magnitud de los mismos, se estableció

que, de las 28 materias primas listadas para su producción, 2 son las más promisorias en cuanto a un aporte significativo para una fabricación a escala industrial y a nivel nacional. Estas materias primas son las derivadas de la producción de maíz (*Zea mais L.*) y la de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*).

Tanto para la producción de maíz y caña de azúcar como materias primas para la fabricación de bioetanol se identificaron impactos ambientales negativos significativos sobre el ambiente físico natural. Con ambas materias primas se prospectó con su producción una clara competencia por los recursos agua y suelo, así como también desplazamiento de áreas dedicadas a la producción de alimentos como ocurre en el caso de la caña de azúcar (*Saccharu officinarum L.*) que es considerado un monocultivo invasivo en la planicie costera del pacífico y en el noreste del país.

Por lo tanto, de los 3 tipos de biocombustibles estudiados, el biodiesel fue el único tipo para el que, de acuerdo a las condiciones de Guatemala, se determinó viable desde el punto de vista bioeconómico la producción de materias primas para su fabricación.

Tabla VI. Selección de materias primas para la fabricación de bioetanol considerando la competencia o desplazamiento de la producción de alimentos.

Materia prima	Uso agrologico recomendado	Compite o desplaza la producción de alimentos
Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)	Clases I y II	Si
Cebada (*Hordeum vulgare*)	Clases I y II	Si
Trigo (*Triticuma estivum*)	Clases I y II	Si
Centeno (*Secale cereale*)	Clases I y II	Si
Remolacha azucarera (*Beta vulgaris*)	Clases I y II	Si
Yuca (*Manihot esculenta*)	Clases III	Si
Maguey *(Agave spp.*)	Clases III , IV y V	Moderado
Uva (*Vitis vinicula*)	Clases II y III	Moderado
Piña (*Ananas comosus*)	Clases III y IV	Si
Sandía (*Cetrullus vulgare*)	Clases I y II	Si
Melón (*Cucumis melo*)	Clases I y II	Si
Naranja (*Citurs spp.*)	Clase III	Si
Higo (*Ficus spp.*)	Clases II y III	Si
Tomate (*Solanum lycopersicum*)	Clases I y II	Si
Arroz (*Oriza sativa*)	Clases I y II	Si
Camote (*Ipomoea batatas*)	Clases III	Si
Zacaton (*Panicum spp.*)	Clases V y VI	No
Sauce (*Salix spp.*)	Clases VII y VIII	Moderado
Alamo (*Populus spp.*)	Clase VII y VIII	Moderado
Miscanto (*Miscanthus spp.*)	Clases V y VI	No

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla VII se observa que de las 17 materias primas que manifestaron un uso adecuado del suelo, al realizar la discriminación por desplazamiento o competencia con la producción de alimentos 6 materias primas no fueron no priorizadas o descartadas para el tipo biodiesel. Estas fueron: i) soya (*Glicine max L.*); ii) Aguacate (*Persea americana Mill*); iii) (*Cynara cardunculus L.*); iv) (*Alelurites*

fordii Hemsl.); v) (*Crambe hispanica subesp. abyssinica Hochst. ex R.E. Fr.*) y vi) (*Brassica olracea L.*).

Tabla VII. Selección de materias primas para la fabricación de biodiesel.

Materia prima	Uso agrológico recomendado	Compite o desplaza la producción de alimentos
Higuerillo (*Ricinus communis*)	Clase III, IV y V	No
Piñón (*Jatropha curcas*)	Clases III, IV y V	No
Palma africana (*Elaeis guineensis.*)	Clases III, IV, V y VI	Moderado
Soya (*Glicine max*)	Clases II y III	Si
Girasol (*Helianthus annuus*)	Clases II y III	No
Napier (Pennisetum purpureum)	Clases III y IV	No
Algodón (*Gossypium spp.*)	Clases II, III y IV	No
Aguacate (*Persea americana*)	Clases III, IV, V y VI	Si
Camelina (*Camelina sativa*)	Clases II y III	Si
Crambe (*Crambe hispanica*)	Clases II y III	Si
Cynara cardunculus	Clases II y III	Si
Pogianus spp.	Clases II, III y IV	No
Euphorbialathrys spp.	Clases I, II y III	No
Sesamo (*Sesamun orientale*)	Clases II, III y IV	Si
Aleurites fordii	Clases III, IV y V	Si
Carthamus tinctorius	Clases II, III y V	No
Brassica campestres	Clases II y III	Si

Fuente: Elaboración propia, 2018.

7.1.4 Priorización para el biodiesel

De las 33 materias primas listadas para la producción de biodiesel, sólo 11 superaron los tamices de intensidad de uso del suelo y el de no competir o desplazar la producción de alimentos. Para estas 11, se realizó análisis de factibilidad de producción de materias primas para la fabricación del

biocombustible a escala industrial. Para ello se consideró la disponibilidad de área de cultivo con base a los requerimientos físico naturales y al uso actual del suelo en las zonas productoras definidas para ellas. Resultado de dicho análisis, se descartaron por no contar con suficiente área para la producción las 6 materias primas siguientes: i) el napier (*Pennisetum porpureum Schumacher*); ii) (*Camelina sativa Crantz*); iii) (*Carthamus tinctorius L.*); iv) (*Pogianus spp. L.*); v) (*Euphorbia lathrys L.*) y vi) sésamo (*Sesamun orientale L.*).

Se estableció, efectuados los análisis correspondientes, que las materias primas que son promisorias para la fabricación de biodiesel en Guatemala, a una escala industrial, son: i) el higuerillo (*Ricinus communis L.*); ii) el piñon (*Jatropha curcas L.*); iii) la palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*); iv) el algodón (*Gossypium spp. L.*) y, v) el girasol (*Helianthus annuus L.*). Al respecto, es importante acotar que la palma africana, tiene en la actualidad un uso a capacidad del suelo para la producción de aceite comestible en Guatemala.

7.1.5 Priorización por su importancia bioeconómica

Seleccionadas las materias primas por tipo de biocombustible, conforme a los criterios de discriminación metodológicamente definidos e implementados, se procedió al cálculo de su valor de importancia bioeconómica relativa. Con la evaluación de impacto ambiental (EIA) y el establecimiento de la magnitud de los efectos negativos (presión), se procedió a la valoración del cambio que estos provocan en los ecosistemas (estado), así como también, a valorar la respuesta institucional para la mitigación o contingencia de los mismos (respuesta) conforme al método P-E-R de la OCDE (1993).

En la tabla VIII se presenta un consolidado del comportamiento de la presión, estado y respuesta de las materias primas seleccionadas para la fabricación de biodiesel, indicado además el valor de importancia bioeconómica relativa para cada una de ellas.

Tabla VIII. Índice del valor de importancia bioeconómica (IVIB) del análisis de la Presión–Estado–Respuesta para las 05 materias primas promisorias seleccionadas para la fabricación de biodiesel.

Materia Prima	Presión	Estado	Respuesta	IVIB
Higuerillo *(Ricinus communis L.)*	7.8	8.5	67.5	82
Piñón (*Jatropha curcas L.)*	7.9	8.6	68.9	81
Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)*	6.8	7.4	51	67
Algodón *(Gossypium spp.)*	4.6	5.0	23.4	40
Girasol *(Helianthus annuus L.)*	3.5	3.9	14	29
Sub total	30.6	33.4	224.8	

Fuente: Elaboración propia , 2018.

Al realizar el análisis del índice de valor de importancia bioeconómica relativa (IVIB), es evidente que se debe descartar al girasol (*Helianthus annuus L.*) y al algodón (*Gossypium spp*. *L.*), debido a que su producción como materias primas impacta o presiona de una manera fuerte y modifica también el estado del ambiente con considerable magnitud (tabla VIII). De igual manera, las respuestas institucionales (medidas de mitigación y contingencia) para contener o reducir dicho comportamiento no serían efectivas.

De manera específica en relación al girasol (*Helianthus annus L.*), su bajo valor de importancia bioeconómica relativa se debió a que la prospección de su producción como materia prima es relativamente más costosa en relación a las otras materias primas priorizadas. Principalmente esto debido al elevado costo del manejo integrado de las palomas (familia Columbidae) y cotorras (familia Psittacidae) como plagas indicado por Eiszner, Blandón y Pohlan (1997). Además, porque tiene también un menor rendimiento comparativo del orden de 01 tonelada métrica por hectárea aproximadamente. Estas situaciones son determinantes para que cada vez exista una menor demanda en el mundo de su cultivo y por ende para su no consideración como materia prima para la fabricación de biodiesel, cotejado con información del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República de Argentina (2014).

Otro dato importante, respecto del análisis del IVIB de la materia prima algodón (*Gossypium spp*. *L.*) es que tanto esta, como la materia prima palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*), manifestaron compartir considerables porciones de territorio con similares clases agrologicas de uso del suelo y convergentes niveles de presión-estado-respuesta. Esta situación determinó como se observa en la tabla VIII que las prospecciones de sus sistemas productivos fueran calificadas como de moderada a fuerte presión sobre el ambiente (afección), así como también con respuestas institucionales de poca a moderada efectividad.

La materia prima algodón (*Gossypium spp*. *L.*) se descartó entonces porque no se catalogaron respuestas institucionales adecuadas para el manejo integrado del picudo (*Anthonomus grandis Boch*), agrologicamente su cultivo se tendría que desarrollar bajo las mismas condiciones y clases agrologicas que las del uso actual de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum L.*) y las de la palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*), fenómeno que hace en la práctica inviable su consideración como materia prima para la producción de biodiesel ya que estos dos cultivos están sumamente arraigados en la actualidad con la producción agrícola nacional y porque los costos de oportunidad para la sustitución de los mismos con algodón serían elevados. En relación a la producción de palma africana (*Ealaeis guineensis Jac.*), es oportuno indicar que en Guatemala el cultivo de la misma inició alrededor del año 1985 con la desaparición del cultivo del algodón (*Gossypium spp*. *L.*) y principalmente para la producción de aceite comestible MAGA (2014).

En la actualidad el país es autosuficiente para el aceite comestible y cuenta con capacidad para exportar sus excedentes, siendo su principal mercado la república de México. A pesar de que el aceite de palma no es utilizado para producir biodiesel, la producción de palma africana manifestó de moderada a fuerte presión sobre el estado del ambiente y una moderada a débil respuesta institucional (tabla VIII) de acuerdo a recientes problemas ambientales referidos a su industria. Se calcula por el MAGA (2014) que, existen 553,419 hectáreas potenciales en el país

para el cultivo de la palma africana (*Elaies guineensis Jac.*). El área de siembra para el año 2017 se estimó superior a las 150,000 hectáreas aproximadamente.

La trans-esterificación se logra mezclando el aceite vegetal, con un alcohol liviano y un catalizador. Al cabo de un tiempo de reposo, se separan por decantación el biodiesel y la glicerina. Sí fue correctamente elaborado, el biodiesel que se obtiene solo requiere filtrado antes de ser usado y se lo puede almacenar igual que el gasoil, como exponen Roltz *et al.* (2015). Sin embargo, para el lavado del biodiesel, con la intención de eliminar los excesos de alcohol, específicamente para retirar el glicerol residual, se demandan considerables cantidades de agua y así conseguir la eliminación completa de la glicerina que, bajo las actuales condiciones tecnológicas de producción en Guatemala, estiman Roltz *et al*. (2015), se requeriría de aproximadamente entre el 7 y el 10% en volumen (si bien la depuradora puede recuperar aproximadamente el 60% de esta agua), lo que equivaldría que para obtener 1 tonelada de biodiesel se debe gastar 3,137 litros de agua. Como referencia, la FAO (2010) reporta que, son alrededor de 820 litros de agua de irrigación la cantidad utilizada en promedio para producir comida suficiente para una persona durante un día.

El metanol agrega Green Peace (2008), es un compuesto volátil que puede entrar en combustión si se somete a una fuente de ignición, la inhalación de los vapores de metanol causa trastornos nerviosos, pérdida del conocimiento y la ingestión causa ceguera y alteraciones neurocerebrales; por tal razón, este compuesto debe estar bien almacenado en envases de acero inoxidable. Además, sugiere que se deben poseer sistemas de alarma y controladores de incendio a base de CO_2.

Para el caso del hidróxido de sodio que es una sal de reacción violenta con el agua, y con desprendimiento de gran cantidad de calor, de deben controlar las reacciones del NaOH en tanques agitados. El recipiente de almacenamiento debe estar protegido de la humedad y ser de un material inoxidable recomiendan Roltz *et al.* (2015).

El biodiesel puede entrar en combustión fácilmente por lo que se recomienda no utilizar ninguna fuente de ignición cerca de su almacenamiento indican Roltz *et. al.* (2015) por lo que, consolidan la recomendación de Green Peace (2008) de colocar sistemas de alarma contra incendios y tener control de nivel en cada uno de los recipientes de mezclado, sedimentadores, reactores y evaporadores, así como controles de temperatura en los reactores con el fin de controlar la reacción. En toda la planta agregan, se deben restringir las fuentes de ignición y tener sistemas de control de incendios (alarmas y extintores de CO_2) y se deben evitar fugas de metanol y almacenarlo en un lugar ventilado. En zonas vírgenes indica Green Peace (2008), el cultivo de la palma africana (*Elaeis guineensis Jac*.) como materia prima para la fabricación de biodiesel implica deforestación y perdida de la biodiversidad. En países en vías de desarrollo como Guatemala, con débil institucionalidad y cumplimiento de la legislación ambiental, el costo de las medidas de mitigación y seguridad industrial, especialmente el tratamiento de aguas residuales, se puede convertir en estímulo para verter las aguas sin tratamiento a ríos, como lo ocurrido en el considerado ecocidio del 2015 en el Río La Pasión, en el municipio de Sayaxché en el departamento de El Petén, Guatemala.

Por estas razones, muchas veces ha sido cuestionado el cultivo de la palma africana (para aceite comestible o materia prima de biocombustible) y aún está sujeto a superar varios problemas ambientales y prejuicios. En ese sentido, se hace necesario seguir investigando lugares, insumos y procedimientos que hagan esta alternativa más viable técnica, social y económicamente. En todo caso, la calificación de la importancia bioeconómica relativa, realizada para la producción de la materia prima palma africana *(Elaeis guineensis Jac.)* reportó en la presente investigación una categoría de moderada a fuerte. La calificación fue debida principalmente por los resultados del EIA que detectaron una considerable magnitud de los impactos negativos provocados por la contaminación y degradación del recurso agua y pérdida de biodiversidad, especialmente en los

sistemas lacustres donde se vierten las aguas residuales y provoca la muerte de la fauna acuática, así como también por el incremento en la conflictividad social por la ampliación de las áreas de monocultivo en las diferentes regiones del país donde se establecen sus plantaciones.

Conforme a la presión (magnitud del impacto ambiental negativo), cambio en el estado del ecosistema y la respuesta institucional, en cuanto a la eficaz implementación de planes de mitigación y contingencia para abordar los cambios negativos al ambiente, se pudo concluir que de las 69 materias primas listadas para la fabricación de biodiesel solo 3: Higuerrillo (*Ricinus communis L.*); Piñón (*Jatropha curcas L.*) y Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) presentaron viabilidad bioeconómica en la actualidad para constituirse en materias primas para la fabricación del biodiésel a nivel industrial y en una escala nacional.

Respecto de lo anterior, las materias primas higuerillo (*Ricinus communis L.*) y piñón (J*atropha curcas L.*) obtuvieron los mejores valores de importancia bioeconómica relativa, mientras que la palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*) como se observa en la tabla IX, se calificó con un valor de moderado a fuerte.

Tabla IX. Descripción del valor de importancia bioeconómica para las 05 materias primas priorizadas para la fabricación de biodiesel.

Materia prima promisoria para biodiesel	IVIB	Descripción
Higuerillo *(Ricinus communis L.)*	82	Ambiente con débil presión y afección en su estado, las respuestas institucionales pueden ser efectivas por lo que tiene una calificación fuerte de valor de importancia.
Piñón *(Jatropha curcas L.)*	81	Ambiente con débil presión y afección en su estado, las respuestas institucionales pueden ser efectivas por lo que tiene una calificación fuerte de valor de importancia.
Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*)	67	Ambiente con moderada a fuerte presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán moderadamente efectivas lo que califica a la materia prima con importancia moderada a fuerte.
Algodón (*Gossypium spp.*)	40	Ambiente con moderada a fuerte presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán poco efectivas lo que califica a la materia prima con una importancia bioeconómica relativa de débil a moderada.
Girasol *(Elianthus spp. L.*)	29	Ambiente con fuerte presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán poco efectivas por lo que la materia prima se califica con una importancia bioeconómica relativa de débil.

Fuente: Elaboración propia (2018)

7.2 Optimización de la producción de materias primas para biodiesel

Para las 03 materias primas priorizadas se establecieron las proyecciones de rendimientos bajo tres escenarios (pesimista, más probable y optimista). Los volúmenes de biodiesel que pueden ser fabricados con los aceites crudos

provenientes de los 03 cultivos también fueron proyectados. De igual manera se estimó, con el análisis de las proyecciones de la demanda de diésel en Guatemala MEM (2014) el impacto por sustitución del carburante fósil que la producción de biodiesel puede generar en el país para un periodo de 20 años.

Como se observará más adelante, debido a la insuficiencia para satisfacer una demanda (consumo) de diésel de manera significativa (sólo el 5%) con la producción de las materias primas con mejor potencial bioeconómico (Higuerillo y Piñón), fue necesario estimar la producción de biodiesel (aplicación del modelo de optimización o programación lineal) proveniente de los tres cultivos priorizados que incluyó a la palma africana (*Elaeis guineensis Jac*) que tuvo una priorización bioeconómica de moderada a fuerte.

Haciendo la salvedad de la inclusión de la palma africana, el modelo tomó en cuenta para los 03 cultivos, restricciones como: cantidad de tierra apta para cada especie; rendimiento agronómico promedio; proporción del consumo de diésel a ser sustituida con biodiesel, entre las otras definidas previamente, para arrojar una sustitución con biodiesel del 80% del consumo de diésel para un horizonte de 20 años en las condiciones de Guatemala.

7.2.1 Maximización y plan de sustitución

La función objetivo de optimización se construyó de manera que se pudiera obtener la mayor producción nacional de biodiesel, tomando como base la variable de decisión: “Hectáreas cosechadas” (tabla X).

Tabla X. Optimización del área apta de producción de los 03 cultivos priorizados.

Cosecha	Siembra	Cultivo	Área (Ha)	Ha acumuladas	Ha disponibles	% área Apta
AÑO 01	AÑOS 1 al 20	HIGUERILLO	35177.7	35177.7		
AÑO 02	AÑOS 2 al 20	HIGUERILLO	890.8	36068.5	121847	29.6
AÑO 03	AÑO 1	PIÑÓN	21195	21195		
AÑO 04	AÑO 2	PIÑÓN	1232.6	22427.6		
AÑO 05	AÑO 3 al 20	PIÑÓN	1232.6	23660.2	53252	44.4
AÑO 06	AÑO 1	PALMA	16063	16063		
AÑO 07	AÑO 2	PALMA	706.2	16769.3		
AÑO 08	AÑO 3	PALMA	706.2	17475.5		
AÑO 09	AÑO 4	PALMA	706.2	18181.7		
AÑO 10	AÑO 5	PALMA	706.2	18888		
AÑO 11	AÑO 6	PALMA	35657.3	54545.4		
AÑO 12	AÑO 7	PALMA	1412.4	55957.8		
AÑO 13	AÑO 8	PALMA	1412.4	57370.3		
AÑO 14	AÑO 9	PALMA	1412.4	58782.8		
AÑO 15	AÑO 10	PALMA	1412.4	60195.3		
AÑO 16	AÑO 11	PALMA	232306.6	292501.9		
AÑO 17	AÑO 12	PALMA	5649.9	298151.9		
AÑO 18	AÑO 13	PALMA	5649.9	303801.9		
AÑO 19	AÑO 14	PALMA	5649.9	309451.8		
AÑO 20	AÑO 15 al 20	PALMA	5649.9	315101.8	511901	61.5

Fuente: Nueva Visión-PRO SOL (2010) y elaboración propia (2018)

La función objetivo propuso optimizar la producción nacional de biodiesel, por año de cosecha a lo largo del período u horizonte de 20 años. Esto implicó maximizar la suma del producto del rendimiento de biodiesel por hectárea, dado el número de hectáreas optimas cultivadas del total de área disponible para las tres especies, establecida mediante sistemas de información geográfica. Determinando por programación lineal el porcentaje óptimo de área apta para cada cultivo, se procedió para estas áreas optimizadas, como se aprecia en la tabla XI, considerando el rendimiento promedio de las materias primas reportadas por el MAGA (2014), al cálculo de la producción global de biodiesel en toneladas

equivalentes de petróleo (Tep), que es la unidad de medida estandarizada para expresar técnicamente la energía producida para la sustitución del petróleo y sus derivados.

Para el establecimiento de la base de consumo en el año 01 ó 2014 en el plan de sustitución de diésel por biodiesel, se tuvo como referencia lo indicado por la OLADE, Organización Latinoamericana de Energía (2014) para Guatemala que, en su informe de balance energético para para el país expresa la línea de base en 1,296,547.9 tonelada equivalente de petróleo (Tep) importadas.

El consolidado de rendimientos promedio, así como la producción global de biodiesel, se presenta en términos de la proporción de conversión de semilla-fruto a aceite (biodiesel) y con ello el cálculo de la producción global del biocarburante en toneladas equivalentes de petróleo (Tep) capaces de sustituir las Tep del diésel de origen fósil (Tabla XII).

En el caso del *Ricinus communis L.* (higuerillo), considerado cultivo anual, la producción adicional se consideró desde el año 1, ya que esta especie se cosecha en el mismo año que se establece en el campo. En este caso, siendo que el higuerillo no es una especie permanente, se asume que la política de Estado establecerá mecanismos para que los productores de higuerillo (*Ricinus communis L.*) mantengan la producción en las áreas en que lo han plantado, durante los 20 años del período de análisis.

Tabla XI. Producción bruta de biodiesel al año 20 de cultivo de las tres materias primas priorizadas para Guatemala.

Materia prima cultivada	Ha. aptas acumuladas para la producción de materias primas	Rendimiento promedio de producción de semilla TM /Ha	Producción de semilla – fruto TM	Rendimiento promedio de aceite	Rendimiento promedio de producción de biodiesel TM / Ha	Producción bruta de Biodiesel por Materia Prima (Tep)
Higuerillo	36,068.5	2.2	81,154.2	47.8%	1	39,179.6
Piñón	23,660.2	2.3	55,128.4	48.6%	1.1	27,060.3
Palma Africana	315,101.8	5.8	1,840,194.7	52.8%	3	971,622.8

Fuente: Elaboración propia. 2018.

Premisa importante fue que la producción de las áreas de cosechas establecidas como óptimas, serán destinadas exclusivamente para la producción de materias primas para biodiesel.

Lo anterior es importante en la definición de políticas públicas, especialmente en el caso de la palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*), ya que, de no ser así, el potencial nacional se vería afectado considerablemente. En cumplimiento de esta premisa, se propone en el plan de sustitución una transición progresiva hacia la realización de mezclas con mayores proporciones de biodiesel. En efecto, como se observa en la tabla XII, la propuesta es que los años 01 y 02 del análisis, se cubra solo un 3% de la demanda nacional de diésel.

Tabla XII. Proyección de sustitución de diésel con la producción bruta optimizada de biodiesel para las 03 materias primas priorizadas en Guatemala.

Años	Producción de biodiesel (Tep) a base de las materias primas Higuerillo, Piñón y Palma Africana	Consumo Proyectado de Diésel (Tep) en Guatemala	Aporte de BiodeselBiodiesel para sustitución de Diésel
2014 =	39179.6	1296547.9	3
2	40192.9	1329385.2	3
3	68648.8	1362222	5
4	70337.6	1395058.7	5
5	71941.9	1427895.4	5
6	147261.4	1460732.2	10
7	150554.6	1493568.9	10
8	153847.7	1526405.7	10
9	157140.8	1559242.4	10
10	160433.9	1592079.1	10
11	327623	1624915.9	20.1
12	334209.2	1657752.6	20.1
13	340795.4	1690589.4	20.1
14	347466.1	1723426.1	20.1
15	354052.4	1756262.8	20.1
16	1442723.4	1789099.6	80.6
17	1469237.2	1821936.3	80.6
18	1495666.6	1854773.1	80.6
19	1522180.4	1887609.8	80.6
20	1548609.8	1920446.5	80.6

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cualquier proporción mayor, no es recomendable, porque en esos años solo se obtiene biodiesel de Higuerillo (*Ricinus communis L.*), lo que significaría una expectativa poco realista en el sentido de que habría una siembra masiva de este

cultivo. En todo caso, aún si se sembrara el 100% del área apta para este cultivo, únicamente se podría atender el 9% de la demanda nacional. En los años 03, 04 y 05 (tabla XII), se recomienda cubrir el 5% de la demanda nacional de diésel, esto al iniciar la cosecha de Piñón *(Jatropha curcas L.)* a partir del año 03. En los años 06 al 10, se recomienda cubrir el 10% de la demanda nacional (o equivalente a la mezcla B10) ya que en el año 06 inicia la producción de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*.).

Consistente con la política nacional en materia energética, se recomienda en el plan de sustitución que del año 11 al 15 se cubra el 20% de la demanda nacional de diésel (B20) y, del año 16 en adelante el 80 %.

Los resultados presentados indican que, durante los dos primeros años, del plan de producción de biodiesel, únicamente habrá producción basada en semilla de Higuerillo *(Ricinus comunis L.),* pues esta planta produce anualmente desde el momento de la siembra. Al respecto, el modelo de optimización aconseja que durante el primer año sean sembradas 35,178 hectáreas y en el segundo año 891 hectáreas adicionales, para un total acumulado de 36,069 hectáreas.

Se espera que, a lo largo de la duración del plan de producción de biodiesel y sustitución del diésel, el área cultivada con Higuerillo (*Ricinus communis L.*) se mantenga constante a partir del segundo año. El área total cultivada con Higuerillo equivale al 30% del área apta para dicho cultivo en el ámbito nacional, ello implica que no habrá que ocupar toda el área potencialmente disponible si se quiere ser eficiente con la combinación de las especies a ser cultivadas. Eso se considera adecuado pues reduce la presión sobre el uso de la tierra y deja la opción a buscar áreas con el menor grado de conflictividad agraria. La producción de biodiesel generada por el área cultivada con Higuerillo (*Ricinus communis L.*) alcanza el 3% del consumo nacional de diésel estimada para los años 01 y 02. Eso implica que podría producirse una mezcla B3 para uso a nivel nacional en esos periodos.

A partir del tercer año de implementación del plan de optimización de la producción de biodiesel en Guatemala, las plantaciones de Piñón (*Jatropha curcas L.)* estarían ya en plena producción y harían un aporte significativo en la sustitución del diésel por el agrocombustible. En el primer año habría que sembrar 21,195 hectáreas con esta materia prima. Durante el segundo y tercer año habría que complementar con 1,233 hectáreas cada año para alcanzar un área acumulada de 23,660 hectáreas. El área acumulada cultivada con Piñón (*Jatropha curcas L.)* representa el 44% del área total apta para dicho cultivo en Guatemala. Ello implica que hay una holgura de más del 50% que permitirá ubicar las áreas mejor acondicionadas para dicha producción, en términos de menor conflictividad agraria, cercanía a carreteras e infraestructura de procesamiento. Para darle sostenibilidad a la producción de biodiesel, habría que asegurar que dicha área pueda ser cultivada con Piñón (*Jatropha curcas L.)* durante la vigencia que se propone.

Al sumar la producción de biodiesel generada con base en aceite crudo de semillas de Higuerillo *(Ricinus communis L.)* y Piñón *(Jatropha curcas L.)*, se estaría en capacidad de abastecer el 5% del consumo de diésel estimado para los años 2016 a 2018 ó del 3 al 5 del estudio. En ese periodo de tiempo todo el consumo nacional de diésel podría ser de una mezcla B5. A partir del sexto año la producción de semilla de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*.) entraría a fortalecer la producción de aceites y biodiesel. No obstante, la siembra de palma debe iniciarse desde el año 1, con un área de 16,063 hectáreas. En los 4 años siguientes habría que hacer adiciones de 706 hectáreas anuales. El sexto año del planteamiento seria crucial pues habría que plantar 35,657 hectáreas con Palma Africana, seguido de adiciones de 1,413 hectáreas anuales durante los siguientes 4 años.

