

“EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL DOCUMENTO CONPES 3510 DE 2008
LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA PROMOVER LA PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA”

Producto cuatro – Informe de Resultados de la Evaluación, Análisis
Costo Beneficio y Tercera Entrega Documentación de Bases de
Datos

Septiembre 21 de 2015

“EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL DOCUMENTO CONPES 3510 DE 2008 LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA PROMOVER LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA”

INFORME CUATRO – RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

Siglas y abreviaturas	iii
Capítulo 1	5
Desarrollo de la Política de Biocombustibles.....	5
1.1 Avances del Conpes 3510 de 2008	8
Capítulo 2.....	19
Evaluación de Resultados	19
2.1 Aspectos Metodológicos del Muestreo	19
2.2 Sector de Palma de Aceite	21
2.3 Sector de Caña de Azúcar.....	46
2.4 Distribución y Consumo	68
2.5 Debates del sector.....	71
Capítulo 3.....	99
Análisis Costo Beneficio	99
3.1 Aspectos Metodológicos	99
3.2 Proyecciones de Demanda de Combustibles Líquidos.....	127
3.3 Escenarios de Proyección.....	129
3.4 Análisis de sensibilidad sobre el escenario óptimo	152
Capítulo 4.....	158
Limitaciones del Estudio.....	158

Capítulo 5.....	160
Prospectiva y Conclusiones	160
5.1 Prospectiva de los sectores de alcohol carburante y biodiesel.....	160
5.2 Conclusiones	162
Capítulo 6 Bibliografía.....	166
Anexo 1: Diseño Muestral	173
Anexo 2: Análisis de la fórmula de ingreso al productor de etanol	174
Anexo 3: Tabla de Costos Municipales.....	175
Anexo 4: Proyecciones de Demanda de Combustibles	176
Anexo 5: Tablas de Errores Muestrales	177
Anexo 6: Mayor consumo de combustible en mezcla de gasolina con etanol	17780
Anexo 7: Cambio en la relación beneficio costo frente a mayor consumo de combustible.....	181

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACPM	Aceites Combustibles para Motores
ACP	Asociación Colombia del Petróleo
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
APP	Asociaciones Público Privadas
Asocaña	Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CASES	Cost Assessment for Sustainable Systems
Cenicaña	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar
Cenipalma	Centro de Investigación en Palma de Aceite
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
Conpes	Consejo Nacional de Política Económica y Social
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DEFF	Definición y Justificación del Efecto de Diseño
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DSEPP	Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas
ECV	Encuesta de Calidad de Vida
EDS	Estación de Servicio
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
Fedebiocombustibles	Federación Nacional de Biocombustibles
Fedepalma	Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite
GEI	Gases Efecto Invernadero
ICR	Incentivo de Capitalización Rural
ICV	Índice de Calidad de Vida
I+D	Inversión y Desarrollo
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IPP	Índice de Precios al Productor
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
IVA	Impuesto al Valor Agregado
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MCIT	Ministerio de Comercio Industria y Turismo
MME	Ministerio de Minas y Energía
MHCP	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
MP	Material Particulado
MT	Ministerio de Transporte
MTBE	Éter Metil Terbutílico
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development

PIB	Producto Interno Bruto
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PPM	Partes por Millón
PPT	Método Proporcional al Tamaño
PTIR	Plan de Transferencia e Implementación de Recomendaciones
QA-QC	Quality Assurance Quality Control System
RFF	Racimos de Fruto Fresco
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
SICOM	Sistema de Información de Combustibles Líquidos
SISPA	Sistema de Información Estadística del Sector Palmero
SMMLV	Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes
SOCC	Costo de Oportunidad Social del Capital
SRTP	Tasa Social de Preferencia por Tiempo
TRM	Tasa Representativa del Mercado
UEPA	Unidad Económica de Palma de Aceite
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
UT	Unión Temporal
VPN	Valor Presente Neto

PRELIMINAR

Capítulo 1

DESARROLLO DE LA POLÍTICA DE BIOCOMBUSTIBLES

Con el objetivo principal de *"diversificar la canasta energética colombiana a través de usos alternativos compatibles con el desarrollo sostenible en lo ambiental, lo económico y lo social"* (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2009, pág. 5) fue promulgada en el año 2001 la ley 693. En dicha ley se estableció un plazo de 6 meses para que el Ministerio de Minas y Energía (MME) definiera el contenido de componentes oxigenados en las gasolinas para los centros urbanos más grandes del país (más de 500,000 habitantes), de acuerdo a criterios técnicos de calidad y cantidad. Por su parte, se definió un plazo de 5 años (prorrogable por un año) para la implementación, de forma progresiva, de la norma iniciando por los centros urbanos de mayor tamaño.

Mediante la reglamentación de la ley, también se generaron los estímulos para promover tanto la producción como la comercialización y el consumo (UPME, 2009). Tal es el caso de la ley 788 de 2002, que define la exención del cobro del impuesto sobre las ventas así como el impuesto global de la gasolina y la sobretasa, para el alcohol carburante destinado a la mezcla con gasolina. Del mismo modo, la ley 939 de 2004 define la exención del cobro de algunos impuestos para los biocombustibles de origen animal o vegetal a la mezcla con ACPM.

Asimismo, la ley 1111 de 2006, el decreto 383 de 2007 (modificado por el decreto 4051 de 2007) y la ley 1715 de 2014 definen respectivamente exenciones de 40% del impuesto de renta de las inversiones de activos fijos reales productivos en proyectos de inversión agroindustriales, estímulos tributarios para la implementación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles e incentivos tributarios para las inversiones en proyectos en fuentes no convencionales de energía..

Adicionalmente, el contenido obligatorio de etanol y biodiesel en las mezclas ha evolucionado a través del tiempo para estabilizarse, en la mayoría de los casos, en porcentajes de entre 8% y 10%. El valor inicial de las mezclas con gasolinas se encontraba regulado por la resolución 180687 de 2007 del MME, que definía que el porcentaje de etanol en volumen a utilizar era de $10 \pm 0.5\%$. Por su parte, la resolución 182142 de 2007 del mismo Ministerio definió que el porcentaje de contenido de las mezclas de biocombustible para uso en motores diésel debía ser de 5%.

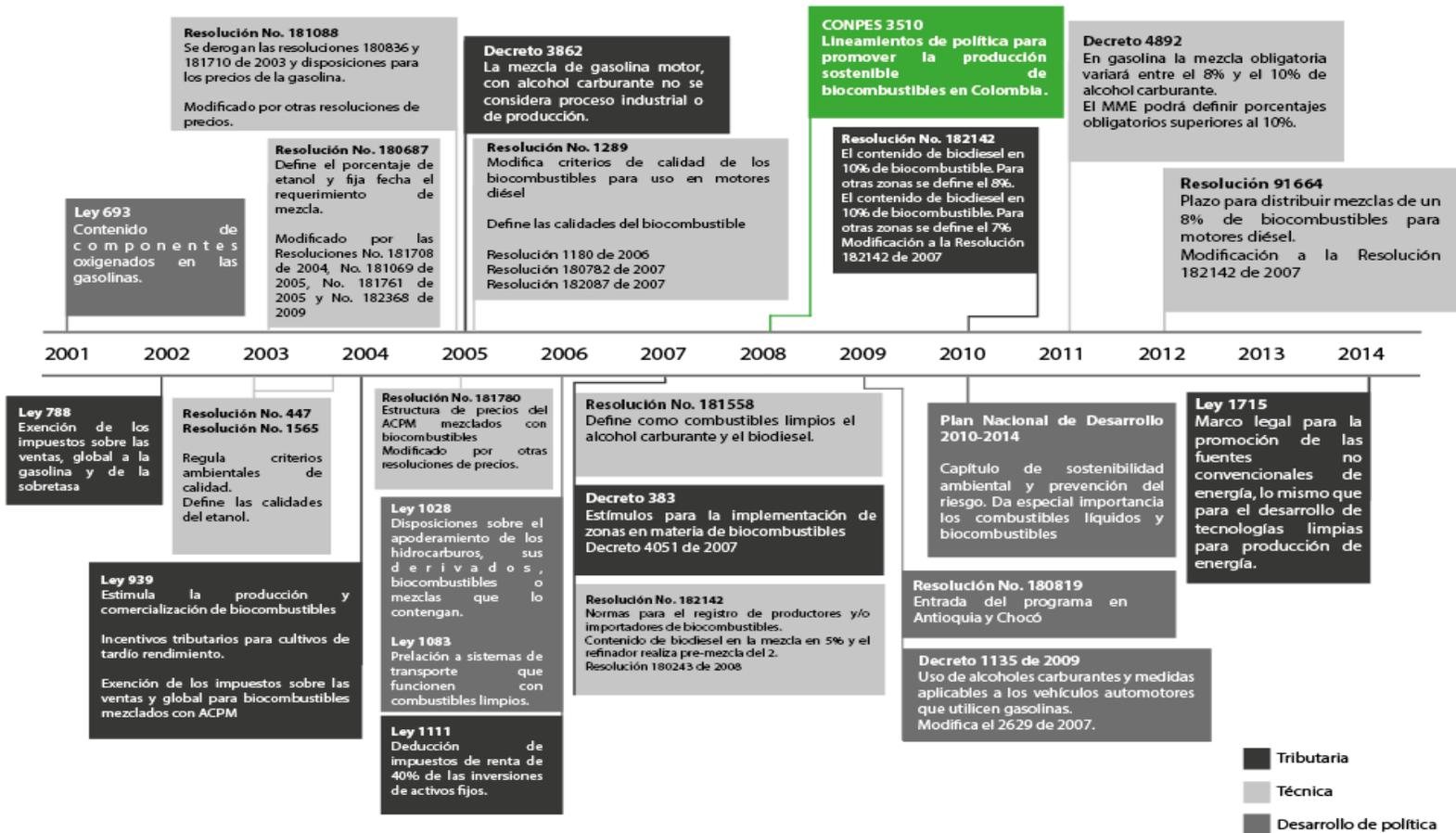
Además de la ley 693 de 2001, otros desarrollos de lineamientos de política son:

- Ley 1028 de 2006. Define pena privativa de libertad en aquellos casos en los cuales se haga un apoderamiento indebido de hidrocarburos y sus derivados, biocombustibles o mezclas.
- Ley 1083 de 2006. En relación a las normas de planeación urbana sostenible, se da prelación a sistemas de transporte que funcionen con combustibles limpios. Mediante resolución del MME se estableció que el alcohol carburante y el biodiesel hacen parte de este grupo.
- Decreto 1135 de 2009: Modificó al Decreto 2629 de 2007. Para la industria automotriz, se define que a partir de 2012 vehículos automotores hasta 2000 centímetros cúbicos de cilindrada que funcionen con gasolinas, deberán estar acondicionados para que sus motores sean flex-fuel como mínimo con 85% de mezclas (E85). Para vehículos de modelos anteriores a 2012 se mantendrá la norma de mezcla actual salvo en los casos en los que evaluaciones técnicas permita mezclas de 85%.
- Conpes 3510 de 2008. Dicta lineamientos de política de biocombustibles. Sobre este documento, objeto de esta evaluación, se profundiza en la siguiente sección
- Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. En este documento se destaca el papel de los biocombustibles como insumo para el sector transporte.

Para mayor claridad, a continuación se presenta el desarrollo cronológico de la normativa del sector (Ver Figura 1.1) anteriormente mencionada así como de otras reglamentaciones en materia ambiental.

Figura 1.1 Evolución normativa de la política de biocombustibles

Evolución Normativa de los Biocombustibles 2001 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base en la normativa del sector.

1.1 AVANCES DEL CONPES 3510 DE 2008

En el documento Conpes 3510 de 2008 se desarrolla una política orientada a *“promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de los biocombustibles”* (Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2008, pág. 3). Para el desarrollo de esta política, como muestra la Figura 1.2, interactúan un conjunto de entidades públicas del Estado que garantizan el cumplimiento de las metas planteadas a través de la aplicación de estrategias y planes de acción para cada uno de los eslabones de la cadena productiva de los biocombustibles.

Figura 1.2 Objetivos, estrategias y planes de acción del Conpes 3510 de 2008



Fuente: Econometría S.A. con información del CONPES 3510 de 2008

En este marco de referencia, el documento Conpes 3510 planteó seis objetivos específicos para lograr los resultados esperados de la política. Para esto se previó un comportamiento de corto plazo que tuvo como fin cubrir la demanda interna, y que en largo plazo generara excedentes de producción para abastecer una parte de la demanda del mercado externo.

La primera estrategia que se definió dentro del plan de acción fue la creación de una instancia que coordinara las entidades del gobierno, y que a su vez pudiera tener injerencia en el desarrollo del sector; es así como en junio de 2008, poco tiempo después de la expedición del Conpes, surge la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles en el país. Hacen parte de ella los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Minas y Energía (MME), Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Transporte (MT), Comercio, Industria y Turismo (MCIT) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP).

En el Decreto 2328 de 2008, se definieron como funciones de la Comisión las siguientes:

- Coordinar el proceso de formulación e implementación de políticas en materia de biocombustibles que adopten, formulen y ejecuten los diferentes organismos y entidades del Estado.
- Recomendar al DNP, que presente a consideración del Conpes los documentos en los que se plasme la política en materia de producción y manejo de biocombustibles.
- Coordinar con el sector privado planes nacionales que contengan estrategias para el manejo de las materias primas dirigidas a la producción de biocombustibles.
- Concertar acciones para promover el desarrollo y la innovación en la producción y manejo de biocombustibles.
- Propender por la participación del país en los diferentes foros regionales y multilaterales que adelanten los organismos internacionales en materias relacionadas con la producción y el manejo de biocombustibles.
- Promover mecanismos de cooperación entre entidades nacionales e internacionales en relación con la producción y el manejo de biocombustibles.
- Evaluar instrumentos de promoción, ejecución y desarrollo utilizados en otros países, relacionados con el manejo, producción y/o la comercialización de biocombustibles y recomendar su implementación en el Estado Colombiano.
- Darse su propio reglamento.

- Las demás funciones que sean propias de la naturaleza de coordinación y orientación de su actividad.

Hasta el día de hoy la Comisión ha venido ejerciendo sus funciones como ente coordinador, y ha sido capaz de reunir a cada una de las instancias involucradas en la política. El MADR ha estado a cargo de impulsar cada una de las iniciativas de la comisión, y ha contribuido activamente en los procesos de implementación de las mismas. Además, ha hecho participe a los representantes del sector privado, que son fundamentales en el proceso de desarrollo del sector, y en la consecución de las metas planteadas en el documento Conpes 3510.

La creación de la Comisión se convierte en el eje transversal que guía la implementación de las demás estrategias para el logro de los objetivos definidos en la Figura 1.2, y ellas contribuyen de manera diferente a su logro, según sea el caso. La Tabla 1.1 a continuación, presenta el estado de avance de las recomendaciones del documento Conpes 3510, el cual se irá sustentando a lo largo del presente documento.

PRELIMINAR

Tabla 1.1 Estado del avance del plan de acción y sus estrategias

Estrategia	Recomendación	Objetivo al cual le apunta	Actores involucrados	Estado de avance	Sección en el documento
Creación de la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles	Conformar la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles, como instancia para coordinar el proceso de formulación e implementación de políticas públicas en materia de biocombustibles	Todos	MME, MADR, MT, MCIT, MAVDT, DNP	En junio de 2008 se crea la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles en el país, definida por el Decreto 2328 de 2008	Sección 1.1.1
Definición de un programa orientado a reducir los costos de producción de los biocombustibles en las etapas de producción y transformación, con criterios de sostenibilidad ambiental y social.	<u>En la etapa de producción:</u>				
	Desarrollar estudios de zonificación que establezcan las áreas más aptas para la ubicación de los cultivos con el apoyo técnico y económico de los sectores privados interesados			Existen algunos estudios sobre las áreas más aptas para el desarrollo de los cultivos que hacen parte de la cadena de los biocombustibles; sin embargo, el costo de la tierra y la planificación regional no ha tenido mayores avances al respecto	Secciones 2.5.1 y 2.5.2
	Explorar nuevos mecanismos para facilitar el acceso a la tierra	1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles.		Al subir los costos de la tierra se hace difícil fomentar el acceso a la misma, lo que ha llevado a problemas para la expansión de las iniciativas productivas del sector.	Sección 2.5.2
	Estructurar un programa de capacitación en competencias laborales	2. Desarrollo productivo para la ocupación formal del suelo 5. Diversificación de la canasta energética 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible	MADR, MME, MADS, Colciencias, SENA, Gremios	El SENA en coordinación con los gremios ha estructurado programas de capacitación técnica enfocados a la producción de caña de azúcar y palma de aceite, los cuales operan y son parte de la oferta educativa del SENA hoy en día.	
	Desarrollar una estrategia de responsabilidad social			Si bien cada una de las empresas que hacen parte del sector ya contaban con iniciativas en RP, estas se vieron potenciadas con el surgimiento de la política debido al nuevo segmento de mercado que se atiende, aumentando los recursos disponibles para este tipo de programas como parte de las iniciativas privadas del sector. Se pusieron en marcha programas especiales para mejorar las condiciones de vida de los trabajadores de las empresas, así como también influir de manera positiva en las comunidades vecinas de los cultivos.	