Si se pretende alcanzar la meta de producción de biodiesel en torno del 80% del consumo nacional de diésel, en el año 11 de la propuesta habría que plantar 232,307 hectáreas con Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*.). Las adiciones de

área plantada con este cultivo deben ser en torno de 5,650 hectáreas anuales entre el año 12 y 15 para mantener un abastecimiento en ese período cercano al 20% del consumo nacional de diésel. Durante los 15 años de plantación de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), el área total acumulada con dicho cultivo alcanzará las 315,102 hectáreas, que representan 62% del área total apta para dicho cultivo en Guatemala y un porcentaje total de sustitución aproximado del 80% considerando la producción de las tres materias primas priorizadas. Los patrones de cultivo generados por el modelo propuesto, obedecen a las restricciones indicadas en la parte metodológica, y son consistentes con el propósito de maximizar la producción nacional de biodiesel aprovechando la diversidad agro ecológica que ofrece el país de Guatemala.

Evidentemente, utilizando solo Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (J*atropha curcas L.*), no es factible satisfacer de manera significativa la demanda nacional de biodiesel y la meta de sustituir con este biocombustible el 80% del diésel proveniente del petróleo sería factible sólo sí se incorpora la producción de materia prima Palma Africana *(Elaies guineensis Jac.)* que como se observó obtuvo un valor de importancia bioeconómico de moderada a fuerte. De esto, la necesidad de evaluar la sustentabilidad de la producción de las materias primas priorizadas como promisorias para la fabricación del biodiesel.

7.3 Evaluación bioeconómica de la producción y consumo de biodiesel

Para la evaluación bioeconómica se partió del grupo de indicadores recomendado para la toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe (Winograd, 1995), los cuales fueron concebidos usando también como marco el modelo Presión–Estado– Respuesta (P-E-R), que incluye a su vez los 4 sistemas o componentes bioeconómicos (social, económico, ambiental e institucional o político) como lo recomienda Mansour (2005).

Respecto de lo anterior, dentro del sistema económico, fue de trascendental importancia por sus implicaciones en la determinación de la utilidad bioeconómica y, por lo tanto, de los índices de explotación (W) y de regeneración o resiliencia (A), establecer la valoración económica y socio ambiental que la sociedad guatemalteca (consumidores y productores) le otorgan a la producción de materias primas para la fabricación y consumo de biodiesel. A continuación, se discute en torno a dicha valoración y posteriormente a la evaluación de la sustentabilidad basada en los índices e indicadores de la sustentabilidad.

7.3.1 Valor económico y socio ambiental del biodiesel

Se utilizó el Método de Valoración Contingente (MVC) para estimar el valor económico y socio ambiental que los productores y la sociedad guatemalteca en general le otorga a la producción de las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (*Jatropha curcas L.*); así también para la fabricación, comercialización y consumo del biodiesel proveniente de estas materias primas. Para el caso de la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), se utilizó el método de valoración económico – ambiental denominado Cambio en la Productividad (MCP) para establecer el valor económico ambiental que los productores le asignan a la actividad económica productiva y comercialización de esta materia prima en particular.

Se usaron dos métodos ya que para el caso de Piñón e Higuerillo, lo que deseamos averiguar son los cambios en el bienestar de las personas de los municipios con potencial para la producción de estas materias primas, ante proyecciones hipotéticas (contingentes) debido a que en la actualidad prácticamente no existen cultivos o plantaciones con estas especies en Guatemala. También porque este método (MVC), es comúnmente empleado para obtener la valoración económico ambiental de áreas naturales que, como en nuestro caso, cumplen fundamentalmente funciones de proveer recursos naturales

y de recreación dado el uso actual del suelo en las zonas delimitadas para la producción de estas materias primas.

El uso de la técnica de cambio de productividad (MCP), aplicada en Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*), se debió a que se supone una disminución en los "beneficios" por perdida de la productividad agrícola ocasionada por la degradación del medio ambiente (principalmente contaminación del agua y suelo) dada la intensidad de los sistemas de cultivo actuales de la Palma Africana en Guatemala y además, porque sí existe un mercado real para esta materia prima (costos de producción y precios de venta) siendo de las 03 materias primas priorizadas, la única que cuenta con plantaciones establecidas de este cultivo en el país. El análisis de la degradación ambiental por la técnica de cambio de productividad (MCP), se hizo principalmente desde la óptica de que la contaminación del agua y suelo (identificada a través del EIA) conlleva a su vez pérdida de biodiversidad (fauna acuática principalmente), degradación de los recursos suelo y agua, menor calidad de los servicios ambientales que puede ofrecer el sistema de cultivo como serían la recreación (pesca por ejemplo), el control de inundaciones y la protección contra el viento, entre otros que, finalmente repercute en incrementar la conflictividad social que a su vez aumenta los costos de transacción (gastos de venta) así como operativos y por lo tanto, en la productividad o rentabilidad neta del sistema de producción agrícola.

Los supuestos en los que se basaron ambos métodos fueron:

1. El bienestar individual puede ser medido aún aquel que se genera por la provisión gratuita o a muy bajo costo.
2. Los individuos maximizan su bienestar eligiendo la mejor combinación de bienes, servicios y ahorros dadas sus restricciones.
3. El bienestar social es la suma del bienestar de los individuos.
4. El bienestar total es igual a la suma del bienestar individual de los consumidores y productores constituyéndose en el excedente total.

5. El bienestar generado por bienes y servicios ambientales suele ser decreciente.

La pregunta clave, que a su vez permitió contextualizar y establecer la disposición a pagar (DAP) y ser compensados (DAC) fue:

"*Suponga que se radicalizan las medidas para no usar combustibles fósiles (petróleo) derivado de las políticas, acuerdos y leyes que permitirán enfrentar los efectos negativos del cambio climático. Suponga además que su municipio cuenta con las características para la producción de materias primas agrícolas para la fabricación de biodiesel. También que, mediante políticas gubernamentales, se garantizará por lo menos para 20 años los precios, tanto de la tonelada métrica de materia prima como del litro de biodiesel*".

De acuerdo a lo anterior y sabiendo que usted contribuirá en el futuro a reducir la contaminación del medio ambiente, así como a mitigar los efectos del cambio climático *¿Cuánto estaría dispuesto a pagar (DAP) por litro de biodiesel? ¿Cuánto estaría dispuesto a recibir o ser compensado (DAC) por la producción y comercialización de tonelada métrica de materia prima?* En relación a la DAP y DAC, los rangos de los valores utilizados se presentan en la tabla XIII en dólares de Estados Unidos, sin embargo, la encuesta se realizó en quetzales que es la moneda guatemalteca (tipo de cambio Q. 7.5 quetzales por US $ 1 dólar estadounidense). Para la definición de dichos rangos se llevó a cabo un pre muestreo que a través de las técnicas de ceros reales versus ceros protestas y la del diagrama de cajas, permitieron identificar los niveles máximos y mínimos en cuanto a la disposición a pagar por litro de biodiesel (DAP) y a la disposición a ser compensados (DAC) por tonelada de materia prima producida y comercializada.

Tabla XIII. Rangos de disposición a pagar (DAP) y a ser compensados (DAC) en el análisis de valoración económica y socio ambiental de la producción y comercialización de biodiesel.

Disposición a pagar (US $ / Litro)	**Disposición a ser compensado (US $ por TM de materia prima)**
0.8 ó más	440 ó menos
0.8 a 0.8	440 a 513
0.7 a 0.8	513 a 587
0.6 a 0.7	587 a 660
0.5 a 0.6	660 a 773
0.5 ó menos	773 ó más

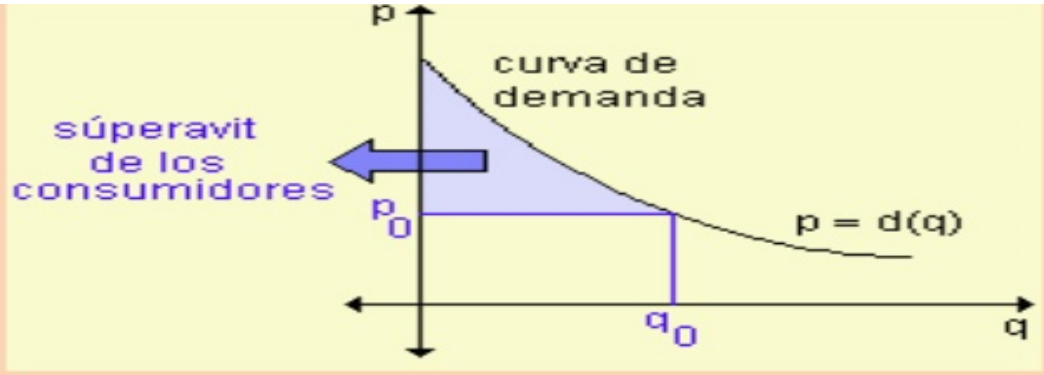
Fuente: Elaboración propia (2018)

Como se indicó, el cálculo del excedente total o bienestar social correspondió a la sumatoria del excedente del consumidor más el excedente del productor.

El excedente del consumidor (función de demanda) está dado por el área entre las curvas p =d (q) y p = po como se observa en la figura 7.

Similar situación ocurrió en torno al excedente del productor y la función de oferta que se detalla en la figura 8.

Los valores de superávit o excedentes (del consumidor y del productor) pudieron encontrarse con la resolución de integrales definidas, como se observa de manera gráfica a continuación.

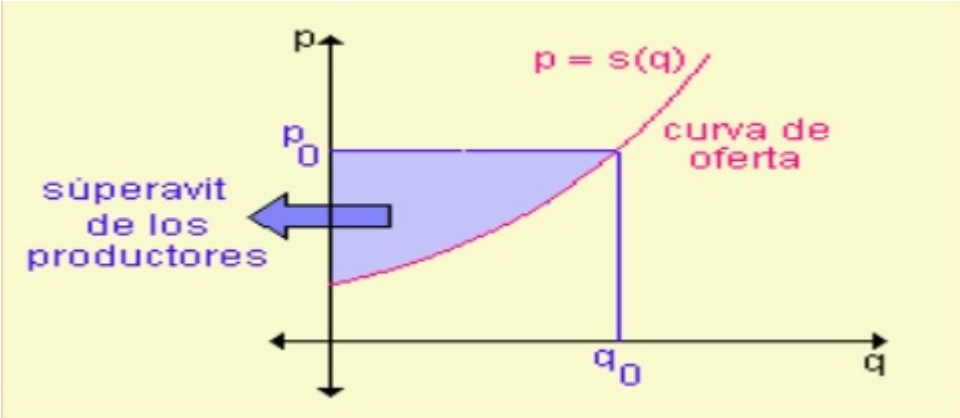


$$\int_0^{q_0} [d(q) - p_0]\,dq$$

Figura 7. Diagrama para el cálculo del excedente del consumidor. Fuente: CEPAL, 1997.

En el caso del excedente del productor, si algunos productores estuviesen dispuestos a proporcionar la materia prima a un menor precio que el p0 de equilibrio (Fig. 8), el área total de las diferencias entre el precio de equilibrio y los precios más bajos a los que los productores venderían la materia prima se considera como una entrada adicional para dichos productores constituyéndose en el superávit mismo.

El área total bajo la curva de la oferta q0 y q q0 será la cantidad mínima total que los productores están dispuestos a obtener por la venta de q0 toneladas de materia prima. El área total bajo la recta p p0 es la cantidad realmente obtenida.



$$\int_0^{q_0} [p_0 - s(q)]dq$$

Figura 8. Diagrama para el cálculo del excedente de los productores. Fuente: CEPAL (1997).

La diferencia entre estas dos áreas, es la forma como calculamos el excedente (superávit) de los productores, usando para ello la resolución de una integral definida que considera que US $ (q) es una función de oferta con precio p0 de equilibrio y oferta q0 de equilibrio.

En la tabla XIV se presentan las funciones de demanda y oferta obtenidas para las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerrillo (*Ricinus communis L.*). De igual manera, se presenta el índice de correlación para cada modelo o función lineal.

Los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos nos indican que existe relación lineal de dependencia entre las dos variables aleatorias cuantitativas analizadas, siendo estas, precio y cantidad de consumidores - productores. Lo cual nos permite establecer con certeza estadística la disposición a pagar (DAP) o función de demanda, así como también la función de oferta o disposición a ser compensados (DAC).

Tabla XIV. Funciones de demanda y oferta para las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con sus respectivos índices de correlación (R^2)

Materia Prima	**Función de demanda**	**Índice de correlación (R^2)**	**Función de oferta**	**Índice de correlación (R^2)**
Piñón	y=-0.0005(X) + 0.8687	0.9776	y=0.3087(X) + 458.58	0.9726
Higuerillo	y= -0.0001(X) + 0.813	0.8279	y=0.0722(X) + 512.62	0.7722

Fuente: Elaboración propia (2018)

A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables. En ese sentido, el coeficiente de correlación lineal nos permitió, por un lado, establecer la covariación conjunta de las dos variables (precio y cantidad de consumidores-productores), la cual es aceptable para las funciones evaluadas (demanda de litros de biodiesel y oferta de toneladas métricas de materia prima) y, por otro lado, garantizarnos que se tuvo la universalidad suficiente para poder establecer las comparaciones respectivas en los dos casos. Obsérvese de manera ilustrada los resultados obtenidos en las figuras 9 y 10 para el caso del Piñón (*Jatropha curcas L.*) y en las tablas 11 y 12 para el higuerilo (*Ricinus communis L.*).

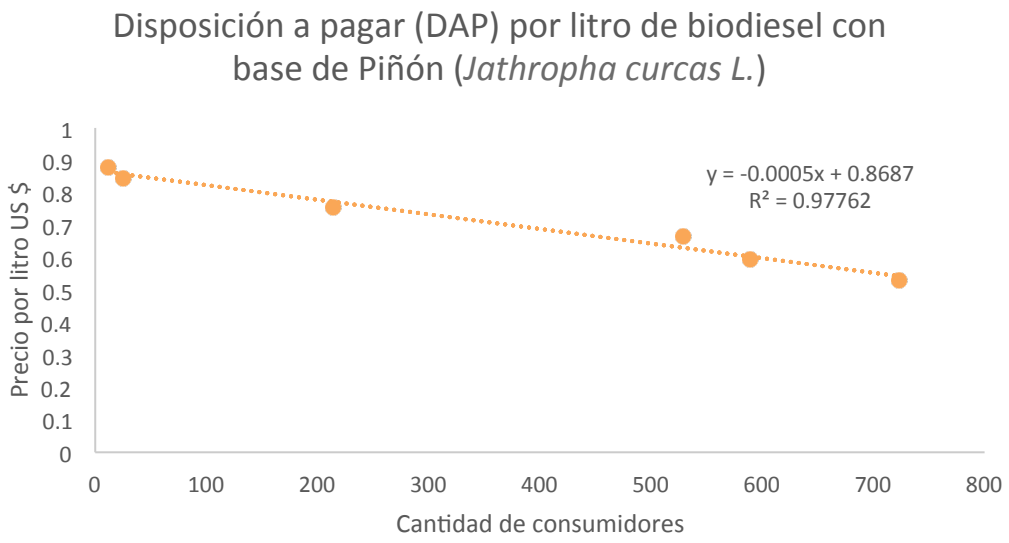


Figura 9. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*). Fuente: Elaboración propia (2018).

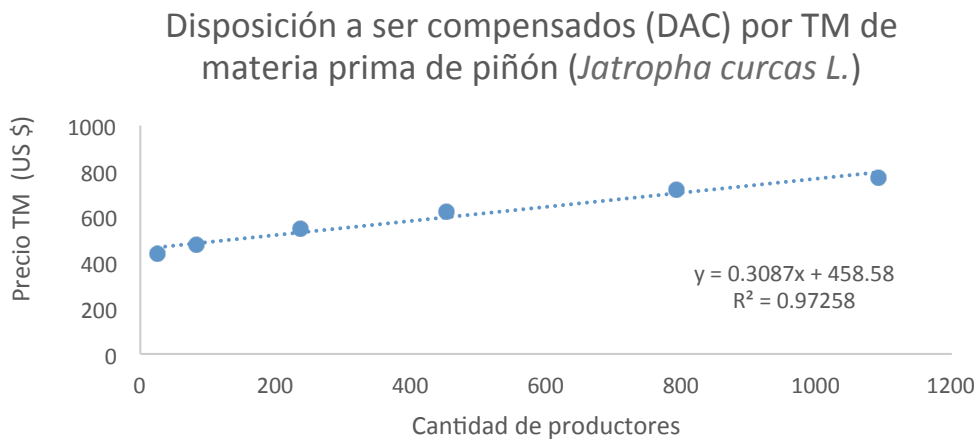


Figura 10. Gráfica de la función de oferta de las toneladas métricas de la materia prima a base de Piñón *(Jatrhopha curcas L*) producidas y comercializadas para la fabricación de biodiesel Fuente: Elaboración propia (2018).

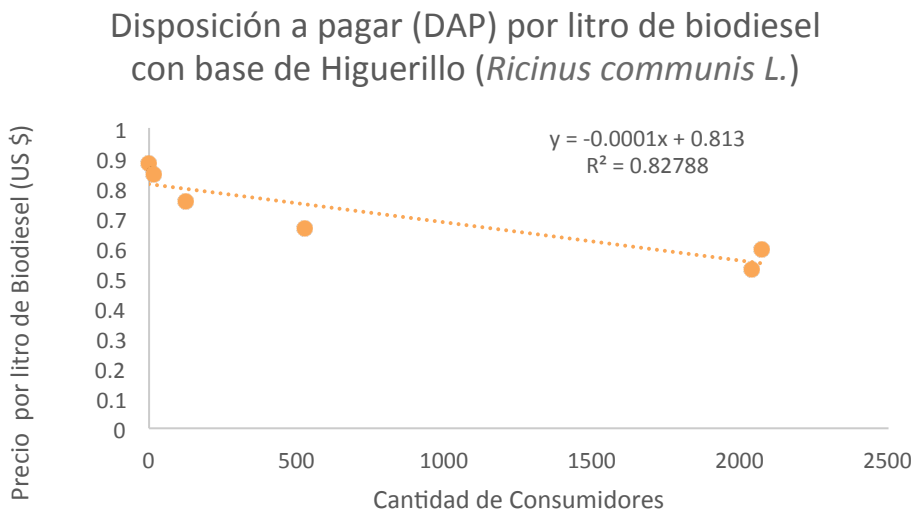


Figura 11. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.*). Fuente: Elaboración propia (2018).

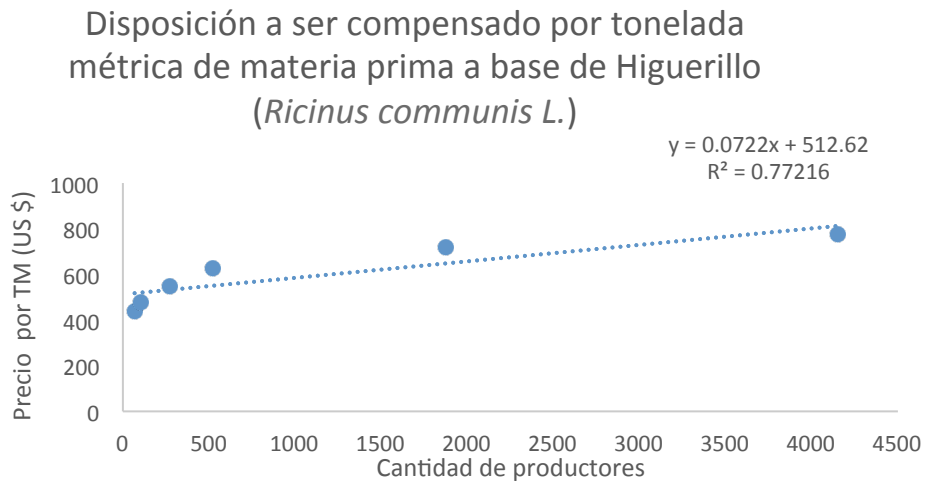


Figura 12 Gráfica de la función de oferta de las toneladas métricas de la materia prima a base de Higuerillo *(Ricinus communis L.*) producidas y comercializadas para la fabricación de biodiesel Fuente: Elaboración propia (2018).

El índice de correlación, como medida de covariación conjunta nos informa además del sentido de la pendiente de la curva su relevancia ya que la misma

está acotada y permite la comparación respectiva. Así, para la función de demanda, obtuvimos pendiente negativa para ambas materias primas, pero con una mayor correlación en el caso del Piñón (0.9) en comparación con el Higuerillo (0.8). La función de oferta presentó una pendiente positiva encontrándose de igual manera una elevada correlación para el Piñón (0.9) y moderada a elevada para el Higuerillo (0.7).

El modelo pasó las pruebas de significancia óptimas. Otros modelos fueron evaluados y descartados por no ser significativamente relevantes. El modelo econométrico que se estableció corresponde a una distribución de Poisson, debido a la disposición de los datos obtenidos en la encuesta.

7.3.1.1 Excedente del consumidor para el Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis* L.)

Para establecer el excedente del consumidor, se partió de las funciones de demanda indicadas en los párrafos anteriores. A estas funciones se les calculó su integral definida para así determinar el área bajo la curva dentro de los límites de cantidad de consumidores con disposición pagar (DAP) desde US $ 0.8 ó más por litro de biodiesel (límite inferior) y expandiendo la demanda de manera proporcional hasta alcanzar la cantidad de consumidores dispuesto a pagar (DAP) US $ 0.6 ó menos por litro de biodiesel (límite superior).

Para el caso del Piñón (*Jatropha curcas L.*) de un total de 4,541 datos para los 07 municipios estudiados, 12 manifestaron una disposición a pagar de US $ 0.88/litro de biodiesel, constituyéndose de esta manera en el límite inferior.

El sexto grupo de 2,092 consumidores (límite superior) reportó una disposición a pagar de (DAP) de US $ 0.6 ó menos por litro, para de esta manera, con base a la sumatoria de las diferencias entre cada grupo, constituir una cantidad de 723 consumidores donde ya no existe expansión de la demanda.

Asumiendo que cada persona de este grupo de consumidores en el límite superior consume 01 litro de biodiesel, el precio de equilibrio obtenido por cada litro a base de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*) sería de US $ 0.51.

La ganancia de los consumidores asciende a US $ 2,940.1 cuando el nivel de venta se sitúa en los 2,092 litros y a un precio de US $ 0.5 por litro.

Según estadísticas en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2014) así como de la OLADE (2013), el volumen de las importaciones y/o consumo proyectado de diésel, de no existir cambios en la matriz energética para el 2030, donde se plantea una meta de sustitución del 80% por biodiesel, sería del orden de los 2,175 millones de barriles.

Con base a cálculos efectuados, el aporte óptimo por maximización con la contribución para la fabricación de biodiesel a través del cultivo y producción de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*) sería del 6.3% en relación al área total disponible para los tres cultivos. Esto representa, del total de los 2,175 millones de barriles (total del área en producción con las 03 materias primas), un volumen de 137.2 millones de barriles de biodiesel proveniente del Piñón.

Por lo tanto, si 159 litros hacen un barril de biodiesel y se asume una venta de 2,092 litros, equivalente a 13.2 barriles, que generan una ganancia o contribución parcial para los consumidores de US $ 2,940 dólares; para los 137.2 millones de barriles, correspondería un excedente total del consumidor de biodiesel a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*) en Guatemala de aproximadamente ciento noventa y dos millones de dólares estadounidenses (US $ 192,879,507.4).

Para el caso del Higuerillo (*Ricinus communis L.*) de un total de 8,372 datos, de los 15 municipios estudiados, 15 consumidores manifestaron pagar en promedio US $ 0.85 / litro de biodiesel, constituyéndose de esta manera en el límite inferior de la integral definida. El quinto grupo, conformado por 4,774 consumidores, estarían dispuestos a pagar (DAP) un precio mínimo de US $ 0.6 ó menos, para

constituirse en el límite superior conformado por el bloque de 2,037 consumidores donde ya no se expande la curva de la demanda.

Asumiendo que la máxima ganancia se obtiene con el grupo de 2,037 consumidores y que cada uno de estos consume 01 litro, el precio de equilibrio obtenido por litro de biodiesel a base de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.*) es de US $ 0.6

La ganancia parcial de los consumidores asciende a US $ 2,108.9 cuando el nivel de venta se sitúa en los 4,774 litros a un precio de US $ 0.6 el litro.

Considerando el dato de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2014) así como el de la OLADE (2013), en referencia a que el volumen de las importaciones y/o consumo proyectado de diésel, de no existir cambios en la matriz energética para el 2030 (año meta para la sustitución del 80% de diésel por biodiesel), sería del orden de los 2,175 millones de barriles de diésel, y con base a los cálculos efectuados, el aporte de contribución para la fabricación del bio carburante a través del cultivo y producción de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.*) es de 9.6% en relación al total de área disponible, se estima una cantidad de 209.24 millones de barriles de biodiesel proveniente de esta materia prima. Por lo tanto, sí 159 litros hacen un barril de biodiesel y se conoce que, con una venta de 4,774 litros, equivalente a 30 barriles, se genera una ganancia o contribución parcial de US $ 2,108 dólares, para los 209.2 millones de barriles que le correspondería al Higuerillo (*Ricinus communis L.*), se obtendría en Guatemala un aproximado de excedente o ganancia para el consumidor de biodiesel proveniente de esta materia prima del orden de los noventa y dos millones de dólares estadounidenses (US $ 92,431,117.1).

7.3.1.2 Excedente del productor con Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*)

El excedente del productor para el Piñón (*Jatropha curcas L.*) está representado por el área bajo la curva de la oferta. Se delimitó como el límite inferior en la cantidad de 25 productores, los cuales reportan estar dispuesto a ser compensados (DAC) por una cantidad de US $ 440 ó menos por tonelada métrica (TM) de esta materia prima.

Al expandirse la curva de la oferta con posiciones más elevadas de precio para ser compensados, encontramos que existen diferentes cantidades de productores dispuestos a producir sí se les compra la materia prima a valores superiores hasta llegar al sexto grupo de 1,092 productores que producirían sí son compensados con US $ 773 ó más por TM de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*). De acuerdo a la información procesada, en este sexto grupo de 1,092 productores en que deja de expandirse la curva de la oferta y es donde encontramos el límite superior de la integral definida, le corresponde a un total de 2,682 productores. Sí la curva de la oferta para la producción de materia prima en una hectárea de Piñón (*Jatropha curcas L.)* se representa con el modelo y = 0.3087 X + 458.5 y asumimos, conforme a lo reportado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2014), un rendimiento promedio de 2.5 TM por hectárea (Ha) en suelos marginales, así como también que cada uno de los 1,092 productores aporta una hectárea de cultivo, tenemos un precio de equilibrio de US $ 1,301.3 si la producción asciende a las 2,730 TM. Obteniéndose una utilidad, ganancia, superávit o excedente del productor total bajo este comportamiento de US $ 63,333,033.7 .

Para una sustitución del 80% de diésel por biodiesel, se ha estimado el cultivo de 53,252 hectáreas de piñón (*Jatropha curcas L.*) en un período de 15 años y con un rendimiento promedio sostenido de 2.5 TM / Ha. Con este comportamiento se obtiene una ganancia parcial de US $ 3,349,351.6 para 1,092 Has. Lo que

correspondería a una ganancia o utilidad total para los productores en un aproximado de ciento sesenta y tres millones de dólares estadounidenses (US $163,333,033.7).

Para el caso del Higuerillo (*Ricinus communis L.*), el excedente del productor está representado por el área bajo la curva del modelo y = 0.0722 X + 512.6. Se delimitó como límite inferior la cantidad de 68 productores que reportan estar dispuesto a producir sí son compensados (DAC) con una cantidad de US $ 440 ó menos por TM de esta materia prima. Al expandirse la curva de la oferta con posiciones más elevadas de precio para ser compensados, encontramos que existe un grupo de 4,149 productores dispuestos a producir y vender sí se les compensa económicamente con valores de US $ 773 ó más. Esto permite establecer un límite superior con la cantidad 6,980 productores.

Sí la curva de la oferta para la producción de materia prima en una hectárea de Higuerillo *(Ricinus communis L.)* se representa con y = 0.0722 X + 512.6 y asumimos conforme a lo reportado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2014), un rendimiento de 3.0 TM /Ha (suelos marginales), así como que cada uno de los 4,149 productores aporta una hectárea de producción, tenemos un precio de equilibrio de US $ 1,411.2 si la producción asciende a las 12,445.5 TM. Obteniendo una utilidad, ganancia, superávit o excedente para el productor de esta materia prima de US $ 30,169,625.3 .

La ganancia parcial con el cultivo de 4,149 hectáreas y la producción aproximada de 12,445.5 TM sería de US $7,969,984.5 Con este comportamiento para una sustitución del 80% de diésel por biodiesel, se ha estimado por optimización a través de programación lineal, el cultivo de 36,069 hectáreas de Higuerillo (*Ricinus communis)* en el territorio nacional de Guatemala para un período de 15 años. En tal sentido, la ganancia o excedente total de los productores bajo estas condiciones se estima en un aproximado de sesenta y nueve millones de dólares estadounidenses (US $ 69,286,423.6).

7.3.1.3 Excedente total con Piñón (*Jatropha curcas L.*) e higuerillo (*Ricinus communis L.*)

En la tabla XV se presentan los excedentes de los consumidores de biodiesel, así como también el de los productores de materia prima a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) en Guatemala.

Tabla XV. Excedente total del consumo de biodiesel y de su producción con base en las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) usadas para su fabricación en Guatemala.

Materia Prima	Excedente del Consumidor (US$)	Excedente del productor (US $)	Excedente Total (US $)
Piñón	192,879,507.4	163,333,033.7	356,212,541.1
Higuerillo	92,286,423.5	69,286,423.6	161,717,540.7
Sub Total	285,310,624.5	232,619,457.3	517,930,081.8

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo a la teoría económica de Spangerberg (2005), el equilibrio de mercado refleja la manera como este asigna los recursos escasos. Para nuestro estudio, observamos una economía del bienestar del orden de los quinientos diez y siete millones de dólares estadounidenses (US $ 517,930,081.8), lo cual evidencia que conforme a las disposiciones a pagar (DAP) y ser compensados (DAC), el mercado asignaría de manera deseable los recursos ya que, tanto los compradores (US $ 285,310,624.5) como los productores, en su rol también de comercializadores de materia prima, obtendrían beneficios económicos (US $ 232,619,457.3) cuando participan en estos mercados.

Los equilibrios de mercado modelados ocasionan máximos beneficios y, por tanto, el máximo bienestar total según Pearce (1985). En el caso del mercado del biodiesel y su producción de materias primas para la fabricación del biocarburante a base de Piñón *(Jatropha curcas L.)* e Higuerillo (*Ricinus communis L.*), observamos que en un 55% del bienestar social o total está determinado por el bienestar o excedente de los consumidores del biodiesel. Respecto del menor

beneficio para el sector productivo (45% del bienestar generado) correspondiendo como se observó en aproximadamente dos cientos treinta y dos millones de dólares estadounidenses (US $232,619,457.3), se reafirma la necesidad de que en la promoción de esta industria en el país se requerirá de políticas agrarias encaminadas a la generación de incentivos y protección de los productores primarios de las materias primas. De manera específica respecto a los excedentes por tipo de materia prima, observamos que los excedentes, tanto del consumidor como de productor son mayores para el Piñón (*Jatropha curcasm L.*) respectivamente en el 67% para los consumidores y el 70% para los productores en relación a los obtenidos para la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.*) de 33% y 30% respectivamente.

Para un país con las condiciones socio económicas de Guatemala, donde según la Secretaria de Programación y Planificación de la Presidencia (SEGEPLAN, 2016), el 62% de la población vive en condición de pobreza (principalmente la rural) y considerando el enfoque bioeconómico hacia la sustentabilidad, es una decisión muy difícil descartar la opción de la producción de las materias primas en las 59,730 hectáreas definidas por optimización como las óptimas para la producción de Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (*Jatropha curcas L.*) en el territorio nacional. El costo de oportunidad de invertir en la producción de materias primas, a pesar del menor porcentaje de bienestar económico generado en relación con el excedente de los consumidores, sigue siendo una opción interesante para los agricultores de las áreas establecidas (no compite con la producción de alimentos) y además porque sin la producción de las materias primas, sería imposible la fabricación del biodiesel y por lo tanto obtener el relativamente alto bienestar generado con su comercialización o excedente para los consumidores.

Siempre por supuesto, es una opción para el planificador social, dado el menor porcentaje de bienestar para los productores, descartar la asignación de recursos para la producción de materias primas para la fabricación de biodiesel. Más

cuando al realizar un ejercicio a valor presente, con una tasa de descuento del 3%, que según el Banco de Guatemala BANGUAT (2017) es la tasa líder en el mercado, nos arroja un monto a valor actual para un período de 15 años sin riesgo de US $ 149,309,577.9 y US $ 44,472,318.7 para la producción del Piñón (*Jatropha curcas L.*) e higuerillo (*Ricinus communis L.*) respectivamente. Otra alternativa, fundamentados en la teoría económica de Carson y Hanemann (2005), que indican se debe orientar la asignación de recursos a la demanda de los compradores que más valoran el consumo de biodiesel, es decir aquellos que muestran una mayor disposición a pagar (DAP) como es el caso del biodiesel fabricado a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*), descartando la fabricación, producción y comercialización de biodiesel a base de Higuerillo (*Ricinus communis L.*).

7.3.1.4 Excedente productores Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*)

Para el caso del mercado de biodiesel con base en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), conforme al estudio de impacto ambiental realizado (EIA), se estableció que las decisiones de compradores y productores (actuando como comercializadores) afectan a otras personas que no participan directamente en dicho mercado, constituyendo lo que se conoce como externalidades IICA (2010) y que hacen que el bienestar en dicho mercado no dependa únicamente del valor individual que le otorgan los compradores y/o el costo individual de los productores, en virtud de lo considerado por Cerda *et al.* (2007).

En ese sentido y para considerar el bienestar de los otros actores (vecinos, comunidades, ong´s, etc.) de acuerdo a las visitas de campo y al análisis de costos efectuado, se estimó que las externalidades se incluirían incorporando al flujo de efectivo de una hectárea de producción los montos de US $ 4,181.3 anual por el uso del agua con un decremento proporcional del 4.11% (inflación) por mejoras en el uso del recurso. Así también, US $ 125 por el uso del suelo,

afectado por la misma tasa anual inflacionaria y la mitad de la sumatoria de estos valores (US $ 2,190.5) por costo del manejo de la biodiversidad y distorsión del paisaje. Para el costo del uso del suelo se consideró el costo fijo de renta de la tierra agrícola, mediante el estándar internacional es de US $ 125 por hectárea al año (Cristeche, Estela y Penna, 2008). Respecto a la valoración referida al uso del recurso agua, se consideró el dato del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, MAG (2012) en cuanto a que reportan que la tecnología para la producción de palma aceitera demanda un consumo promedio de 5,000 m^3 por hectárea de agua al año considerando para ello 5 meses de riego. Se consideró además la referencia de la Municipalidad de Ciudad de Guatemala (2017) que contempla un precio (incluido el impuesto al valor agregado) de US $ 0.84 por m^3 de agua cuando se consumen 120 ó más metros cúbicos al mes.

A diferencia de las dos externalidades que se establecieron conforme al pago de arbitrios e impuestos municipales plenamente definidos en la legislación guatemalteca, en relación al monto incluido como costo por manejo de la biodiversidad y distorsión del paisaje de US $ 2,153.1 se estableció debido conforme al criterio modal más representativo expuesto por los productores en las visitas y entrevistas de campo. De igual manera, el criterio referido a la forma en que se incorporaría o retornaría a las comunidades por esta externalidad negativa que consistiría en la aplicación de programas y proyectos como parte de políticas de responsabilidad social empresarial (RSE) de los productores. Se consideró para el análisis económico - financiero, una estructura de capital mixta conformada por recursos propios (30%) y el costo del capital proveniente de terceros (70%). Básicamente este último, mediante préstamos blandos por parte de un fideicomiso del Estado de Guatemala para el fomento de la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles con una tasa de interés del 8.5% anual.

Lo cual, incluyendo los escudos fiscales (29% de tasa de impuesto sobre la renta en Guatemala) nos arroja un costo real para el capital proveniente de terceros de 4.22%. Por su parte, la tasa de rendimiento mínima aceptada (TREMA) por los

productores, de acuerdo a la propuesta de producción de biocombustibles en Guatemala por el MAGA (2008) fue del 15% con y sin proyecto para la sostenibilidad. De esta cuenta, se estableció que el costo promedio ponderado de capital (modelo WACC) fue del 8.72% para traer los flujos de efectivo a valor presente con proyecto de sostenibilidad como se observa en la tabla XVI.

Tabla XVI. Costo promedio ponderado de capital (WACC) para la producción con proyecto de sostenibilidad en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac,*) dadas las condiciones propuestas para Guatemala.

Porcentaje de aporte	Costo de capital (%)	Escudo Fiscal	Costo Real del Capital
Recursos de terceros 70%	8.5	6	4.2%
Recursos Propios 30%	15		4.5%
Sub total 100%			8.7%

Fuente: Elaboración propia (2018)

En cuanto a los costos financieros, para el caso del proyecto considerando las externalidades, se contempló un préstamo blando (Pedroza, 1988) como incentivo a la producción bajo las siguientes modalidades.

n: Pago de interés anual, con un horizonte de tiempo de análisis de 15 años de producción (cuando se deja de sembrar Palma Africana).

i: 8% anual para el aporte del 70% de aporte de terceros.

Io: Incrementos de la inversión en el orden de US $ 10,000.00 dólares anuales por hectárea en relación a los US $5,000.00 sin tecnología para reducir a límites aceptables o eliminar la contaminación del agua, suelo y ecosistema en general.

Conforme al método de cambio en la productividad, usado para estimar el excedente de la producción de materia prima para la fabricación de biodiesel con base en Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), se obtuvo un valor actual neto (VAN) por hectárea correspondiente a US $ 4,054.3. Este monto por hectárea fue

resultado de la diferencia entre los valores actuales netos con y sin proyecto, es decir US $ 25,034.3 menos US $ 20,980 traídos a valor presente con 8.7% y 15% respectivamente. Al extrapolar el monto de costo beneficio a valor presente (US$ 4,054.3) a las 315,102 hectáreas determinadas por programación lineal como óptimas para la maximización de la producción con esta materia prima se obtiene un excedente del productor de palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*) de aproximadamente un millardo de dólares estadounidenses (US $ 1,277,516,593.2). (anexos 1 y 2)

7.3.1.5 Excedente consumidor Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*)

Para establecer el excedente del consumidor, se partió de la función de demanda y = - 0.0011x + 0.8061, con un índice de correlación R^2 = 0.8070. A se le calculó su integral definida para así determinar el área bajo la curva dentro de los límites de cantidad de consumidores con disposición pagar (DAP) desde US $ 0.8 ó más por litro de biodiesel y expandiendo la demanda hasta la cantidad de consumidores dispuesto a pagar (DAP) US $ 0.56 ó menos por litro de biodiesel como se observa en la figura 13.

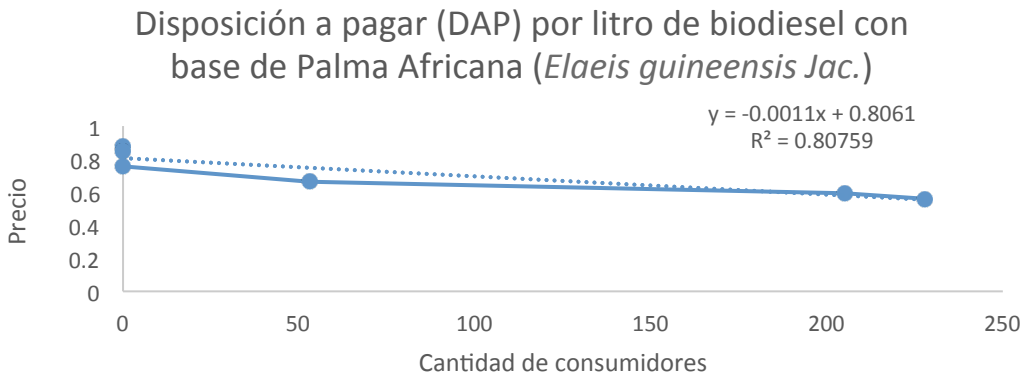


Figura 13. Gráfica de la función de demanda para litros de biodiesel fabricados con base en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*)

Para el caso del biodiesel con base en Palma Africana, de un total de 3,790 datos para los 09 municipios estudiados, 53 manifestaron pagar un promedio de US $ 0.7/litro (límite inferior) y de acuerdo a la percepción y expansión de la demanda se llega a un grupo de 228 consumidores dispuestos a pagar (DAP) un monto de US $ 0.6 ó menos por litro. Por lo que, al sumar las diferencias entre las cantidades de consumidores por grupo y precio a pagar por litro de biodiesel, se estableció un límite superior de 228.

Asumiendo que cada persona de este total, consume 01 litro de biodiesel, el precio de equilibrio obtenido por litro a base de la materia prima piñón es de US $ 0.56.

La ganancia de los consumidores asciende a US $ 70.9 cuando el nivel de venta se sitúa en los 228 litros y un precio de US $ 0.5 por litro. Al respecto, según estadísticas en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, MEE (2014), el volumen de las importaciones y/o consumo proyectado de diésel en Guatemala, OLADE (2013) de no existir cambios en la matriz energética para el 2030, donde se plantea una meta de sustitución del 80% por biodiesel y se deja de sembrar Palma Africana, sería del orden de los 2,175 millones de barriles.

Con base a cálculos efectuados en el presente estudio, el aporte de contribución para la fabricación de biodiesel a través del cultivo y producción de la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) se estableció en el 85% con relación al área optima total disponible. Del total de los 2,175 millones de barriles, una cantidad de 1,848.8 millones de barriles de biodiesel proveniente de esta materia prima. Sí se sabe que 159 litros hacen un barril de biodiesel y se asume una venta de 228 litros equivalente a 1.4 barriles, que generan una ganancia o contribución de US $ 70.9 dólares; para los 1,848.8 millones de barriles, correspondería un excedente del consumidor de biodiesel a base de palma

africana (*Elaeis guineensis Jac.*) en el país de aproximadamente de ciento treinta y uno millardos de dólares estadounidenses (US $ 131,150,325,000.00).

Al traer a valor presente, con una tasa del 3% para un periodo de 15 años, el excedente del consumidor de Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*) corresponde aproximadamente a un valor de 84 millardos de dólares estadounidenses (US $ 84,180,403,006.2). De esa cuenta, el excedente total o bienestar social generado en Guatemala con la producción y consumo de biodiesel con base en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), determinado por la suma del excedente del productor más el excedente del consumidor a valor presente corresponde aproximadamente a ochenta y cinco millardos de dólares estadounidenses (US $ 85,457,919,599.4).

7.3.1.6 Excedente social del biodiesel

En la tabla XVII se presentan los excedentes sociales parciales con el consumo y producción de cada uno de los 03 cultivos promisorios para la potencial producción de materias primas y fabricación de biodiesel.

Los valores fueron traídos a valor presente debido a la pérdida de valor del dinero en función del tiempo, para un periodo de 15 años y con una tasa de descuento líder del 3%, según información del BANGUAT (2017). Se exceptúa el excedente del productor de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) que se descontó por las razones expuestas en la determinación del excedente de la producción de la materia prima a una tasa de corte del 8.72%.

Bajo estas condiciones, la valoración económica total obtenida o economía del bienestar general con la producción y consumo de biodiesel a partir de las materias primas Piñón: (*Jatropha curcas L.*), Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Palma africana (*Elaeis guinnensis Jac.*) en Guatemala es del orden de los ochenta y cinco millardos de dólares estadounidenses (US $ 85,790,266,337.1).

Tabla XVII. Valoración económica y socio ambiental total con la producción de materias primas para la fabricación y consumo de biodiesel a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*), Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*

Materia Prima	Excedente del consumidor a valor presente (US$)	Excedente del productor a valor presente (US $)	Valoración económica y socio ambiental total a valor presente (US $)
Piñón *(Jatropha curcas L.)*	123,802,016.2	104,837,259.1	$ 228,639,275.3
Higuerillo *(Ricinus communis L)*	59,235,143.5	44,472,318.7	$ 103,707,462.3
Palma africana *(Elaeis guinnensis Jac.)*	84,180,403,006.2	1,277,516,593.2	$85,457,919,599.4
Total	84,363,440,165.9	1,426,826,171.1	$85,790,266,337.1

Fuente: Elaboración propia (2018)

El excedente social proveniente de la palma africana (*Elaeis guinnensis Jac.*), tanto para el excedente del consumidor como para el del productor representa el 99.6% del total de la economía del bienestar generado con la producción de las 03 materias primas y el consumo de biodiesel en Guatemala. Lo sigue de manera insignificante el piñón (*Jatropha curcas L.*) con una contribución del 0.2% y, por último, el higuerillo (*Ricinus communis L.*) con un aporte a la economía del bienestar del 0.1%.

En relación a la distribución de las ganancias o excedentes generados, se observó que en el 98.3% son derivados del consumo del biodiesel, mientras que sólo el 1.6% son para los productores de las materias primas que sirven de base para la fabricación del agro combustible en el país. Esta situación como se ha indicado, representaría una falla de mercado y una inadecuada distribución de recursos en un contexto de economía social de bienestar.

Desde el punto de vista del costo de oportunidad económico, sin embargo, sigue siendo interesante para el desarrollo sostenible de Guatemala considerar el aproximadamente 1.4 millardos de dólares estadounidenses (US $ 1,426,826,171.1) que se generaría como excedente con la producción de las tres materias primas priorizadas.

Otra variable de análisis que se debe considerar también es el hecho de que, de las tres materias primas priorizadas, la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) presentó el menor valor importancia bioeconómica con un ambiente de moderada a fuerte presión y afección en su estado, además que las respuestas institucionales socio ambientales al establecerse su producción serían moderadamente efectivas lo que calificó a la materia prima con importancia moderada. Esta situación hace imperante la necesidad de profundizar en la evaluación mediante índices e indicadores bioeconómicos la sustentabilidad, sostenibilidad o no sostenibilidad de la materia prima que representa el 99% del bienestar social.

7.3.1.7 Análisis de sensibilidad respecto al precio

La elasticidad de la demanda respecto al precio implícito como equilibrio, nos sirvió para explicar la poca variación que sufren los excedentes del consumidor y del productor. Con modificaciones en los valores de los precios después el equilibrio, se observó el grado de respuesta de la cantidad de consumidores y productores (vendedores de materia prima) ante variaciones porcentuales en los cambios de los mismos (expansión de las curvas de la demanda y oferta).

El análisis de sensibilidad realizado nos indicó que los cambios en los precios por litro de biodiesel y tonelada de materia prima para su fabricación, ajustados a través de las metodologías de ceros reales versus ceros protesta y diagrama de cajas, reflejan que disminuyendo los precios por litro de biodiesel en un 6.9 por ciento (US $ 0.3 / litro como mínimo ajustado), solo tiene un impacto del 1.7% en el incremento de consumidores y por lo tanto en el no significativo cambio del

excedente del consumidor. Mientras que un aumento del 200% en el precio por tonelada métrica (DAC), tiene un impacto del 5.2% en la cantidad de productores y por lo tanto también un no significativo incremento en el excedente del productor-vendedor de materia prima. Esto explicado principalmente por la inelasticidad de la demanda en ambos bienes.

7.3.2 Evaluación de la sustentabilidad del biodiesel

Conforme a lo recomendado por la OCDE (1993) y Winograd (1995), la aplicación y análisis estadístico se fundamentó en la aplicación del teorema del límite central a las medias muéstrales obtenidas para cada indicador específico en los cuatro sistemas evaluados: social, económico, ambiental e institucional. Esto permitió establecer la probabilidad de cumplimiento de los diferentes indicadores con base a su meta tipificada para la sustentabilidad en una distribución normal estándar (media igual a 0 y varianza igual a 1). Reconociendo que la distribución de probabilidades, conocida como distribución normal, es por la cantidad de fenómenos que explica, la más importante de las distribuciones estadísticas, tanto para variables discretas como continuas (Masera, Astier y López, 1999), se calculó para cada indicador específico, su probabilidad de ocurrencia de acuerdo a una meta tipificada que no supere el límite máximo de las tres desviaciones estándar, ya que ese rango incluye todos los posibles valores probabilísticos, en virtud de información de Manta (2003).

Con la probabilidad de cumplimiento de los indicadores específicos en los sistemas social, económico, ambiental e institucional, se procedió a calcular el promedio de la probabilidad para cada uno de ellos con un valor del estadístico "z" tipificado para la meta. Con esta probabilidad promedio, se calculó posteriormente el aporte de cada uno de los cuatro sistemas en relación al 25% ó 1/4 para alcanzar sostenibilidad. El promedio de los aportes probabilísticos de cumplimiento de metas de los indicadores específicos dentro de un sistema o componente bioeconómico (tablas XXII a la XXIV) se constituyó en los índices para los

sistemas social, económico, ambiental e institucional. Estos índices a su vez, nos permitieron calcular los índices de explotación (W) y el de regeneración o resiliencia (A) involucrados en la fabricación de biodiesel con base en la producción particular de las 03 materias primas priorizadas.

Dependiendo del nivel de riesgo observado en la generación de utilidad bioeconómica, derivado de retrotraer una condición pésima a su idealización en el cumplimiento de las metas para los indicadores sociales, económicos, ambientales e institucionales, se procedió al análisis comparativo de la probabilidad de obtener utilidad bioeconómico con un riesgo aceptable del 65%.

En todo caso, lo que se persiguió a través del manejo sustentable en la fabricación de biodiesel a base de Piñón *(Jatropha curcas L.*), Higuerillo *(Ricinus communis L.)* y Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*) fue obtener la función f (x) > 0 en la que la tasa de regeneración (asimilación o resiliencia) sea mayor a la tasa de explotación de los recursos sin afectar el sistema en su conjunto. Para poder medir la capacidad de asimilación (A) de residuos por parte del ambiente se definieron los límites permitidos en términos de ideal, habitual y pésimo. Es decir que siempre que no se sobrepasasen los límites permitidos no existirá degradación ambiental y por lo tanto utilidad bioeconómica. Las diferentes mediciones para los cuatro componentes se realizaron de muy diversas maneras, dependiendo del residuo o sub producto en análisis, definido a su vez por el tipo de materia prima en estudio.

Para establecer que se respeta el límite de asimilación (no hay contaminación) se usaron, dependiendo del caso, análisis comparativos de las mediciones realizadas en campo con las tablas de límites permitidos tanto de la normativa ambiental nacional como internacional, según el Compendio de Convenios y Tratados Internacionales Ambientales Ratificados por Guatemala (2011).

Mediante evaluaciones y verificaciones de campo (valor habitual o más probable), así como proyecciones de situaciones ideales y pésimas se calcularon los

indicadores e índices de los 4 sistemas (social, económica, ambiental e institucional). La sumatoria ponderada representó el 100% con aportes de 1/4 de cada uno de ellos. Por su parte, si el análisis reportó que se está generando utilidad bioeconómica (disponibilidad de recursos, satisfacción, amenidad, etc. a pesar de la actividad económica productiva regulada) entonces se propuso sumar el resultado obtenido de la sumatoria del valor consolidado de los índices económico, social, ambiental e institucional más la probabilidad de generar utilidad bioeconómica por 2 y así asegurarnos que se está considerando una adecuada respuesta a favor de la sustentabilidad.

De esa cuenta, el índice de evaluación de la sustentabilidad en la fabricación de biodiesel a partir de la producción las materias primas priorizadas para Guatemala se calculó de la siguiente manera:

$$\text{I de Sustentabilidad} = ([p\ ISo(1/4) + p\ IEco(1/4) + p\ IAmb(1/4) + p\ IInst(1/4)] + 2(pUBio)$$

Los criterios utilizados para calificar la evaluación de la producción y consumo de biodiesel mediante el índice de sustentabilidad fueron los siguientes:

Producción y consumo sustentable ≥ 2

Producción y consumo sostenible > 1

Producción y consumo no sostenible ≤ 1

La evaluación de sustentabilidad basada en índices e indicadores determinó para Guatemala dos categorías bioeconómicas en la fabricación y consumo de biodiesel. La primera con base de la producción agrícola de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) como sostenible, mientras que para la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) como no sostenible.

Para ninguna de las materias primas en estudio se determinó la categoría de sustentabilidad. Como se aprecia en la tabla XVIII, el mayor índice se obtiene

para la fabricación y consumo de biodiesel a base de Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con un valor de 1.4 Lo siguen la fabricación y consumo de biodiesel con las materias primas Piñón (*Jatropha curca*s *L.*) con 1.4 y 0.6 para Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*) que se categorizó como no sostenible fundamentalmente ya que en su proceso de producción y fabricación del biocarburante no se genera utilidad bioeconómica (UBioeco).

Tabla XVIII. Categorías de sustentabilidad en la fabricación y consumo de biodiesel con base en los índices y utilidad bioeconómica establecida.

Materia Prima	Índice de regeneración (A)	Índice de explotación (W)	Utilidad Bioeco bruta (A-W)	Índice de Sustentabilidad	Categoría
Higuerillo *(Ricinus communis L.*)	1.61	1.6	0.01	1.4	Sostenible
Piñón *(Jatropha curcas L.*)	1.5	1.3	0.2	1.4	Sostenible
Palma africana *(Elaeis guineensis Jac.*)	2.1	2.4	(0.3)	0.6	No sostenible

Fuente: Elaboración propia, 2018.

A pesar de que la UBioeco bruta es mayor en el Piñón (*Jatropha curcas L.*) con un valor de 0.2 en relación al valor de la UBioeco bruta para el Higuerillo (*Ricinus communis L.*) de 0.01 se obtiene mejor índice para esta materia prima debido a que el riesgo para generarse es aceptable en el orden del 68% de probabilidades en relación al riesgo del 98% para el Piñón (*Jatropha curcas*).

La situación del riesgo implica para la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*), altas probabilidades de no cumplir las metas planificadas, sino se realiza una fuerte inversión en recursos para lograrlo. Esta situación hace más riesgoso (inaceptable) para esta materia prima alcanzar la categoría de sostenibilidad en

relación al Higuerillo (*Ricinus communis L.*). En la tabla IXX se presentan los detalles del cálculo para determinar el valor de la UBioeco neta. Es decir, considerando la voluntad política en la gobernanza para obtenerse. Por tanto, duplicando el valor probabilístico de generarse con riesgo normal o aceptable (65%) y un valor meta tipificado como ideal para el estadístico positivo "z" conforme a una distribución normal.

Tabla IXX. Detalles de cálculo de la utilidad bioeconómica neta conforme a la probabilidad de riesgo aceptable para generarse.

Materia Prima	**Valor "Z"**	**Riesgo probabilístico**	**Valor tipificado "z" con un riesgo aceptable**	**Probabilidad con riesgo aceptable de generar UBioeco neta**	**Valor de la UBioeco neta**
Higuerillo (*Ricinus communis L.*)	0.4	68%	-0.07	47%	0.94 (0.47 x 2)
Piñón *(Jatropha curcas L.*)	1.9	98%	-0.19	42%	0.85 (0.427 x 2)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Según Bolay (2004) y Holden (2004), las probabilidades por debajo del 30% implican alto riesgo y peligro de que fallen o no se cumplan las metas planificadas, por lo tanto, son inaceptables. Probabilidades que se sitúan entre el 30% y 40% cuentan con riesgo y requieren de un fuerte estudio o ajustes para aceptarse en el cumplimiento de metas de sustentabilidad. Mientras que probabilidades que se sitúan en el rango del 41% al 70% corren riesgo normal y es razonable el cumplimiento de las metas. Respecto a aquellas probabilidades superiores al 71%, los autores indican que se actuaría en el plano de conservador sí no se asume que se requieren de excesivos recursos para garantizar que las metas se cumplan, razón por lo cual deben considerarse también con riesgo inaceptable.

Considerando de manera específica los criterios de las probabilidades y sus riesgos asociados, se evidenció que sólo se obtuvo utilidad bioeconómica bruta para la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L.*). Al determinar la probabilidad de generar utilidad bioeconómica tipificando la situación a una condición ideal, es decir con un valor meta de “1”, donde siempre se genere, pero no con alta inversión en recursos para que la sobre explotación del sistema sea aceptable (UBioeco neta), también se incluye a la materia prima Piñón (*Jatropha curcas L.*), no así la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) donde definitivamente no se genera ninguna utilidad bioeconómica. Al multiplicar por 2 la probabilidad de generar utilidad bioeconómica neta bajo condiciones de riesgo aceptable y tipificadas con un valor meta ideal, se asegura como lo indican Sigrid y O´Hara (2001), que se están realizando los esfuerzos necesarios y con una correcta voluntad política a favor de la sustentabilidad. Este valor, adicionado a la sumatoria de los 4 indicadores (STI) nos reporta como se observa en la tabla XX el índice de sustentabilidad de 1.5 y 1.4 respectivamente para las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (*Jatropha curcas L.*). Como lo plantea Spangerberg, (2005), cuando evaluamos y categorizamos desde el punto de vista estricto de la sustentabilidad, entendida como la sumatoria de los indicadores de los sistemas social, económico, ambiental y de gobernanza, podemos incurrir en el error de no otorgarle un carácter integral y el enfoque holístico necesario del análisis bioeconómico por lo que, es obligatorio agregar el aporte que representa la generación de la utilidad bioeconómica neta o con riesgo aceptable de generarse. De esa cuenta que, si el análisis se basara sólo en el índice de sostenibilidad (tabla XX), la calificación se invertiría, siendo la materia prima de mayor sostenibilidad en la fabricación de biodiesel la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), seguido por Piñón (*Jatropha curcas L.*) y por último el Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con valores para este índice de 0.6, 0.5 y 0.5 respectivamente.