	Promoción de la mecanización en las etapas productivas para el desarrollo de los biocombustibles			La preparación del suelo y la siembra son procesos altamente mecanizados en los dos sectores que afecta la política. Sin embargo, en la etapa de cosecha para la caña de azúcar hasta el 50% del proceso se encuentra mecanizado; el caso de la palma de aceite es diferente, allí toda la recolección se hace manualmente.	Sección 2.2 y 2.3
	<u>En la etapa de transformación:</u>				
	Fomentar el desarrollo de economías de escala en los procesos de transformación.			El procesamiento del etanol surge dentro de una industria azucarera ya consolidada en el país, y con altos grados de integración a nivel agroindustrial. En contraste, el biodiesel hasta ahora se está consolidando dentro de sector palmero y solamente dos de las empresas productoras responden al esquema de integración agroindustrial	Sección 2.2 y 2.3
Evaluación y definición de un plan de desarrollo de infraestructura de transporte	Incorporar los desarrollos previstos del mercado de biocombustibles como una variable para la planeación de la construcción, mejoramiento y mantenimiento de infraestructura de transporte a cargo de la Nación.	1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles 4. Posicionar al país como exportador de biocombustibles	MT, DNP, MADR, MME	No se evidencian avances en esta estrategia del plan de acción. La infraestructura vial sigue siendo una debilidad de país que afecta directamente la competitividad del sector. Tampoco se ven avances en las iniciativas para la construcción de poliductos o alcoholductos que mitiguen costos de transporte que afectan al consumidor final	NA
	Incluir, dentro del proceso de estructuración e implementación de los Planes Viales Regionales, en aquellos Departamentos que tengan como apuesta productiva los biocombustibles, programas de mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura departamental de transporte				
	Evaluar la viabilidad de impulsar la construcción de ductos (poliductos o alcoholductos) para el transporte de biocombustibles y de ser el caso establecer la regulación sobre el particular				
Continuar incentivando la producción eficiente de	<u>Instrumentos para fomentar la producción eficiente de biocombustibles</u>	1. Incremento de la producción sostenible de	MME, MADR, MADS, MHCP		

biocombustibles	Evaluar la necesidad y conveniencia de apoyar explícita y temporalmente el desarrollo de esta agroindustria	biocombustibles 2. Desarrollo productivo para la ocupación formal del suelo 3. Generación de empleo formal en el sector rural. 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible	En este sentido incluso antes de la definición formal de la política existían instrumentos para consolidar la industria, como el Incentivo de Capitalización Rural (ICR) que favoreció a las plantaciones de Palma de Aceite. En el caso de la caña de azúcar este tipo de incentivos no existieron debido a que el sector ya se encontraba consolidado en las regiones más aptas para su cultivo, además de no ser un cultivo de tardío rendimiento.	Sección 3.1.4
	Definir la temporalidad de la aplicación de cada uno de estos instrumentos y una senda para su desmonte, de manera tal que se estimule el mejoramiento progresivo de la productividad de la industria de los biocombustibles		El período del ICR empezó en 2005 y se extendió por 10 años de manera progresiva. En términos de los logros del sector, como se explica en la Sección 2.2 (pág. 21), hay evidencias claras de la consolidación del mismo como una agroindustria fuerte que contribuye al desarrollo del país	Sección 2.2
	Dar continuidad a las líneas de financiamiento que ofrece el programa Agro Ingreso Seguro (AIS) y al apoyo a programas de innovación relacionados con el desarrollo de biocombustibles		No hay evidencia que soporte la continuación de un incentivo como AIS, más cuando la industria del biodiesel ya se encuentra consolidada en el país	Sección 3.3.2
	Liderar las gestiones requeridas para preservar los incentivos fiscales para la agroindustria de los biocombustibles, por un período no inferior a quince años.			
	Estudiar la conveniencia de adoptar incentivos tributarios, como exenciones al impuesto de industria y comercio, con el fin de incentivar el desarrollo local de la agroindustria de los biocombustibles		Capítulo 3	
	Hacer seguimiento a los Memorandos de Entendimiento firmados dentro del Plan Puebla-Panamá, así como atender los compromisos con el Gobierno de la República de Cuba en relación con el establecimiento de las plantas piloto de biocombustibles de acuerdo con los términos y cronograma acordados		De acuerdo con la información recopilada, no se evidencian avances sobre esta recomendación estratégica	NA
	<u>Instrumentos para fomentar la producción y el consumo doméstico de biocombustibles</u>			

	<p>Adelantar las acciones requeridas para que la oferta local de estos energéticos se destine preferiblemente a abastecer la demanda nacional hasta alcanzar las mezclas obligatorias.</p> <p>Adoptar las medidas apropiadas para consolidar el mercado local de biocombustibles</p>			<p>En este caso, se amplió la capacidad instalada en procesamiento de etanol, lo cual deberá garantizar una mezcla E10 para todo el país, como se propuso en el documento Conpes 3510. Para el biodiesel, la industria está preparada para abastecer una mezcla B10 en todos los departamentos del país, e incluso, con las tasas de producción actual podría pensarse en incrementos de la mezcla.</p>	<p>Sección 3.3.2</p>
<p>Definición de un Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en Biocombustibles</p>	<p>Se recomienda a Colciencias estructurar un plan integral de innovación, desarrollo tecnológico e investigación (I+D) en biocombustibles</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles. 2. Desarrollo productivo para la ocupación formal del suelo. 3. Generación de empleo formal en el sector rural. 5. Diversificación de la canasta energética. 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible. 	<p>Colciencias, MADR, MME, DNP, MADS, Universidades, Gremios, Centros de investigación</p>	<p>Si bien hay inversiones en I+D en los dos sectores que hacen parte de la política, la información recolectada a lo largo del estudio no encontró evidencias de un plan integral de innovación para los biocombustibles, sino más bien esfuerzos dispersos que aún carecen de coordinación.</p>	<p>NA</p>
<p>Armonización de la Política Nacional de Biocombustibles con la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional</p>	<p>Formular los mecanismos compensatorios, sus características y formas de implementación para los consumidores, cuando los precios o el acceso a los alimentos de la canasta básica se vean afectados negativamente por distorsiones graves de los mercados.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles. 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible. 	<p>Comisión Intersectorial, Comisión Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional</p>	<p>De acuerdo con el análisis de la información que existe para el sector, hasta hoy no hay evidencias de amenazas para la seguridad alimentaria en el país. La producción para el consumo nacional sigue siendo suficiente para su abastecimiento y se ha mantenido constante en el tiempo.</p>	<p>Capítulo 2</p>
<p>Definición de un nuevo esquema de regulación de precios de los biocombustibles</p>	<p>Homogeneizar la regulación de precios del alcohol carburante y del biodiesel. Para esto, se recomienda que el ingreso máximo al productor de estos energéticos resulte de establecer el mayor precio entre:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles. 3. Generación de empleo formal en el sector rural. 4. Posicionar al país como 	<p>MME, MADR</p>	<p>Los avances en cuanto a estas recomendaciones se evidencian en la fórmula de fijación de precios de los combustibles que definió el MME, haciendo uso de la información de los privados involucrados en el desarrollo de la cadena productiva. Así mismo, existen otros instrumentos de estabilización de los precios</p>	

<p>Un precio que tome como referencia el costo de oportunidad de los usos alternativos de las materias primas utilizadas para la producción de biocombustibles.</p>		<p>exportador de biocombustibles</p>		<p>internos, y que dan elementos para el cálculo del precio final. Puntualmente se destacan el Fondo de Estabilización de Precios del Azúcar (FEPA) y el Fondo de Estabilización de Precios de la Palma (FEP); ellos contemplan el costo de oportunidad de las materias primas que se usan en la producción de los biocombustibles.</p>	
<p>Un precio que tome como referencia los precios internacionales de los combustibles fósiles, ajustados por los cambios en las propiedades de estos combustibles</p>				<p>Además, en las fórmulas definidas por el MME, se contempla el precio internacional de los combustibles fósiles, y se incluyen ahorros que vienen de la mejora en las propiedades de los combustibles al ser mezclados.</p>	
<p>Un precio mínimo que permita atenuar las consecuencias de reducciones considerables en los anteriores precios.</p>					
<p>Implementar medidas regulatorias orientadas a consolidar la industria local de biocombustibles, desligando su desarrollo de la evolución del mercado de los combustibles fósiles. Para esto, se recomienda:</p>					
<p>Adoptar los ajustes regulatorios requeridos para que los distribuidores minoristas puedan comercializar los biocombustibles en mayores porcentajes de mezcla a los señalados como obligatorios sin necesidad de mezclarlos con otros combustibles.</p>				<p>En el caso de los costos en que incurren los minoristas por el cambio en el manejo de los biocombustibles, se les reconoció un incremento en el margen para hacer las adaptaciones a las que hubiere lugar. En cuanto a la disponibilidad de mayores mezclas que se deriven de las demandas de los usuarios, aún no existen condiciones de manejo suficientemente maduras en el sector para que sean distribuidas por los minoristas; sin embargo, si se espera que en el largo plazo la política logre este tipo de oferta para los usuarios, para ello es indispensable la consolidación del QA-QC.</p>	<p>Sección 2.5</p>
<p>Establecer un régimen de libertad regulada para los biocombustibles comercializados en forma pura, es decir sin mezclarse con ningún otro tipo de combustible.</p>				<p>El sector aún no se encuentra en la madurez suficiente para implementar este tipo de régimen porque el parque automotor no está preparado para recibir tales mezclas, y aún faltan campañas de socialización de los usos y beneficios de los biocombustibles, que eduquen al usuario final que podría generar la demanda de producto no mezclado de origen orgánico.</p>	

	Es necesario desarrollar un marco regulatorio para la actividad de transporte de biocombustibles que responda a la dinámica de un mercado creciente.			Este marco debe incluir no sólo el transporte sino también la distribución minorista del biocombustibles. El MME, la UPME y la CREG están en la actualidad trabajando en reglamentación e implementación de la norma QA-QC pero no hay resultados tangibles de ese proceso al momento de realizar el presente diagnóstico.	Sección 2.4
Continuación de la política de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles	Dar continuidad a la política actual de mezclas de biocombustibles y combustibles de origen fósil	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles 2. Desarrollo productivo para la ocupación formal del suelo 3. Generación de empleo formal en el sector rural. 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible 	MME , MADR	Las mezclas se han mantenido estables durante los últimos años. Sin embargo, fue necesario disminuir la proporción de alcohol a 8%, y en algunas épocas a menos de ese porcentaje porque la producción de etanol no ha sido suficiente para atender la demanda, y se han dado restricciones para su importación. En el caso del biodiesel existen mezclas diferentes dependiendo de la zona del país; éstas van desde el 2% en la frontera hasta el 10% en los departamentos costeros y en el sur del país, en centro se mantiene en 8%. La industria biodieselera, a diferencia del etanol, si está preparada para incrementos en la mezcla, empezando por alcanzar el 10% en la zona centro.	Sección 3.3.2
	Analizar periódicamente la viabilidad y conveniencia de aumentar los porcentajes de mezclas.				
	Ante una posible modificación de la política de mezclas de combustibles de origen fósil y biocombustibles, evalúe dicha medida a la luz de la dinámica de la liberalización de los mercados de energéticos y del esquema de regulación de precios que el MME haya definido para los biocombustibles				
	Ante la posibilidad de comercializar los biocombustibles en forma pura, existirá libertad en la mezcla cuya proporción será definida por el usuario final.			No hay avances en cuanto a la libre comercialización de los biocombustibles en forma pura, las redes de distribución minorista, los vendedores de vehículos y el consumidor final aún no cuentan con los elementos suficientes para llevar la política a ese nivel.	Sección 2.4
Desarrollo de acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar el producto colombiano en los mercados internacionales	Desarrollar acciones e instrumentos específicos orientados a promover las exportaciones de biomasa para biocombustibles y de biocombustibles a los mercados internacionales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles 4. Posicionar al país como exportador de biocombustibles 	MADR, MCIT, MADS, MME	No se han dado exportaciones de biocombustibles en lo que va corrido de la política porque se ha dado prioridad al abastecimiento del mercado interno. A este factor se suma la baja competitividad del precio de los biocombustibles nacionales con respecto a sus competidores en el mercado mundial.	

	<p>Desarrollar un programa para diferenciar los biocombustibles colombianos en los mercados internacionales por los beneficios sociales y ambientales generados en toda la cadena productiva (definición de esquemas de certificación).</p>	<p>6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible</p>		<p>Desde la información recolectada en campo es posible ver los avances en este frente a través de las certificaciones ambientales que están implementando algunas de las plantas productoras de biodiesel para avalar sus procesos sostenibles y amigables con el ambiente.</p>	
	<p>Desarrollar un programa para ajustar la producción y la transformación de biomásas a los estándares ambientales y de calidad exigidos en los diferentes mercados internacionales</p>			<p>La ley ambiental exigida y definida para el proceso industrial es cumplida por todas las plantas industriales del sector. Los cambios requeridos para disminuir el nivel de emisiones y para el manejo del recurso hídrico se han venido manejando de acuerdo con lo que define la normativa.</p>	<p>Capítulo 3</p>
<p>Desarrollo de acciones para garantizar un desempeño ambientalmente sostenible a través de la incorporación de variables ambientales en la toma de decisiones de la cadena productiva de biocombustibles.</p>	<p>Incentivar esquemas de certificación que destaquen los biocombustibles colombianos en el mercado nacional e internacional.</p>	<p>1. Incremento de la producción sostenible de biocombustibles 6. Garantizar desempeño ambientalmente sostenible</p>	<p>MADS, MADR, MME</p>	<p>Desde la información recolectada en campo es posible ver los avances en este frente a través de las certificaciones ambientales que están implementando algunas de las plantas productoras de biodiesel para avalar sus procesos sostenibles y amigables con el ambiente.</p>	
	<p>Incorporar en la zonificación integral de áreas para el establecimiento de cultivos para la obtención de combustibles, instrumentos de planificación territorial, ambiental y elementos de ecoeficiencia.</p>			<p>En el caso de caña de azúcar la zonificación está dada por las tierras más aptas para su cultivo, que ya se encuentran en su frontera de explotación. Existen tierras alternativas en otros lugares del país que empezarán a producir en el corto plazo, como es el caso de Bioenergy en el Meta. Para la palma, aunque el número de hectáreas se casi que duplicado desde 2005, aún existen territorios del país que pueden ser sujeto de este tipo de cultivo. Un ejemplo de esta situación se encuentra descrito en la Sección 2.5.1</p>	<p>Sección 2.2.2 y 2.5.1</p>
	<p>Promover la generación de conocimiento en temas ambientales para desarrollar, actualizar y adoptar instrumentos de planeación y gestión ambiental en la cadena productiva de biocombustibles.</p>			<p>A partir de estudio del Análisis de Ciclo de Vida, la industria en su conjunto ha venido creciendo en su conciencia con respecto a las emisiones de GEI, y ha implementado medidas para controlar dichos gases y hacer uso de los mismos dentro de su procesos de</p>	<p>Capítulo 3</p>

	<p>Promover opciones de reducción y mitigación de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en el marco del Protocolo de Kyoto y de los mercados voluntarios de carbono.</p>		<p>cogeneración de energía, como es el caso de plantas industriales que tienen piscinas para capturar biometano y reinyectarlo como energía para la producción. Iniciativas similares se han dado con el manejo de aguas y lodos para la generación de compostaje orgánico. Algunos de estos procesos aún están en etapa de investigación y esperan contribuir en el mediano plazo con mejoras en los niveles de contaminación del ambiente.</p>	
	<p>Asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental y fortalecer el ejercicio de la Autoridad Ambiental.</p>		<p>De acuerdo con la información suministrada en las observaciones in situ realizada a las plantas productoras de etanol y biodiesel, hasta ahora las Autoridades Ambientales han tenido una comunicación continua con el eslabón agroindustrial que les ha permitido estar al tanto del ejercicio ambiental, y del cumplimiento de la norma.</p>	

Fuente: Unión Temporal (SEI s.a.- Econometría) con base en Conpes 3510 de 2008.

PRELIMINAR

Capítulo 2

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El primer ejercicio de la Evaluación a la Política de Biocombustibles en Colombia responde a la necesidad de conocer los resultados de las acciones estratégicas propuestas por el Conpes 3510 de 2008. Dichas acciones han tenido en cuenta a cada uno de los eslabones involucrados en la cadena de producción de los biocombustibles, tanto en etanol como en biodiesel, con el fin de potenciar un desarrollo integral del sector, de tal manera que contribuya al desarrollo económico del país.

La estructura para describir los resultados encontrados, parte de la descripción de los aspectos metodológicos que fundamentan la recolección y procesamiento de los datos, para luego dar lugar a una caracterización de los resultados por cada uno de los eslabones que hacen parte de la cadena de los biocombustibles. Las diferencias en el desarrollo agroindustrial, y también en el uso del producto final, entre los dos tipos de biocombustibles hace necesario un análisis separado para etanol y biodiesel, tal y como se describe a continuación.

2.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MUESTREO¹

La evaluación del eslabón agrícola se fundamenta en dos poblaciones: los productores de caña de azúcar y los de palma de aceite en Colombia, por lo que las subpoblaciones de interés están dadas en función de cada uno de los dos productores.

Para el caso de los productores de palma de aceite, se construyeron estratos en función del “*área potencial de producción*”, en donde la construcción de los estratos está basada en la información suministrada por Fedepalma de acuerdo con el censo de productores de palma de aceite, adelantado entre 2010 y 2011, cuyos resultados se publicaron en 2015². Se identificaron 5.055 Unidades Económicas de Palma de Aceite (UEPA) en 18 departamentos. En el caso de caña de azúcar, se identificaron de manera anonimizada 1.228 fincas en 37 municipios relacionadas con “proveedores directos” de cinco

¹ El Anexo 5 del presente documento resume los errores muestrales, es decir cada vez que en el informe aparece una cifra resultado de la estimación de la muestra, su correspondiente coeficiente de variación o margen de error puede ser verificado en el Anexo mencionado.

² Ver el enlace de estadísticas de Fedepalma: <http://web.fedepalma.org/estadisticas> y los informes (Fedepalma, 2013) y (Fedepalma, 2015).

Ingenios³, las cuales tiene la característica de contar con planta industrial para el procesamiento de etanol. Las unidades de muestreo fueron el municipio y el productor

En cuanto a los productores de caña de azúcar, la información entregada por Cenicaña se encontraba a nivel de fincas con sus respectivas áreas. A pesar de la gestión realizada ante diversas entidades, no fue posible obtener un listado de productores, de manera que con este nivel de información no fue conveniente realizar una estratificación, ya que la unidad final de observación eran los productores y cada uno podría poseer más de una finca. En el caso de los productores de caña, no fue posible contar con un marco de lista de cada uno de ellos, sin embargo, se tuvo acceso al listado de fincas anonimizado de Cenicaña, en donde cada unidad estaba catalogada como proveedor directo o manejo del ingenio. Dado esto se implementó muestreo indirecto, ya que esta información fue la base para llegar a los productores, al seleccionar fincas para obtener las encuestas de las unidades objeto de estudio.

2.1.1 Definición del diseño de muestreo en cada una de las etapas o fases

Para los productores de palma de aceite, luego de implementar el método de estratificación para clasificar en alta, media y baja concentración de "área potencial de producción" (información auxiliar altamente correlacionada con las variables de estudio), se seleccionaron los municipios a través de un método proporcional al tamaño (PPT), eficiente por considerar información auxiliar. Los productores o UEPA (Unidades Económicas de Palma de Aceite) se seleccionaron con el método citado para el caso de los municipios (PPT).

En cuanto a los productores de caña, se implementó muestreo indirecto, es decir se seleccionaron fincas utilizando el método PPT sistemático, para garantizar tanto fincas grandes como pequeñas en la muestra, con la misma información auxiliar ("área potencial de producción").

En cuanto a los niveles de precisión esperados, frente a los indicadores trazadores, los cuales se expresan en términos de porcentajes, se evaluó la calidad de la estimación en términos del margen de error ($\text{Error Estándar} \times 1.96$) y para promedios en términos del coeficiente de variación *cve*. En general, para los indicadores inferidos tanto a los productores de caña como los productores de palma, se observan niveles de error aceptables.

³ Incauca, Mayaguez, Manuelita, Providencia y Risaralda.

2.1.2 Descripción de los detalles computacionales

El software que fue utilizado para la estimación de los parámetros de interés fue Stata 13.1, este software cuenta con un módulo de comandos que permite hacer análisis cuando los datos provienen de una muestra que fue recolectada a partir de un diseño de muestreo complejo, permitiendo definir la información más importante del diseño de muestreo implementado. Esto hace que la varianza estimada sea calculada teniendo en cuenta, todas las etapas, estratos y dominios de análisis, permitiendo una buena aproximación.

El módulo de comandos SVY tiene programados para la estimación de la varianza las ecuaciones matemáticas de la aproximación lineal de Taylor, permitiendo interactuar también con los métodos de jackknife y bootstrap para obtener la estimación de las varianzas para muestreos complejos o para estimadores no lineales. Estas técnicas son conocidas como métodos de replicación o de remuestreo y en general, consisten en tomar de manera replicada submuestras y calcular las estimaciones para cada una. De manera que dado el diseño, y la implementación de factores de calibración, se usaron para estimar la varianza de la muestra total los siguientes comandos.⁴

- Para caña: `calibest "VARIABLE A ESTIMAR", method("prop" o "mean") selwt(fex) calibwt(fexc) marginals(ca_1 ca_2) psu(nim) design(strata(estrato))`
- Para palma: `calibest "VARIABLE A ESTIMAR", method("prop" o "mean") selwt(fex) calibwt(fexc) marginals(ca_1 ca_2) psu(id_1) design(strata(estrato) | | nim)`

La explicación detallada del diseño muestral se encuentra en el Anexo 1 al presente documento.

2.2 SECTOR DE PALMA DE ACEITE

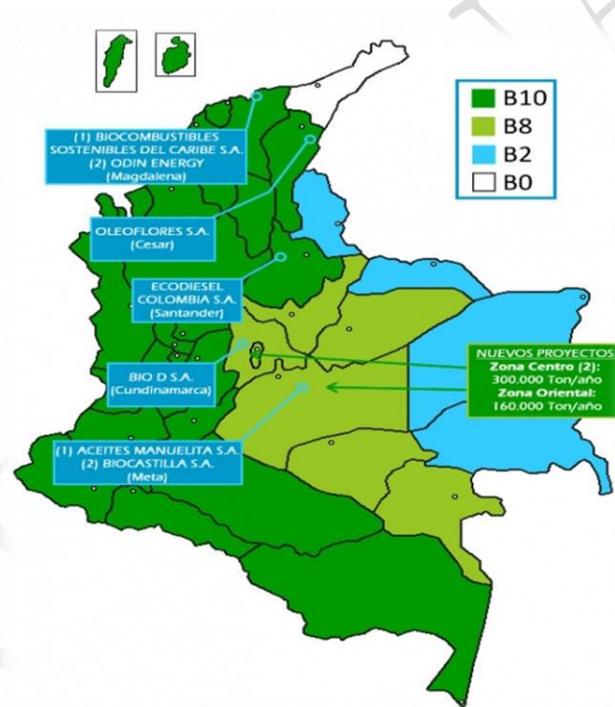
El inicio del proceso productivo para el biodiesel comprende varias etapas. La primera de ellas abarca el manejo agrícola de los cultivos de palma y la extracción del aceite. Seguidamente, dependiendo de la integración que exista entre el eslabón agrícola y los productores de biodiesel, el proceso de refinación del aceite toma lugar, ya sea en las

⁴ Ahmad, T. (1999). Jackknife and Bootstrap Methods of Variance Estimation. I.A.S.R.I. New Delhi, India.

plantas que están dentro de las zonas de cultivo, o en espacios dedicados exclusivamente a este proceso, y que reciben solamente aceite.

Una vez obtenido el biodiesel, una parte de este es entregado a la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja, quien hace una pre-mezcla del 2% (que se transporta por poliducto a varias zonas del país); en otros puntos del país, los distribuidores mayoristas están a cargo de completar el porcentaje de mezcla (Ver Figura 2.1), de acuerdo a la regulación vigente para cada región. Finalmente, a través de la distribución minorista llega el biocombustible a todos los rincones del país.

Figura 2.1 Distribución del porcentaje de mezcla de biodiesel en el territorio nacional



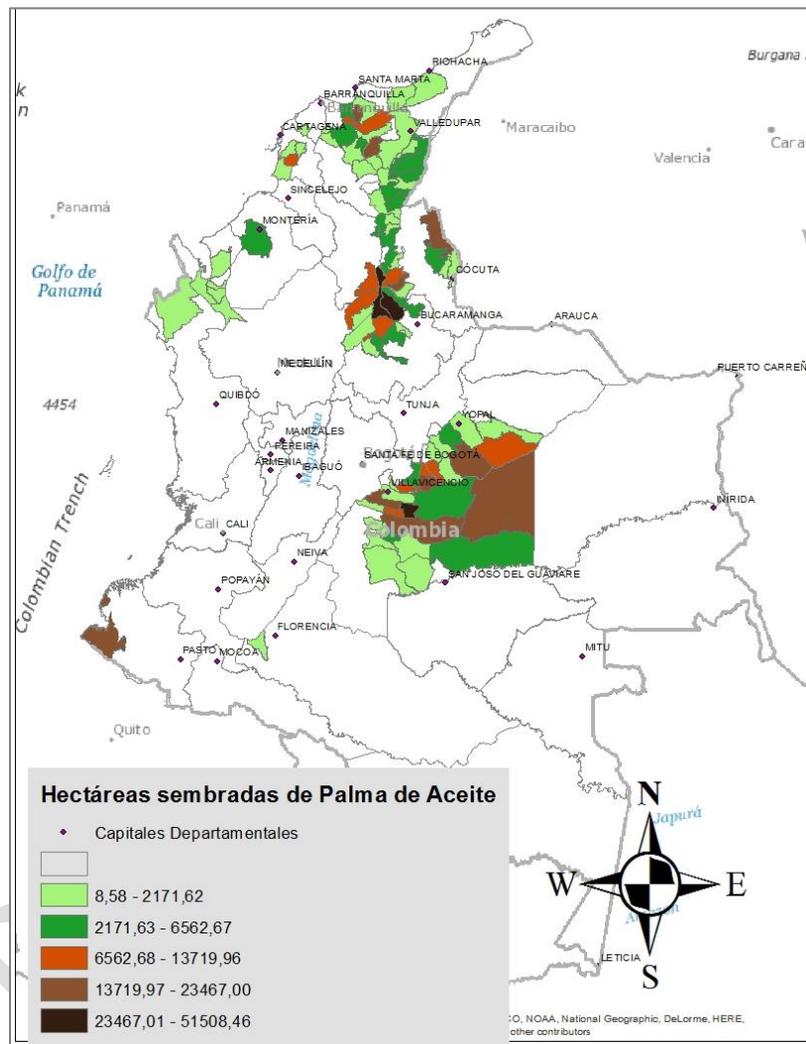
Fuente: Fedebiocombustibles (2015). Distribución correspondiente al 1 de mayo de 2014.

2.2.1 Eslabón Agrícola

Existen en el país 95 municipios productores de palma de aceite, en 17 de los 32 departamentos, tal y como se evidencia en el mapa de la Figura 2.2. En términos de la cantidad de hectáreas sembradas, más de 450 mil en 2014, los departamentos que más aportan son Meta, Santander, Cesar, Magdalena y Casanare, que concentran el 83.6% de las hectáreas. Es importante aclarar que, al ser la palma un cultivo de tardío

rendimiento, a 2014 el 21.5% de esas hectáreas se encontraba en proceso de desarrollo, y, por lo tanto, su aporte a la producción de fruto era nulo, o limitado.

Figura 2.2 Municipios productores de Palma de Aceite

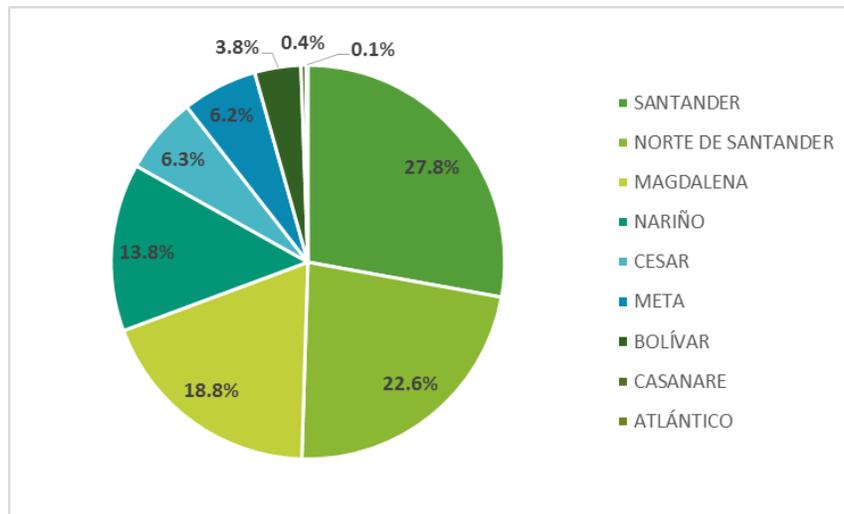


Fuente: Censo palmeros, SEI (2010).

2.2.1.1 Caracterización

Para la aplicación de la encuesta a los productores de palma de aceite se realizó una selección de UEPA's en las zonas norte, oriente, centro y sur del país. Esta selección permitió estudiar a 707 productores localizados en 10 departamentos y 25 municipios. La Figura 2.3 presenta la participación por departamentos en la muestra.

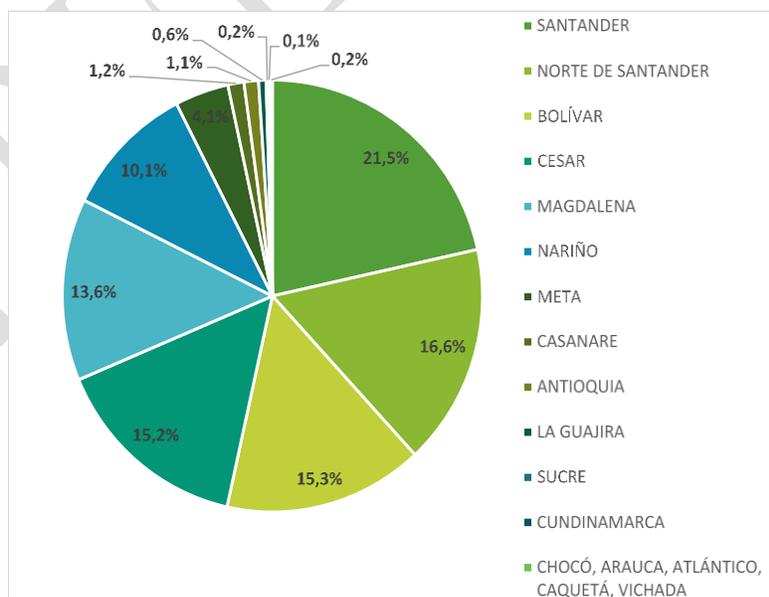
Figura 2.3 Participación departamental en la muestra de productores de aceite de palma



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

En contraste, Fedepalma reporta en su censo Palmero la siguiente distribución por departamentos de acuerdo con los datos del censo realizado en 2011 (el cual fue la base para la selección de la muestra). Al comparar ambos ejercicios, es claro que el diseño muestral corresponde con la distribución reportada por Fedepalma a nivel nacional.

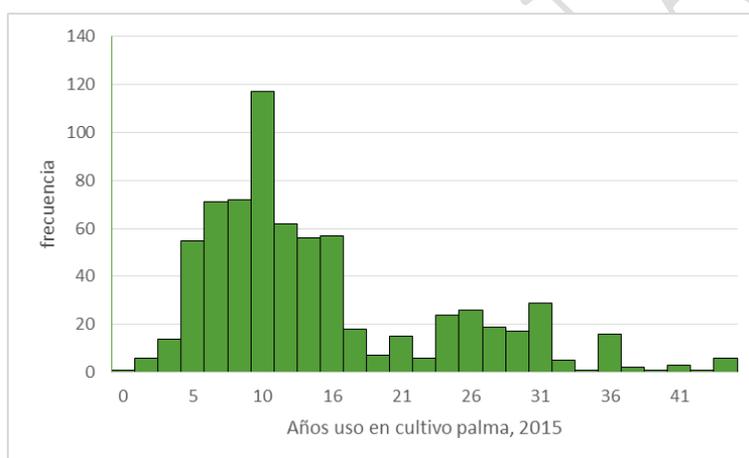
Distribución de UEPA's por Departamento



Fuente: Elaboración propia con base en Fedepalma (Fedepalma, 2015).

En promedio, los productores reportan estar manejando la tierra durante 14 años; sin embargo, tal y como se percibe en la Figura 2.4, existe un número importante de productores que llevan, incluso, hasta 40 años manejando la tierra. Este hecho se entiende en el marco de un cultivo que requiere de grandes extensiones de tierra, en períodos de tiempo considerables, para garantizar la rentabilidad de inversión. El área promedio de una UEPA entre los encuestados es de 144 ha, donde el 85% de éstas reportan tenencia de la tierra como propia con título, mientras que el 10% propia sin título y en arriendo 5%. De acuerdo con (Fedepalma, 2015), el tamaño promedio de las UEPA's en el censo es de 135,6 ha, aclarando que este cálculo se hace sobre el censo total de UEPA's y no está influenciado por la construcción del muestreo.

Figura 2.4 Distribución de los años en uso en cultivo de palma



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

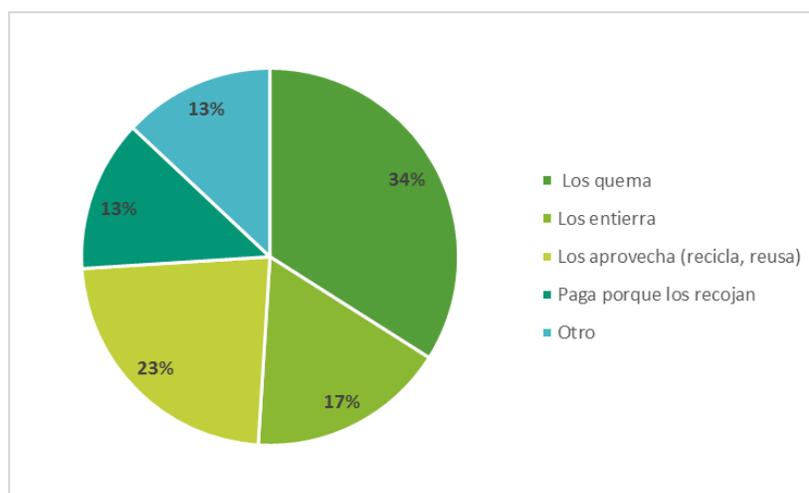
Además de conocer aspectos generales de los productores agrícolas, a partir de la información reportada en las encuestas (y contrastada con los datos del Censo 2011), es posible analizar ciertos comportamientos que permiten hacer una caracterización detallada de este eslabón. A continuación se describen, a partir de información primaria, algunas áreas de interés para la política de biocombustibles, que además permiten identificar tendencias y comportamientos importantes para tomar decisiones sobre el futuro de la misma.

a. Manejo del suelo

En cuanto al manejo de los suelos, 86% de los productores afirma realizar acciones de tratamiento antes de iniciar con el proceso de siembra; pero solamente 42% tiene un programa de manejo de residuos sólidos dentro del cultivo. Los residuos son manipulados de diferentes maneras, tal como se reporta en la Figura 2.5, las formas más

comunes son quemarlos, enterrarlos o reciclarlos. En cuanto a los residuos peligrosos, 50% de los encuestados dice estar adscrito a un programa que se dedica exclusivamente al manejo de este tipo de residuos, y sólo el 45% tiene algún proceso para manejar el recurso hídrico afectado por cualquier causa durante el desarrollo del cultivo.

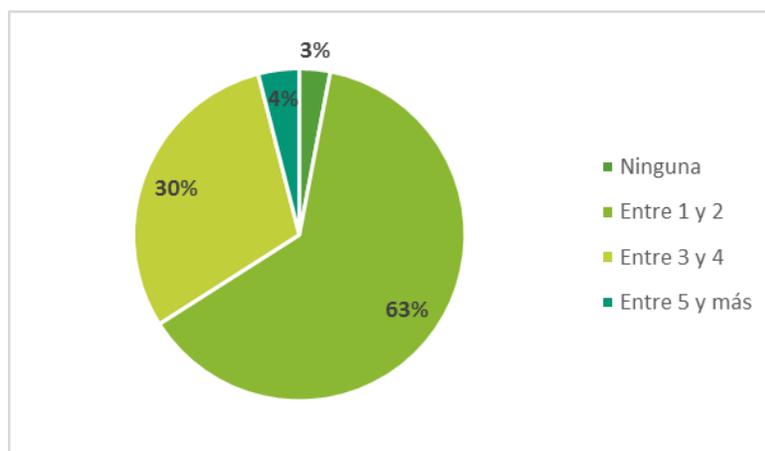
Figura 2.5 Manejo de residuos sólidos en los cultivos de palma de aceite



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

Además de las medidas implementadas en el manejo del suelo, 96% de los productores de palma de aceite usan algún tipo de fertilizante, de esta proporción, 79% compra directamente los fertilizantes, mientras que 10% los recibe de la planta extractora. La composición de los fertilizantes, de acuerdo con las respuestas, indica que 87% son químicos y sólo 11% son orgánicos. Como lo indica la Figura 2.6, el 93% de los encuestados fertiliza entre 1 y 4 veces al año. En promedio, la cantidad de fertilizante usado por cada palma sembrada es de 2.287kg. Esta cantidad de fertilizante cambia según los procesos de manejo de cada UEPA; por ejemplo, los pequeños productores reportan un uso de fertilizante de 1.8Kg por palma sembrada mientras que las UEPA grandes 3.46Kg.

Figura 2.6 Fertilizaciones al año para los cultivos de palma de aceite



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

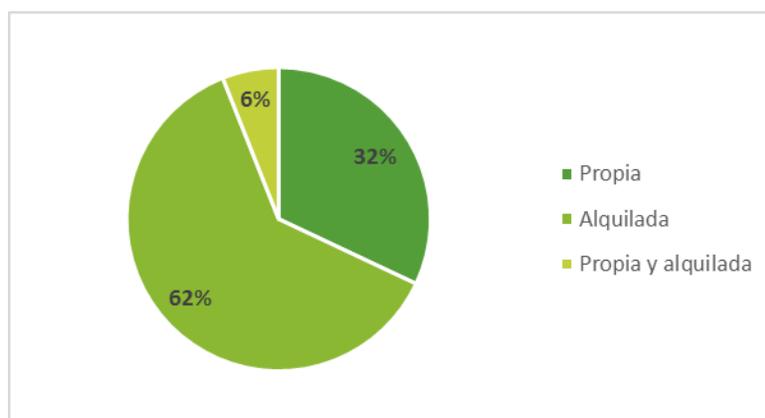
En cuanto al uso de herbicidas, 63% hace uso de este tipo de ayudas para mantener el buen desempeño del cultivo; de éstos, 71% contrata a alguien más para que aplique los herbicidas. En promedio, los encuestados reportaron que en el proceso de siembra y mantenimiento usan en promedio 4,7 litros de herbicida por cada hectárea del cultivo. Este dato concuerda con reportes de expertos que señalan entre 3 y 4 litros promedio por hectárea⁵.

b. Siembra y mantenimiento

En el proceso de siembra y mantenimiento del cultivo, la Figura 2.7 describe la propiedad de los equipos usados para el fin; la mayoría (62%) hace uso de maquinaria alquilada en esta labor. Aquellos que reportan usar combustibles en esta etapa, que corresponden a 40.3% de la muestra, dicen consumir, en promedio 207.03 galones de ACPM, y 13.3 de gasolina solamente en el proceso de siembra. En otros aspectos importantes del proceso, 46% de los agricultores ara la tierra, y 63% usa materia orgánica de algún tipo.