Tabla XX. Índices e indicadores de sostenibilidad en la producción y consumo de biodiesel sin considerar el riesgo probabilístico de cumplimiento dadas las condiciones sociales, económicas, ambientales e institucionales de Guatemala.

Índices	**Higuerillo *(Ricinus communis L.)***	**Piñón *(Jatropha curcas L.)***	**Palma africana *(Elaeis guinnensis Jac*)**
Social	4.3	4.4	4.5
Económico	18.4	22.5	24.1
Ambiental	12.7	16.0	9.8
Institucional	14.9	16.0	22.1
Índice de sostenibilidad	0.5	0.5	0.6
Índice de regeneración “A”	1.6	1.5	2.1
Índice de explotación “W”	1.6	1.3	2.4
UBioeco bruta	0.0	0.2	(0.3)
UBioeco neta	0.9	0.8	N/A
Índice de sustentabilidad	1.4	1.4	0.6

Fuente: Elaboración propia (2018)

Bajo el enfoque de sostenibilidad anteriormente descrito, se hace referencia al desarrollo sostenido, es decir aquel con capacidad de mantener por sí mismo el sistema, sin que se afecte a los recursos naturales y, por lo tanto, con interacción equilibrada de los componentes social, económico y ambiental, pero sin considerar que existe una etapa más avanzada del desarrollo que implica evolución y transformación. Es decir que además de sostenerse bajo un paradigma estático, pueda determinada socio biosfera (territorio) sustentarse y encontrar amenidades, satisfacción y oportunidades para la invención, innovación, creatividad, recreación y otras categorías más avanzadas del desarrollo, incluso para el espíritu humano, generadas desde la proactividad del componente político o institucional.

El tipo de desarrollo sostenible, concebido como la sumatoria de los índices e indicadores de tres de los cuatro componentes del sistema bioeconómico, como lo acota Manta (2003), no precisa de una intervención humana o exterior, ya que puede sostenerse de manera autónoma. Partridge (2003) indica que cuando interviene el enfoque de la utilidad bioeconómica y se piensa en favorecer la resiliencia o regeneración para el desarrollo, la participación político-institucional se trastoca y potencializa para entender a la sostenibilidad como una fase previa

de la sustentabilidad. Sin embargo, este mismo autor también reporta que al estar muy próximos o en los inicios del enfoque evolutivo de la sostenibilidad para alcanzar la categoría de la sustentabilidad, las diferencias entre ambos modelos de desarrollo pueden ser imperceptibles. Por lo tanto, es importante resaltar como lo explica Bartelmus (2000), que el enfoque de mayor regulación o intervención humana de índole cooperativa o solidaria para el desarrollo, típico de la sustentabilidad, versus el de autosuficiencia en el de sostenibilidad, puede ser un factor determinante para el éxito o fracaso en evaluaciones complejas en países en vías desarrollo, como sería el caso de la fabricación de biodiesel a base de Higuerillo *(Ricinus communis L.)*, Piñón *(Jatropha curcas L.)* y Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)* en Guatemala como lo describen Ibañez, Jeovany y López (2013) .

Se refuerza el punto anterior, cuando se analiza que, para las condiciones estudiadas, el índice de evaluación que reportó el más bajo valor en las tres materias primas evaluadas, correspondiente al promedio del 4.5 de 25, fue para el sistema social con riesgo inaceptable por la alta probabilidad de que no se cumplan las metas tipificadas para la sostenibilidad del orden del 18%. Mientras que, como se observa en las tablas XXI y XXII, el sistema económico fue el de mayor valoración con promedio de 21.7 de 25 y con un riesgo promedio también inaceptable de 87%.

Se observó que son los índices ambiental e institucional los que mejores riesgos de cumplimiento de metas para sus indicadores específicos manifestaron. Por tanto, como lo plantean Akerlof y Shiller (2016), se requiere en situaciones complejas, donde es evidente la inter y transdisciplinariedad de múltiples factores, como la encontrada en la presente evaluación de sustentabilidad, fortalecer y estimular el crecimiento sostenido, pero desde el ámbito regulado, que contenga e implemente medidas de acción política y sociales, sin que ello necesariamente antagonice con la economía de libre mercado.

Tabla XXI. Riesgos asociados al cumplimiento de los indicadores social, económico, ambiental e institucional.

Riesgos asociados	Higuerillo *(Ricinus communis L.)*	Piñón *(Jatropha curcas L.)*	Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)*	Promedio (%)
Probabilidad de cumplimiento del índice social (%)	17.4	17.8	18.2	17.8
Probabilidad de cumplimiento del índice económico (%)	73. 9	90.2	96.4	86.9
Probabilidad de cumplimiento del índice ambiental (%)	51.0	47.8	39.2	46
Probabilidad de cumplimiento del índice institucional (%)	59.6	64.2	88.6	70.8

Fuente: Elaboración propia (2018).

Solo así, agregan Peláez y Muñoz (2010), se podrá encaminar de manera eficiente el uso del ambiente, satisfacer las necesidades actuales de todos los habitantes del país y sin comprometer los recursos en el futuro con la producción y consumo de los biocombustibles.

En las tablas XXII y XXIII que se presentan a continuación se detallan las probabilidades de cumplimiento para los indicadores, índices y cultivos estudiados.

Tabla XXII. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente social en las 03 materias primas evaluadas.

Indicador	**Higuerillo *(Ricinus communis L.)* (%)**	**Piñón *(Jatropha curcas L.)* (%)**	**Palma *(Elaeis guinnensis Jac.*) (%)**
Demografía			
Tasa de crecimiento poblacional	18.9	24.8	24.5
Desplazamiento	3.2	2.0	3.9
Salud: tasa bruta de mortalidad	2.4	2.9	2.6
Seguridad alimentaria: tasa de desnutrición crónica	2.4	3.6	2.6
Empleo: tasa de desocupación	1.9	1.8	1.5
Educación: % de analfabetismo	1.3	2.3	1.8
Acceso a servicios básicos	99.8	96.1	99.8
Promedio	17.4	17.8	18.2

Fuente: Elaboración propia (2018).

Después de haber analizado el comportamiento de los indicadores específicos para los sistemas social, económico y ambiental, se procedió a la evaluación de los indicadores del sistema o componente político o institucional. Previo a ello, fue importante para poder proponer con sustento estrategias que permitan la sustitución con enfoque bioeconómico de los combustibles fósiles por el uso sostenible de biodiesel en Guatemala, interrogarnos y plantear respuestas objetivas respecto de: ¿permitirá la industria de la producción y consumo de biodiesel generar desarrollo sustentable o sostenible en Guatemala?, ¿Contribuirá la comercialización del biodiesel fabricado en Guatemala a disminuir o eliminar la pobreza? ¿Tendrá éxito en lo social, económico y ambiental la producción de materias primas seleccionadas en la fabricación y comercialización del biodiesel si se cumplen las metas de sostenibilidad?

Tabla XXIII. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente económico para las 03 materias primas evaluadas.

Indicador	Higuerillo (*Ricinus communis L.)* (%)	Piñón *(Jatropha curcas L.*) (%)	Palma *(Elaeis guinnensis Jac.*) (%)
Ingreso y crecimiento económico Tasa de crecimiento económico anual basado en el PIB municipal	86.8	73.5	73.5
Tasa de participación económica total	63.6	99.6	99.7
Ingreso anual per cápita del municipio Estimulo de los capitales territoriales de producción y favorecimiento del clima de negocios	99.8	99.4	99.8
Motor económico con la incorporación-disponibilidad de mano de obra (población)	91.4	99.8	99.8
Motor económico con la incorporación-disponibilidad territorial para la producción (hectáreas)	99.8	50.8	99.8
Excedente total	0.5	99.6	99.7
Promedio	73.9	90.2	96.4

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla XXIV se presentan las probabilidades de cumplimiento de los indicadores del componente institucional para las tres materias primas en evaluación. Sin embargo, es necesario indicar que tal como lo indica Carpintero (2007), sabiendo la íntima relación entre los ámbitos social, económico, ambiental con lo institucional o político en el enfoque bioeconómico, podrá entenderse que un factor determinante para establecer sí es viable o no en Guatemala la producción y consumo de biodiesel, será sí desde una elite calificada se diseñan instituciones que incentiven de manera inclusiva una industria con el paradigma de la sustentabilidad o bien, se diseñan instituciones extractivistas para concentrar la riqueza y perpetuarse en el poder a costa del deterioro del ambiente y la pobreza socio económica de la mayoría de los pobladores.

La perpetuación en el poder motiva y a su vez facilita a sus detentores a mantener las cosas como están (Martinez, 1970), bloqueando el crecimiento y evitando que

la sociedad mejore sus condiciones, pues esto último requeriría cambiar las instituciones a modo inclusivo, repartir el poder y perder los privilegios. A manera de conclusión y como gran estrategia para que la industria del biodiesel sea viable en Guatemala se requerirá entonces del fiel cumplimiento de los indicadores del componente institucional bajo el enfoque de instituciones o políticas inclusivas.

Tabla XXIV. Probabilidad promedio de cumplimiento de los indicadores del componente institucional para las tres materias primas evaluadas.

Indicador	**Higuerillo *(Ricinus communis L.)* (%)**	**Piñón *(Jatropha curcas L.*) (%)**	**Palma *(Elaeis guinnensis L.*) (%)**
Políticas control de contaminantes o residuos permitido	81.8	96.2	99.8
Presencia institucional	63.3	99.8	99.5
Poder de negociación de la institución financiera	14	2.9	99.1
Políticas para el desarrollo de los capitales territoriales	76.5	99.7	99.6
Restricciones legales-institucionales	1.8	1.9	0.1
Incentivos legales-institucionales	79.3	99.7	99.7
Infraestructura de soporte y transformación	84.8	82.1	99.8
Políticas para encender motores económicos competitivos	80.7	0.1	99.7
Seguridad y estado de derecho para la inversión	55.5	99.8	99.7
Promedio	59.6	64.2	88.6

Fuente: Elaboración propia (2018).

8. Discusión

Las características e indicadores socioeconómicos de los departamentos de la República de Guatemala con potencial para la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles son predominantemente de población rural. Este hecho demuestra la fuerte relación de la población guatemalteca con los servicios agrarios, así como la importancia de la agricultura en los departamentos que se encuentran en las zonas geológicas, fisiográficas y ecológicas que pueden soportar la producción de materias primas para biocombustibles a cambio de la producción para garantizar la seguridad y soberanía alimentaria como lo analizan Cambranes (1986) y Green Peace (2008).

Según el MAGA (2014), en general el índice de conflictividad agraria en el país es alto y refleja detonantes por causas relacionadas con la utilización de la tierra (utilizarla más allá de su capacidad de uso), lo que propicia procesos de erosión, que a su vez representan pérdida de las características físicas y químicas, que se manifiestan en la pérdida de la productividad natural de los suelos. Pero más importante y explícito en un país con graves problemas de desnutrición y hambre, es la ausencia de un ordenamiento territorial que se dirija a la capacidad de uso del suelo para la producción de alimentos y la seguridad o soberanía alimentaria. Al respecto del ordenamiento territorial en Guatemala, como lo expone Cambranes (1986), este es resultante histórico y determinado por el uso de la tierra que, está internamente ligado a las condiciones naturales, socioeconómicas e histórico-políticas, que definen el uso, acceso, administración y manejo de los recursos naturales suelo, agua y biodiversidad. Situación que ha modificado el paisaje natural definiendo regiones caracterizadas por el uso de la tierra con sistemas de producción agropecuarios para la exportación o bien para el mercado interno como serían la producción hortícola y la agricultura de subsistencia, que han tenido todos impacto en los ecosistemas naturales.

Conforme a los estudios de capacidad de uso del suelo del MAGA (2014), prácticamente la mayoría de la zona costera del pacifico del país esta cultivada

predominantemente con caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) para la exportación. Otras producciones agrícolas que se encuentran en esta área en proporción marginal son hule (*Hevea brasiliensis Willd. ex A.Juss.*), banano (*Musa sapientum L.*), palma africana (*Elaeis guineensis Jac.*), maíz (*Zea mais L.*) y ganado. Mientras que en la zona volcánica de la meseta central que atraviesa el país se cultiva principalmente con café (*Coffea spp. L.*). En menor proporción también hortalizas, frutales y palma africana que ha crecido el cuanto al área cultivada en los últimos años.

La base alimenticia de la población radica en maíz (*Zea mais L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) que se cultivan en prácticamente todo el territorio nacional a pesar de que, conforme a la geomorfología y capacidad de uso del suelo, Guatemala manifiesta clara vocación para la producción forestal que no coincide con el cultivo limpio de estos importantes granos básicos (MAGA, 2014). Como resultado de los censos efectuados en los años 1950, 1964 y 1979, así como también de los análisis realizados por Cambranes (1986) y los de Romero (2013) con el censo agropecuario del 2003, se ha estimado que la distribución de la tierra en el país no ha tenido mayores cambios en esos años, permitiendo observar que el latifundio, que en promedio para Guatemala se considera para una extensión de 203 hectáreas (Ha), mantuvo la posesión del territorio en 72.7%, 62.5%, 64.5% y 62% respectivamente, para un porcentaje de población en posesión de uso del 2.2%, 2.1%, 2.65% y 2.71% respectivamente.

Por otro lado, como lo plantea Romero (2013), se observó a finales del siglo XX e inicio del siglo XXI, el decrecimiento del área rural y consecuentemente también de las actividades agrícolas y de la agricultura familiar, tanto en valores absolutos como porcentuales. El minifundio prevaleciente con agricultura familiar (extensiones de tierra superior a las 0.7 hectáreas, pero menor a las 3.49 Ha, donde el ingreso es mayoritariamente proveniente de la actividad agrícola y/o de economía campesina), se mantuvo relativamente estable en extensión de área en relación al territorio nacional de 14.3%, 18.7% ,16.5% y 12.1%, pero con un

significativo decrecimiento para la cantidad de propietarios de 88%, 87.47%, 88.1% y del 46.8% respectivamente (Romero, 2013).

La reducción en la cantidad de propietarios minifundistas con agricultura familiar, es una variable importante a considerar al momento de promocionar la producción agrícola de materias primas para la fabricación de biocombustibles ya que, pesar de la disminución en la cantidad de minifundistas, la misma sigue siendo significativa en Guatemala y como lo explica Cambranes (1986), de esta determinación se deduce que las decisiones de ¿qué producir, cómo y cuánto?, al no seguir una estricta lógica para maximizar la ganancia, se obvia en muchas ocasiones en las políticas de desarrollo agropecuario. El raciocinio de la agricultura familiar o campesina agrega Cambranes (1986), no considera de manera obligatoria la competitividad a partir de los costos marginales en sus sistemas de producción agrícola lo cual puede afectar el éxito de cualquier política agropecuaria en su etapa de implementación.

En cuanto al uso de las tierras, se ha observado de acuerdo a los estudios de Cambranes (1986), que el latifundio las ha ocupado principalmente con cultivos de tipo extensivo para la exportación. Desde el punto de vista histórico expone este autor, los primeros usos se refieren a la ocupación de extensiones con árboles y arbustos de quina (familia *Rubiaceae*), grana (familia *Punicaceae*) y el añil (fam. *Papilionaceae),* estos últimos como colorantes dedicados a la actividad industrial en Europa.

A partir del período de la Revolución Liberal de 1871 hasta mediados de la década 1940, se inicia un periodo de acumulación de capital en la sociedad guatemalteca, se rompe el esquema de tenencia de la tierra general colonial y se realizan las compras forzadas de tierra, expropiación a la iglesia y los ejidos indígenas, liberación del trabajo servil, con la sustitución de mozos colonos. Para Cambranes (1986) los objetivos de la acumulación de mayores porciones de tierra se

orientaron a la introducción y consolidación del cultivo de café (*Coffea arábiga L.*) con la habilitación de tierras nuevas y ejidales.

En esas acciones relativas al cultivo del café concluye Cambranes (1986), el Estado cumplió su papel, brindando facilidades para que pudieran acceder al recurso expropiado, en el establecimiento de plantaciones y mediante medidas "legales" para asegurar la fuerza de trabajo necesaria. Solamente que los beneficiarios, indica el autor, fueron una mínima parte de la población. En ese sentido y de acuerdo a lo expuesto por Cambranes (1986), las actividades agrícolas se desarrollan en circunstancias diametralmente distintas por el apoyo del Estado guatemalteco a las descritas para las producciones ya sean en latifundio o minifundio. Para Romero (2013), estas diferencias se pronunciaron marcadamente con la ola privatizadora neo liberal de la última década del siglo XX, cuando se desbarato todo el aparato de asistencia pública agropecuaria que afecto de manera significativa a la agricultura de subsistencia e infra subsistencia, que suple la producción de granos básicos como el maíz (*Zea mays L.*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), y que se ha constituido en el sector encargado del mercado interno desde el periodo colonial hasta nuestros días.

Romero (2013) indica que, en el altiplano occidental, central y oriental, se ha sustituido en parte los cultivos de maíz y frijol por el de café y otras hortalizas para la exportación y el mercado interno, pero este tipo de agricultura se sigue realizado bajo condiciones y niveles tecnológicos de minifundio en fincas con extensiones menores a 3.49 hectáreas. Es importante acotar respecto de la caña de azúcar (*Saccharu officinarum L.*) que, en la práctica se realiza actualmente la producción y comercialización del bio carburante tipo bioetanol (90% se exporta) como un sub producto de la industria azucarera en el país (materia prima), razón por la cual Guatemala se clasifica como el tercer país del mundo productor de este tipo de biocombustible después de Brasil y Estados Unidos (ACRG, 2014). Para el caso del maíz (*Zea mais L.*), como materia prima para la fabricación de bioetanol, se estableció que generaría presión sobre los recursos físico naturales

debido a los cambios en el paisaje agrícola que provocaría su producción para la fabricación del agro combustible. Principalmente por la intensidad en el uso del suelo ya que ecológicamente y de acuerdo a la clasificación agrologica de USDA (1961), no correspondería para su capacidad de carga o uso otra que no fuese para la producción de alimento como cultivo limpio y anual (clase I).

Similar situación ocurre con el cultivo del algodón (*Gossypium spp*. *L.*) y el manejo integrado de la plaga del picudo (*Anthonomus grandis Boch.*) según lo reportado por Eiszner, Blandón y Pohlan (1997). La agresividad de este insecto y las limitantes técnicas y económicas del manejo integrado de esta plaga provocó en la década de los 80´s del siglo pasado la desaparición y sustitución total del cultivo por la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) en Guatemala. En la actualidad, después de ubicarse el algodón en el país entre los cinco principales cultivos por la extensión de área en producción, paso prácticamente a desaparecer del paisaje agrícola nacional y ello repercutió en una baja calificación en términos de respuesta institucional en la determinación del índice de valor de importancia bioeconómica relativa (IVIB).

Se argumenta respecto del estímulo a la producción como aceite comestible y no como biocombustible, porque compite con la seguridad alimentaria del país y además porque ese producto (biodiesel) está afectado directamente por los precios internacionales del petróleo, según el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República de Argentina (2014). También, porque su precio de venta como producto comestible es mucho más rentable que como biocombustible ACRG (2013). Sin embargo, para Roltz *et al*. (2015), el biodiesel elaborado a partir de aceite de palma africana, es uno de los aceites vegetales que mayor cantidad de ácidos grasos con cadenas saturadas posee (después del aceite de coco) y debido a esta situación, no es recomendado para la nutrición, ya que sus cadenas pueden formar deposiciones en las vías sanguíneas, además de la consideración de otros factores ambientales como la alta temperatura de fusión. Respecto de la producción de biodiesel Roltz *et al.* (2015) indican que la misma es

sencilla. Agrega que se parte del aceite vegetal que se somete a un proceso de trans esterificación. Como resultante de este proceso se obtiene biodiesel y un sub-producto conocido como glicerina. Esta última se utiliza para la elaboración de cosméticos, medicina, lubricación de maquinaria y fabricación de jabón entre otros productos y/o usos.

Agregan Roltz *et al.* (2015), en relación al uso del recurso agua que, tanto para la producción de aceites comestibles, como para la fabricación de biodiesel derivado de la palma africana *(Elaeis guineensis Jac.)*, existe elevación de costos por el tratamiento de las aguas residuales ya que es un procedimiento obligatorio en la legislación ambiental guatemalteca para este tipo de agroindustria (CALAS, 2011). Para Green Peace (2008), el proceso de obtención de biodiesel a partir del aceite de palma africana presenta ciertos riesgos que se pueden minimizar o corregir desde el diseño, debido a que en el proceso agroindustrial se utilizan materias primas bastante tóxicas como el metanol e hidróxido de sodio (NaOH) que deben tener un tratamiento especial.

Es decir que entre los principales problemas del biodiesel derivado de la palma africana está el de su precio debido a los altos costos de las materias primas, además de los procesos necesarios de extracción, pretratamiento y trans esterificación de los aceites, los cuales dependen o se ven afectados por las características del tipo de aceite seleccionado y del lugar donde se produce la oleaginosa como lo reportan Roltz *et al.* (2015). Sin embargo, de las materias primas priorizadas, el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis Jac*.) se caracteriza por ser el de mayor productividad. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (2008), el promedio en la región es de 03 toneladas de biodiesel / hectárea / año. Además, agrega el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (2008), su aceite tiene un precio moderado y estable en el mercado mundial y el excelente potencial de crecimiento de su cultivo en los principales productores a nivel mundial como Indonesia, Malasia, Tailandia, Nigeria y Colombia debido a su bajo costo de producción, lo hacen altamente

competitivo en el mercado mundial y económicamente viable para la producción de biodiesel como alternativa energética que ha ganado una especial atención en el mercado global y países como Alemania y EEUU lo han usado e implementado con éxito en las dos últimas décadas en los vehículos (ACRG, 2014).

Aunque el modelo de optimización muestra que es viable, en términos de área de tierra, la producción de biodiesel hasta por una proporción del 80% del consumo nacional de diésel en un periodo de 20 años, es necesario resaltar la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía. La reflexión anterior se basa en que la cantidad de tierra apta para los cultivos propuestos es limitada y, aun con avances en la tecnología de producción habrá un límite al rendimiento de producción de las materias primas. Para lograr concretar estas proyecciones, se requerirá entonces de políticas con instrumentos de incentivos a los productores y así lograr cumplir las metas establecidas. Será necesaria también la aplicación de un plan de medidas de mitigación, restauración y compensación ambiental que acompañe el plan de producción de biodiesel conforme a la optimización de producción de biodiesel en las áreas de cultivo a nivel municipal. Al concebir el fenómeno de producción de biodiesel desde la óptica bioeconómica de Mansour (2005), es decir de manera sistémica e integral en lo ambiental, social, económico e institucional, se entenderá que los residuos generados por el sistema de producción, dependiendo de su naturaleza (renovable o no renovable), como dice Ramírez (2009) podrían ser sujetos de reciclaje y manejo sostenible.

Conforme a lo anterior, también será necesario como parte de las acciones de sustitución del diésel derivado de la optimización de la maximización de la producción de biodiesel el desarrollo y aplicación de un plan de gestión ambiental, como lo ratifica el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República de Argentina (2014) en su programa de producción de biocombustibles en ese país. Como lo expone Smith, citado por Haab y McConnell (2003), el hecho mismo de estar en el mercado representa tanto para los compradores como para

los vendedores un bienestar. Por ello, la economía del bienestar analiza el nivel de bienestar o eficiencia asociado a una determinada asignación de recursos resultantes en dicha actividad de producción, compra y venta (mercado).
Para Haab y McConnell (2003), medir el bienestar es calcular o medir el excedente. Por su parte Pearce (1985), indica que una asignación de recursos es eficiente sí se da el máximo excedente o el máximo bienestar, es decir cuando se maximiza el excedente total como resultado de la suma de los excedentes del consumidor y del productor. De igual manera, el excedente del productor se mide desde el punto de vista de la disposición a ser compensados económicamente (DAC), es decir, desde la percepción de los productores en su rol de "vendedores" de la materia prima por ellos producida. Respecto de lo anterior, la teoría económica de Haab y McConnell (2003), nos dice que los mecanismos de libre mercado asignan o bien la planificación social orienta la producción de bienes a los "vendedores" que pueden producir (materia prima de biodiesel) a los menores costos de producción, como es el caso de los productores de materia prima a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*) que tienen un excedente mayor al de los productores de Higuerillo (*Ricinus communis L.*).

Acemoglu y Robinson (2013) son bastante más prácticos que teóricos, no porque la teoría carezca de importancia, sino porque son, a fin de cuentas, indican estos mismos autores, los hechos concretos y las lecciones históricas las que confirman que es la política y su consecuente arquitectura institucional las que definen las respuestas a las interrogantes planteadas. El destino de la producción de las 03 materias primas seleccionadas para la fabricación y posterior consumo de biodiesel, interpretando a Acemoglu y Robinson (2013), depende además de alcanzar la sostenibilidad de los sistemas social, económico y ambiental, con sus subsistemas clima, biodiversidad, contaminación, ingresos y distribución y cultura entre otros, principalmente en la calidad y desempeño de las instituciones en Guatemala. Puntualizan Acemoglu y Robinson (2013) que, para alcanzar metas de desarrollo sustentable, traducidas en términos de prosperidad y reducción de la

pobreza para los sistemas social, económico y ambiental se requerirá de instituciones fuertes que creen e implementen políticas, reglas e incentivos, creadas e impuestas por el Estado y los ciudadanos colectivamente.

Agregan también Acemoglu y Robinson (2013) que, mientras las instituciones económicas dan forma a los incentivos sociales, económicos y ambientales, son las instituciones políticas las que determinan como funciona este proceso. Es cierto, indican los autores que la cultura y los valores morales son importantes, incluso para crear y sostener esfuerzos positivos en los sistemas social, económico o ambiental, pero la fortaleza y la calidad de las instituciones tiene un poder más efectivo y directo en las conductas y comportamiento de los indicadores de cualquiera de estos sistemas que va más allá de las motivaciones éticas y principios de las personas. Por su parte Carpintero (2007) puntualiza que el liderazgo individual y/o colectivo de un país importa en todos los niveles o sistemas bioeconómico para nuestro caso, pero incluso ese factor requiere de un marco institucional para transformar cualquier esfuerzo en realidad de la sustentabilidad en la producción y consumo de biodiesel y conjuntamente con otros autores como Acemoglu y Robinson (2013), perfilan en el análisis bioeconómico dos tipos de instituciones: las a.) extractivistas y las b.) inclusivas. En Guatemala es fácil ejemplificar, hasta nuestros días según Martínez (1970), en su obra la Patria del Criollo, que las instituciones extractivistas, caracterizadas por la encomienda y el repartimiento que funcionaron para extraer rentas y riquezas de un conjunto poblacional mayoritario de la sociedad (los indios) a fin de beneficiar a un subconjunto distinto (los españoles y los criollos) más reducido. Las instituciones inclusivas son antónimas a las extractivistas en el sentido de que son opuestas a la concentración del poder por la extracción de la renta y la riqueza. El mecanismo que propugnan estas instituciones para lograr el fin de la viabilidad de la producción y consumo de biodiesel en Guatemala, por ejemplo, serían los incentivos para la inversión, el trabajo, la conservación y el reparto amplio en toda la sociedad del poder o riqueza obtenidos.

9. Conclusiones

Para las condiciones de Guatemala existen 69 fuentes potenciales de materia prima para la fabricación de biocombustibles. La clasificación de las materias primas por tipo de biocombustibles en las condiciones de Guatemala reporta que 08 serían para la fabricación de biogás; 28 para bioetanol y 33 para biodiesel. De los 3 tipos de biocombustibles estudiados el biodiesel fue el único para el que, de acuerdo a las condiciones prevalecientes en Guatemala, se determinó viable desde el punto de vista bioeconómico la producción de materias primas para su fabricación. Las materias primas seleccionadas como promisorias desde el punto de vista bioeconómico para la fabricación de biodiesel en una escala industrial fueron: i) el Higuerillo (*Ricinus communis L.*); ii) el Piñon (*Jatropha curcas L.*); iii) la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*); iv) el Algodón (*Gossypium spp.*) y, v) el Girasol (*Helianthus annuus L.*).