⁵ <http://www.crystal-chemical.com/palma>.

Figura 2.7 Propiedad de la maquinaria para el proceso de siembra y mantenimiento en la palma de aceite



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

c. Participación y Asociatividad

En cuanto a las formas de participación de los agricultores, 418 (59.1%) de ellos reportan estar en algún tipo de organización con otros productores⁶. Los tipos de asociaciones más populares son aquellas que reúnen a varios productores, o las que están organizadas como grupos gremiales, tal y como se muestra en la Tabla 2.1. Sin embargo, de los mayores tiempos de participación en estas organizaciones se destacan las organizaciones de mujeres y las cooperativas. Esta tendencia podría dar cuenta de lo reciente del desarrollo del sector, y el poco tiempo de constituciones de asociaciones y gremios organizados que logren coordinar los intereses de los productores agrícolas.

Tabla 2.1 Tipos de asociaciones de productores de palma de aceite

Tipo de Asociación	Número de asociados	Tiempo promedio (años) en la asociación
Asociación u organización de productores	330	2.7
Cooperativa	134	3.8
Gremio/organización gremial	71	3.6
Acuerdos con familiares	34	3.1

⁶ Vale la pena destacar que los productores pueden participar en uno o más tipos de asociaciones, por lo tanto las cifras de la Tabla 2.1 no suman 418 observaciones.

Tipo de Asociación	Número de asociados	Tiempo promedio (años) en la asociación
Acuerdos con vecinos y miembros de la comunidad	17	4.0
Asociaciones de mujeres	8	6.4
Fundación	4	3.3
Corporación	4	4.8
Cooperativa de trabajo asociado	3	4.1

Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

d. Empleo

De acuerdo con la información de la encuesta realizada, el comportamiento del empleo tiene varios matices que varían de acuerdo con la etapa del proceso agrícola que se esté analizando. Por ejemplo, los productores reportan en el proceso de siembra se contratan 7.3 jornales⁷ por hectárea, mientras que en el de riego sólo se usan 1.51 jornales⁸, y en el de cosecha 5.68. En cuanto a los procesos de capacitación, alrededor del 70% recibieron capacitación para desenvolverse en cualquiera de los 3 procesos.

La estabilidad del trabajo también juega un papel importante en el desarrollo de este eslabón. De acuerdo con los hallazgos de la encuesta, por cada UEPA existen 6.72 trabajadores permanentes y 4.10 temporales. Estos valores soportan la idea de la existencia de empleos formales en el eslabón agrícola que hace parte del proceso productivo del biodiesel.

Los resultados del Censo 2011 por su parte indican que se generaron, a esa fecha, 53.156 empleos, 48.595 empleos en el campo, 3.816 en cargos administrativos y 745 en otras dependencias (Ver (Fedepalma, 2015), página 63).

2.2.1.2 Análisis de percepciones

En un escenario retrospectivo, se le preguntó a los encuestados por la percepción sobre los avances en infraestructura y su pertinencia para el desarrollo del sector. Al preguntar

⁷ Un jornal hace referencia al pago que se hace a un trabajador por un día de trabajo, en el presente caso, se relaciona con el número de personas necesarias para llevar a cabo una labor definida en el proceso agrícola.

⁸ Vale la pena aclarar que solamente 27.24% de los encuestados respondieron contratar jornales para el proceso de riego.

por cómo era esta condición en 2007, el 63% consideró que era adecuada en ese momento, mientras que solamente el 40% considera que en 2015 la infraestructura continúa siendo la adecuada. Si se indaga particularmente por el papel que ha jugado el sector de la palma en jalonar las mejoras en infraestructura, también la percepción de los encuestados fue mejor para 2007, donde el 66% consideraba que había un crecimiento debido a la palma, mientras que para 2015 sólo 49% piensa lo mismo. Se destaca en la mayoría de los casos desarrollos viales que han potenciado la región, dado que el 79% de los encuestados identificó, para 2015, este tipo de infraestructura como la más sobresaliente en relación con el aporte sectorial.

También se indagó sobre cómo los encuestados perciben cambios en su calidad de vida durante los últimos 10 años. Aquí 62% responde que ha mejorado en el aspecto familiar, 67% en la vida de la comunidad, y 54% identifica mejoras en sus ingresos. A los que respondieron positivamente, se les preguntó en cuáles de los siguientes aspectos ha mejorado su situación: acceso a salud, acceso a educación, tranquilidad, situación económica y condiciones ambientales. La Tabla 2.2 resume los hallazgos para las dos dimensiones, familiar y comunidad⁹. Un tercio de los encuestados responde que sólo se ha mejorado en una de las dimensiones del bienestar, mientras que aproximadamente 15% ve mejoras en todos los frentes. Si bien esta situación puede deberse, en parte, al desarrollo que trae consigo el sector, no hay evidencia para sustentar que todas estas mejoras sean atribuibles a los biocombustibles, pues hay otras intervenciones públicas y privadas que han afectado a la población que está en las regiones donde se aplicó la encuesta.

Tabla 2.2 Número de respuestas positivas a las dimensiones de bienestar de los agricultores en el sector de la palma de aceite

Dimensiones	Familiar	Comunidad
1	32%	34%
2	21%	24%
3	17%	16%
4	13%	12%
5	17%	15%

⁹ Los cálculos que se presentan en la Tabla 2.2 se explican de la siguiente manera: 1 cuando el encuestado respondió que sólo mejoró en una dimensión, 2 cuando el encuestado respondió haber mejorado en 2 de las dimensiones enunciadas (acceso a salud, acceso a educación, tranquilidad, situación económica y condiciones ambientales), y así sucesivamente, hasta 5 si respondió que mejoró en todas las dimensiones.

2.2.1.3 Conocimiento de la política

El conocimiento de la política de biocombustibles entre los productores agrícolas de palma de aceite es un frente que necesita mayor difusión. A 2015, solo el 32% de los encuestados reconocieron la política, 24% considera que los incentivos tributarios para la producción de palma para biocombustibles han jugado un papel importante en el desarrollo del sector, y solamente 3% han sido beneficiarios de incentivos tributarios recientemente; mientras que apenas 2% dice pagar impuestos por el uso de recursos naturales.

En la mirada retrospectiva a 2007, 37% de los encuestados consideró que los incentivos tributarios para la producción de palma para biocombustibles jugaron un papel importante en el desarrollo del sector, y 20% reporta haber sido beneficiario de incentivos tributarios.

2.2.2 Eslabón agroindustrial¹⁰

El cultivo de palma de aceite no sólo requiere de un clima y suelo adecuado, sino que también depende de la calidad de las semillas utilizadas, un riguroso proceso de selección de las plántulas en el vivero, buena preparación del suelo antes de plantar, la correcta selección de las plantas de cobertura y el correcto uso de fertilizantes para obtener el máximo rendimiento en cada etapa de producción.

2.2.2.1 Establecimiento del cultivo y cosecha

Por lo general, el ciclo de vida de una palma de aceite comienza en el vivero, donde se desarrollan las plántulas en bolsas de polietileno durante 10 a 20 meses. Antes de sembrar, el sitio debe ser nivelado y toda la vegetación localizada a un 1 m a la redonda del pozo (con una profundidad mayor a 1 m) debe ser removida. Las plantaciones comerciales de palma de aceite se establecen normalmente como campos de monocultivo con una distancia simétrica de 9m x 9m.

¹⁰ La descripción del proceso es tomada de (Consortio CUE para BID y MME, 2012), páginas 80-81 y 100.

Generalmente la palma de aceite comienza la producción en el segundo o tercer año después de la siembra. El rendimiento aumenta continuamente y se estabiliza después de siete a diez años. La productividad y el crecimiento de la palma de aceite está determinado por la disponibilidad óptima de agua y nutrientes, por la temperatura y por la presencia de plagas y enfermedades.

La producción de la palma de aceite puede durar más de 50 años, sin embargo después de 20 a 25 años, es difícil cosecharla debido a su altura (en este estudio se emplea una vida útil de 25 años). Después de que la planta ha alcanzado la altura máxima, se le inyecta glifosato para que se muera o se corta y se remueve el árbol. La resiembra se realiza en el campo despejado o entre las palmas muertas.

2.2.2.2 Extracción del aceite

Una vez se ha llevado a cabo el proceso de cosecha, los Racimos de Fruta Fresca (RFF) son transportados por los trenes hasta la zona de esterilización. En el proceso de esterilización se expone el fruto a altas presiones por alrededor de 90 minutos, para luego separar los frutos de los racimos mediante un proceso mecánico. La parte del fruto que conforma la tusa es transportada en bandas hacia los camiones que las devuelven al campo para hacer parte de un proceso de compostaje.

A continuación se inicia la fase de digestión que corresponde a la etapa del proceso en la cual se libera el aceite del fruto a través de la ruptura de las células contenedoras de aceite. El digestor comúnmente empleado consiste en un envase cilíndrico calentado con vapor al cual se le ajusta un agitador. El aceite que sale de la fase de digestión se clarifica a través de una separación gravimétrica, ésta tiene como base la diferencia de densidades. Una vez concluidas estas etapas, el aceite clarificado es almacenado en tanques. Para reducir la humedad presente en el aceite, éste se seca mediante el calentamiento en sistemas de tanques o por secado atmosférico o en vacío.

Finalmente, el agua contaminada con aceite, subproducto del proceso de clarificación, se pasa a través de centrífugas con el objetivo de recuperar aceite. El efluente remanente se trata en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

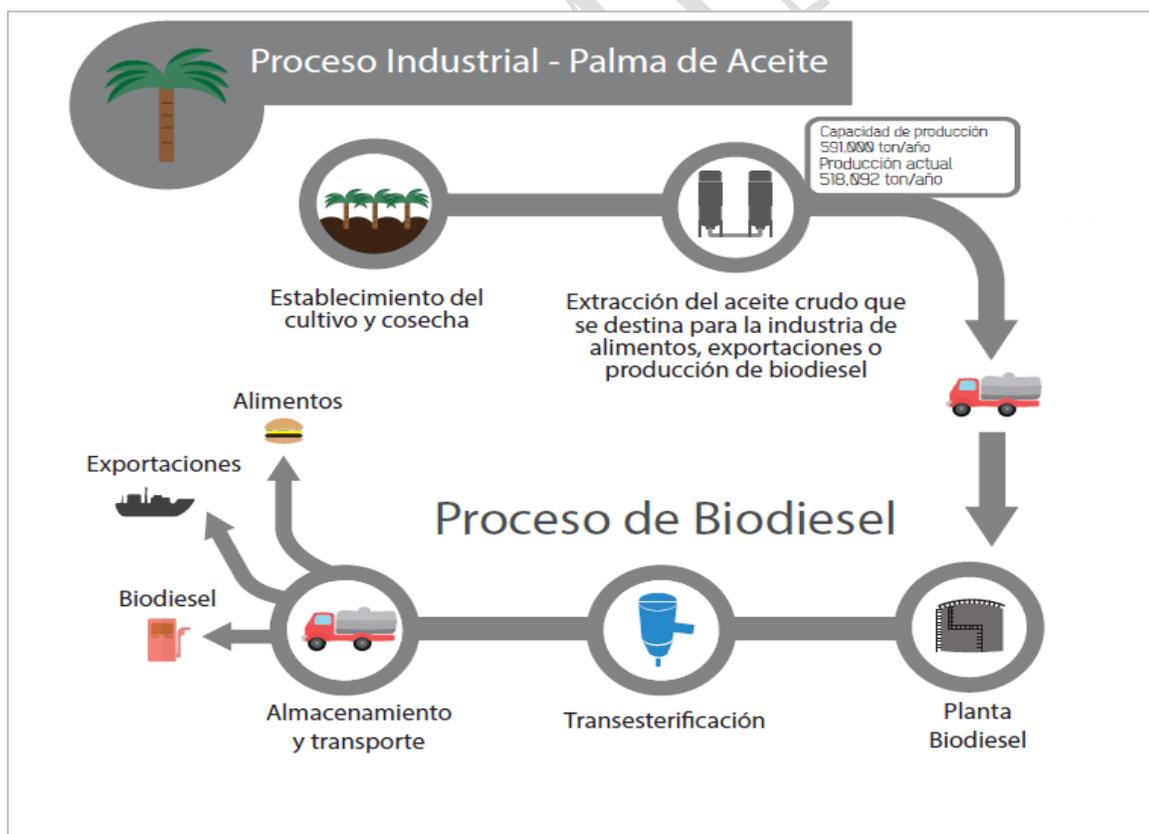
2.2.2.3 Proceso del biodiesel

Una vez el aceite crudo está listo para ser usado, la porción que va para la producción de biodiesel es transportada a la planta donde se lleva a cabo el respectivo proceso. Este se puede dividir, en las siguientes etapas:

- Refinería de Aceite: el aceite crudo se filtra, blanquea y desodoriza (aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado, o RBD) empleando ácido cítrico y tierras de blanqueo.
- Planta Biodiesel: el aceite refinado puede emplearse para producir biodiesel. En el proceso de transesterificación, los ésteres son transformados empleando metanol y un catalizador con el objetivo de producir biodiesel y glicerina como subproducto.
- Almacenamiento y Transporte: finalmente, el biodiesel se almacena de manera temporal en tanques que surten a los vehículos de carga que llevan el biocombustible hasta las centrales mayoristas encargadas de la mezcla y posterior distribución.

En la Figura 2.8 se presenta una visión general sobre los diferentes procesos y los flujos vinculados a la producción de biodiesel a partir de RFF de palma.

Figura 2.8 Proceso agroindustrial del biodiesel



Fuente: Elaboración propia con base en (Consorcio CUE para BID y MME, 2012)

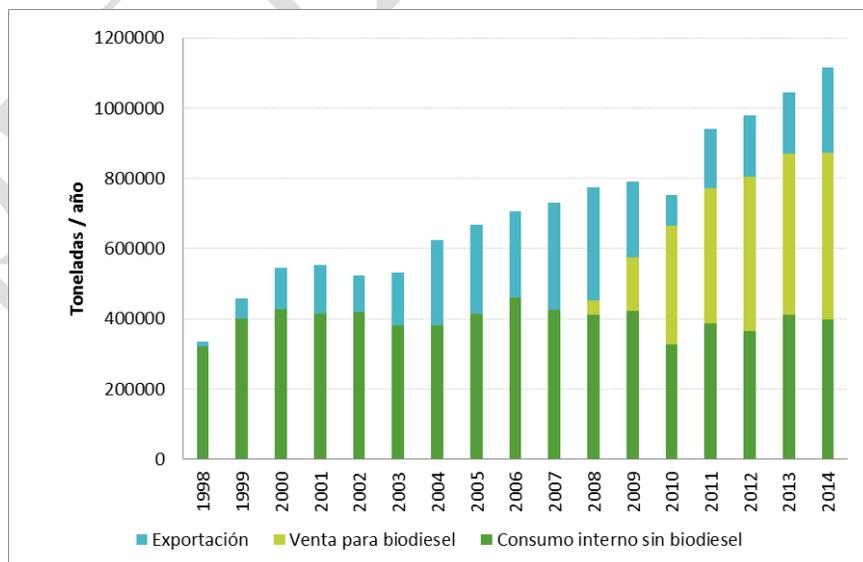
2.2.2.4 Caracterización industrial

Existen en el país, de acuerdo con la Federación Nacional de Biocombustibles, 7 plantas productoras de biodiesel ubicadas en diferentes regiones del país, como se puede ver en la Figura 2.1. Todas empezaron sus operaciones entre 2008 y 2009, en línea con la temporalidad asociada a la construcción y aprobación del Conpes 3510 de 2008.

La capacidad de producción combinada de las plantas asciende a 591.000 toneladas/año. En contraste, la demanda anual de biodiesel en 2014, fue de 518.000 toneladas, dando lugar a una capacidad instalada que puede suplir un porcentaje de mezcla mayor, en términos de procesamiento de aceite para biodiesel. En cuanto a la producción de aceite, la Figura 2.9 presenta el crecimiento de los últimos veinte años; este aumento constante ha redundado en un incremento de las ventas, como se aprecia en la Figura 2.10.

A partir de 2008 el consumo de aceite para el desarrollo del biodiesel ha absorbido gran parte de la producción dedicada a las exportaciones. La proporción de aceite que se exportaba antes de 2008 era casi el 30% en promedio, y desde entonces llega apenas al 20% del total. El biodiesel por su parte ha absorbido, en promedio, el 40% del aceite, mientras que el restante 40% se dedica al consumo interno. Este comportamiento describe de manera clara un desplazamiento de la oferta exportadora del país hacia el consumo interno, vía el desarrollo del sector de biocombustibles.

Figura 2.9 Ventas de aceite de palma según destino



Fuente: Cálculos propios con base en Fedepalma. SISPA.

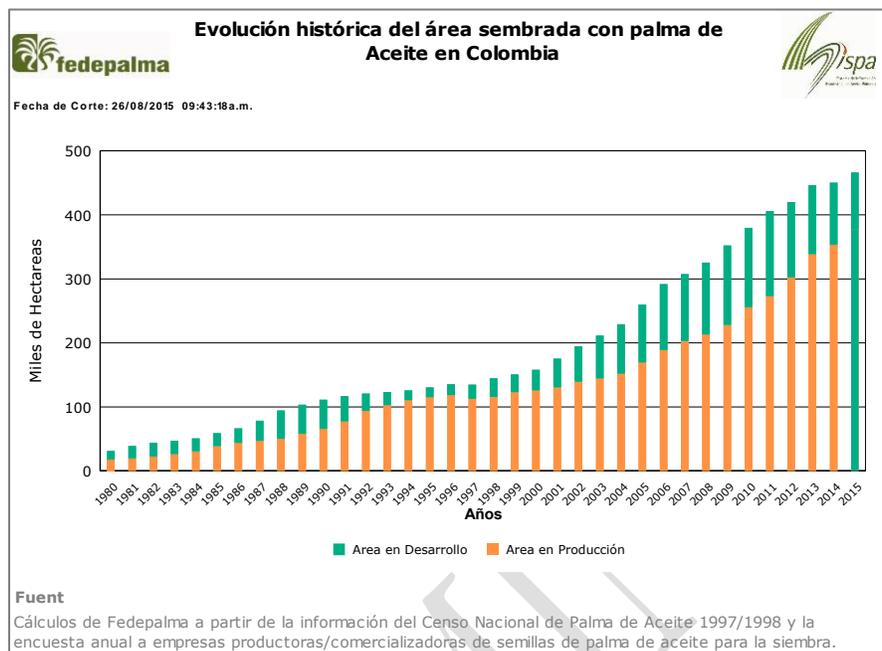
En términos de empleos directos, la operación de cada planta requiere de 90 operadores permanentes en promedio, incluyendo técnicos e ingenieros. Así mismo, adscrito al sector existen centros de investigación, que han invertido en la mejora de las especies de palma que se cultivan en el país, a través de mejoras en su capital humano. En el caso de la palma de aceite se destaca Cenipalma que agrupa a investigadores de alto nivel del sector. Según datos de Fedepalma, de 2005 a 2011 la inversión en investigación y desarrollo de este centro ascendió a 5.900 millones de pesos para potenciar el avance del biodiesel en el país.

2.2.2.5 Evolución del mercado para la palma de aceite

El eslabón agrícola en la producción del biodiesel lo constituye el cultivo de palma de aceite. Este eslabón ha venido en desarrollo mucho antes de definirse la política de biocombustibles, proveyendo el aceite crudo de palma a través de las plantas extractoras. De forma diferente a la agroindustria azucarera, la palma africana se ha sembrado en varias regiones del país, y el número de plantas extractoras es relativamente grande (hoy día más de 60) debido a que es un proceso que no exige una inversión muy alta y a que el costo de transporte del fruto (materia prima para producir el aceite de palma y el palmiste) es relativamente alto, por lo que estas se sitúan en las zonas cercanas a los cultivos. Antes de iniciar la producción de biodiesel, el aceite crudo de palma, se utilizaba especialmente para producción de alimentos y cosméticos (jabonería), y también se exportaba una parte de su producción.

La Figura 2.10 a continuación, tomada de reporte de Fedepalma, muestra la evolución del área sembrada desde el año 1980. Esta tuvo un receso en su crecimiento entre los años 93 y 97, muy anteriores al inicio de la política de biocombustibles, y a partir de 1998 su tendencia general ha sido de crecimiento continuo.

Figura 2.10 Área sembrada, en desarrollo y en producción, de palma de aceite

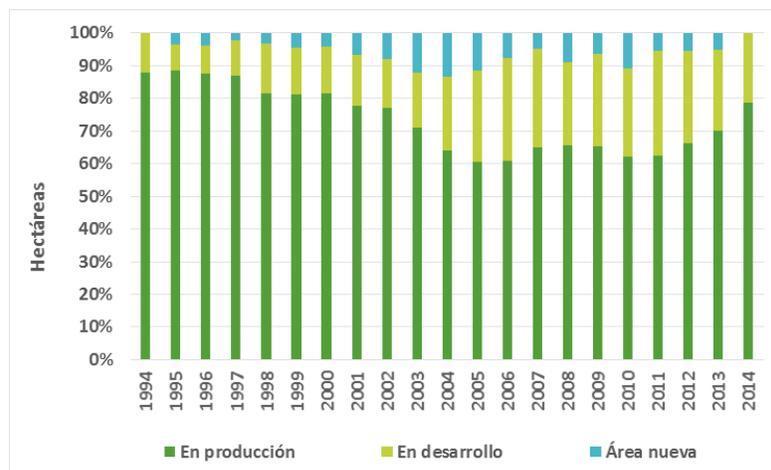


Fuente: Fedepalma.

La industria del biodiesel se empieza a encubar con anterioridad a la formulación de la política (Conpes 3510 de 2008), cuando el Gobierno otorga algunos incentivos, como el de la financiación de cultivos de tardío rendimiento, por esto, la siembra de nueva área empieza a tomar mayor fuerza desde 2003, como se muestra en la Figura 2.11.

El crecimiento del área en producción es continuo y sigue una función polinomial (crecimiento más que lineal). La caída más fuerte en el porcentaje de área en producción ocurre entre 2002 y 2006 (ver Figura 2.11), coincidiendo con un incremento importante en el área nueva sembrada de palma, y vuelve a aparecer una siembra en área nueva importante en 2010, comportamiento que posiblemente obedece a los procesos de renovación de cultivos, cuyo ciclo de producción es de 25 años.

Figura 2.11 Composición del área total sembrada de palma de aceite, incluyendo el área nueva

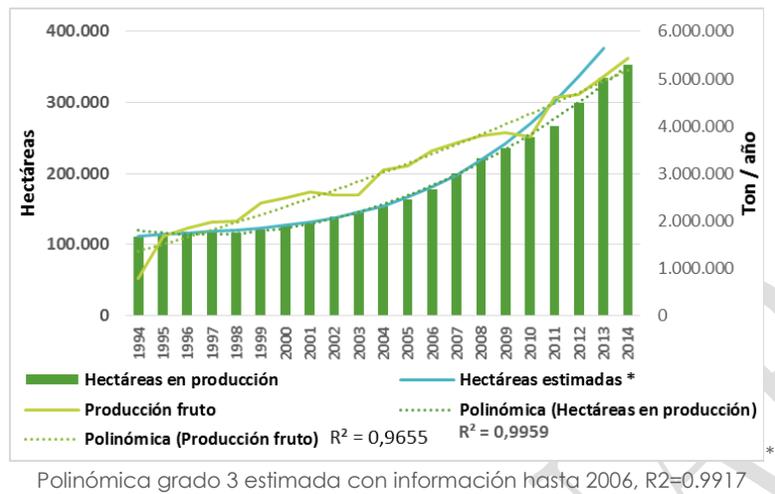


Fuente: Fedepalma. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Si tres años antes de promulgar la política (en 2005) se hubiese hecho una proyección con base en los datos desde 1994 hasta 2004, se hubiese encontrado que el sector de palma ya traía una inercia creciente que incluso podría llevar a estimar que, a partir de 2010, se tuviese un área en producción mayor que la real (línea a guiones en la Figura 2.12). Esto es, el sector traía una dinámica importante antes de la política de biocombustibles.

La línea de producción de fruto (línea continua en la Figura 2.12) se coloca en los primeros años por encima de la tendencia del área en producción, y en los últimos años vuelve y se acerca, mostrando un incremento en productividad al inicio, que se ha ido perdiendo recientemente. Esto se explica mejor más adelante.

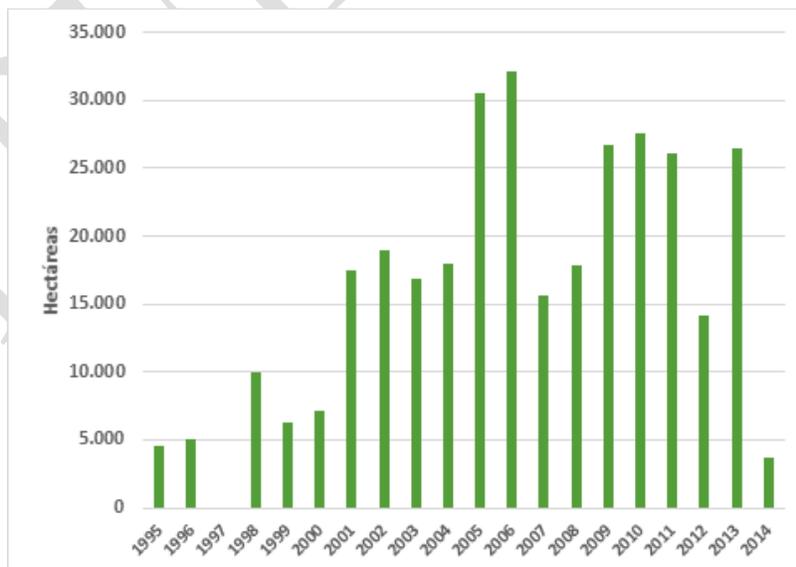
Figura 2.12 Hectáreas en producción y producción de fruto



Fuente: Fedepalma. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Respecto de la siembra de palma en área nueva, en la Figura 2.13 aparece una concentración importante de esta actividad entre los años 2001 y 2007, alcanzando el pico de 32 mil hectáreas en 2006; en los años siguientes, el área nueva siempre está por debajo de este pico. Se corrobora un crecimiento importante anterior a la formulación de la política de biocombustibles plasmada en el documento Conpes 3510, debida a los incentivos otorgados a la siembra, pero también a que el sector en años previos a la política incrementó de manera importante las exportaciones de aceite crudo.

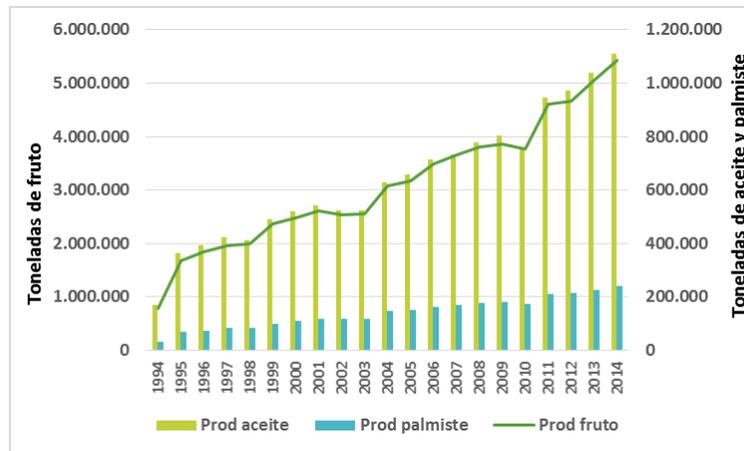
Figura 2.13 Área nueva en palma de aceite



Fuente: Fedepalma. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Como se explicó en la Figura 2.12, la producción de fruto ha crecido a un ritmo menor que el del área sembrada y el del área en producción. Esto es porque los rendimientos llegaron a ser más altos en el período intermedio. La producción de aceite y de palmiste sigue la tendencia del fruto, lo que significa que las tasas de extracción se han mantenido relativamente constantes, como describe la Figura 2.14.

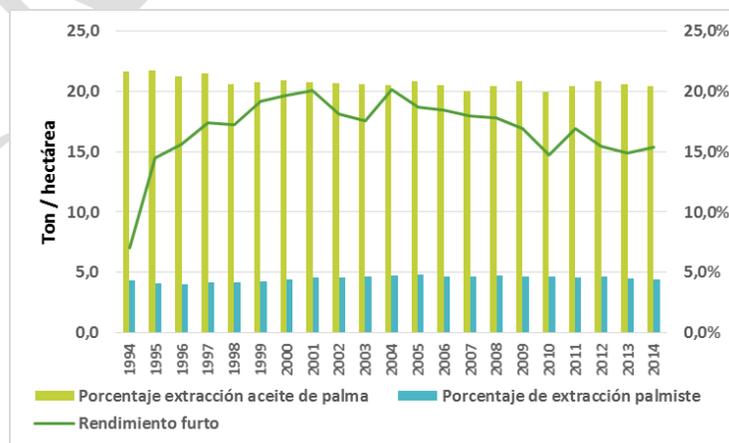
Figura 2.14 Producción de fruto, aceite de palma y palmiste



Fuente: Fedepalma. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Como se aprecia en la Figura 2.15, el porcentaje de extracción de aceite y de palmiste se mantienen bastante constantes a partir de 1998; sin embargo, de 94 a 97 el de aceite fue ligeramente mayor, pero el de palmiste ligeramente inferior. La curva de rendimiento de fruto confirma lo ya mencionado antes, un crecimiento importante de 1994 a 2001 y luego un decrecimiento continuo a partir de 2004.

Figura 2.15 Rendimiento de fruto y porcentaje de extracción de aceite y palmiste

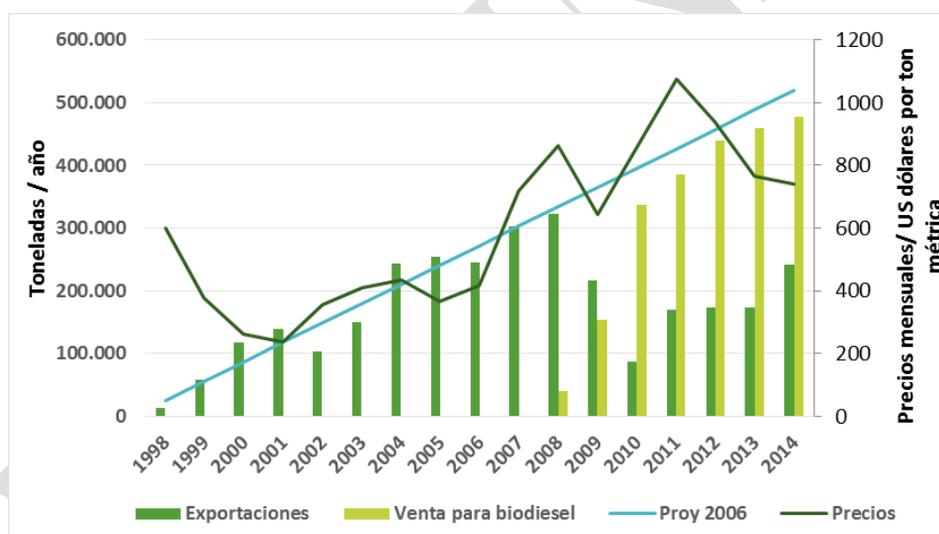


Fuente: Fedepalma. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Las ventas de aceite han seguido la tendencia de la producción de fruto; esto es, de no haberse reducido la productividad en los últimos años, podrían ser mayores. Claramente, la venta de aceite para biodiesel ha salido en parte de una ligera reducción en el consumo interno pero en mayor parte de quitarle participación a la exportación de aceite crudo, como aparece en la Figura 2.9.

La Figura 2.16 muestra cómo la tendencia que traían las exportaciones hasta 2004 continúa hasta 2008; lo cual sustenta que antes de entrar el biodiesel el sector tenía capacidad de colocar el incremento de la producción en el extranjero. Esta dinámica que traía el sector se debía, así no fuese el negocio tan rentable como el del aceite para biodiesel, a que los ingresos por exportaciones eran suficientemente rentables¹¹ (entre 1999 y 2007 el mercado interno no creció).

Figura 2.16 Proyección de la tendencia de las exportaciones con información hasta 2004



* Proyección de la cantidad exportada, calculando la tendencia con los datos históricos hasta 2004.

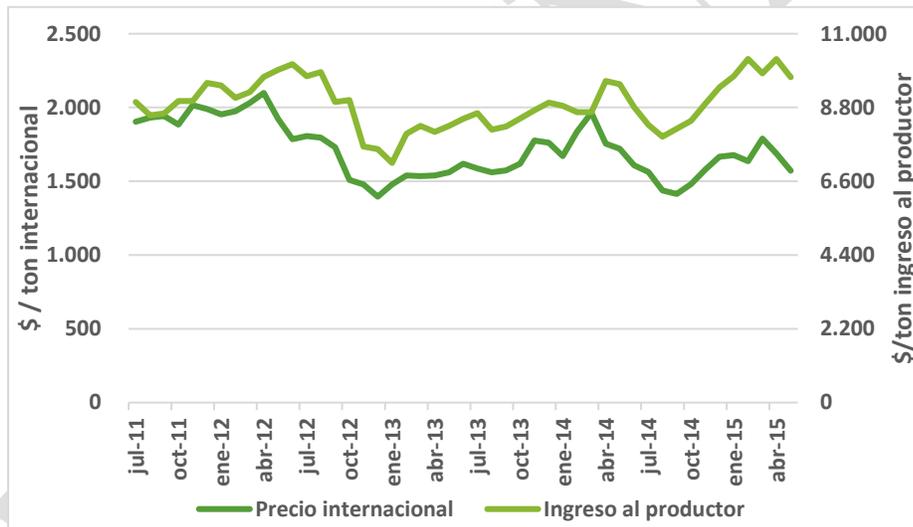
Fuente: Fedepalma y Index Mundi, Palm Oil monthly price. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

La Figura 2.17 muestra el comportamiento del precio internacional del aceite crudo de palma y del ingreso al productor de biodiesel (precio al que el productor vende el biodiesel para ser mezclado con el ACPM de origen fósil), desde julio de 2011, el cual se calcula con una fórmula que depende en un 70% del precio internacional del aceite crudo. Las curvas de la figura se han ajustado para que estén cerca en los períodos

¹¹ La serie de precios internacionales se tomó de <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=palm-oil&months=300>.

iniciales (julio de 2011 a abril de 2012), a pesar de tener escalas de valores distintas. Se aprecia cómo el ingreso al productor de biodiesel se vuelve mayor relativamente que el internacional a partir de junio de 2012 (esto es, la relación del ingreso al productor, al precio internacional del aceite crudo, aumenta), manteniéndose de ahí en adelante en esa posición. En los últimos períodos esta diferencia tiende a aumentarse¹², esto puede ser resultado de que el precio internacional ha estado por debajo de la franja de precios del Sistema Andino, por lo que dicha franja hace que se incremente el arancel para que tome el límite inferior de la misma. Este comportamiento hace pensar que puede haber problemas con la fórmula de precios que ameritan ser estudiados para que esta situación no ocurra, especialmente cuando se está en un escenario de precios bajos del petróleo.