De las 69 materias primas listadas para la fabricación de biocombustibles al aplicar el índice de valor de importancia bioeconómica relativa sólo el Higuerrillo (*Ricinus communis L.*); el Piñón (*Jatropha curcas L.*) y la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) presentan en la actualidad viabilidad para constituirse en materias primas para la fabricación del biodiesel a nivel nacional y en una escala industrial. Las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (J*atropha curcas L.*) obtuvieron los mejores valores de importancia bioeconómica de 82 y 81 respectivamente para calificarlas como fuerte, mientras que la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) con 67 de valor de importancia bioeconómica fue calificada con importancia moderada a fuerte. La materia prima algodón (*Gossypium spp.*) principalmente por sus elevados costos de producción e impactos ambientales negativos en el control de la plaga del Picudo Algodonero (*Anthonomus grandis Boheman*), genera prospectivamente ambientes con moderada presión y afección en su estado, así como también respuestas institucionales poco efectivas, lo que llevó a calificarla con un valor de importancia bioeconómica relativa de débil a moderada con un valor de IVIB de 40. La materia

prima Girasol (*Helianthus annuus L.*) principalmente por su bajo rendimiento, elevado costos de producción e impactos ambientales negativos en el control de las plagas palomas (familia columbidae) y cotorras (familia psittacidae), genera prospectivamente ambientes con fuerte presión y afección en su estado, así como también respuestas institucionales poco efectivas lo que llevó a calificarla con una importancia bioeconómica relativa débil con un valor de IVIB de 29.

Utilizando solo la producción de Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Piñón (*Jatropha curcas L.*) no es factible conforme al modelo de optimización satisfacer la demanda nacional de biodiesel y alcanzar la meta de sustituir con biodiesel el 80% del diésel importado. Es viable cubrir la demanda de biodiesel y alcanzar la meta nacional de sustituir con el agro combustible el 80% del diésel proveniente del petróleo sí se incorpora la producción de la materia prima Palma Africana (*Elaies guineensis Jac.*). Durante los 15 años de plantación de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) el área total acumulada con dicho cultivo alcanzaría las 315,102 hectáreas que representan 62% del área total apta para dicho cultivo en Guatemala. La producción de semilla de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) entraría a fortalecer la producción de aceites y biodiesel a partir del sexto año, no obstante, la siembra de palma debe iniciarse desde el año 01, con un área de 16,063 hectáreas. Para los primeros 02 años de un horizonte de 20, únicamente habrá producción basada en semilla de Higuerillo (*Ricinus comunis L.*) debido a que esta planta a diferencia del Piñón (*Jatropha curcas L.*) y de la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.)*, produce anualmente desde el momento de la siembra.

El área cultivada con Higuerillo (*Ricinus communis L.*) se debe mantener constante a partir del segundo año (36,069 hectáreas) y equivaliendo al 30% del área total apta en el país, lo que implica que no habría que ocupar toda el área potencialmente disponible si se quiere ser eficiente y optimo en la combinación con las otras 02 especies a ser cultivadas. A partir del tercer año las plantaciones de Piñón (*Jatropha curcas L.*) que es una especie semi permanente, estarían en plena producción y harían su aporte para la fabricación de biodiesel. En el primer

año habría que sembrar 21,195 hectáreas con esta especie. Durante el segundo y tercer año habría que complementar con 1,233 hectáreas cada año para alcanzar un área acumulada constante de producción de 23,660 hectáreas durante toda la vida del proyecto. El área acumulada cultivada con Piñón (*Jatropha curcas L.*) representa el 44% del área total apta para dicho cultivo en Guatemala. Ello implica que hay una holgura de más del 50% que permitirá ubicar las áreas mejor acondicionadas para su producción. La industria de la fabricación de biodiesel en Guatemala con base en la producción de las materias primas Piñón: (*Jatropha curcas L.*), Higuerillo (*Ricinus communis L.*) y Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*) es un proceso que reportó una considerable valoración económico ambiental o bienestar social del orden a valor presente de los ochenta y cinco millardos de dólares estadounidenses (US $ 85,790,266,337.1). Los equilibrios de mercado de biodiesel modelados no ocasionan el óptimo bienestar en la producción de materias primas para la fabricación y consumo del biodiesel debido a que el 99.61% del excedente total está determinado por el bienestar o excedente de los consumidores y productores de palma africana (*Elaeis guinnensis Jac.*).

El sector productivo de las materias primas es el de menor beneficio ya que los productores de los 03 cultivos obtienen sólo el 1.6% del bienestar total o social generado. El excedente de los productores se estimó en US $ 1 millardo (US $ 1,426,826,171.1) considerado un excedente escaso y preocupante por ser considerada esta la principal actividad económico productiva donde se generaría el desplazamiento de la producción de alimentos, los más significativos impactos negativos al ambiente e importantes consecuencias socio culturales para la sustentabilidad. El excedente de los productores, medido desde la disposición a ser compensados (DAC), es en el 90% proveniente de la producción y comercialización de la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.)*, lo siguen el Piñón (*Jatropha curcas L.*) con una contribución del 7% y, por último, el Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con un aporte del 3%.

Existe la opción para el planificador social, debido al bajo porcentaje de bienestar para los productores, concentrarse en la producción de la materia prima Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)* y descartar la asignación de recursos para el mercado de las materias primas y biodiesel provenientes del Higuerillo *(Ricinus communis L.)* y Piñón *(Jatropha curcas L.).* La evaluación de la sustentabilidad basada en índices e indicadores determinó para Guatemala dos categorías bioeconómicas en la producción y consumo de biodiesel. Una sostenible con base en la producción agrícola de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*), y otra no sostenible para la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*).

La producción agrícola de las tres materias primas evaluadas y su posterior transformación para consumo de biodiesel no obtuvo para las condiciones actuales de Guatemala la calificación de sustentable, principalmente por los bajos valores obtenidos para el índice social de 4.57 (18.3%), 4.46 (17.5%) y 4.36 (17.4%) respectivamente para Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*), Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*).

En la categoría sostenible el mayor índice se obtuvo para la fabricación y consumo de biodiesel a base de Higuerillo (*Ricinus communis L.*) con un valor de 1.45. Lo siguen la fabricación y consumo de biodiesel con las materias primas Piñón (*Jatropha curca*s L.) con 1.4 y 0.6 para la Palma Africana (*Elaeis guinnensis Jac.*). La producción de la materia prima Palma Africana *(Elaies guineensis Jac.)* y su consiguiente fabricación y consumo de biodiesel se categorizó como no sostenible dado su bajo índice de evaluación de sustentabilidad correspondiente a 0.65 debido ello fundamentalmente a que en su proceso productivo no se genera utilidad bioeconómica. La diferencia entre los índices de re generación (resiliencia) de 2.1 y el de explotación de 2.4 para el caso de la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) permitió establecer un valor negativo de -0.3 para la utilidad bioeconómica.

La producción, transformación y consumo de biodiesel proveniente de la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) a pesar de manifestar en relación con las otras dos materias primas evaluadas el valor más alto para el índice de gobernanza institucional (22.1 correspondiente al 88%) también reflejó el más bajo valor para el indicador ambiental (9.8 correspondiente al 29%) lo que se constituyó en un factor determinante para que no se obtenga utilidad bio económica con esta materia prima. Se obtiene mejor índice de 1.45 en la categoría de sostenibilidad para el Higuerillo *(Ricinus communis L.)* debido a que el riesgo al fabricarse biodiesel es aceptable en el orden del 68% de probabilidades en relación al riesgo inaceptable del 98% para el Piñón *(Jatropha curcas L.)* que obtuvo menor índice de 1.4.

A pesar de que el Piñón *(Jatropha curcas L.)* obtuvo mejor utilidad bioeconómica bruta que el Higuerillo *(Ricinus communis L.)*, existen altas probabilidades de no cumplir las metas planificadas sino existe voluntad política para realizar una fuerte inversión en recursos para la producción de esta materia prima lo que hace más riesgoso alcanzar la categoría de sostenibilidad y por lo tanto una menor utilidad bioeconómica neta de 0.8 en relación a la 0.9 con Higuerillo. Conforme a las condiciones imperantes en la actualidad guatemalteca, reflejadas en el índice de evaluación de sustentabilidad de 1.4 y el riesgo aceptable del 68% en cumplimiento de las metas, la fabricación de biodiesel es prácticamente sostenible sólo con base en la materia prima Higuerillo *(Ricinus communis L.)*. Significaría una expectativa poco realista considerar que habría una siembra masiva de Higuerillo *(Ricinus communis L.*) en todo caso, aún si se sembrara el 100% del área apta para este cultivo, únicamente se podría sustituir el 9% de la demanda nacional de diésel. El sistema económico, aunque presenta elevado índice (22 de 25 puntos) también tiene riesgo asociado inaceptable del 87% de probabilidad en el cumplimiento de sus metas de sostenibilidad, lo que implica elevada inversión de recursos que en la práctica sería difícil efectuar. Los índices más aceptables de los cuatro componentes bioeconómicos estudiados se encuentra en los sistemas

de gobernanza institucional y ambiental, con valores promedio para las tres materias primas correspondientes a 18 y 13 de 25 puntos, así como también, con riesgos aceptables de 46% y 71% respectivamente para el cumplimiento probabilístico de sus metas de sostenibilidad. Para que la industria del biodiesel sea viable en Guatemala se requerirá del efectivo cumplimiento de los indicadores del componente institucional bajo el enfoque de instituciones o políticas inclusivas principalmente para la materia prima Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac*). Situación contraria implicaría una condición excluyente a la viabilidad práctica de la sustitución por este tipo de biocombustible del diésel derivado del petróleo.

9.1 Recomendaciones

Para lograr sostenibilidad en la fabricación y consumo de biodiesel con las tres materias primas evaluadas para las condiciones de Guatemala, es recomendable fortalecer institucionalmente el derrame del desarrollo en el sistema social que, obtuvo de los cuatro componentes bioeconómicos estudiados el promedio más bajo, con un índice de 4.5 y un riesgo inaceptable del 18% de cumplimiento de sus metas de sostenibilidad.

En situaciones complejas como es el caso de la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala, es recomendable fortalecer y estimular el crecimiento sostenido, pero desde el ámbito regulado, que contenga e implemente medidas de acción política y sociales, sin que ello necesariamente antagonice con la economía de libre mercado. Aunque el modelo de optimización muestra que es viable la fabricación de biodiesel, en términos de área de tierra y producción con las 03 fuentes de materia prima priorizadas, hasta por una proporción del 80% del consumo nacional de diésel para un periodo de 20 años, es necesario resaltar la recomendación de generar y desarrollar siempre fuentes alternativas de energía en el país.

Para darle sostenibilidad a la fabricación de biodiesel en Guatemala, es recomendable asegurar que las áreas establecidas mediante el modelo de

optimización y los sistemas de información geográfica (SIG) puedan ser cultivadas con Higuerillo (*Ricinus communis L.*), Piñón (*Jatropha curcas L.)* y Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) durante la vigencia de 20 años que se propuso en el estudio. Para obtener utilidades bioeconómicas en condiciones de sostenibilidad con la fabricación de biodiesel en Guatemala es recomendable moderar las expectativas y metas del sistema económico para las tres materias primas evaluadas. Se recomienda para alcanzar sostenibilidad en la fabricación de biodiesel en Guatemala, abordar de manera imprescindible el caso específico de la materia prima Palma Africana (*Elaies guinnensis Jac.*), mejorando significativamente la situación de su índice ambiental y de sus indicadores específicos para los componentes de intensidad de uso del ambiente, contaminación y/o degradación de los recursos agua, suelo y aire.

Considerando el costo de oportunidad de invertir en la producción de materias primas, sigue siendo recomendable considerar la opción para los agricultores de Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*), debido a que no existe en la actualidad ningún proyecto alternativo de desarrollo para sus territorios, no se competiría con la oferta de alimentos y además porque sin la producción de estas materias primas no se obtendría el alto bienestar generado con el excedente de los consumidores (99%). La situación de la distribución de utilidades del mercado de biodiesel, reafirma la necesidad de que en la promoción de esta industria en el país se implementen políticas agrarias encaminadas a la generación de incentivos y protección de los productores primarios de las materias primas que obtienen menos del 2% del excedente total. Debido a que la cantidad de tierra apta para los cultivos propuestos es limitada y, aun con avances en la tecnología de producción, habrá un límite al rendimiento de las materias primas, es recomendable entonces implementar políticas públicas que acompañen la producción y fabricación del biodiesel con la aplicación de un plan de medidas de mitigación, restauración y compensación ambiental.

Mantener la brecha entre el área cultivada y el total de área apta por cultivo de las materias primas es recomendable pues reduce la presión sobre el uso de la tierra y deja la opción a buscar las mejores áreas en términos de menor grado de conflictividad agraria, cercanía a carreteras, así como también de infraestructura de procesamiento. Se recomienda orientar la asignación de recursos a la demanda de los compradores que más valoran el consumo de biodiesel, es decir aquellos que muestran una mayor disposición a pagar (DAP) como es el caso del fabricado a base de Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)* que capta el 99% del excedente de los consumidores, ubicando la fabricación, producción y comercialización de biodiesel a base de Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) en un segundo plano. Conforme a los principios y mecanismos de libre mercado o de la planificación social, se recomienda orientar la producción de bienes a los comercializadores que puedan producir (materia prima de biodiesel) a los menores costos de producción, como es el caso de los productores de materia prima a base de Palma Africana *(Elaeis guineensis Jac.)* que obtienen un excedente mayor del 90% al de los productores de Piñón (*Jatropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L.*) respectivamente. De impulsarse la opción de no producir materias primas en Guatemala por el negativo comportamiento del índice ambiental de la Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) y el marginal excedente para los productores de Piñón (J*atropha curcas L.*) e Higuerillo (*Ricinus communis L*.) la recomendación se encamina a la importación de materias primas de los países vecinos México, El Salvador, Belice o Honduras para la subsiguiente maquila del biodiesel en el país.

En el escalamiento de cumplimiento de la meta de sustitución del 80% es recomendable cubrir para los años 01 y 02 una proporción no mayor al 3% de la demanda nacional de diésel importado, debido a que en esos años sólo se obtendrá biodiesel a partir de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis L*.). Al sumar la producción de biodiesel generada con base en aceite crudo de semillas de Higuerillo *(Ricinus communis L.)* y Piñón *(Jatropha curcas L.)*, se recomienda

abastecer el 5% del consumo de diésel estimado para los años del 3 al 5 del estudio. En ese periodo de tiempo todo el consumo nacional de biodiesel podría ser de una mezcla B5. Para los años 06 al 10 es recomendable cubrir el 10% de la demanda nacional (o equivalente a la mezcla B10) ya que en el año 06 inicia la producción de Palma Africana (*Elaeis guineensis Jac.*) mientras que del año 11 al 15 sería el 20% de la demanda nacional de diésel (B20) y, del año 16 en adelante el 80%.

10. Literatura citada

Acemoglu, D., Robinson, J. 2013. Por qué fracasan los países. Editorial Ariel. Barcelona, España. 608 p.

ACRG (Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala). 2013. Beneficios de la Producción de biocombustibles para Guatemala. Guatemala, 35 p.

Akerlof, G., Shiller, R.J. 2016. La economía de la manipulación. Editorial Deusto. Madrid, España. 400 p.

Alemán, S. 2005. Desarrollo sustentable: Teoría y Práctica. Ecofronteras. Revista ECOSUR, núm. 24, abril 2005. México.

Ancona-Peniche, I. 2005. Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. Horizonte Sanitario, vol. 4, núm. 2, mayo-agosto. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México.

BANGUAT (Banco de Guatemala). 2017. Informe de política monetaria a junio 2017. 2018. Ciudad de Guatemala. 65p.

Barrera, J., Schwarze, R. 2004. Does the CDM contribute to sustainable development? Evidence from the AIJ Pilot Phase. International Joournal of Sustainable Development. 7(4):353 -368.

Bartelmus, P. 2000. Sustainable development: paradigm or paranoia? International Journal of Sustainable Development. 3(4):358-369.

Bolay, J. 2004. World globalization, sustainable development and a scientific cooperation. International Journal of Sustainable Development. 7(2):99 -120.

CALAS (Centro de Acción Legal Ambiental y Social de Guatemala) y COPREDEH (Comisión Presidencial Coordinadora de la Política del Ejecutivo en Materia de Derechos Humanos). 2011. Compendio de Convenios y Tratados Internacionales Ambientales Ratificados por Guatemala. 1era. Edición. Guatemala.

Cambranes, J.C. 1986. Agrarismo en Guatemala. Serviprensa Centroamericana. 1986. Monografia 1. Guatemala, 210 p.

Carpintero, O. 2005. La bioeconomía de Georgescu Roegen. Los libros de la catarata, Madrid.

Carpintero, O. 2007. Ensayos bioeconómicos. Antología. Los libros de la catarata, Madrid.

Chahin, C. 2009. Informe Final Asistencia Técnica, Ministerio de Energía y Minas Guatemala. Proyecto: Planificación Energética de Guatemala. Guatemala, 90 p.

Carson, R., Haneman, W. 2005. Improving the Performance of Contingent Valuation Studies in Developing Countries. University de North Carolina at Chape Hill, USA. 204 p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1997. Economía Ambiental. Lecciones de América Latina. Instituto Nacional de Ecología. Av. Revolución 1425. Col. Tlacopac, México, D.F. 297 p.

Cerda, A. 2007. Valoración económica del ambiente. Editorial: Thomson. Edición: 1. Santiago de Chile. Páginas: 368.

Congreso de la República de Guatemala. 1985. Decreto Ley 17-85, Ley de Alcohol Carburante. Guatemala.

Congreso de la República de Guatemala. 2013. Decreto Ley 7-2013, Ley Marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto de invernadero. Guatemala.

Constitución Política de la República de Guatemala.1985. Reformada por Acuerdo legislativo No. 18-93 del 17 de noviembre de 1993. Guatemala.

Contreras, E. 2009. Aplicación de métodos alternativos para valorar recursos naturales (sin mercado) e impactos ambientales. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Santiago de Chile. 47 p.

Dufey, A. 2006. Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo. Londres, Reino Unido. 69 p.

Eiszner, H., Blandón, V., Pohlan, J. 1997. Rotación de cultivos y su manejo integrado. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 44 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2015 Cooperación Sur – Sur México y Mesoamérica para erradicar el hambre. México D.F., 12 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Implicaciones alimentarias para los países en vías de desarrollo con la producción de biocombustibles. Roma, Italia, 45 p.

García, V. 2010. Los biocombustibles y la perspectiva de su futuro. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F. México, 40 p.

Green Peace. 2008. Informe "Bionergía: Potenciales y Riesgos". Roma, Italia. 98p.

Haab, C., McConell, K. 2003. Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation. Paperback edition. Massachusetts, USA. 318 p.

Holden, E. 2004. Towards sustainable consumption: do green households have smaller ecological footprints? International Journal of sustainable Devlopment. 7(1):44 –58.

Ibañez, J. 2013. Biocombustibles: ¿ahorro o amenaza? Artículo de la Revista de la ACRG. Guatemala,10 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2010. Atlas de la Agro energía y los Biocombustibles en las Américas. II. Biodiesel. Programa Hemisférico en Agro energía y Biocombustibles. San José de Costa Rica. 185 p.

INE. Instituto Nacional de Estadística. 2015. Compendio Estadístico de Educación Año 2013 y de Estadísticas vitales 2014. Guatemala, 45 p.

Leopold, L. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. En: Circular US Geological Survey. No. 645. 79p.

Macneill, J. 1989. Estrategias para el desarrollo económico viable. Revista integración y ciencia. No. 158. Pp115.124. España.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2008. Biocombustibles: perspectivas agrícolas, oportunidades y desafíos en Guatemala. Guatemala. Unidad de operaciones rurales, MAGA. Guatemala, 26 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2014. Mapa de bosques y usos de la tierra y de cambios en el uso de la tierra 2001-2010 para emisiones de gases de efecto de invernadero. Guatemala, 15 p.

Mansour, M. 2005. Science of Bioeconomics. Ohio State, University. Estados Unidos, 180 p.

Manta, C. 2003. The process of planning for sustainable development: dimensions, comparisons, and insights. International Journal of Sustainable Development. 6(4):460-477.

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2009. La carga vehicular en Guatemala y su efecto en la contaminación y el cambio climático. Estudio de la Dirección de Cambio Climático, MARN, Guatemala, 27 p.

Martínez, S. 1970. La patria del criollo. Editorial S.L. Fondo de Cultura. 541 pag. D.F. México.

Masera, O., Astier, M., López, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales, el marco de evaluación MESMIS. MUNDI-PRENSA. GIRA e Instituto de Ecología UNAM. México, D.F. 109.

MEM (Ministerio de Energía y Minas). 2010. Guía del inversionista. Guatemala, 277 p.

MEM (Ministerio de Energía y Minas). 2017. Informe estadístico de hidrocarburos. Guatemala, 63 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. Aspectos Técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Higuerilla (*Ricinus Communis L.*). Dirección General de Investigación y Extensión agrícola, MAG. San José de Costa Rica, 68-77 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2008. Sistema producción agrícola de la palma africana (*Elaeis guineensis Jac*.). MAG. San José de Costa Rica. 49 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2012. Tecnología de palma aceitera. INTA. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, MAG. San José de Costa Rica, 42 p.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República de Argentina. 2014. Conclusiones sobre el Simposio sobre Bioeconomía. Buenos Aires, Argentina, 30 p.

Monsanto. 2013. Historia sobre los Biocombustibles. Alimentos y combustibles: no es una ecuación de uno u otro. St. Louis, Missouri, Estados Unidos.

Municipalidad de Guatemala. 2018. Tarifario para el cobro del consumo de agua. Ciudad de Guatemala. 12p.

Nueva Visión y PRO SOL. 2010. Plan de acción de Biocombustibles. Cooperación Técnica No.: ATN/OC-10767-GU. Aspectos Agrícolas y Socio ambientales. Guatemala, 250 p.

OEA (Organización de Estados Americanos). 2007. Protocolo de Kioto y producción de biocombustibles en el conteniente americano. Washington, Estados Unidos. 12 pp.

OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development). 1993. "Cuerpo de indicadores para revisiones de desempeño medioambiental de la OECD". OECD Environment Monographs Nº 83. OECD/GD (93) 179. 39 pp.

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). 2012. Matriz Energética en América Latina y el Caribe. 62 pp.

ONU (Organización de las Naciones Unidas).2015. Convención Marco sobre el cambio climático. Acuerdo de Paris, COP21. Paris, Francia. 40 p.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1997. Convención Marco sobre el cambio climático. Protocolo de Kioto. Kioto, Japón. 25 p.

Pearce, D. 2014. Economía de los recursos naturales y del ambiente. Tercera edición. Pp 11-47. En Economía Ambiental. Traducido por E. Suarez. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. México. 258 p.

Pedroza, S. 1988. Desarrollo Rural Sustentable, experiencias enfoques y perspectivas. URUZA, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Dgo. Méx. 183.

Peláez, O., Muñoz, C. 2010. Bibliografía interactiva sobre biocombustibles en Guatemala y Centroamérica. Centro de Estudios Urbanos y Regionales –CEUR-, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Ramírez, C. 2009. Evaluación económica de dos métodos para la purificación de biodiesel. Informe final de Tesis de Maestría, presentado al Comité de la Maestría en Gestión Industrial. Universidad de San Carlos (USAC). Guatemala, 72 p.

RFA (Renewable Fuels Association). 2014. Prospects for the production of renewable fuels in the world. EE.UU.

Robinson, W. 1993. Efecto de la densidad y sistema de siembra sobre el rendimiento de los cultivos. Universidad Agraria del Ecuador., Ecuador, 63p.

Rodríguez, C. 2013. Estimación por el método de valoración contingente de la tarifa para el ingreso al parque ecológico senderos de Alux, San Lucas, Sacatepéquez, Guatemala. 92 p.

Roltz, C. 2015. Producción de biodiesel, estrategia y tecnología. Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala. Ciudad de Guatemala.

Romero, A., Wilson, A. 2013. La agricultura familiar en Guatemala. Centro Latinoamericano para el desarrollo rural (RIMISP). Santiago de Chile. 39 p.

SEGEPLAN (Secretaria de Programación y Planificación de la Presidencia). 2005. Mapas de la pobreza y desigualdad en Guatemala. Guatemala, 44 p.
SEGEPLAN (Secretaria de Programación y Planificación de la Presidencia). 2010. Tercer informe de avances en el cumplimiento de los Objetivos de desarrollo del milenio. Guatemala, 92 p.

SEGEPLAN (Secretaria de Programación y planificación de la Presidencia). 2012. Planes de desarrollo municipal de la República de Guatemala. Guatemala.

Sigrid, S., O´Hara, S. 2001. Preferences, needs and sustainability. International Journal of sustainable Development.4(1):4-21.

Spangerberg, J. 2005. Economic sustainability of the economy: concepts and indicators. International Journal of sustainableDevelopment. 8(1/2):42:64.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1961. Clasificación agrologica de suelos. Stallings, 1957 y Klingebiel y Montegomery. 268 pp.

Winograd, M. 1995. Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe. Documento para discusión del Taller Regional sobre Uso y Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad. PNUMA-CIAT.México.14 -16.

Zhang, He., Wen, Z. 2003. Study of indicators for urban environmentally sustainable development in China. International Journal of sustainableDevelopment. 6(2):170-182.

11. Anexos

	Anexo 1. Flujo de efectivo neto en la producción de palma africana (Elaeis guineensis Jac.) con proyecto de sostenibilidad								
Rubro			Años						
			0	1	2	3	13	14	15
	Ingresos	(Precio x Volumen)	US $/ Hectárea	0.0	0.0	0.0	38591.03	41358.80	43058.64
(-)	Gastos de venta *			0.0	0.0	0.0	3515.64	3767.79	3922.64
	Utilidades Brutas			**0.0**	**0.0**	**0.0**	**35075.38**	**37591.01**	**39136.00**
(-)	Costos operativos	Depreciación		1666.7	1666.7	1666.7	1666.7	1666.7	1666.7
		Transporte		0.00	0.0	0.0	1157.7	1240.7	1291.7
		Sueldos y Salarios		2232.4	2324.2	2364.7	3208.5	3254.7	3388.5
		Insumos agrícolas		0.0	0.0	0.0	2315.4	2481.5	2583.5
		Acopio y almacenamiento		0.0	0.0	0.0	771.8	827.1	861.1
		Servicios y mantenimiento		0.0	0.0	0.0	385.9	413.5	430.6
		Costo del uso de agua*		2926.9	3047.2	3172.5	4745.9	4941.0	5144.0
		Costo del uso del suelo**		125.0	130.1	135.5	202.7	211.0	219.7
		Total Costos Operativos		6951.0	7168.2	7339.3	14454.7	15036.4	15585.9
	Utilidades Operativas (UAII)			**6722.8**	**7040.2**	**7180.4**	**10099.3**	**10259.1**	**10721.9**
(-)	Costos financieros	8%		2324.8	14955.1	15213.1	160.0	106.6	53.3
	Utilidad antes de impuestos	**UAI**		**-7751.**	**-7914.9**	**-8032.7**	**20514.0**	**22501.2**	**23550.0**
(-)	ISLR	29%		-2247.8	-2295.3	-2329.4	5949.0	6525.3	6829.5
	Utilidades Netas			**-5503.2**	**-5619.6**	**-5703.2**	**14564.9**	**15975.8**	**16720.5**
(+/-)	Capital de trabajo			0	0.00	0	0	0.00	0
(-)	Amortización de capital			- 666.7	- 666.7	- 666.7	666.7	666.7	666.67
(+)	Depreciación			1666.7	1666.7	1666.7	1666.7	1666.7	1666.7
(-)	Internalización externalidades			- 3357.1	- 3495.1	-3638.7	5443.4	5667.1	5900.1
(+)	Valor de rescate								17196.7
	Inversión		15000				52.0	11308.6	
	Flujo de Efectivo Neto		**-15000**	**-7860.4**	**-8114.7**	**-8341.7**	**10121.4**	**11308.65**	**29017.07**

Anexo 2. Flujo de efectivo neto en la producción de palma africana (Elaeis guineensis Jac.) SIN proyecto de sostenibilidad

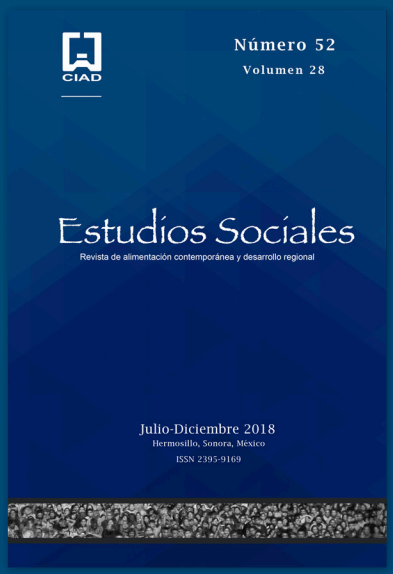
RUBRO	Años									
	0	1	2	3	4	5	6	13	14	15
Ingresos		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17789.7	21390.0	21698.1	22590
Gastos de venta		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2510.1	3018.1	3061.6	3187.4
Utilidades Brutas		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15279.5	18371.9	18636.5	19402.5
Costos operativos		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000.0	1000	1000
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	889.4	1069.5	1084.9	1129.5
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2668.4	3208.5	3254.7	3388.5
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1423.1	1711.2	1735.8	1807.2
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	711.6	855.6	867.9	903.6
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	355.8	427.8	433.9	451.8
		1000.0	1000	1000	1000.0	1000	7048.5	8272.6	8377.3	8680.5
Utilidades Operativas (UAII)		-1000	-1000	-1000	-1000.0	-1000.0	8231	10099.3	10259.1	10721.9
Costos financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidades antes de impuestos		4389.5	4706.9	4847.0	5183.2	5533.3	5897.7	7765.9	7925.8	8388.6
ISLR		1272.9	1365	1405.7	1503.1	1604.7	1710.3	2252.1	2298.5	2432.7
Utilidades Netas		- 3116.5	- 3341.9	-3441.4	3680.1	3928.7	4187.3	5513.8	5627.3	5955.9
Capital de trabajo		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización de capital		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Depreciación		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
		- 4116.5	-4341.9	-4441.4	-4680.1	-4928.7	5187.3	6513.8	6627.3	6955.9
Valor de rescate										576
Inversión / Hectárea	-5,000									
Flujo de Efectivo Neto	-5000	-4116.5	-4341.9	-4441.4	-4680.1	-4928.7	5187.39	6513.8	6627.3	7531.9

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo regional

Número 52, volumen 28. Julio - Diciembre 2018

Revista electrónica. ISSN: 2395-9169



Valoración económica del consumo y producción de materias primas para la fabricación de biodiésel en Guatemala

Economic valuation of consumption and production of raw materials for the manufacturing of biodiesel in Guatemala

DOI: http://dx.doi.org/10.24836/es.v28i52.581

Milton Abel Sandoval Guerra*
Marco Antonio Almendarez-Hernández**
Alejandra Nieto Garibay**
Enrique Troyo Diéguez**
Alfredo Ortega Rubio**
Luis Felipe Beltrán Morales**

Fecha de recepción: 11 de enero de 2018.
Fecha de envío a evaluación: 31 de enero de 2018.
Fecha de aceptación: 15 de abril de 2018.