Figura 2.17 Evolución del precio internacional del aceite crudo y del ingreso al productor de biodiesel



Fuente: Fedepalma y Banco Mundial. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

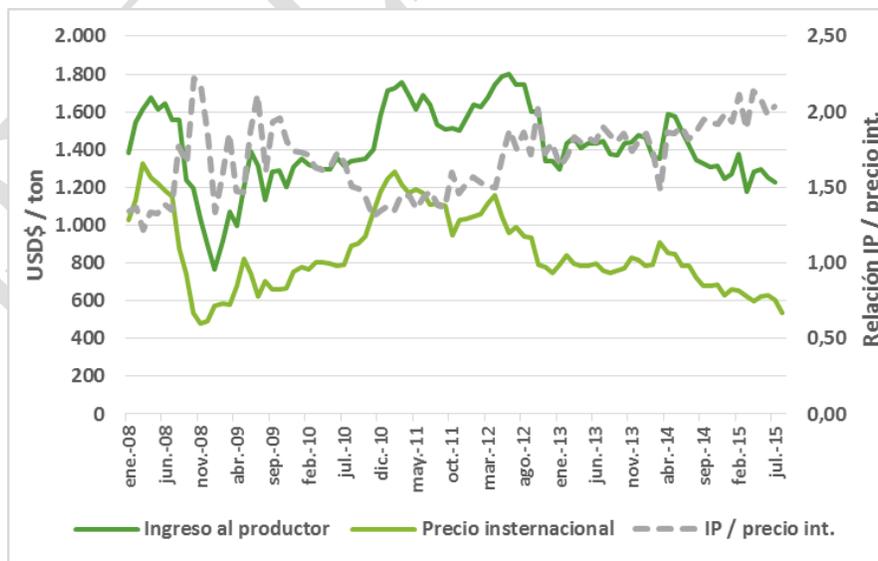
El hecho de que Colombia es un jugador pequeño al lado de los dos grandes, Indonesia y Malasia, hace que no pueda influir en el precio internacional (ser formador de precio) sino que sea tomador de precio; sobre este fundamento la fórmula de ingreso al productor, está planteada respecto de la materia prima (aceite crudo de palma), en un escenario de paridad de importación. La fórmula es compleja pues compara importar el aceite crudo de palma (FOB Malasia) con una canasta de sustitutos; pero esta canasta

¹² Mientras la relación del ingreso al productor, al precio internacional del aceite crudo, es de 4.75 en promedio en el primer año de la serie de la gráfica, comprendido entre julio de 2011 y junio de 2012, dicha relación es de 5.73 en el último año, período de junio de 2014 a mayo de 2015. En la mitad está el año 2013 (de enero a diciembre) que tiene una relación promedio de 5.19.

tiene en cuenta la composición del aceite crudo de palma que en un 65% es líquido (aceite) y en un 35% grasas sólidas (estearina). Entonces considera el aceite de soya de Argentina (FOB) en cuanto a la parte líquida y respecto de las grasas sólidas toma el menor precio entre el sebo fancy blanqueado de Estados Unidos (CIF EU) y la estearina de palma de Malasia (FOB); esto se efectúa teniendo en cuenta los fletes, seguros, aranceles (donde juega un papel importante el SAFF) y demás costos de importación. Al resultado anterior se agrega el costo de refinación del biodiesel.

Un análisis del comportamiento de la fórmula es por lo tanto también complejo. En lugar, de esto se observó el resultado final del ingreso al productor de biodiesel y se lo comparó con el precio FOB Malasia del aceite crudo, pues en el contexto del mercado internacional, independientemente de importar o exportar, es importante conocer la relación entre el precio interno (teniendo obviamente en cuenta que corresponde al producto refinado – biodiesel) y el mejor referente externo. Se convirtió entonces la serie de ingreso al productor de pesos (\$) por galón a dólares (USD\$) por tonelada requerida para producir biodiesel. Para esto se utilizó el factor de 303,114 galones por tonelada de biodiesel que reporta la UPME, el factor de 1,0526 toneladas de biodiesel por tonelada de aceite crudo de palma¹³ (Mesa-Dishington, 2014) y la tasa de cambio (TRM) del mes correspondiente.

Figura 2.18 Ingreso al productor de biodiesel en dólares por tonelada equivalente de aceite crudo de palma vs. precio internacional del aceite crudo de palma



¹³ El factor promedio obtenido de dividir las toneladas producidas de biodiesel anuales por las del aceite crudo utilizado para ello es un poco mayor (1,0853).

Como se observa en la Figura 2.18, a partir de inicios de 2012 el precio internacional del aceite crudo de palma ha ido en descenso y el ingreso al productor también, pero a un ritmo menor que ha hecho que la relación entre este último y el primero haya crecido paulatinamente. Esta relación ha sido en promedio de:

1,57 en 2010,
1,43 en 2011,
1,71 en 2012,
1,80 en 2013,
1,85 en 2014, y
2,03 de enero a julio de 2015.

Se buscó también comparar el ingreso al productor con el costo de producción reportado en distintos estudios.

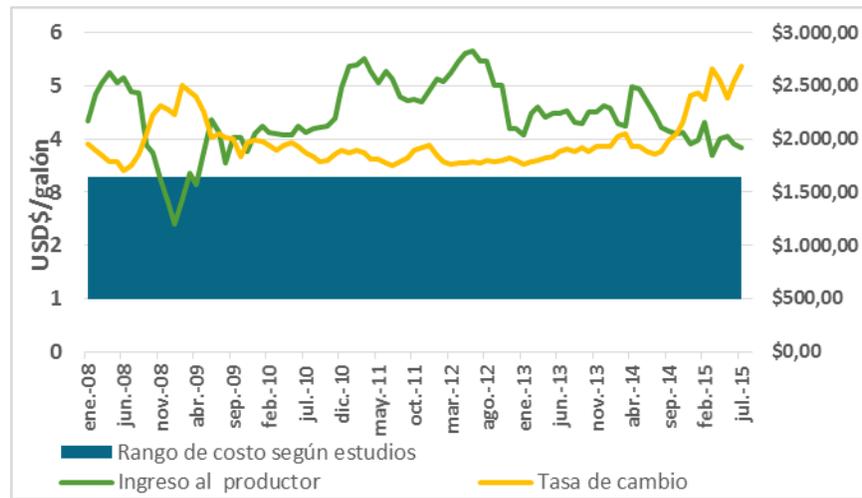
- En el estudio de FAO también citado para etanol (Crispín, Felix, & Quintero, 2010), se da un rango de costos también para el biodiesel de palma de aceite en Perú que está entre USD\$0,23 y USD\$0,31 por litro, que convertido a galones corresponde a un rango de USD\$0,87 a USD\$1,17 por galón de biodiesel.
- El estudio de CEPAL – República Federal Alemana (Ribeiro Gallo, 2007, págs. 137-159) reporta para Honduras un costo de producción del biodiesel por hectárea de USD\$3130 en dólares de 2006.
- Este mismo estudio reporta para Costa Rica (Ribeiro Gallo, 2007, págs. 81-99) un costo entre USD\$2,19 y USD\$2,80 de 2006 por galón de biodiesel, dependiendo de los impuestos.
- Para El Salvador se reporta el costo de una planta piloto entre USD\$2,40 y USD\$2,70 por galón de biodiesel, en dólares de 2006 (Ribeiro Gallo, 2007, págs. 100-117).
- El estudio de IICA (IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles, 2010) reporta un costo del biodiesel de palma en la región de Pará en Brasil de R\$1,231 por litro para 2005. Puesto que la cotización del real en ese momento era de R\$2,69 por dólar, esto corresponde a USD\$0,46 por litro o a

USD\$1,73 por galón. En este estudio se reporta también para Ecuador un costo de USD\$1055,14 por tonelada, que, convertido a galones con el factor de 303,114 galones por tonelada de la UPME, equivaldría a US\$3,48 por galón, que es demasiado elevado relativo a los costos obtenidos para otros países de la región.

- En el estudio de (Infante Villarreal, 2014) para la UPME, se reportan los datos de LMC International 2013 de costo de producción de aceite crudo para varios países, en que Malasia está en USD\$409 por tonelada, que convertido a galones requeridos para producir el biodiesel con los factores mencionados de la UPME (303,114 gal/ton) y Fedepalma (ton biodiesel/ton aceite crudo), corresponde a USD\$1,42 por galón, para Brasil el dato es de USD\$647/ton o USD\$2,25/gal y para Colombia USD\$684/ton o USD\$2,38/ton. Desde luego en estos costos falta el de transformación a biodiesel en la refinería. En el mencionado estudio de Infante, se cita como una causa importante del mayor costo en Colombia la mano de obra, y se dan costos del estudio de (Guterman, 2014) de USD\$107/ton para Malasia, USD\$174/ton para Brasil y USD\$197/ton para Colombia. También se menciona que estos países asiáticos, especialmente Indonesia, han tenido menos restricciones de tipo ambiental, pero que esto y la mano de obra han venido cambiando en los últimos años por la presión del incremento en salarios rurales y de la fuerza que ha ido tomando el tema ambiental.

Tomando como límite inferior el del estudio de (Crispín, Felix, & Quintero, 2010) y como límite superior el de Costa Rica de 2006, actualizando los valores en dólares por inflación de Estados Unidos (factores respectivos de 1,1744 y 1,1040, se obtiene el rango de USD\$0,99 a USD\$3,29 por galón, se obtiene el resultado de la Figura 2.19, en la cual se aprecia cómo el ingreso al productor de biodiesel solo ha estado por debajo del límite superior de lo reportado en estudios en unos períodos al inicio de la producción. Se observa también que el comportamiento del ingreso al productor sigue la tendencia contraria a la tasa de cambio, bajando cuando esta sube o viceversa.

Figura 2.19 Ingreso al productor de biodiesel en dólares, rango de costo de producción reportado en estudios y tasa de cambio



Fuente: UPME y estudios varios. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Conclusión

De esta revisión del sector de biodiesel podría plantearse la hipótesis de que el sector de palma de aceite de todas maneras hubiese crecido con la inercia que llevaba, como lo muestran las figuras anteriores. Sin embargo, hubo unos incentivos a la siembra de cultivos de tardío rendimiento previos al Conpes 3510, además de la consolidación del mismo en el documento de 2008, dando indicios que el sector venía planteándose desde antes.

Como se mostró en las gráficas anteriores, debido a la fórmula de ingreso al productor, el biodiesel ha tenido un precio interno superior al precio internacional del aceite crudo más el costo de refinación, como lo confirman varios estudios de costo en países de la región considerados.

Por esta razón, en el análisis costo beneficio que se presenta en el Capítulo 3 se están atribuyendo los beneficios y costos del desarrollo agrícola en áreas nuevas estrictamente requeridas para la producción de biodiesel. De hecho, entre 2005 y 2014 se sembraron más de 237 mil hectáreas en áreas nuevas, de las cuales solo son necesarias para la producción actual de biodiesel un poco más de 151 mil. En un escenario de alcanzar una mezcla de 20% en 2020, las áreas nuevas sembradas hasta diciembre de 2014 permiten alcanzar esta meta en 2019 y, la siembra de nuevas áreas requeridas para el biodiesel sería marginal.

2.3 SECTOR DE CAÑA DE AZÚCAR

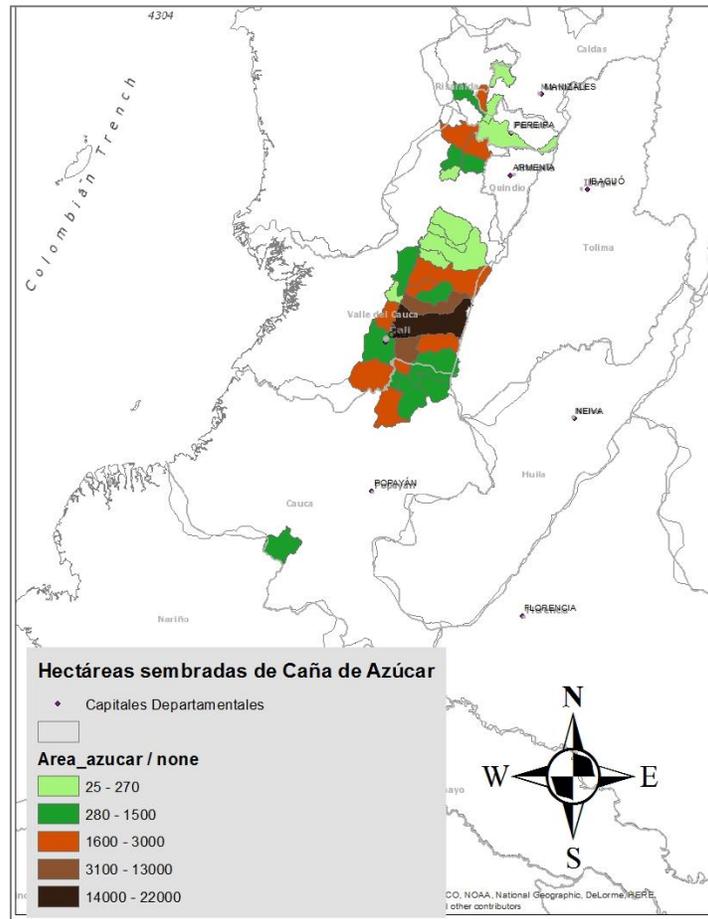
La producción de etanol, al igual que en el caso del biodiesel, sigue un proceso agroindustrial complejo que da lugar, en este caso, a dos productos azúcar y etanol, dependiendo del manejo que se le dé a los jugos de la caña de azúcar durante el proceso. A diferencia del biodiesel, la industria de la caña de azúcar está completamente integrada, por esta razón los ingenios que producen etanol son dueños de sus propios cultivos, o hacen manejo directo de algunos terrenos. La combinación de tierras propias con las de manejo directo abarca el 42.7% de las hectáreas sembradas en el país; el resto de la caña se adquiere vía compras a otros productores, a través de contratos en participación u otras formas de contrato de compra de la materia prima agrícola.

Para el caso particular del etanol, una vez extraídos los jugos y mieles de la caña, se inicia el proceso de fermentación con ayuda de levaduras especiales que lo transforman en alcohol. Seguidamente, éste alcohol pasa por un proceso de destilación que lo purifica y que genera un residuo conocido como vinaza. Finalmente, se deshidrata y el resultante es el alcohol carburante que es transportado en carro-tanques hasta los acopios mayoristas, donde se hace la mezcla de acuerdo al porcentaje designado por el gobierno que actualmente es 8% para todo el territorio nacional, con excepción de algunos municipios ubicados en zona de frontera en los departamentos de la Guajira , Cesar , Norte de Santander , Boyacá , Arauca , Vichada , Guainía , Vaupés , Amazonas , Putumayo , Nariño y Chocó, a los cuales se les da un tratamiento especial y no usan gasolina mezclada. La distribución al consumidor final está a cargo de los grupos de distribución minoristas que operan las estaciones de servicio en el país.

2.3.1.1 Caracterización

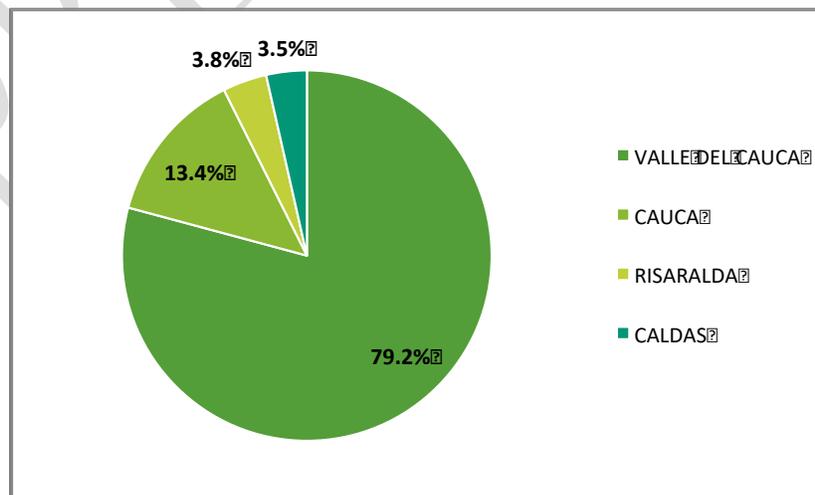
El universo de productores agrícolas de caña de azúcar está compuesto por 1.228 fincas que se ubican en 37 municipios en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas, como se presenta en la Figura 2.20. De estos departamentos el que más hectáreas cultivadas aporta es el Valle de Cauca, con 79% de los cultivos, la Figura 2.21 resume la distribución departamental de este tipo de cultivos.

Figura 2.20 Municipios productores de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia con base en Cenicaña, (2015).

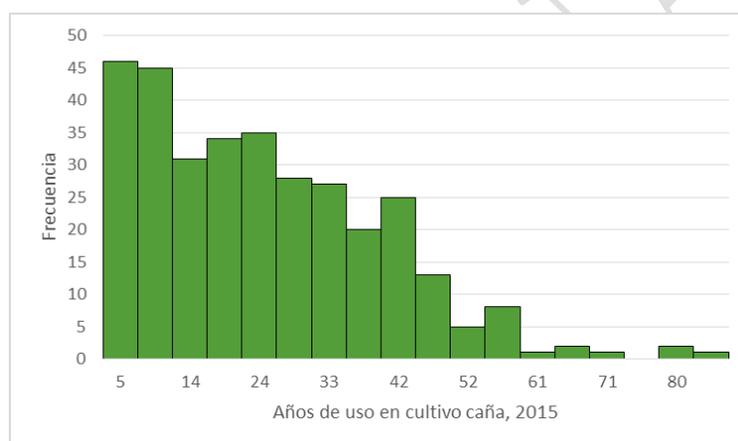
Figura 2.21 Distribución de las hectáreas cultivadas en caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia con base en Cenicaña, (2015).

Al preguntar por los tiempos promedio que cada agricultor lleva manejando la tierra, los productores reportan estar manejándola hace 20.5 años. La Figura 2.22 presenta la distribución de las respuestas, evidenciando diversidad de tiempos de manejo dentro del grupo de encuestados. Este hecho puede explicarse por la variedad de tamaños en las extensiones de las fincas, y también en la diversidad de maneras de contratación que emplean los ingenios para acceder a la materia prima. Ahora bien, en cuanto a la tenencia de la tierra se encuentra que el 95% reportan como Propia con título y el restante 5% es en arriendo. Frente al tamaño de la tierra se identifican que los cinco ingenios con plantas de etanol tienen en promedio 18.645 ha frente a 88 ha del resto de las fincas entrevistadas.

Figura 2.22 Distribución de los años en uso en cultivo de caña



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

En un reporte aún más detallado, a continuación se describen algunos aspectos importantes con referencia a las diferentes características del proceso de producción agrícola de la caña de azúcar. Estos hechos permiten identificar elementos claves que son cruciales para el análisis de la presente evaluación.

a. Uso del suelo

Los agricultores reportaron un uso del suelo promedio en sus fincas de 189,45 hectáreas en cultivos de caña, mientras que para 2007 ese promedio era de apenas 132.17, estas cifras se relacionan con el área total de cada terreno. Es importante señalar que otros usos del suelo no resultaron significativos, una posible explicación ante este hallazgo es la poca cantidad de terrenos disponibles en la zona que concentra la producción de caña del país, limitando la posibilidad de crecimiento en las hectáreas

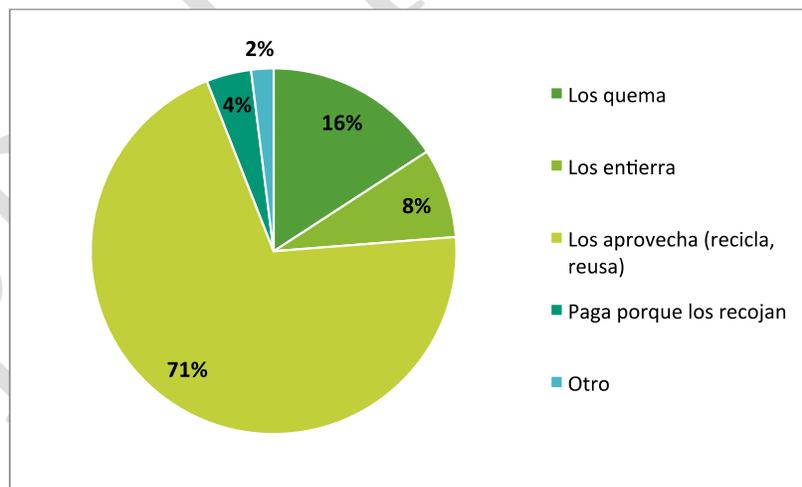
sembradas en caña; esto muestra también una tendencia a consolidarse los productores en fincas de mayor tamaño.

En este mismo sentido, al preguntar por el tiempo en que se han tenido dedicadas las tierras a otros usos diferentes a la caña de azúcar tales como otros cultivos, pastos, explotaciones forestales, huertas caseras, vivienda, reservas de agua, entre otros, son muy pocos los encuestados que responden haber dedicado tiempos importantes a estas actividades, dando como resultado respuestas sin significancia estadística que señalen alguna importancia ante estas alternativas.

b. Manejo del suelo

Los cuidados previos a la siembra son de gran importancia para los productores agrícolas de caña de azúcar, 94% de ellos afirma realizar acciones de tratamiento en esta etapa del proceso de la caña; de éstos solamente 42% tiene un programa para manejar residuos sólidos. De acuerdo con la Figura 2.23, la mayoría de estos residuos son reciclados, de acuerdo con el 71% de las respuestas, o quemados (16%), el resto paga por su recolección o los entierra. En el caso de los residuos peligrosos, 46% tiene un programa para el manejo de éstos; mientras que 55% de los encuestados dice tener un programa para el manejo del recurso hídrico.

Figura 2.23 Manejo de residuos sólidos en los cultivos de caña de azúcar

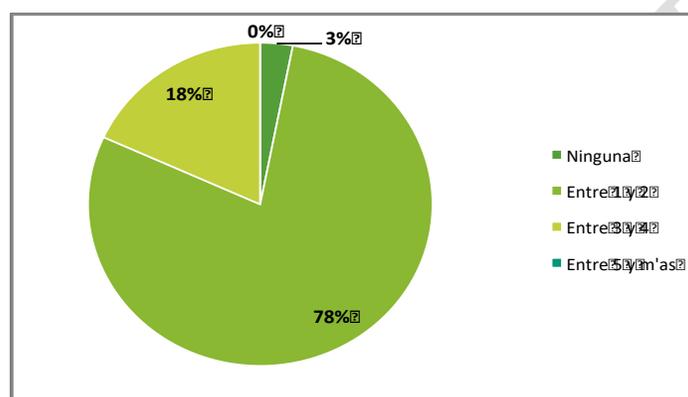


Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

Otro elemento interesante en el manejo del uso de suelo tiene que ver con los fertilizantes que se aplican. Aquí, el 100% de los agricultores que se hacen cargo del proceso hacen uso de fertilizantes, y 96% de ellos los compra directamente, un

pequeño 3% los recibe directamente del ingenio. La periodicidad de la fertilización se hace, principalmente entre 1 y 2 veces al año (Ver Figura 2.24). En cuanto a la composición de los fertilizantes, 90% son de origen químico, y se compra la mezcla ya hecha (57% de los encuestados); sólo el 9% son orgánicos (60% compra la mezcla ya hecha). La cantidad de fertilizante promedio por hectárea, de acuerdo con las respuestas de los encuestados es de 740.15 kilogramos¹⁴.

Figura 2.24 Fertilizaciones al año en caña de azúcar



Fuente: Unión Temporal (SEI s.a.- Econometría).

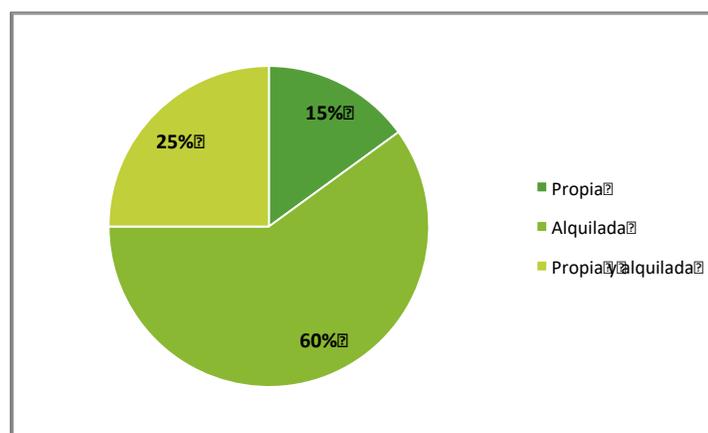
La proporción de agricultores que hace uso de herbicidas asciende al 98%, y 58% de ellos contrata a un tercero para su aplicación.

c. Siembra y mantenimiento

De acuerdo con las respuestas de los encuestados, para estas labores el 60% combina maquinaria propia con la de terceros en esta labor (Figura 2.25), mientras que el 77% reporta hacer arados en los terrenos. El uso de combustibles en esta etapa del proceso, dado que es en su mayoría tercerizado, sólo lo reporta el 15% de los encuestados, así que los tipos y cantidades de combustibles no resultaron significativos dentro de la muestra seleccionada.

¹⁴ Este dato está respaldado por <http://www.fao.org/co/manualpanela.pdf> página 89.

Figura 2.25 Propiedad de la maquinaria para el proceso de siembra y mantenimiento en la caña de azúcar



Fuente: Unión Temporal (Econometría- SEI).

d. Participación y Asociatividad

De los 325 encuestados, 215 dicen hacer parte algún tipo de asociación con otros productores¹⁵. De acuerdo con la Tabla 2.3, al igual que en el caso de palma, las asociaciones de productores y los gremios son las formas de reunión más populares, y también aquellas que llevan más tiempo de constituidas. Este hecho podría explicarse al largo tiempo que lleva el sector de la caña de azúcar consolidado en el país, y a las instituciones formales que se han construido alrededor de él.

Tabla 2.3 Tipos de asociaciones de productores de caña de azúcar

Tipo de asociación	Número de asociados	Tiempo promedio en la asociación
Productores	135	6.30
Gremio	123	6.29
Cooperativa	9	0.13
Fundación	4	0.19
Vecinos	2	0.09
Familiares	2	0.09
Corporación	1	0.07

¹⁵ Vale la pena destacar que los productores pueden participar en uno o más tipos de asociaciones, por lo tanto las cifras de la Tabla 2.3 no suman 215 observaciones.

e. Empleo

Para el caso del empleo se preguntó a los encuestados por las tres etapas fundamentales de desarrollo del cultivo: siembra, riego y cosecha. De acuerdo con las respuestas, en el proceso de siembra se contratan 11 jornales por hectárea, en el de riego 5.13 y en el de cosecha 25.7. Al indagar por las capacitaciones, los hallazgos son similares a los de palma de aceite, donde en promedio 70% de los productores responden que sus empleados han requerido capacitación en cualquiera de las etapas del proceso.

Ante la meta que tiene el gobierno de generar empleos, y más aún que estos sean formales, se indagó por la estabilidad de los mismos a nivel agrícola. De acuerdo con la información suministrada por la encuesta, por cada finca existen 9.13 trabajadores permanentes y 6.64 temporales.

2.3.1.2 Análisis de percepciones

En busca de recoger los cambios que ha generado el sector, partiendo de dos momentos importantes en el desarrollo de la política, 2007 justo antes de la aprobación del Conpes 3510, y el momento actual, se preguntó por las percepciones sobre los avances en infraestructura y su pertinencia para el desarrollo del sector. Para 2007, 87% de los productores consideraba que la infraestructura era adecuada, mientras que para 2015 sólo 56% tenía la misma percepción. En cuanto al papel que jugó el sector en el desarrollo de esa infraestructura, 75% de los encuestados cree que en 2007 la caña de azúcar desarrollaba la infraestructura de la región; para 2015 sólo 55% tenía esta percepción. Sobresale, en la mayoría de los casos, desarrollos viales que han potenciado la región, 69% de los encuestados identificó, para 2015, este tipo de infraestructura como la más sobresaliente en relación con el aporte sectorial.

Con respecto a los cambios en la calidad de vida de los encuestados, 51% cree que la calidad de vida de su familia ha mejorado, 36% siente que sus ingresos han mejorado, y 49% percibe mejoras en la comunidad. Dentro del grupo que respondió que su vida familiar y de su comunidad ha mejorado, se le preguntó en cuáles de los siguientes aspectos ha mejorado su situación: acceso a salud, acceso a educación, tranquilidad,

situación económica y condiciones ambientales¹⁶. La Tabla 2.4 resume los hallazgos para las dos dimensiones, familiar y comunidad. En promedio, sólo un cuarto de los encuestados responde que se ha mejorado la percepción en una de las dimensiones del bienestar, mientras que aproximadamente 19% ve mejoras en todos los frentes. Vale la pena aclarar que este tipo de percepciones también pueden deberse a desarrollos propios de las regiones donde se aplicó la encuesta, y que no hay evidencia para sustentar que todas estas mejoras sean atribuibles a los biocombustibles, pues hay otras intervenciones públicas y privadas que han afectado a la población.

Tabla 2.4 Número de respuestas positivas a las dimensiones de bienestar de los agricultores en el sector de la caña de azúcar

Dimensiones	Familiar	Comunidad
1	31.2%	21.5%
2	28.1%	27.8%
3	12.6%	21.0%
4	11.1%	9.3%
5	17.1%	20.5%

Fuente: Unión Temporal (SEI s.a.- Econometría).

2.3.1.3 Conocimiento de la política

Para la mayoría de los productores de caña de azúcar la política de biocombustibles es desconocida, para 2015, el 42% de los encuestados la reconoce la política. Además, se indagó por aquellos que recibieron beneficios debido a la política; de éstos, 24% dijo haber recibido beneficios en 2007 y 37% en 2015.

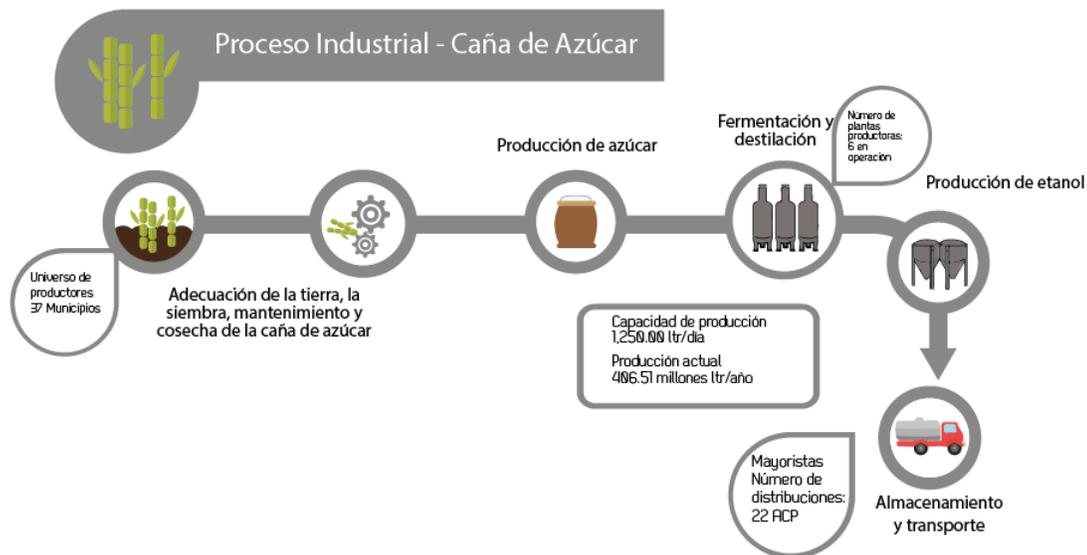
Buscando beneficios particulares para los productores agrícolas se preguntó particularmente por tres tipos de beneficios: ahorros en la gasolina por la exención que se le hace al alcohol, precios regulados de la caña de azúcar, mercado seguro para la producción de la caña. De los que afirmaron recibir beneficios, 45.5% dice haber recibido al menos un beneficio, 15.4% dos beneficios y sólo 7.7% se siente cubierto por todos los beneficios. Finalmente, 46% de los encuestados reportó haber pagado impuestos por uso de recursos naturales.

¹⁶ Los cálculos que se presentan en la Tabla 2.4 se explican de la siguiente manera: 1 cuando el encuestado respondió que sólo mejoró en una dimensión, 2 cuando el encuestado respondió haber mejorado en 2 de las dimensiones enunciadas (acceso a salud, acceso a educación, tranquilidad, situación económica y condiciones ambientales), y así sucesivamente, hasta 5 si respondió que mejoró en todas las dimensiones.

2.3.2 Eslabón agroindustrial

El proceso agrícola del etanol carburante cuenta con varias actividades que deben ser desarrolladas incluso antes de que el terreno se encuentre sembrado. Las cuatro áreas fundamentales de la primera etapa son: la instalación, la plantilla, el mantenimiento de socas y corte, alce y transporte. En la siguiente etapa se lleva a cabo el proceso de producción del azúcar de donde se deriva la melaza que va para el proceso de destilación. Una vez surtida la fermentación y la destilación, está listo el alcohol carburante que se mezclará con la gasolina para llegar a los usuarios finales de los biocombustibles. La Figura 2.26, a continuación, hace una breve descripción de las actividades necesarias para cada una de estas áreas.

Figura 2.26 Proceso industrial del etanol



Fuente: Elaboración propia con base en (Consortio CUE para BID y MME, 2012)

2.3.2.1 Adecuación de la tierra, siembra y cosecha

La instalación comprende la preparación del terreno para el cultivo, esta incluye las siguientes labores: erradicación de arbustos (rocería), levantamiento topográfico y georreferenciación diseño de las vías internas y ubicación de los drenajes y alcantarillas,

construcción de vías y drenajes, preparación de suelos, surcado y aplicación de enmiendas (proceso de corrección de la acidez del suelo para adecuarla a las necesidades de la caña de azúcar).

La plantilla es el inicio del cultivo, está compuesta por las labores de siembra de la semilla que comprende: fertilizaciones antes de la siembra, durante el proceso de desarrollo de la planta y en el momento de mayor crecimiento de la misma; siembra de las semillas; control químico de malezas en por lo menos tres momentos del desarrollo del cultivo, más un control manual y un rodeo químico externo usando herbicidas.

Las labores descritas para la plantilla se deben ejecutar para todas las socas, entendiéndose como socas las actividades de sostenimiento del cultivo después de cada corte (cosecha). Las únicas actividades que registran variaciones son: dos fertilizaciones, en vez de tres, y el control de malezas químico se hace una sola vez.

El corte, alce y transporte del cultivo se remite al orden en que se realiza la cosecha. Según las encuestas alrededor de una 70% del corte es mecanizado, es decir, que se realiza con cosechadoras mecánicas que tienen una productividad al menos 20 veces superior a la de un cortero promedio; el otro 30% se realiza con corte manual, para lo cual la productividad promedio es de 3 toneladas día, es decir que, para cosechar una hectárea se requieren aproximadamente 35 corteros.

Una vez cortada la caña, el alce consiste en la recolección del producto ya cortado para depositarlo en el camión que lo transporta a la destilería. El proceso se inicia cuando los corteros juntan la caña alrededor del frente de trabajo dentro de la plantación (suerte), para posteriormente ser alzada y trasladada hasta el sitio de carga del vehículo que la llevará a la planta. Finalmente, el transporte se realiza en los llamados trenes cañeros que son estructuras con capacidad para 30 toneladas, por lo general vienen jaladas por un solo tractor o tractomula. Dicho tractor impulsa entre dos y 6 estructuras, que requieren de una buena infraestructura vial para poder funcionar.

2.3.2.2 Proceso de producción de azúcar¹⁷

El primer paso en el proceso de producción de etanol es la recepción y la preparación de la caña de azúcar; ésta se lleva a la fábrica, y luego se descarga en una tabla de alimentación con una inclinación de 15 grados para sacar la arena, piedras y otros

¹⁷ Proceso tomado de (Consortio CUE para BID y MME, 2012) páginas 37-39.

residuos. Desde la mesa de alimentación, la caña cae a una banda transportadora que la lleva a un primer cuchillo (nivelador). La estera de caña pasa a un segundo set de cuchillos montado en la parte superior de la trituradora. En esta etapa finaliza la preparación de la caña. En el recorrido de la caña por el molino, se le agrega agua para insaturar los jugos y lograr extraerle la sacarosa que contiene el material fibroso que pasa a través de todas las unidades que componen dicho molino.

El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a las calderas para que sirva como combustible y produzca el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de molinos y de los equipos de preparación para lograr su movimiento y en los turbogeneradores para producir la energía eléctrica requerida por el Ingenio y la energía que se vende a la red pública. El vapor de escape de las turbinas se emplea en las operaciones de evaporación y cocimiento de los jugos azucarados.

El jugo que se extrae de los molinos se pesa en básculas. Posteriormente se sulfita, se adiciona cal para la precipitación de las impurezas y se calienta con vapores vegetales en intercambiadores de tubo y coraza, hasta una temperatura de 102-105 grados centígrados. El jugo alcalizado caliente pasa por un tanque flash, donde se liberan gases incondensables. Inmediatamente el jugo se alimenta a los clarificadores, donde los sólidos insolubles floculados se separan del jugo, sedimentándose por gravedad en forma de lodo. Los lodos se someten a un proceso de recuperación de sacarosa por filtración. El jugo resultante llamado jugo filtrado se devuelve al proceso y se mezcla con el jugo que sale de los molinos.

El jugo clarificado se recibe en los evaporadores con un contenido de sólidos de 15° brix¹⁸, se concentra por evaporación de múltiple efecto y se entrega con 60° - 70° brix. Este jugo concentrado se denomina meladura. La estación de evaporación la constituyen entre cuatro y seis efectos donde el jugo va aumentando su concentración de sacarosa a medida que avanza en el proceso; los últimos efectos funcionan bajo vacío. La meladura obtenida en los evaporadores es posteriormente clarificada en clarificadores de meladura.

La sacarosa contenida en la meladura se cristaliza llevándola hasta el nivel de sobresaturación por evaporación al vacío en evaporadores de simple efecto (tachos). El

¹⁸ Los grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en un jugo o pulpa expresados en porcentaje de sacarosa. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de una fruta (<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obpulpfru/p7.htm>).

material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. Los cristales se separan de la miel en centrífugas. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente o vapor para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a las secadoras.

Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel agotada o miel C, que se vende para alimentación animal; para aquellos ingenios con planta de etanol, solo se hacen dos cristalizaciones, y la miel obtenida (miel B) se envía hacia las destilerías como materia prima para la producción de alcohol carburante.

2.3.2.3 Producción de etanol¹⁹

El transporte de miel la B se realiza por tuberías entre el ingenio y la planta de etanol. Las materias primas para la producción de alcohol son: jugo clarificado, meladura y miel B provenientes de la fábrica de azúcar. La fermentación para producir etanol, es un proceso microbiológico en el cual los azúcares contenidos en las materias primas, son convertidos por la levadura en etanol y gas carbónico.