*Estudiante del doctorado en Orientación Ecológica.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).
** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).
Instituto Politécnico Nacional No.195.
Colonia Playa Palo de Santa Rita.
C. P. 23090, La Paz, Baja California Sur, México.
Teléfono: 01 6121258484.
Autor para correspondencia: Luis Felipe Beltrán Morales.
Dirección: lbeltran04@cibnor.mx

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México

Resumen / Abstract

Objetivo: realizar la valoración económica del consumo y producción de materias primas para la elaboración de biodiésel en Guatemala. Metodología: se utilizó fue el Método de Valoración Contingente para estimar el valor económico-ambiental que los consumidores y productores le otorgan a la producción de las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón (*Jatropha curcas*) para generación de biodisel. Para el caso de la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), se utilizó el método de valoración denominado Cambio de Productividad para establecer el excedente del productor y el método de valoración contingente para determinar el excedente de los consumidores. Resultados: los resultados del análisis de valoración económica ambiental reportan bienestar o excedentes para el consumo de biodiésel y la producción de las tres materias primas a valor presente en el orden de los US $71 millardos de dólares para un periodo de quince años y con la meta de sustituir el 80% del diésel por biodiésel con el cultivo y producción de 374,832 hectáreas. De este excedente total, el 99.76% está dado por el excedente de los consumidores por lo que el bienestar de los productores de las materias primas a valor actual se estimó en US $169 millones. Limitaciones: son las propias de la metodología de valoración económica que se utilizó, ya que al generar mercados hipotéticos se pueden caer en sesgos de la información los cuales se reducen por las técnicas estadísticas utilizadas. Conclusiones: se recomienda que la asignación de recursos se debe orientar a la demanda de los compradores que más valoran el consumo de biodiésel, es decir aquellos que muestran una mayor disposición a pagar (DAP).

Palabras clave: desarrollo regional: valoración económica; bienestar social; excedente del consumidor y productor; método de valoración contingente; productividad.

Objective: make an economic valuation of the consumption and production of raw materials for the production of biodiesel in Guatemala. Methodology: was the Contingent Valuation Method (MVC) to estimate the economic-environmental value that consumers and producers give to the production of the raw materials Higuerillo (*Ricinus communis*) and Piñón (*Jatropha curcas*) for the generation of biodiesel. In the case of the African Palm (*Elaeis guinnensis*), the valuation method called Productivity Change was used to establish the surplus of the producer and the Contingent Valuation Method to determine the consumers surplus. Results: The results of the environmental economic valuation analysis, report total welfare or surpluses for the consumption of biodiesel. The production of the three raw materials at present value in the order of US $71 billion for a period of fifteen years and with the goal replacing 80% of diesel with biodiesel with the cultivation and production of 374,832 hectares. Of this total surplus, 99.76% is given by the consumer's surplus that the welfare of the producers of raw materials at current value was estimated at US $169 million. Limitations: are those of the economic valuation methodology that was used, since generating hypothetical markets can lead to information biases that are reduced by the statistical techniques used. Conclusions: it is recommended that the allocation of resources should be oriented to the demand of the buyers that most value the consumption of biodiésel, that is to say those that show a greater disposition to pay (DAP).

Key words: regional development; economic valuation; social welfare; consumer and producer surplus; contingent valuation method; productivity.

Introducción

La importancia de este trabajo radica en que es imprescindible conocer el valor económico y ambiental asignado por los productores de las materias primas, así como también el de la población guatemalteca con potencial de consumo del carburante neutro biodiésel, como una alternativa de este a los combustibles fósiles derivados del petróleo. El objetivo principal que guía este trabajo fue realizar la valoración económica del consumo y producción de materias primas para la elaboración de biodiésel en Guatemala, así como analizar las implicaciones socioambientales de los efectos de estas actividades y establecer recomendaciones de la asignación óptima de estos recursos.

La Renewable Fuels Association (RFA) (2014) indica que la temática de la valoración económico-ambiental de los biocombustibles es de relevancia en la actualidad ya que representan procesos crecientes en el mundo para la sustitución de los combustibles fósiles y que, dentro de sus principales temas, de debate están sus implicaciones en el desplazamiento de la producción de alimentos en países o regiones productoras en vías de desarrollo como Guatemala (Bolay, 2004; Green Peace, 2008; FAO 2014; ACRG, 2013).

Para Pearce (2014), la valoración económico ambiental, en función de su bienestar total, se constituye en un instrumento de importancia estratégica parcial. Carpintero (2007) agrega que, junto con otros componentes, es una valiosa herramienta de apoyo para la toma de decisiones para la sustentabilidad, en el marco de hacerle frente a los efectos del cambio climático, como sería la producción de materias primas para la fabricación de biodiésel en Guatemala (RFA, 2014 y Nueva Visión-Prosol, 2010).

En el marco de un enfoque bioeconomico hacia la sostenibilidad, que incluye el análisis de la economía del bienestar, se expresan los máximos beneficios (bienestar económico total) tanto para los productores de las materias primas para la fabricación de biodiésel como para los consumidores del biocarburante (Mansour, 2005; Spangerberg, 2005).

Para el cálculo del excedente del consumidor en las tres materias primas promisorias fue necesario calcular la Disposición a Pagar (DAP) ya que como lo indican Cristeche y Penna (2008), es el precio máximo que se está dispuesto y se puede pagar por un bien o servicio, es decir el valor económico que se le asigna a estos. El excedente del consumidor se midió a través de la curva de la demanda expandida (Draper y Klingman, 1976) y se constituye en el beneficio que obtienen los compradores de biodiésel tal como lo percibe ellos. Es decir, se valoró la cantidad de valor que el comprador está dispuesto a pagar menos lo que paga realmente (Alberini, Kanninen y Carson 1997; Azqueta, 1994). De la misma manera que el excedente del consumidor está relacionado con la curva de la demanda expandida, el excedente del productor está relacionado con la curva de la oferta (Draper y Klingman, 1976).

El excedente total del mercado, definido como la producción de materias primas para la fabricación y comercialización de biodiésel en Guatemala, se consideró como el valor total para los compradores de los bienes, medido por su disposición a pagar por litro del biocarburante (US $) menos los costos totales que tiene para los productores la producción de las materias primas de Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón (*Jatropha curcas*). Es decir, la suma del excedente del consumidor más el excedente del productor como lo consideran Barrera y Schwarze (2004).

Para la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) se utilizó el método de Cambio en la Productividad para determinar el excedente de los productores. Este método, como lo sugiere Contreras (2009), realiza el análisis del Costo Beneficio a valor presente a través del cálculo del Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de efectivo sin y con proyecto para internar las externalidades negativas ambientales y elevar la productividad como resultado de la interacción directa con un cambio físico de producción.

El significado técnico del cambio de productividad (Salvatore, 1976) consistió por lo tanto en evaluar el valor (económico) de un bien ambiental, en este caso, sistema productor de materias primas para la fabricación de biodiésel. En ese sentido, la pérdida de valor del bien ambiental pudo medirse para esta manera, según el cambio de productividad, valorar el bienestar unitario (individual) para luego, con la suma de los bienestares individuales obtener el bienestar social

productivo. El trabajo se enfocó con un análisis regional que considera todas las áreas destinadas a la producción de las materias primas sujetas a estudio en Guatemala, dejando de manifiesto la complejidad y necesidad de accionar de la política agraria nacional y la implicación que esto pude tener en la dimensión socioeconómica y alimentaria.

Materiales y métodos

Se utilizó el Método de Valoración Contingente (MVC) para estimar el valor económico-ambiental que los productores y la sociedad le otorga a la producción de las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón (*Jatropha curcas*). Para el caso de la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), se empleó el método de valoración económico-ambiental denominado Cambio en la Productividad**.** Los supuestos en los que se basan ambas técnicas, según Haab y McConnell (2002) son:

- El bienestar individual puede ser medido, aún aquel que se genera por la provisión gratuita o a muy bajo costo.
- Los individuos maximizan su bienestar eligiendo la mejor combinación de bienes, servicios y ahorros dadas sus restricciones.
- El bienestar social es la suma del bienestar de los individuos. El bienestar total es igual a la suma del bienestar individual más el social, constituyéndose en el excedente del consumidor.
- El bienestar generado por bienes y servicios suele ser deficiente.

Algunos autores (Bolay, 2004; Carson y Hanemann, 2005) consideran al MVC como un método de valoración directa, ya que se obtiene mediante la formulación de preguntas directas. El propósito de la aplicación del método fue obtener el valor de un bien para el cual no existe un mercado. Para el efecto, se construyó un mercado hipotético y se basó en la determinación del valor económico-ambiental asignado individualmente al bien esperado, mediante una encuesta. En la encuesta realizada para la colecta de información se incorporaron preguntas relacionadas, siguiendo una estructura de tres partes:

1. Datos generales y referenciales del encuestado (sexo, edad, profesión, escolaridad, ingreso familiar entre otros).
2. Pregunta clave (DAP, DAC).
3. Ordenamientos jerárquicos que fueron a.) los actores involucrados (productores y consumidores en general) les otorgan a los beneficios potenciales de la producción de materias primas para la fabricación y consumo de biocombustibles; b.) ¿Cuál es el ordenamiento jerárquico que los consumidores otorgan a la producción de biocombustibles para su consumo?; c) si están o no dispuestos los productores a recibir un precio por cada unidad de volumen de producción de materia prima; d.) si los consumidores están dispuestos a pagar, a cambio de obtener esos beneficios económicos-ambientales; e) en caso de que sí están dispuestos a producir (agricultores) ¿cuál es el máximo de margen que están dispuestos a aceptar?; f.) si están dispuestos a pagar, ¿cuál es el monto máximo que estarían dispuestos a pagar?; g) si no están dispuestos a pagar, ¿cuáles son las principales razones para no hacerlo?; i) si no están dispuestos a aceptar un margen menor, ¿cuáles son las principales razones para no hacerlo?

La cuestión clave que, a su vez, permitió contextualizar y establecer la disposición a pagar (DAP) basado en las recomendaciones de Carson y Hanemann, (2015) fue: Suponga que se radicalizan las medidas para no usar combustibles fósiles (petróleo) derivado de las políticas, acuerdos y leyes que permitirán enfrentar los efectos negativos del cambio climático. Suponga, además, que su municipio cuenta con las características para la producción de materias primas para la fabricación de biodiésel. También, que mediante políticas gubernamentales se garantizará por lo menos para quince años los precios, tanto de la tonelada métrica de materia prima como del litro de biodiésel. De acuerdo con lo anterior y sabiendo que contribuirá en el futuro a reducir la contaminación del medio ambiente, así como a mitigar los efectos del cambio climático ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar (DAP) por litro de biodiésel? Los valores se presentan en la Tabla 1 en dólares USD, sin embargo, la encuesta se realizó en quetzales que es la moneda guatemalteca (tipo de cambio Q. 7.5 quetzales por US $1 dólar USD).

Tabla 1 Rangos para preguntar la disposición a pagar por litro de biodiesel o a ser compensado por tonelada métrica de materia prima

No.	Disposición a pagar (DAP) (US $ /Litro)	Disposición a ser compensados (DAC) (US$ /Tonelada métrica de materia prima)
1	0.88 ó más	440 ó menos
2	0.81 a 0.88	440 a 513
3	0.70 a 0.81	513 a 587
4	0.63 a 0.70	587 a 660
5	0.56 ó menos	773 ó más

FUENTE: elaboración propia.

Para fijar los rangos de DAP y DAC, se desarrolló el enfoque de submuestras de referencia, para lo cual, se realizó un premuestreo con formato abierto con el objeto de definir los valores correspondientes. La encuesta se realizó mediante un muestreo probabilístico estratificado que considero los niveles de los departamentos y municipios establecidos con potencial para la producción de materias primas para la fabricación de biocombustibles. Para definir los municipios y cantidad se realizó un muestreo aleatorio por materia prima. Para el Piñón (*Jatropha curcas*) fueron siete municipios, para el Higuerillo (*Ricinus communis*) quince y para la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) nueve los seleccionados. En la Tabla 2 se observan los municipios donde se aplicaron encuestas para medir la valoración económica y ambiental de la producción y consumo de biodiésel en Guatemala.

Tabla 2 Municipios donde se aplicaron encuestas para medir la valoración económica, producción y consumo de biodiésel en Guatemala

Materia Prima	Departamentos reportados con factibilidad para la producción de la materia prima priorizada	Departamentos seleccionados como muestra para la evaluación de los indicadores	Municipios reportados con factibilidad para la producción de la materia prima priorizada	Municipios/ departamento seleccionados para la evaluación - muestra de los indicadores
Piñón (*Jathropha curcas*)	11	Jutiapa Guatemala Chiquimula Izabal Huhuetenango	87	Agua Blanca, Jutiapa Chinautla Chiquimula Morales Chiantla, Huhuetenango
Higuerillo (*Ricinus comunnis*)	7	Jutiapa Jalapa Chiquimula El Progreso Baja Verapaz Quiché Huhuetenango	38	El Progreso, Santa Catarina Mita Monjas, San Manuel Chaparron, San Luis Jilotepeque Chiquimula, Ipala Sanarate, Sansare Rabinal, Salamá Cunén, San Luis Ixcán Aguacatán, Todos Santos Cuchumatanes, Chiantla
Palma africana (*Elaeia guinnensis*)	9	Peten Izabal Santa Rosa Alta Verapaz Quetzaltenango Retalhuleu	65	Sayaxché, San Francisco Morales, El Estor Guazacapán Cobán, Cahabón Coatpeque Retalhuleu

FUENTE: elaboración propia.

Con los municipios identificados, se estableció una muestra representativa de acuerdo al tamaño total de la población del municipio y el porcentaje de la población reportado como dedicado a las actividades agrícolas. La única exclusión para ser encuestado fue que fuera mayor de edad. Para el cálculo del tamaño de la muestra, conociendo el tamaño de la población se utilizó la fórmula:

$$n = N^* Za2^* p^* q / d2^* (N - 1) + Za2^* p^* q$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra / municipio
N: Tamaño de la población del municipio
Za: Nivel de confianza del 98% para un valor de 1.97
p: Probabilidad de éxito o proporción esperada (0.5)
q: Probabilidad de fracaso o proporción esperada (0.5)
d: Precisión (error máximo admisible en 3%)

Se tuvo presente al momento de aplicar el método de muestreo probabilístico estratificado (Pedroza, 1988) que es un mercado hipotético y las mejoras aún no existen, por lo que los productores y usuarios "expresaron" su disposición a pagar, con base en la información que se les presentó en la pregunta clave. De acuerdo con la cantidad de municipios y a la dispersión de los mismos en el territorio nacional, inicialmente se implementó la aplicación de una encuesta de DAP con formato abierto, utilizando una tarjeta de pagos. Con respecto al Método de Cambio en la Productividad, bajo ese criterio, se estimó la contribución del capital natural a la actividad económica referida para esta materia prima en la fabricación de biodiésel (Roltz, Maldonado y Zambrano, 2015).

La valoración se realizó con un enfoque objetivo de análisis del costo beneficio de la interacción directa ya que normalmente se aplica cuando un proyecto de desarrollo afecta la producción o productividad (positiva a o negativa) de una determinada área, en nuestro caso los 9 municipios seleccionados. La técnica se basó en la valoración de los cambios físicos en producción (IICA, 2010; MAGA, 2008; MAG, 2012) utilizando precios de mercados para los costos y beneficios como lo recomiendan Cristeche y Penna (2008). En síntesis, los cambios pudieron ser valorados usando los precios económicos reales en dólares estadounidenses (normales o corregidos, cuando existieron distorsiones en el mercado).

Con esta técnica, el costo de oportunidad de la producción agrícola perdida, se convierte en una medida de valor de los servicios ambientales de los sistemas de

producción de materias primas con enfoque a la sostenibilidad. Al realizar los análisis de flujo de efectivo de los cambios en la productividad a valor presente neto, con precios de mercado y considerando la diferencia de ingresos/egresos con la internación de las externalidades económicas y ambientales y sus consiguientes cambios en la productividad agrícola, se obtuvo a nivel unitario (hectárea de producción) el monto o beneficio individual.

El beneficio total o social, fue la sumatoria de los beneficios individuales, en este caso, la totalidad de hectáreas estimadas para la producción de materias primas para la fabricación de biodiésel en un período de quince años cuando se consigue la meta de sustituir por este el 80% del diésel consumido en el país.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan las funciones de demanda y oferta para las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerrillo (*Ricinus communis*). De igual manera, el índice de correlación para cada modelo.

Tabla 3 Funciones de demanda y oferta para las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus communis*)

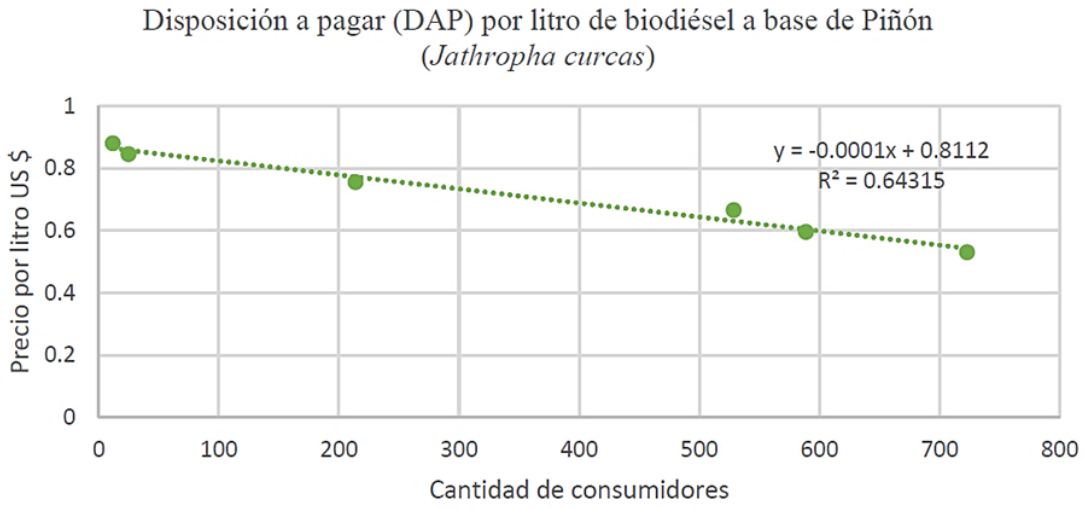
No.	Materia Prima	Función de demanda	Índice de correlación (R^2)	Función de oferta	Índice de correlación (R^2)
1.	Piñón (*Jatropha curcas*)	Y = - 0,0001(X) + 0.8112	0.6432	Y = 0.4032 (X) + 415.74	0.9238
2.	Higuerillo (*Ricinus communis*)	Y = - 7,0 (X^{-5}) + 0.8138	0.8021	Y = 0.0516 (X) + 526.66	0.6061

FUENTE: elaboración propia.

Los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos nos indican que existe relación lineal entre las dos variables aleatorias cuantitativas analizadas, siendo estas precio y cantidad de consumidores, para establecer el caso de la disposición a pagar (DAP, función de demanda) y en otro el precio y cantidad de productores, para establecer la disposición a ser compensados (DAC, función de oferta).

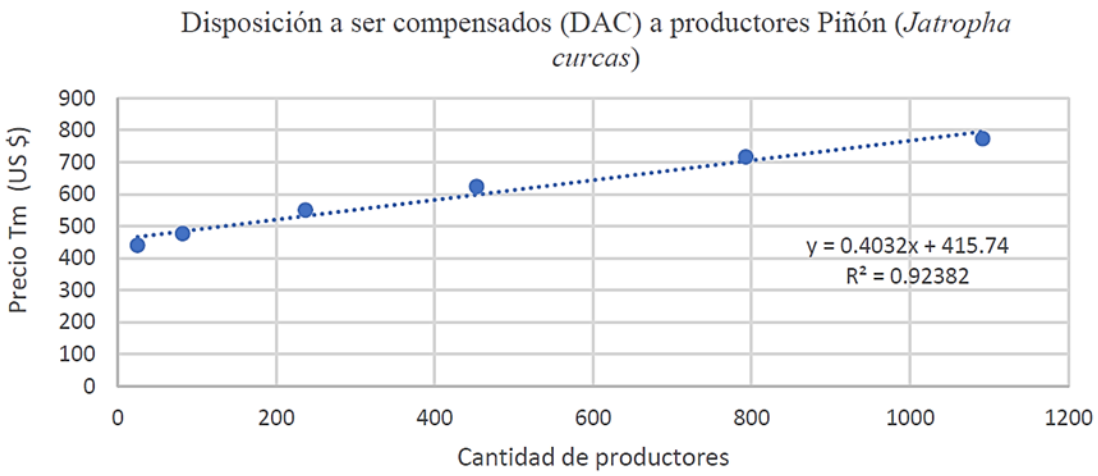
En ese sentido, el coeficiente de correlación lineal nos permitió, por un lado, establecer la covariación conjunta de las dos variables, la cual es aceptable para todas las funciones evaluadas (demanda de litros de biodiésel y oferta de toneladas métricas de materia prima) y por otro, garantizarnos que se tuvo la universalidad suficiente para poder establecer las comparaciones en los distintos casos. Obsérvese de manera gráfica los resultados obtenidos en las Gráficas 1 y 2 para el caso del Piñón (*Jatropha curcas*) y las Gráficas 3 y 4 para el Higuerillo (*Ricinus communis*).

Gráfica 1 Función de demanda litros de biodiésel a base de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas*)



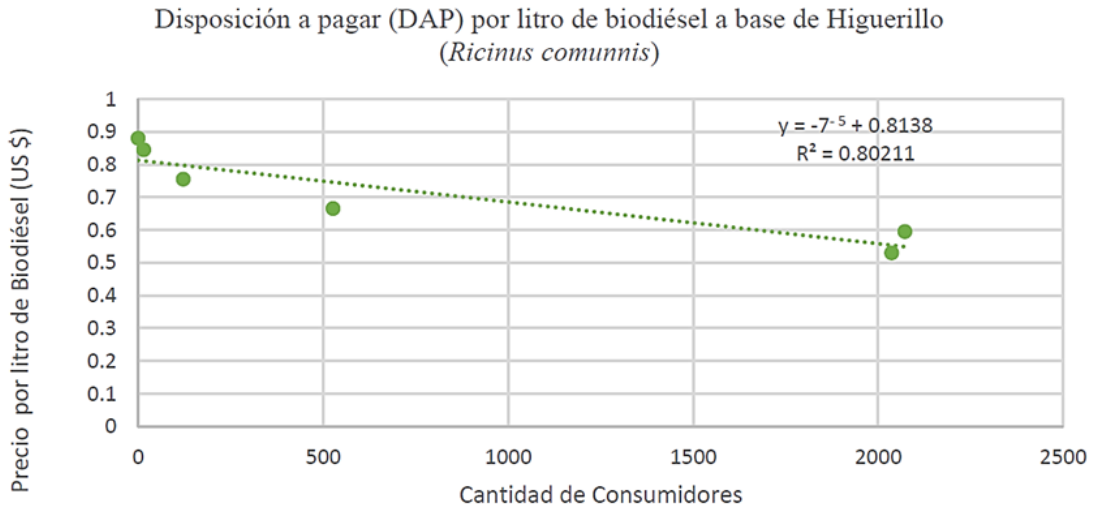
FUENTE: elaboración propia.

Gráfica 2 Función de oferta en toneladas métricas de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas*).



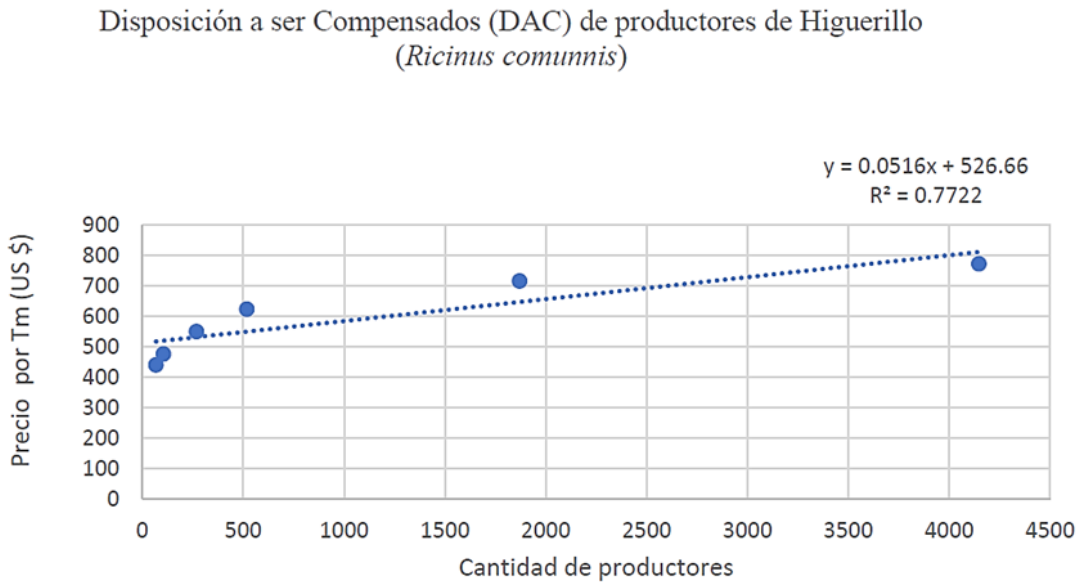
FUENTE: elaboración propia.

Gráfica 3 Función de demanda de litros de biodiesel a base de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis*)



FUENTE: elaboración propia.

Gráfica. 4 Función de oferta de toneladas métricas de la materia prima a base de Higuerillo (*Ricinus communis*)



FUENTE: elaboración propia.

Para la función de demanda, obtuvimos pendiente negativa para ambas materias primas, pero con una mayor correlación en el caso del Higuerillo (*Ricinus communis*) 0.8021, yendo de moderada a elevada para el caso del Piñón (*Jatropha curcas*) 0.6432. La función de oferta presentó una pendiente positiva; se encontró una elevada correlación para el Piñón (*Jatropha curcas*) 0.9238 y de moderada a elevada para el Higuerillo (*Ricinus communis*) 0.6061.

Excedente del consumidor para el biodiésel fabricado a partir de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus communis*)

Para establecer el excedente del consumidor, se partió de las funciones de demanda estimadas que se mencionaron en los párrafos anteriores. A estas funciones de demanda se les calculó su integral definida para así determinar el área bajo la curva dentro de los límites de cantidad de consumidores con disposición pagar (DAP) desde US $0.88 ó más por litro de biodiésel (límite inferior) y expandiendo la

demanda de manera proporcional entre la diferencia de los diferentes rangos de cantidad de consumidores y su DAP hasta la cantidad de consumidores dispuesto a pagar (DAP) US $0.56 ó menos por litro de biodiésel.

Para el caso del Piñón (*Jatropha curcas*), de un total de 4,541 datos para los siete municipios estudiados, doce manifestaron una disposición a pagar de US $0.88/litro de biodiésel, constituyéndose de esta manera en límite mínimo o inferior. El sexto grupo de 920 consumidores reportó una disposición a pagar de (DAP) un monto de US $0.56 ó menos por litro, para de esta manera, con base a la sumatoria de las diferencias entre cada grupo, constituir un total de 2,806 consumidores donde ya no existe expansión de la demanda, por lo tanto, se constituye en el límite máximo o superior.

Asumiendo que cada persona de este límite máximo, consume un litro de biodiésel, el precio de equilibrio obtenido por litro a base de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas*) fue de US $0.53. La ganancia de los consumidores asciende entonces a US $976.50, cuando el nivel de venta se sitúa en los 2,806 litros y a un precio de US $0.53 por litro. Según estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2010), así como de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2013), el volumen de las importaciones y/o consumo proyectado de diésel, de no existir cambios en la matriz energética para el 2030, donde se plantea una meta de sustitución del 80% por biodiésel, sería del orden de los 2,175 millones de barriles.

Con base en cálculos efectuados, el aporte óptimo por maximización de la contribución para la fabricación de biodiésel a través del cultivo y producción de la materia prima Piñón (*Jatropha curcas*) es del 6.31% (23,660.28 hectáreas) en relación con el área total disponible para los tres cultivos. Esto representa, del total de los 2,175 millones de barriles, una cantidad de 137.24 millones de barriles de biodiésel proveniente de esta materia prima. Por lo tanto, si 159 litros hacen un barril de biodiésel y se asume una venta de 2,806 litros equivalente a 17.65 barriles, que generan una ganancia o contribución parcial de US $ 976.50 dólares; para los 137.24 millones de barriles, correspondería un excedente total del consumidor de biodiésel a base de Piñón (*Jatropha curcas*) en Guatemala de, aproximadamente, siete millardos de dólares estadounidenses (US $7,593,071,556.80).

Usando el mismo método de valoración contingente (MVC), para el caso del Higuerillo (*Ricinus communis*), de un total de 8,383 datos, de los quince municipios estudiados, quince consumidores manifestaron pagar en promedio US $0.85/litro de biodiésel, constituyéndose de esta manera en el límite inferior de la integral definida. El quinto grupo, conformado por 3,097 consumidores, estarían dispuestos a pagar (DAP) un precio mínimo de US $0.56 ó menos, para

constituirse de esta manera, con la sumatoria de las diferencias entre las gradualidades de las cantidades de consumidores con DAP, el límite superior de 4,895 consumidores donde ya no se expande la curva de la demanda.

Asumiendo que del total de consumidores (4,895) cada persona consume un litro, el precio de equilibrio obtenido por litro de biodiésel a base de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis*) es de US $0.52. La ganancia parcial de los consumidores asciende a US $1,837.23 cuando el nivel de venta se sitúa en los 4,895 litros a un precio de US $0.52 el litro. Considerando el dato de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (MEE, 2014), así como de la OLADE (2013), en referencia a que el volumen de las importaciones y/o consumo proyectado de diésel, de no existir cambios en la matriz energética para el 2030 (año meta para la sustitución del 80% de diésel por biodiésel), sería del orden de los 2,175 millones de barriles de diésel y, con base en los cálculos efectuados, el aporte de contribución para la fabricación del biocarburante a través del cultivo y producción de la materia prima Higuerillo (*Ricinus communis*) es de 9.62% en relación al total de área disponible (36,068.57), se estima una cantidad de 209.23 millones de barriles de biodiésel proveniente de esta materia prima.

Por lo tanto, sí 159 litros hacen un barril de biodiésel y se conoce que, con una venta de 4,895 litros, equivalente a 30.79 barriles, se genera una ganancia o contribución parcial de US $1,837.23 dólares, para los 209.23 millones de barriles que le correspondería al Higuerillo (*Ricinus communis*) se obtendría en Guatemala un excedente o ganancia para el consumidor de biodiésel proveniente de esta materia prima del orden de los doce millardos de dólares estadounidenses aproximadamente (US $12,486,567,074.76).

Excedente del productor de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus communis*)

El excedente del productor para el Piñón (*Jatropha curca*) está representado por el área bajo la curva de oferta. Se delimitó como límite inferior la cantidad de cuarenta productores que reportan estar dispuesto a ser compensados (DAC) por una cantidad de US $440 ó menos por tonelada métrica (Tm) de materia prima. Al expandirse la curva de la oferta con posiciones más elevadas de precio para ser compensados, encontramos que existen diferentes cantidades de productores dispuestos a producir sí se les compra la materia prima a valores superiores hasta

llegar al sexto grupo de 734 productores que producirían sí son compensados con US $773 ó más por Tm de materia prima de Piñón (*Jatropha curca*).

Sí la curva de la oferta para la producción de materia prima en una hectárea de Piñón (*Jatropha curcas*) se representa con y = 0.4032 X + 415.74, y asumimos conforme a lo reportado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2014; el IICA 2010; García, 2010; un rendimiento promedio de 2.5 Tm/ha (suelos marginales), así como también que cada uno de los 840 productores aporta una hectárea de cultivo, tenemos un precio de equilibrio de US $1,262.46 si la producción asciende a las 2,100 Tm. Se obtiene una utilidad, ganancia, superávit o excedente del productor total bajo este comportamiento de US $23,077,992.96 conforme a la memoria de cálculo siguiente:

$$p\ (US\ \$) = 0.4032\ X + 415.74$$

$$p\ (US\ \$) = 0.4032\ (2{,}100) + 415.77$$

$$p\ (US\ \$) = 846.72 + 415.77$$

$$p\ (US\ \$) = 1{,}262.46$$

Para una sustitución del 80% de diésel por biodiésel, se ha estimado el cultivo de 53,252 hectáreas de Piñón (*Jatropha curcas*) en un periodo de quince años. Con este comportamiento, la ganancia total de los productores se estima en un aproximado de veintitrés millones de dólares estadounidenses (US $23,077,992.96).

Para el caso del Higuerillo (*Ricinus communis*), el excedente del productor está representado por el área bajo la curva del modelo para la oferta y = 0.0516 X + 526.66. Se delimitó como límite inferior la cantidad de sesenta productores que reportan estar dispuesto a ser compensados (DAC) una cantidad de US $440 ó menos por tonelada métrica de materia prima. Al expandirse la curva de la oferta con posiciones más elevadas de precio, encontramos que existe un grupo de 4,683 productores dispuestos a producir y vender sí son compensados con valores de 773 o más de dólares estadounidenses.

En la Tabla 4 se presentan elxcedente total del consumo de biodiésel y producción de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus comunnis*) para su fabricación en Guatemala.

Tabla 4 Excedente total del consumo de biodiésel y producción de las materias primas Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus comunnis*) para su fabricación en Guatemala

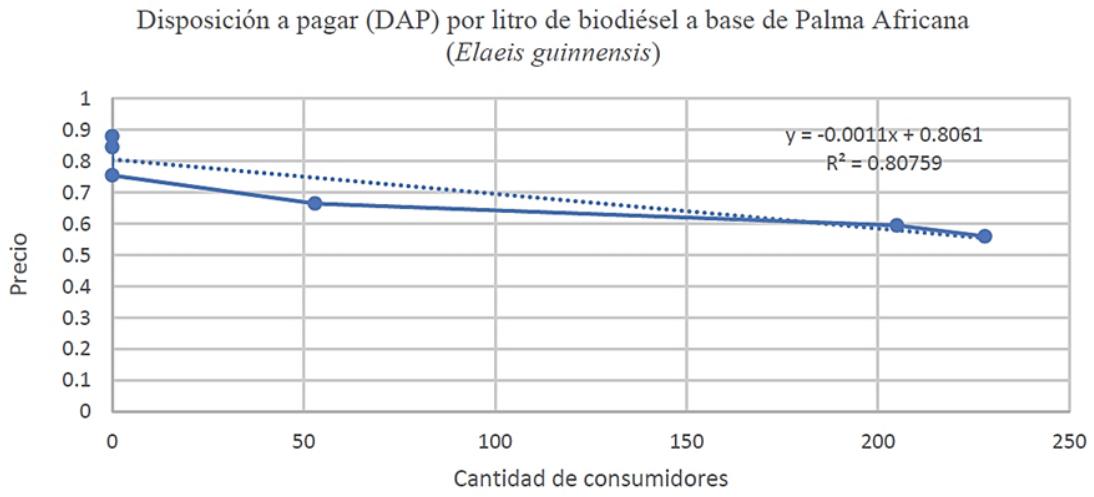
Materia prima	Excedente del consumidor (US $)	Excedente del productor (US $)	Excedente total (US $)
Piñón	7,593,071,556.80		7,616,149,549.76
Higuerillo (*Ricinus communis*)	12,486,567,074.76	30,169,625.29	12,516,736,700.05
Sub Total	20,079,638,631.56	53,247,618.25	20,132,886,249.81

FUENTE: elaboración propia.

Excedente del consumidor del biodiésel fabricado a base de la Palma Africana (*Elaeis guinnensis*)

Para establecer el excedente del consumidor (Gráfica 5), se partió de las funciones de demanda $y = - 0.0011x + 0.8061$, con un índice de correlación $R^2 = 0.8070$. A esta función de demanda se le calculó su integral definida para así determinar el área bajo la curva dentro de los límites de cantidad de consumidores con disposición pagar (DAP) desde US $0.88 ó más por litro de biodiésel y expandiendo la demanda hasta la cantidad de consumidores dispuesto a pagar (DAP) US $0.56 ó menos por litro de biodiésel.

Gráfica 5 Disposición a pagar (DAP) por litro de biodiesel a base de Palma Africana (*Elaeis guinnensis*)



FUENTE: elaboración propia.

Para el caso del biodiésel a base de Palma Africana (*Elaies guinnensis*), de un total de 3,790 datos para los nueve municipios estudiados, un grupo de 53 consumidores manifestaron pagar un promedio de US $0.67/litro (límite inferior) y de acuerdo con la expansión de la demanda se llega a un grupo de 228 consumidores dispuestos a pagar (DAP) un monto de US $0.56 ó menos por litro. Por lo que, al sumar las diferencias entre las cantidades de consumidores por grupo y precio a pagar por litro de biodiésel, se tiene un límite superior de 228 consumidores. Asumiendo que cada persona de este límite superior, consume un litro de biodiésel, el precio de equilibrio obtenido por litro a base de la materia prima Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) es de US $0.56. Al respecto, la ganancia para los consumidores asciende a US $70.94 cuando el nivel de venta se sitúa en los 228 litros y un precio de US $0.56 por litro de biodiésel.

El excedente del productor en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) se estimó conforme al método de cambio en la productividad física (MCF) para un horizonte de tiempo de quince años y retrotraído a valor presente con tasas de descuento con estructuras mixtas de capital (recursos propios y préstamos blandos del Estado) calculadas mediante costos promedios ponderados de capital del 12% y

8.21% respectivamente, para una hectárea de producción de Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) sin y con proyecto ambiental que incorpora a los flujos de efectivo las externalidades socio ambientales (Ramírez, 2009).

Cuando el excedente del consumidor de Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), al igual que como se realizó en el caso de las materias primas Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón (*Jatropha curcas*), lo retrotraemos a valor presente (Ramírez, 2009), con una tasa del 3% para un periodo de quince años (Banco Central de Guatemala, 2017), nos arroja un monto aproximado de cincuenta y ocho millardos de dólares estadounidenses (US $58,052,480,297.48). En ese sentido, el excedente total o bienestar social generado en Guatemala con la producción y consumo de biodiésel con base en la materia prima Palma Africana (*Elaeis guinennsis*), determinado por la suma del excedente del productor más el excedente del consumidor corresponde a cincuenta y ocho millardos con ciento noventa y dos millones de dólares estadounidenses (US $58,192,216,428.84).

La industria de la fabricación de biodiésel en Guatemala con base en la producción de las tres materias primas promisorias estudiadas es un proceso, que para que logre impactar en el desarrollo nacional, que se caracteriza por su complejidad estructural, no sólo depende del aspecto económico. Se debe considerar por tanto para un mejor fallo en torno a la determinación de la viabilidad de la promoción de esta industria con un enfoque de sustentabilidad la manifestación e implicaciones sociales, culturales, ambientales e institucionales además de la dimensión puramente de valoración económica (Chahin, 2009).

Es importante señalar que los valores de la DAP para el Piñón (*Jatropha curcas*) y el Higuerillo (*Ricinus communis*), materias primas que son necesarias para la producción de biodiésel de Guatemala en la presente investigación, se encuentran dentro del rango de valores reportados por la evidencia internacional. En la Tabla 5 se presentan los estudios por país, materia prima usada, el método de valoración usado y el valor de la DAP; es el método de valoración contingente el más recurrido para estimar la DAP en los trabajos de energías renovables (Giraldo, García y Amaral, 2010).

Tabla 5 Estudios internacionales de materias primas, método de valoración económica y Disposición a Pagar (DAP)

País	Materia prima	Método de valoración	DAP	Fuente
Sri Lanka	Cultivo agrícola no alimentario Jatropha (*Physic nut*)	Valoración contingente	$0.74-$0.85 euros por litro	Sivashankar et al. (2016)
España	Pan	Valoración contingente, experimento de elección	$0.71 euros	Kallas y Gil (2015)
Estados Unidos	Soya	Experimento de elección conjunto	$0.27 dólares por galón	Winden et al. (2015)
Vietnam	Aceite de Palma Jatropha curcas	Valoración contingente	$0.54-$95.34 dólares por mes	Phuong Lan (2015)
España	n.d.	Experimento de elección conjunto	$0.06-0.07 euros por litro	Giraldo et al. (2010)

FUENTE: elaboración propia.

Desde el punto de vista de la problemática alimentaria, los resultados obtenidos son interesantes ya que el 99.76% del excedente total o social establecido, está determinado por las ganancias o utilidades de los consumidores. Lo anterior, posiciona en una situación desfavorable a los productores agrícolas de las materias primas tanto por sus escasas utilidades del orden de los ciento setenta millones de dólares estadounidenses (US $170,890,659.14) a valor presente como también porque pudieran dedicar las 374,831 hectáreas aptas del total disponible para la producción de alimentos si esa fuera la política pública agraria nacional. Sin embargo, el costo de oportunidad de invertir en la producción de materias primas para la fabricación de biodiésel, a pesar del bajo porcentaje de bienestar económico esperado (0.24%) en relación con el excedente de los consumidores, sigue siendo desde una óptica de política pública una interesante opción para los agricultores de las áreas definidas para la producción de las mismas.

Conclusiones

Los modelos econométricos que se establecieron en la investigación corresponden a una distribución de Poisson de acuerdo a la disposición de los datos obtenidos, lo cual se confirma con índices de correlación (R^2) aceptables para el método de los mínimos cuadrados.

La industria de la fabricación de biodiésel en Guatemala, con base en la producción de las tres materias primas evaluadas, es un proceso que reportó una considerable valoración económica o bienestar social del orden a valor presente de los setenta y un millardos de dólares (US $71,204,441,308.82). En un 99.76% el mercado del biodiésel y de las materias primas Piñón, Higuerillo (*Ricinus communis*) y Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) para su fabricación está determinado por el bienestar o excedente de los consumidores.

Se debe considerar para una mejor toma de decisiones a la determinación de la viabilidad de la industria del biodiésel en Guatemala con un enfoque de sustentabilidad la manifestación e implicaciones sociales, culturales, ambientales e institucionales además de la dimensión puramente de valoración económica. La menor valoración económica, obtenida a valor presente en un periodo de análisis de quince años, es la correspondiente al excedente de los productores de las materias primas Piñón, Higuerillo (*Ricinus communis*) y Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), respectivamente con valoraciones económicas de once millones (US $11,732,439.79), diez y nueve millones (US $19,281,640.78) y ciento treinta y nueve millones de dólares estadounidenses (US $139,661,319.43). El costo de oportunidad de invertir en la producción de materias primas promisorias para la fabricación de biodiésel, a pesar del bajo porcentaje de bienestar económico esperado (0.24%) en relación con el excedente de los consumidores, sigue siendo una aceptable opción para los agricultores de las áreas establecidas para la producción de las mismas. Existe la opción para el planificador social, dado el bajo porcentaje de bienestar para los productores de las materias primas, descartar la asignación de recursos para el mercado de las provenientes de Piñón (*Jatropha curcas*) e Higuerillo (*Ricinus communis*) o establecer políticas y programas de incentivos para su producción.

La asignación de recursos se debe orientar a la demanda de los compradores que más valoran el consumo de biodiésel, es decir aquellos que muestran una mayor disposición a pagar (DAP) como es el caso del proveniente de la materia prima Palma Africana (*Elaeis guinnensis*), existiendo la opción de descartar desde el punto

de vista económico la fabricación y comercialización del biodiésel a base de Higuerillo (*Ricinus communis*) y Piñón.

El excedente del productor medido desde el punto de vista de la DAC implica que los mecanismos de libre mercado asignan o bien la planificación social orienta la producción de bienes a los "vendedores" que pueden producir (materia prima de biodiésel) a los menores costos de producción, como es el caso de los productores de materia prima a base de Palma Africana (*Elaeis guinnensis*) que tendrían un excedente mayor del 82% del total en relación al del 11% y 7% de los productores de Higuerillo (*Ricinus communis*) y los del Piñón (*Jatropha curcas*) respectivamente.

Es determinante, entonces, que, de acuerdo con las ventajas que representa la producción agrícola de las materias primas, para ésta sea sustentable debe acompañarse de una política pública de incentivos a los agricultores en términos de crédito, asistencia técnica, así como de servicios de desarrollo empresarial asociativo.

Bibliografía

ACRG (Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala). (2013). *Noticias*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: ACRG. Recuperado de: http://www.acrguatemala.com

Alberini, A., Kanninen, B., y Carson, R. T. (1997). Modeling response incentive effects in dichotomous choice contingent valuation data. *Land Economics*, 73(3), 309-324.

Azqueta, D. (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana.

BANGUAT (Banco Central de Guatemala). (2017). *Informe anual de variables macroeconómicas*. Ciudad de Guatemala, Guatemala, BANGUAT.

Barrera, J., y Schwarze, R. (2004). Does the CDM contribute to sustainable development? Evidence from the AIJ Pilot Phase. *International Journal of Sustainable Development*, 7(4), 353-368.

Bolay, J. (2004). World globalization, sustainable development and a scientific cooperation. *International Journal of Sustainable Development*, 7(2), 99 -120.

Carpintero, O. (Ed.). (2007). *Ensayos bioeconómicos. Antología*. Madrid, España: Libros de La Catarata, Madrid. Pp.72-79

Carson, R. T., y Hanemann, W. M. (2005). Contingent valuation. En K. G. Mäler y J. R. Vincent (Eds.), *Handbook of Environmental Economics Volume 2, Valuing environmental changes* (pp. 821-936). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier.

Vásquez, F., Cerda, A. y Orrego, S. (2007). *Valoración económica del ambiente*. Buenos Aires, Argentina: Thomson.

Chahin, C. (2009). *Informe final asistencia técnica, Ministerio de Energía y Minas Guate-*

mala. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Proyecto Planificación Energética de Guatemala.

Contreras, E. (2009). *Manual de aplicación de métodos alternativos para valorar recursos naturales renovables e impactos ambientales*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

Cristeche, E. y Penna, J. A. (2008). *Método de valoración económica de los servicios ambientales*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Draper, J. y Klingman, J. S. (1976). *Matemáticas para administración y economía*. Ciudad de México, México: Harper y Row Latinoamerica -Harla-.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2014*). Implicaciones alimentarias para los países en vías de desarrollo con la producción de biocombustibles*. Roma, Italia: FAO.

García, V. (2010). *Los biocombustibles y la perspectiva de su futuro*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Giraldo, L., Gracia, A. y do Amaral, E. (2010). Willingness to pay for biodiésel in Spain: a pilot study for diesel consumers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 887-894.

Green Peace. (2008). *Posición de Greenpeace sobre los biocombustibles*. Madrid, España: Green Peace. Recuperado de: https://www.greenpeace.org/international/

Haab, T. C. y McConnell, K. E. (2002). *Valuing environmental and natural resources. The Econometrics of Non-Market Valuation*. Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2010). *Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas. II. Biodiesel*. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. San José, Costa Rica: IICA.

Kallas, Z., y Gil, J. M. (2015). Do the Spanish want biodiesel? A case study in the Catalan transport sector. *Renewable Energy*, 83, 398-406.

Mohammadian, M. (2000). *Bioeconomics: Biological economics. Interdisciplinary study of biology economics and education*. Madrid, España: Edición Personal.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) (2008). *Biocombustibles: perspectivas agrícolas, oportunidades y desafíos en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Unidad de operaciones rurales, MAGA.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2012). *Tecnología de palma aceitera*. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica: MAG.

MEM (Ministerio de Energía y Minas) (2010). *Política Energética y Minera 2008 - 2015*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: MEM.

Nueva Visión y Prosol. 2010. *Plan de acción de Biocombustibles*. Cooperación Técnica Número: ATN/OC-10767-GU. Título de los servicios de Consultoría: Aspectos Agrícolas y Socioambientales. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Nueva Visión y Prosol.

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). (2013). *Perspectivas científico tecnológicas de la sostenibilidad de la matriz energética en América Central*. Quito, Ecuador: OLADE.

Pearce, D. (2014). Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Tercera edición. pp. 11-47 En *Economía Ambiental*. Traducido por E. Suárez. Fondo de Cultura Económica, México D.F., México. 258 p.

Pedroza, S. A. (1988). *Desarrollo rural sustentable, experiencias enfoques y perspectivas*. Bermejillo, Durango: Universidad Autónoma Chapingo.

Nguyen H. P. L. (2015). *Assessment of the potential of biodiesel fuel utilization for tourist boats in Ha Long Bay, Viet Nam* (Tesis doctoral). Osaka Prefecture University, Vietnam.

Ramírez, C. (2009). *Evaluación económica de dos métodos para la purificación de biodiesel* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos (USAC), Guatemala.

RFA (Renewable Fuels Association) (2014). *Prospects for the production of renewable fuels in the world*. EE. UU.

Roltz, C., Maldonado, O. y Zambrano, G. (2015). *Producción de biodiesel; estrategia y tecnología*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Instituto de Investigaciones, Universidad Del Valle de Guatemala.

Salvatore, D. (1976). *Teoría y problemas de microeconomía*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.

SEGEPLAN (Secretaría de Programación y Planificación de la Presidencia) (2012). *Planes de desarrollo municipal de la República de Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SEGEPLAN.

Sivashankar, P., Weerahewa, J., Pushpakumara, G. y Galagedara, L. (2016). An estimation of the willingness to pay for biodiésel: a pilot study of diesel consumers. *Bio-based and Applied Economics*, 5(1), 27-45.

Spangerberg, J. H. (2005). Economic sustainability of the economy: concepts and Indicators. *International Journal of Sustainable Development* , 8(1/2), 42-64.

Winden, M., Cruze, N., Haab, T. y Bakshi, B. (2015). Monetized value of the environmental, health and resource externalities of soy biodiesel. *Energy Economics*, 47, 18-24.

Maria Dolores Vazquez Astorga <mdvazquez@cibnor.mx>

Fwd: [SyA] Acuse de recibo de envío

1 mensaje

Luis Felipe Beltran Morales <lbeltran04@cibnor.mx> 26 de noviembre de 2018, 13:06
Para: Maria Dolores Vazquez Astorga <mdvazquez@cibnor.mx>

---------- Forwarded message ---------
From: **Esperanza Tuñón Pablos** <sociedadyambiente@ecosur.mx>
Date: mar., 13 nov. 2018 a las 13:36
Subject: [SyA] Acuse de recibo de envío
To: Luis Felipe Beltran Moarles <lbeltran04@cibnor.mx>

Luis Felipe Beltran Moarles:

Gracias por enviar el manuscrito " Materias Primas para Producir Biocombustibles en Guatemala: Un Enfoque Socioambiental" a Sociedad y Ambiente. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: http://revistas.ecosur.mx/sociedadyambiente/index.php/sya/authorDashboard/submission/1867
Nombre de usuario/a: lbeltran04

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Esperanza Tuñón Pablos

Materias Primas para Producir Biocombustibles en Guatemala: Un Enfoque Socioambiental

Raw Materials to Produce Biofuels in Guatemala: Environmental And Social Approach

Resumen

Este trabajo se orientó a determinar la viabilidad de producir materias primas para elaborar biocombustibles en Guatemala con un enfoque socioambiental. Para ello, se identificaron y priorizaron por su valor de importancia bioeconómica los diferentes tipos, cantidades y calidades de estas, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la caracterización de agroecosistemas. Con la aplicación del método Presión – Estado – Respuesta, se evaluó la magnitud de cambio sobre el estado del ambiente, así como también la respuesta institucional. Se encontraron 3 materias primas para proceso de producción mas óptimo para Guatemala, a una escala industrial para el tipo biodiesel y resultaron ser el higuerillo (*Ricinus communis*), el piñón (*Jatropha curcas*) y la Palma Africana (*Elaeis guinensis*). Las respuestas institucionales se ubicaron entre mediana y moderadamente efectivas. Esto significa que no hay una suficiente gestión y vigilancia del proceso por parte de las instituciones, que garantice que no haya impactos socioambientales negativos en cuanto a la utilización de las materias primas para generar biocombustibles en Guatemala.

Palabras Claves: Agroecosistemas; Análisis Socioeconómico; Biodisel; Materias Primas Agrícolas

Abstract

This work was aimed at determining the feasibility of the production of raw materials for biofuels in Guatemala with socio-environmental approach. For this, they were identified and prioritized by value bio-economic importance of the different types, quantities and qualities of these, using Geographic Information Systems (GIS) and characterization of agro-ecosystems. With the application of the method Pressure - State - Response, the magnitude of change on the environment was assessed, also the institutional response. 3 raw materials for optimum production process for Guatemala, on an industrial scale for biodiesel type were found and proved: the higuerillo (*Ricinus communis*), the pinion (*Jatropha curcas*) and the African palm (*Elaeis guinensis*). Institutional responses were among medium and moderately effective. This means that there is insufficient management and process monitoring by the institutions, to ensure that no negative social and environmental impacts in the utilization of resources for biofuels in Guatemala.

Keywords: Agroecosystem; Socio-Economic Analysis; Biodisel; Agriculture raw materials

Introducción

Según la Renewable Fuels Association (RFA) la producción de biocombustibles en el mundo ha crecido exponencialmente en los últimos 10 años (RFA, 2014). En América, la Organización de Estados Americanos (OEA 2007) y algunos actores internos en Guatemala consideraron al país como estratégico para el desarrollo de esta industria (ACRG 2013). La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2013), así como científicos ambientalistas (Sigrid S. *et al.* 2001) se oponen. Los biocombustibles, son los combustibles que se derivan principalmente de productos agrícolas. Son una fuente de energía renovable que puede utilizarse en muchas aplicaciones, desde el abastecimiento de combustible para los vehículos, la generación de electricidad hasta la calefacción entre otras actividades (García Vilma, 2010). Usan como materia prima en su fabricación la biomasa agrícola y en la maquinaria empleada se pueden usar puros, mezclados y con otros combustibles (Peláez Almengor *et al.* 2010).

La RFA (2014) y García Vilma (2010) indican que "los principales biocombustibles usados son: Bioetanol (alcohol por fermentación de azúcares); Biodiesel (ácidos grasos y esteres alcalinos) y Biogás (descomposición anaeróbica de materia orgánica)". El bioetanol sustituye al petróleo fósil de la gasolina y proviene entre otras materias primas del maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera, del trigo y de la cebada, entre otras fuentes. El biodiesel es un sustitutivo del diesel y se elabora a partir de plantas oleaginosas como el aceite de palma africana, brassicas, soya, girasol y de otras materias incluidas las grasas animales. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) agrega que el biogás es el combustible gaseoso resultante de la digestión anaeróbica de productos orgánicos (IICA 2010).

Según Dufey (2006), países como Guatemala, si producen y consumen sustentablemente biocombustibles, tiene la oportunidad de construir una imagen diferenciada al mundo. Una economía pequeña que opta por el adecuado manejo de sus recursos naturales, que amplía su matriz energética y que está trabajando en el tema del cambio climático. Agrega, que como país se puede mejorar a corto plazo la disminución de gases de efecto de invernadero, eliminando el MTBE (aditivo químico para incrementar el octanaje de la gasolina). Según el "Ministerio de Energía y Minas (2010) de Guatemala se puede agregar en ley hasta un 10% de bioetanol en la gasolina (Decreto Ley 17-85 del Congreso de la República 1985), y no importar 144 millones de litros al año de gasolina fósil y asi disminuir la dependencia de importación generando un ahorro mayor a los US$ 67 millones de dólares". Por su parte, Monsanto (2013) plantea que no existe contradicción entre la

producción de alimentos y la de biocombustibles, indicando que es una de premisa falsa que ha sido utilizada para descalificar a esta agroindustria.

Sin embargo, existen detractores de los biocombustibles que manifiestan oposición a su promoción en Guatemala. La FAO (2013) argumenta que a nivel global existe competencia y desplazamiento de la elaboración de alimentos en los países subdesarrollados o en vias de desarrollo, fomento del monocultivo, contaminación del ambiente y uso intensivo y degradante de los recursos agua, suelo y biodiversidad. Otros opositores como Greepeace (2008) agregan que en el proceso de producción de los biocombustibles a gran escala se hace uso de combustión que obviamente genera emisiones, que amenaza la bioseguridad alimentaria y atenta contra los bosques nativos. En ese sentido, Nueva Visión y PRO SOL (2010) indican que solo con información científica que parta de la evaluación de la factibilidad de producción de sus materias primas se podrá dar paso a la formulación de una política energética que oriente la producción y consumo de biocombustibles en Guatemala. Este trabajo se orientó a determinar la viabilidad de producir materias primas para generar biocombustibles en Guatemala con un enfoque socioambiental. Para ello, se identificaron y priorizaron por su valor de importancia bioeconómica los diferentes tipos, cantidades y calidades de estas.

Materiales y métodos

Con base en las recomendaciones metodológicas de Manta (2003), se identificaron los diferentes tipos, cantidades y calidades de las materias primas recomendadas o propuestas para la elaboración de biocombustibles en Guatemala y en el contexto internacional. Para ello, en primer término se elaboró una lista de fuentes de información, desarrollando consecuentemente trabajo de investigación secundaria, que incluyó la realización de entrevistas, sondeos, visitas técnicas de campo, revisión y evaluación bibliográfica. Como resultado se obtuvo una lista preliminar de materias primas, organizadas por tipo de biocombustibles, así como también la caracterización de los agroecosistemas implicados en su producción. Con respecto a la caracterización de los agroecosistemas, se hizo énfasis en describir las condiciones ecológicas de producción. Se establecieron las condiciones bióticas y abióticas prevalecientes, es decir, se definieron las características de estructura y función de los subsistemas: agua, suelo, clima, macro y micro organismos vivos, así como las condiciones antropogénicas prevalecientes para el funcionamiento de los subsistemas que dieron como resultado el establecimiento de un determinado rendimiento de biomasa (Masera *et al.* 1999).

Con base a esta información, se formuló el marco socioeconómico y ambiental de la producción de biocombustibles en el país. Para ello, se utilizaron sistemas de información geográfica y cartografía y la caracterización de los agrosecosistemas se representaron en mapas de escala 1:50,000 identificando el uso actual y potencial del suelo, área neta cultivable de materias primas para la fabricación de biocombustibles, condiciones

ecológicas de las áreas netas de cultivo, volúmenes de producción y rendimiento, así como también de requerimientos biotecnológicos específicos (Eiszner *et al.* 1997) y Robinson (1993). En esta tarea se utilizaron también los mapas de bosques y uso del suelo elaborados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA, 2014).

Los mapas cartográficos, nos permitieron establecer las áreas netas y potenciales de producción de materias primas de biocombustibles de acuerdo a la delimitación realizada con base a las características climatológicas, edáficas y de capacidad de uso del suelo.

Una vez identificadas las materias primas en términos de tipos, cantidades y calidades para la elaboración de biocombustibles se procedió a la priorización de las mismas basado en las cuatro dimensiones del análisis bioeconómico (ecológico, económico, social e institucional) como se expreso en las conclusiones sobre el simposio de bioeconomía de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Argentina (2014) y de acuerdo al estudio de la bioeconomia de Mansour (2005). Esta actividad se desarrolló usando el modelo P-E-R (Presión-Estado-Respuesta) adaptado por la OCDE (1993).

Por su parte, la matriz modificada de Leopold, (1971) se utilizó para la evaluación de impactos ambientales, en los subsistemas biótico (flora, fauna, microorganismos), abiótico (suelo, agua, aire, clima, paisaje) y socioeconómico.

Para la priorización de materias primas se aplicó el Modelo P-E-R, y en una primera etapa se evaluaron los impactos o presión sobre el estado del ecosistema (ambientes bióticos, abióticos y socioeconómico) orientando el análisis en la capacidad de uso del suelo (sostenibilidad) conforme a su capacidad de carga agrologica, y basado en la metodología de uso de suelo de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

Bajo este mismo método, también se describieron y analizaron las potenciales respuestas institucionales. Además, las materias primas analizadas fueron sometidas al tamiz de los criterios básicos de discriminación/priorización ecológica del Modelo. Los criterios básicos para la discriminación/priorización de materias primas fueron los siguientes:

- No se priorizaron materias primas que en el proceso de producción de biocombustibles afectaran irremediablemente el ambiente al generar presión significativa sobre el ecosistema y el recursos agua, suelo, aire y biodiversidad.
- No se incluyeron en la lista de materias primas priorizadas aquellas que como resultado de los estudios de caracterización de los agroecosistemas (tipo, cantidades y calidades) no tuvieran potencial económico significativo para ser usadas en la producción de biocombustibles.
- No se priorizaron para materias primas de biocombustibles aquellas que, a pesar de contar con potencial económico, se encontrara en el ámbito de riesgo (procesos legislativos, convulsión política, crisis socioeconómicas y financieras,

tanto local como internacional) en cualquiera de las cuatro dimensiones bioeconómicas de la sostenibilidad: ecológica, económica, social e institucional (Pedroza, S.A., 1988).

Después de realizada la priorización basada en la evaluación de impacto en el estado del ecosistema, por la interacción de las actividades de producción de materias primas y su respuesta institucional, se continuó con la valoración del potencial y cálculo de la importancia bioeconómica relativa para los tipos de biocombustibles (biogás, bioetanol y biodiesel) y sus materias primas priorizadas, (Winograd, 1995 y Spangerberg, 2005).

La importancia relativa nos permitió valorar la significancia y clasificar los resultados tomando en cuenta los pesos relativos de la presión, estado y respuesta institucional ante la posibilidad de producir materias primas para elaborar combustibles en Guatemala. Para ello, se utilizó el Indicador de Valor de Importancia Bioeconómica (IVIB).

El índice de valor de importancia se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVI = IRP + IRE + IRR$$

Donde:

IVIB =Índice de Valor de importancia Bioeconómica para la materia prima "n - 1"

IRP = Importancia relativa de la presión sobre el ecosistema o los recursos naturales renovables

IRE = Importancia relativa del cambio en el estado o situación ecológica del ecosistema o de los recursos naturales renovables

IRR = Importancia relativa de la Respuesta institucional (efectividad) para atender la problemática ecológica y socioeconómica generada si se producen materias primas para la elaboración de biocombustibles

El cálculo de las importancias relativas para las tres variables se efectuó de la siguiente manera.

IRP = 100 x (Presión generada por la producción de materia prima n-1) /

(Σ de las presiones de todas las producciones de materias primas)

IRE = 100 x (Cambio en el estado ecológico o de los RNR con la producción de materia prima n-1) / (Σ de cambios en el estado ecológico o de los RNR con la producción de todas las materias primas)

IRR = 100 x (Efectividad de la respuesta para atender la problemática ecológica y socio económica con la producción de materia prima n-1) / (Σ de las efectividades de las respuestas para atender las problemáticas ecológicas y socioeconómicas en la producción de todas las materias primas)

Las ponderaciones para el cálculo de las importancias relativas y para la valoración de impactos en la Matriz Modificada de Leopold, para las tres variables (Presión, Estado, Respuesta) se realizaron considerando 3 categorías: fuerte; moderado y débil. La **Tabla 1** presenta los valores respectivos para la ponderación de las variables del Modelo P-E-R.

Tabla 1. Valores de ponderación del Modelo P-E-R para materias primas usadas en la fabricación de biocombustibles.

No.	Variable	Descripción	Categoría	Valores de ponderación
1	Presión	A Mayor presión, menor valor	Fuerte	0.01 a 0.49
			Moderada	0.50 a 0.79
			Débil	0.80 a 1.0
2	Estado	A mayor cambio en el Estado ecológico o de los RNR menor valor	Fuerte	0.01 a 0.49
			Moderada	0.50 a 0.79
			Débil	0.80 a 1.0
3	Respuesta	A mayor efectividad de la respuesta mayor valor	Fuerte	0.80 a 1.0
			Moderada	0.50 a 0.79
			Débil	0.01 a 0.49

Fuente: Elaboración Propia con base al análisis de la viabilidad de producir materias primas para la fabricación de biocombustibles en Guatemala

Resultados

Se determinó para las condiciones de Guatemala una lista de 69 recursos con potencial de materia prima para elaborar biocombustibles. Al clasificar esta lista por tipo de biocombustibles encontramos (**Tabla 2**), que 8 serían aptas para la fabricación de biogás, 28 para bioetanol y 33 para biodiesel.

Tabla 2. Lista de materias primas potenciales para la fabricación de biocombustibles en Guatemala.

No.	Bioetanol		Biodiesel		Biogas
	Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
1	Caña de azúcar	Saccharum officinarum	Higuerillo	Ricinus communis	Estiercol de ganado mayor (bovinos)
2	Maíz	Zea mais	Piñón	Jatropha curcas	Estiercol de ganado menor (cerdos, cabras, ovejas, pelibuelles)
3	Sorgo	Sorghum vulgare	Palma africana	Elaeis guineensis	Gallinaza y estiércol de otras aves en producción
4	Cebada	Hordeum vulgare	Soya	Glicine max	Purin (vacuno, cerdo y aves)
5	Trigo	Triticum spp.	Girasol	Helianthus annuus	Ensilaje
6	Centeno	Secale cereale	Repollo	Brassica oleracea vr. Capitata	Pasto seco y/o paja
7	Remolacha azucarera	Beta vularis	Coliflor	Brassica oleracea vr. Botrytis	Heces humanas y de mascotas frescas

8	Yuca	Manihot esculenta	Col de Bruselas	Brassica oleracea vr. Gemmifera	Celulosa (en proceso y para los 3 tipos de biocombustibles, incluidos biodiesel y bioetanol)
9	Papa	Solanum tuberosum	Coco	Cocos nucifer	
10	Agave	Agave spp.	Pasto napier	Pennisetum purpureum	
11	Uva	Vitis vinifera	Pastos marinos		
12	Mango	Manfigera indica	Manía (cacahuate)	Arachis hypogaea	
13	Banano	Mussa spp.	Algodón	Gossypium spp.	
14	Piña	Ananas comosus	Aguacate	Persea americana	
15	Manzana	Malus domestica	Nabo	Brassica rapa	
16	Pera	Pyrus communis	Camelina sativa	Camelina sativa	
17	Melocotón	Prunus persica	Crambea byssinica	Crambea byssinica	
18	Sandía	Citrullus lanatus	Cynara cardunculus	Cynara cardunculus	
19	Melón	Cucumis melo	Pogianus spp.	Pogianus spp.	
20	Naranja	Citrus cinensis	Euphorbialathrys spp.	Euphorbialathrys spp.	
21	Higo	Ficus carica	Sesamo	Sesamun orientale	
22	Tomate	Solanum lycopersicum	Aleurites fordi	Aleurites fordi	
23	Arroz	Oryza sativa	Carthamus tinctorius	Carthamus tinctorius	
24	Camote	Ipomoea batatas	Brassica	Brassica campestre	

			campestres L.	L.	
25	Zacaton	Hyparrenia rufa	Algas		
26	Sauce	Salix spp.	Micro algas		
27	Alamo	Populus spp.	Sebo de vaca		
28	Miscanto	Miscanthus sinensis	Grasa de pollo		
29			Sebo de cerdo		
30			Sebo de cabras, ovejas y pelibuelles		
31			Sebo de búfalos		
32			Grasa de pescado		
33			Aceites de fritura ùsados		

Fuente: Elaboración propia con base al análisis de la viabilidad de producir materias primas para la fabricación de biocombustibles en Guatemala

Para Guatemala (MAGA, 2014) observamos que de las 28 materias primas listadas para la fabricación de bioetanol, no se priorizaron por manifestar sobre uso del suelo (Sob) las 8 materias primas siguientes: i) maíz (*Zea mais*); ii) sorgo (*Sorghum vulgare*); iii) papa (*Solanum tuberusum*);iv) mango (*Mangifera indica*);v) banano (*Musa spp.*);vi) manzana (*Malus domestica*), vii) pera (*Pirus communis*) y viii) melocotón (*Prunus pérsica*).

Para el caso del biodiesel, de las 33 materias primas listadas, no se priorizaron por presentar sobreuso del suelo (Sob) 6 materias primas. Estas fueron: i) el nabo (*Brassica rapa*); ii) la manía (*Arachis hypogaea*); iii) el repollo (*Brassica oleracea vr. Capitata*); iv) la coliflor (*Brassica oleracea vr. Botrytis*); v) la col de Bruselas (*Brassica oleracea vr.Gemmifera*) y vi) el coco (*Cocos mucifer*).

Por la dificultad para usarse en una escala industrial, así como por ubicarse la producción fuera del enfoque agrologico o de uso del suelo, no se priorizaron también para el tipo biodiesel las 10 materias primas siguientes: i) pastos marinos; ii) algas; iii) micro algas; iv) sebo de vaca; v) sebo de búfalo; vi) sebo de cerdo, vii) sebo de cabras, ovejas y pelibuelles; viii) grasa de pollo; ix) grasa de pescado, así como también x) aceites de fritura usados.

La valoración del efecto ambiental en los vectores de presión con relación a la producción de las materias primas del tipo biogás, encontró impactos ambientales positivos al ambiente, así como una mejora en la sostenibilidad (estado) de los ecosistemas, ya que no se detectó ninguna presión negativa en el proceso de su producción. Sin embargo, al evaluar el ambiente socioeconómico, se detectó, por ser su utilización a pequeña escala o para el autoconsumo energético, un impacto significativo neutro a nivel macro, aunque un impacto significativo positivo a nivel micro (finca, granja, hogar). Se estableció por tanto que la producción de biocombustibles con materias primas del tipo biogás favorece un importante ahorro económico para producer y gestionar energía a nivel individual. En ese sentido, las materias primas para el tipo de biocombustibles biogás se discriminaron o no se priorizaron como viables ya que su producción no es significativa en el ámbito industrial nacional. Además, porque un esfuerzo para su impulso, requeriría de una compleja logística y de una cultura de ahorro energético que esta poco desarrollada en el país. De modo que la promoción de la producción sostenible de energías renovables, en este caso para el tipo de combustible biogás, obtenido a partir de los residuos procedentes del sector agroalimentario (que fue la principal materia prima identificada para su fabricación), es recomendable su utilización principalmente a nivel micro o individual.

En el proceso de priorización de recursos para la producción de los biocombustibles a una escala de interés industrial en Guatemala, encontramos para el caso del bioetanol, que a excepción del pajón (*Panicum maximun*) y del miscanto (*Miscanthus spp.*) el resto de las materias primas compiten o desplazan la producción de alimentos y por tanto se descartan o no se priorizan.

Respecto de lo anterior, tanto el pajón (*Panicum maximun*) como el miscanto (*Miscanthus spp.*), al realizar la yuxtaposición de mapas, en el análisis agrologico para estos cultivos y compararlo con el uso actual del suelo en el país, se observó que la producción sostenible recomendada se ubica en las mismas clases agrologicas (USDA, 1961) que para las del cultivo del café (*Coffea spp.*). Este fenómeno imposibilitaría en la práctica el establecimiento de plantaciones con pajón y miscanto con la intención de producir materias primas para la fabricación de bioetanol dada la importancia socio económica y política de la agroindustria cafetera en el país (Cambranes, 1986), razón por la cual se descartan y no se priorizan como materias primas para la fabricación del biocarburante.

Por lo tanto, desde el enfoque bioeconómico resulta complicado producir bioetanol en el país. Esto a pesar de que al realizar la evaluación de impactos, así como la determinación de la magnitud de los mismos, se estableció que de las 28 materias primas listadas para su producción, 2 son las más promisorias en cuanto a un aporte significativo para su producción a escala industrial y a nivel nacional. Estas materias primas son las derivadas de la producción de maíz (*Zea mais*) y la de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

El análisis realizado estableció que producir maíz como recurso para la fabricación de bioetanol generaría una fuerte presión sobre los ambientes socioeconómico, así como también sobre el ambiente natural por cambios en el uso de los recursos agua, suelo y biodiversidad, ya que ecológicamente (Canovas *et al.* 1993) y de acuerdo a la clasificación agrologica de USDA (1961) para este cultivo, que es la base alimenticia en el país, no corresponde otra capacidad de carga o uso del suelo, que no sea la producción de alimento. Esta situación es significativa para Guatemala donde UNICEF (2013) "reporta que el país ocupa el quinto lugar a nivel mundial en casos de desnutrición crónica infantil y que el problema genera más preocupación en las áreas rurales".

Respecto a la materia prima caña de azúcar, en la práctica la agroindustria azucarera realiza una fuerte producción y comercialización de bioetanol (90% se exporta), razón por la cual Guatemala está considerada como el tercer país del mundo productor de biocombustible (bioetanol) después de Brasil y Estados Unidos (ACRG, 2014). Sin embargo, con el análisis efectuado, se identificaron impactos ambientales negativos significativos sobre el ambiente físico natural y se prospecta una clara competencia por los recursos agua, suelo y biodiversidad (Canovas *et al.* 1991), así como también el desplazamiento de áreas dedicadas a la producción de alimentos. Al contrastar esta situación con una débil respuesta institucional para modificar la magnitud o efecto de estos impactos dado el poder socioeconómico y político que tiene la industria azucarera en el país (Cambranes, 1986) utilizar caña de azúcar como recurso para producir bioetanol se descarta.

En ese sentido, de los 3 tipos de biocombustibles, el biodiesel fue el único para el que de acuerdo a las condiciones de Guatemala, se determinó viable desde el punto de vista bioeconómico para la producción. De las 17 materias primas que manifestaron un uso adecuado del suelo (capacidad), al realizar la priorización por desplazamiento o competencia con la producción de alimentos 6 fueron no priorizadas o descartadas. Estas materias primas fueron: i) soya (*Glicine max*); ii) Aguacate (*Persea americana*); iii) (*Cynara cardunculus*); iv) (*Alelurites fordi*); v) (*Crambea byssinica.*) y vi) (*Brassica olracea L.*).

De las 33 materias primas listadas para la producción de biodiesel, sólo 11 superaron los tamices de intensidad de uso del suelo y el no competir o desplazar la producción de alimentos. Para estas 11, se realizó un análisis en cuanto a su viabilidad y para ello se tomo en cuenta la disponibilidad de área de cultivo y el uso actual del suelo en esas áreas. Se descartaron por no representar viabilidad para producción a una escala industrial las 6 materias primas siguientes: i) Napier (*Pennisetum porpureum*); ii) (*Camelina sativa*) ;iii) (*Carthamus tinctorius*); iv)(*Pogianus spp.*); v)(*Euphorbialathrys spp.*) y vi) sésamo(*Sesamun orientale*).

Las materias primas que son promisorias para la fabricación de biodiesel en Guatemala, al realizar los análisis respectivos son: i) el higuerillo (*Ricinus communis*); ii) el piñon (*Jatropha curcas*); iii) la palma africana (*Elaeis guinnensis*); iv) el algodón (*Gossypium spp*).y v) el girasol (*Helianthus annuus*). En la **Tabla 3** se presenta un consolidado del comportamiento de la presión, estado y respuesta para cada una de las materias primas promisorias para la fabricación de biodiesel indicado su valor de importancia bioeconómica relativa.

Tabla 3. Presión – Estado – Respuesta para las 5 materias primas promisorias para la fabricación de biodiesel.

No	Materia Prima		Presión	Estado	Respuesta	IVIB
1	Higuerillo	(Ricinus communis)	7.87	8.58	67.51	82
2	Piñón	(Jatropha curcas)	7.95	8.67	68.95	81
3	Palma Africana	(Elaeis guinensis)	6.84	7.47	51.09	67
4	Algodón	(Gossypium spp.)	4.63	5.06	23.43	40
5	Girasol	(Helianthus annuus)	3.58	3.91	14.00	29
Subtotal			30.87	33.69	224.97	

Fuente: Elaboración propia con base al análisis de la viabilidad de producir materias primas para la fabricación de biocombustibles en Guatemala.

Al realizar el análisis del índice de valor de importancia bioeconómica (IVIB), como se observa en la **Tabla 4**, se debe descartar al girasol (*Helianthus annuus*) por impactar o presionar su producción de una manera fuerte; modificar el estado del ambiente también con una magnitud fuerte y debido a que las respuestas institucionales para modificar dicho comportamiento no serían efectivas.

Tabla 4. Valor de importancia bioeconómica de las 5 materias primas priorizadas para la producción de biocombustibles.

No.	Materia prima promisoria para biodiesel	IVIB	Descripción
1	Higuerillo (Ricinus communis)	82	Ambiente con moderada a débil presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán medianamente efectivas
2	Piñón (Jatropha curcas)	81	Ambiente con moderada a débil presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán medianamente efectivas
3	Palma Africana (*Elaeis guinensis*)	67	Ambiente con moderada presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán moderadamente efectivas
4	Algodón (Gossypium spp.)	40	Ambiente con fuerte a moderada presión y afección en su estado, las respuestas institucionales serán poco efectivas
5	Girasol (Helianthus annuus)	29	Ambiente con fuerte presión y afección en su estado, las respuestas institucionales no serán efectivas

Fuente: Elaboración propia con base al análisis de la viabilidad de producir materias primas para la fabricación de biocombustibles en Guatemala.

No se encuentra disponible y publicada en revistas de prestigio e indexadas literaura con respecto a la producción de biocumbustibles en Guatema, salvo los publicados por el propio Ministerio de Agricultura y la OEA, los cuales han sido previamente referidos con anterioridad. No obstante, encontramos que un aspecto importante, respecto al análisis del IVIB, tiene que ver con relación al algodón (*Gossypium spp.*). Tanto esta materia prima como la palma africana (*Elaeis guinensis*), manifiestan características de presentar prospectivamente ambientes de fuerte a moderada presión y afección en su estado, así como también respuestas institucionales de poco a moderada efectividad. Al respecto, y a pesar de que el algodón fue priorizado como materia prima en una posición débil, el mismo se descarta ya que agrologicamente su cultivo se tendría que darse en las mismas clases agrologicas que las de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) lo cual hace en la práctica inviable su consideración como recurso para elaborar biodiesel dadas las razones expuestas por Cambranes, J.C. (1986). La producción de algodón prácticamente desapareció del paisaje agrario de Guatemala por el colapso del cultivo provocado por el mal manejo (ecológico) de la plaga picudo del algodón (*Anthonomus grandis B.*) (Eiszner, H, *et al.* 1997).

En ese sentido, después de evaluar los impactos y magnitud de los mismos, así como la respuesta institucional, en cuanto a la eficaz ejecución de planes de mitigación y contingencia para abordar los cambios al estado de los ecosistemas con la producción de materias primas, de las 33 materias primas listadas originalmente para el biodiesel, solo 3: higuerrillo (*Ricinus communis*); piñón (*Jatropha curcas*) y palma africana (*Elaeis guinnensis*) plantearon viabilidad bioeconómica de constituirse en materias primas para la fabricación del biocarburante biodiesel a nivel industrial y en una escala nacional. El cultivo de jatrofa pudiese ser una alternativa en la región, pero es necesario que se alinie la política pública y el sector productivo. Se requiere difundir datos de campo para analizar las condiciones y evaluar los rendimientos a largo plazo. La selección de variedades productivas y la generación de desarrollos tecnológicos son importantes para el desarrollo de la actividad en el país (Cifuentes y Fallot, 2009).

Conclusiones

Para las condiciones de Guatemala se estableció una lista de 69 variedades productivas para elaborar biocombustibles. Al clasificar esta lista por tipo de biocombustibles 08 serían para la fabricación de biogás; 28 para bioetanol y 33 para biodiesel. De las 69 materias primas listadas como potenciales para la fabricación de biocombustibles solo 3: higuerrillo (*Ricinus communis*); piñón (Jatropha curcas) y palma africana (*Elaeis guinnensis*)

presentaron viabilidad bioeconómica de constituirse como tal para producir biodiesel en el país.

De los 3 tipos de biocombustibles, el biodiesel fue el único para el que de acuerdo a las condiciones de Guatemala, se determinó viable desde el punto de vista bioeconómico la producción de materias primas para su fabricación.

Para el tipo biodiesel no se priorizaron por presentar dificultades para usarse a una escala industrial 10 materias primas: pastos marinos; algas; micro algas; sebo de vaca; sebo de buffalo, sebo de cerdo, sebo de cabras, ovejas y pelibuelles; grasa de pollo; grasa de pescado, así como también aceites de fritura usados. Por lo tanto, de las 33 materias primas listadas para la fabricación de combustible 5 fueron priorizadas para someterse al análisis de valor de importancia bioeconómica: el higuerillo (*Ricinus communis*); el piñon (*Jatropha curcas*); la palma africana (*Elaeis guinnensis*); el algodón (*Gossypium spp*) y el girasol (*Helianthus annuus*).

De acuerdo al índice de valor de importancia bioeconómica (IVIB) se debe descartar al girasol (*Helianthus annuus*) como recurso para la fabricación de biodiesel por impactar o presionar su producción de una manera fuerte; modificar el estado del ambiente también con una magnitud fuerte y debido a que las respuestas institucionales para contrarrestar dicho comportamiento no serían efectivas.

De las 5 materias primas priorizadas y evaluadas mediante el índice de valor de importancia bioecnómica solo 3 presentan categorías favorables para su consideración como materias primas promisorias para la fabricación de biodiesel en Guatemala. El higuerrillo (*Ricinus communis*) y piñón (*Jatropha curcas*) que manifestaron ambientes de moderada a débil presión y afección en el estado del ecosistema, así como respuestas institucionales medianamente efectivas y la palma africana (*Elaeis guinnensis*) que manifestó ambiente de moderada presión y afección en el estado del ecosistema, con respuestas institucionales moderadamente efectivas.

Las respuestas institucionales se ubicaron entre mediana y moderadamente efectivas. Esto significa que no hay suficiente gestión y vigilancia del proceso por parte de las instituciones, que garantice que no haya impactos socioambientales negativos en la utilización de estos recursos naturales para la elaboración de biocombustibles en Guatemala, por lo que se recomienda poner atención en estos elementos.

Agradecimientos

Se agradece todo el apoyo al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. AL Consejo de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y a la Universidad de San

Carlos, Guatemala, así como a todos los productores que otorgaron su apoyo en esta investigación.

Referencias

ACRG (Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala) (2014) Biocombustibles y oportunidades para Guatemala. Guatemala. 35 p.

Cambranes JC (1986) Agrarismo en Guatemala. Serviprensa Centroamericana. 1986. Monografia 1.Guatemala. 210 p.

Canovas, A., Hilgers, M., Jiménez, R., Mendizábal, M., & Sánchez, F. (1993). Tratado de agricultura ecológica. *Almería. Editorial Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería*, 190.

Cifuentes Jara, M., & Fallot, A. (2009). Jatropha curcas como biocombustible: estado actual del cultivo en mesoamérica. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE).* No. 56-57, pp165-169

Congreso de la República de Guatemala. 1985. Decreto Ley 17-85, Ley de Alcohol Carburante. Guatemala. 20 p.

Dufey, Annie . 2006. Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo. Londres, Reyno Unido. 69 p.

Eiszner, H.; Blandón, V.; Pohlan, J. 1997. Rotación de cultivos y manejo integrado de plagas. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 44 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Los biocombustibles y la seguridad alimentaria, implicaciones para los países en vías de desarrollo. Roma, Italia, 45 p.

García, Vilma. 2010. Los biocombustibles y la perspectiva de su futuro. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D. F. México, 40 p.

Greenpeace. 2008. Informe "Bionergía: Potenciales y Riesgos". Roma, Italia. 98p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2010. Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas. II. Biodiesel. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. San José de Costa Rica. 185 p.

Leopold, L. B. et al. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. En: Circular US Geological Survey. No. 645. 79p.

Mansour, Mohammadian. 2005. Science of Bioeconomics. Ohio State, Universyti. Estados Unidos, 180 p.

Manta, C.M. 2003. The process of planning for sustainable development: dimensions, comparisons, and insights. International Journal of SustainableDevelopment.6(4):460-477.

Masera O, M. Astier, y S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales, el marco de evaluación MESMIS. MUNDI-PRENSA. GIRA e Instituto de Ecología UNAM. México, D.F. 109.

MAGA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación 2014. Mapa de bosques y usos de la tierra y de cambios en el uso de la tierra 2001-2010 para emisiones de gases de efecto de invernadero. Guatemala, 15 p.