El mosto fermentado o vino que sale del fermentador final, contiene alcohol diluido en agua y levadura; éste es llevado a un tanque sedimentador donde la levadura se decanta, sale por el fondo y se envía al tanque de activación de levadura, mientras el líquido conocido como vino es enviado al proceso de destilación

El vino contiene alcohol diluido en agua y otras impurezas que deben ser separadas del alcohol por medio del proceso de destilación. Este proceso aprovecha que la temperatura de ebullición del etanol es menor que la del agua, lo cual permite separar primero los vapores de alcohol que salen por la parte superior de la columna mostera, mientras que por el fondo sale vinaza, residuo compuesto por agua e impurezas.

Los vapores obtenidos en la primera columna contienen aproximadamente 45% de alcohol y son enviados a la columna rectificadora, de la cual, por la parte superior, se obtiene alcohol rectificado que contiene 95% de etanol. Por el fondo, sale agua con algunas trazas de alcohol, residuo conocido como flemaza.

El alcohol rectificado en la destilación contiene 95% v/v de etanol y 5% v/v de agua. Para que este alcohol pueda ser usado como combustible, es necesario retirarle más agua; esto se hace utilizando un tamiz molecular, que por medio de una resina sintética

¹⁹ Ibid, páginas 46-47.

retiene el agua contenida en el alcohol rectificado, para obtener como producto alcohol deshidratado con una concentración de 99.5% de etanol y una cantidad mínima de agua, cumpliendo con las especificaciones establecidas para su uso como alcohol grado combustible o alcohol carburante.

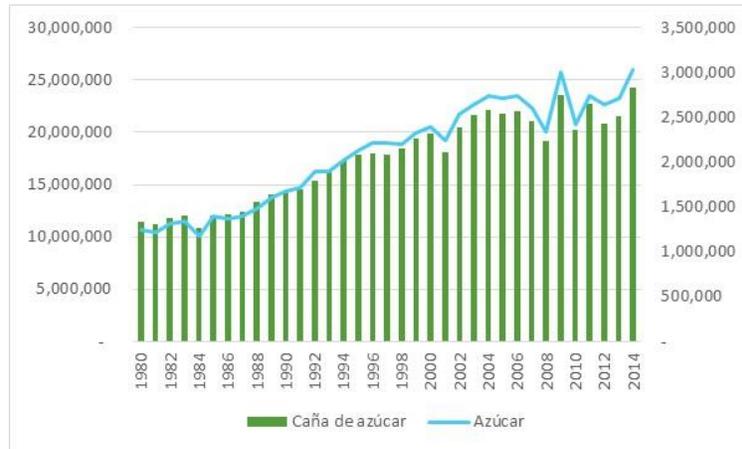
2.3.2.4 Caracterización industrial

Hay en el país 13 ingenios que tienen historia produciendo azúcar; sin embargo, sólo 5 de ellos apostaron por la producción de etanol en el marco de la política de biocombustibles; esos son Manuelita, Incauca, Providencia, Risaralda y Mayagüez. Recientemente Riopaila abrió las puertas de su destilería, y se espera que en 2016 empiece a funcionar la planta destiladora de Ecopetrol, Bioenergy.

La capacidad instalada de producción de los cinco ingenios es de 1.250.000 litros diarios, a esto se le sumarán 400.000 litros de capacidad de la nueva planta de Riopaila, y 480.000 litros en 2016 provenientes de Bioenergy. En cuanto a la demanda de etanol, la cifra de ventas para 2014 ascendió a 418.52 millones de litros, un poco por debajo de la capacidad instalada de los ingenios que estaban en funcionamiento.

Poniendo en contexto la producción de etanol dentro del proceso de la caña de azúcar, y como parte fundamental de la producción del sector, la Figura 2.27 describe una tendencia creciente de la producción anual de caña de azúcar, se muestra una desaceleración en dicha tendencia durante los últimos 10 años del período de referencia, que es justamente donde se comienza a producir alcohol carburante. Es importante aclarar que para entender el valor industrial generado por el etanol, es importante tener como referente el comportamiento de la caña de azúcar, y del azúcar procesado.

Figura 2.27 Producción anual de caña de azúcar y azúcar



Fuente: Cálculos propios con base en Asocaña.

En la distribución del consumo interno de caña de azúcar aparece el etanol a partir de 2006 como uno de los destinos para el consumo nacional. Del comportamiento de la Figura 2.28 se puede intuir que el consumo interno se ha mantenido estable, en alrededor del 55%, y se han venido sustituyendo exportaciones para convertir el producto en alcohol carburante, y así abastecer la demanda interna que se creó con el desarrollo del sector; esta demanda, a 2014 ha representado, en promedio, 15% de la producción de caña de azúcar.

Figura 2.28 Distribución del consumo interno de caña de azúcar



Fuente: Cálculos propios con base en Asocaña.

En términos de empleos directos, y de acuerdo con la información reportada por los ingenios, la operación de cada destilería requiere, en promedio, de 60 operadores permanentes, entre técnicos e ingenieros y distribuidos en 3 turnos.

2.3.2.5 Evolución del mercado para la caña de azúcar

La caña de azúcar es una agroindustria de larga trayectoria, circunscrita a una zona relativamente pequeña pero de características únicas para el cultivo de la caña de azúcar. De esta forma, el etanol más que ser el impulsor del eslabón agrícola en que se produce su materia prima, constituyó una alternativa de diversificación de la canasta de productos del eslabón industrial.

Así, como se verá a continuación, la tendencia de crecimiento del área cultivada no cambió y se hicieron nuevas inversiones fundamentalmente en las destilerías para la producción del alcohol, como una rama adicional de la producción industrial, en cinco ingenios azucareros que iniciaron la producción de etanol en 2005 y uno más que empezó a producir etanol recientemente (también está en desarrollo un proyecto en los llanos orientales que en principio entraría en producción en 2016).

En la Figura 2.29 se aprecia cómo el área cultivada en caña de azúcar en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Risaralda fundamentalmente (algo en Caldas y Quindío) creció en cerca de 48 mil hectáreas a un ritmo importante (tendencia más que lineal), desde los años 80 y hasta el año 1993. A partir de 1994, con algunos altibajos, ha seguido una tendencia aproximadamente lineal, de 2225 hectáreas por año, para incrementar el área sembrada en otras 48 mil hectáreas; esto es, en 21 años se creció lo mismo que en los 13 años inmediatamente anteriores, a pesar de contar con efectos adicionales como la sustitución de cultivos (maíz, sorgo, soya, entre otros), que se han reducido en el país a partir de la apertura económica, con una leve recuperación entre los años 1998 y 2004²⁰, tendencia a la cual no ha sido ajena esta región. El alcohol empezó a producirse en 2005 pero esto no cambió la tendencia de crecimiento que traía el sector desde 1994.

²⁰ Sumando las cifras anuales de superficie cosechada para los cultivos de algodón, maíz tecnificado, maíz tradicional, sorgo y soya, tomadas de los anuarios estadísticos del sector agropecuario y pesquero de 2005 y 2010 del Ministerio de Agricultura, se observa esta tendencia para el total del país y para el Valle del Cauca en el período 1994 a 2010. Este comportamiento también lo muestran los datos de Fenalce de los informes de indicadores cerealistas de 2016A y 2013B, de maíz y sorgo para el total del país entre 1990 y 2016 y para el Valle del Cauca entre 2004 y 2016, solo que según estas últimas estadísticas el período mencionado de recuperación es menor, de 2000 a 2003.

Figura 2.29 Área sembrada de caña de azúcar en el valle del río Cauca



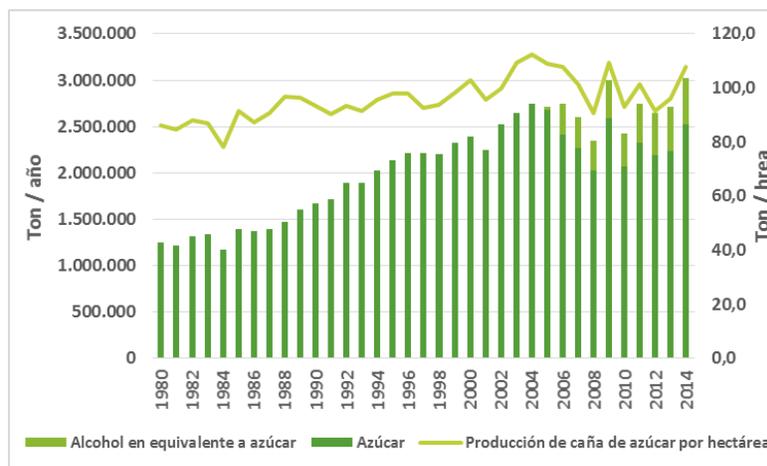
Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – Sei.

De otra parte, la producción de caña de azúcar y, consecuentemente, la producción de azúcar han tenido un estancamiento notorio en los últimos años, como se ilustra en la Figura 2.27. Esta situación empieza a darse desde el año 2005, coincidiendo con el inicio de la producción de alcohol; así, no se ha aumentado la producción de materia prima para producir el etanol, por lo que necesariamente se ha dejado de producir azúcar para producir alcohol²¹.

En la Figura 2.30, la línea que sigue las unidades del eje vertical derecho muestra cómo la productividad en toneladas de caña de azúcar por hectárea creció paulatinamente de 85 ton/Ha hasta llegar a 112 ton/Ha en 2004. Luego tuvo un descenso, y entre 2006 y 2014 ha oscilado alrededor de 97 ton/Ha. Se aprecia también que la producción de azúcar, más la de alcohol, en equivalente a azúcar, ha oscilado al ritmo de la productividad en caña de azúcar.

²¹ Es importante anotar que los ingenios azucareros que producen etanol representan solo un 62% del área total sembrada según el informe de (Consortio CUE para BID y MME, 2012). En el 2011 fueron 134.006 hectáreas.

Figura 2.30 Rendimiento de caña de azúcar por hectárea, y producción de azúcar y alcohol en equivalente a azúcar



Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

En consecuencia, es claro que la producción de alcohol no se ha realizado con una mayor producción de caña de azúcar, ni se aprecia un incremento del área sembrada para ello, más allá de la tendencia que ya traía de años atrás el sector.

La Figura 2.31 ilustra cómo la producción de alcohol se ha realizado, de una parte, dejando de producir azúcar para el mercado internacional y, de otra parte, utilizando las melazas, que son un subproducto de la producción de azúcar. El consumo interno de azúcar de producción nacional se ha mantenido.

Entonces, la producción de alcohol se ha hecho dejando de exportar, de un promedio de 1,25 millones de toneladas al año entre 2000 y 2005 a un promedio entre 2006 y 2014 de un millón de toneladas, si se incluye el año 2009, que tuvo un repunte bastante grande en la productividad que se utilizó en exportación de azúcar, ó a 0,7 millones de toneladas si no se lo incluye, y utilizando las melazas (subproducto de la producción de azúcar que se vende a un precio bajo), cuya cantidad con destino a los mercados se redujo prácticamente a la mitad.

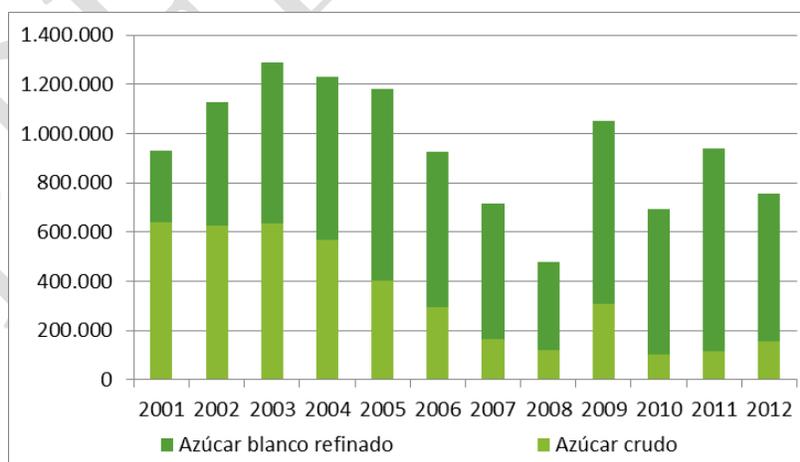
Figura 2.31 Consumo interno de azúcar, exportaciones y producción de melazas



Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

El nivel de exportación alcanzado en 2003 solo ha sido superado por la suma de exportación y producción de alcohol en 2009, 2011 y 2014, debido a que hubo una mayor producción de caña de azúcar en esos años. El sector azucarero colombiano exporta azúcar crudo y azúcar blanco refinado. En la Figura 2.32 se muestra la composición de las exportaciones en estos dos productos. Se aprecia como el azúcar crudo, que venía con una cuota casi constante cercana a 600 mil toneladas entre 2001 y 2004, a partir de 2006 llega a niveles promedio alrededor de 200 mil toneladas.

Figura 2.32 Composición de las exportaciones de azúcar entre crudo y blanco refinado



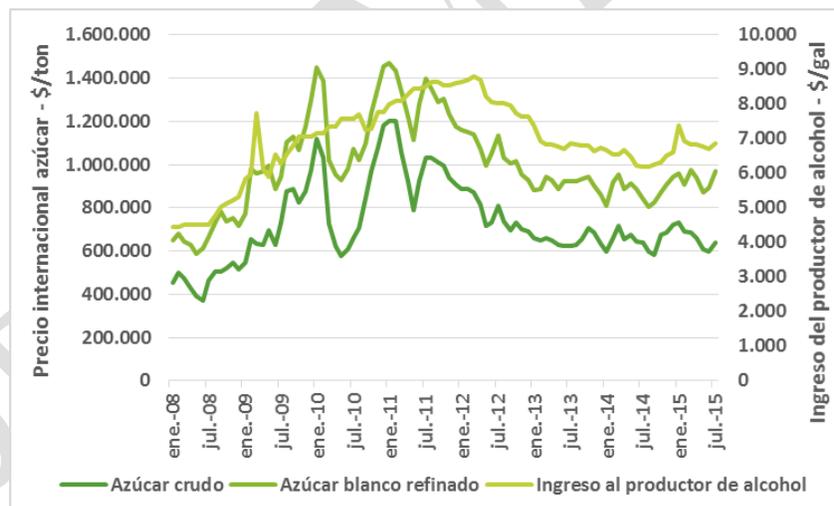
Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Esta menor exportación de azúcar crudo obedece obviamente al menor precio de este producto respecto del azúcar blanco refinado. A continuación, se muestra el comportamiento que han tenido los precios de estos dos productos y del ingreso del

productor de alcohol o precio al que los ingenios venden el alcohol carburante para la mezcla con la gasolina (Ver Figura 2.33).

El precio del azúcar crudo sigue de manera bastante fiel la curva del precio del azúcar blanco refinado, pero a un nivel más bajo. El ingreso al productor está atado mediante una fórmula al precio internacional del azúcar blanco refinado (contrato No. 5 de la bolsa de Londres). La última versión de la fórmula de precio del azúcar es de abril de 2012; en la Figura 2.33 se observa que al ajustar la curva del ingreso al productor en el período 2008 a inicios de 2012, para que coincida aproximadamente con la media de la curva del precio internacional del azúcar blanco refinado (pues los precios están en distinta escala), a partir de 2012 la curva del ingreso al productor se separa quedando por encima de la del precio internacional referido. Así, en términos relativos ha mejorado la señal económica al productor, para dedicar la producción de caña de azúcar al alcohol en lugar de exportar el azúcar y, aún más, para hacerlo reduciendo la exportación de azúcar crudo. Esto es efectivamente lo que ha ocurrido.

Figura 2.33 Evolución de los precios internacionales de azúcar crudo y blanco refinado y del ingreso al productor de alcohol en el país



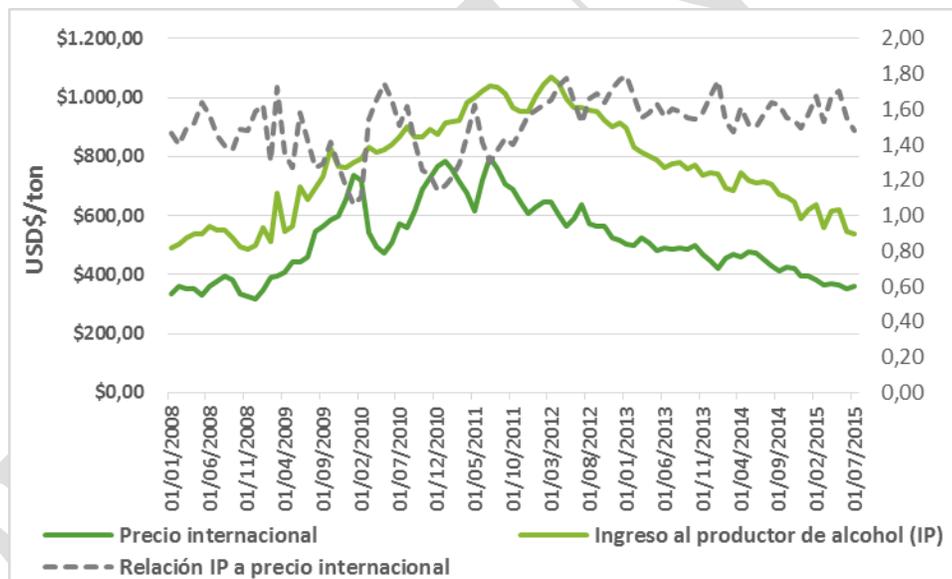
Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Respecto de la fórmula de ingreso al productor se encontró que esta no tiene en cuenta que en la producción de este biocombustible en Colombia, se utilizan también las melazas que resultan como subproducto en el proceso de producción de azúcares. Esto lleva a que la estimación de la cantidad de azúcar (como producto final) que se deja de producir a cambio de producir alcohol es bastante inferior a la calculada con el inverso de la relación estequiométrica (29,22 litros de alcohol por quintal de azúcar; su inverso equivalente a 1,71 kilos de azúcar por litro de alcohol) que se utiliza en la fórmula

(Resolución 180643 de 2012 del MME). Como se explica en el Anexo 2, de acuerdo con los datos históricos para producir un litro de alcohol se estima que en promedio se han requerido 1,233307 kilos de azúcar y el resto de la producción ha provenido de otros insumos. Haciendo uso de esta proporción se convirtió la serie mensual histórica de ingreso al productor de alcohol carburante (obtenida de la página Web de la UPME) a dólares por tonelada equivalente de azúcar; para esto se utilizó la tasa de cambio del mes correspondiente y el factor de conversión de 3,785 litros por galón.

La Figura 2.34 muestra las series mensuales del precio internacional del azúcar según contrato No.5 de la bolsa de Londres (serie base para el cálculo del ingreso al productor de alcohol, publicada por Asocaña) y del ingreso al productor de alcohol (IP) convertida a dólares por tonelada, y la relación en cada mes de la segunda sobre la primera.

Figura 2.34 Ingreso al productor de etanol en dólares por tonelada equivalente de azúcar vs. precio internacional del azúcar



Fuente: Asocaña y UPME. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

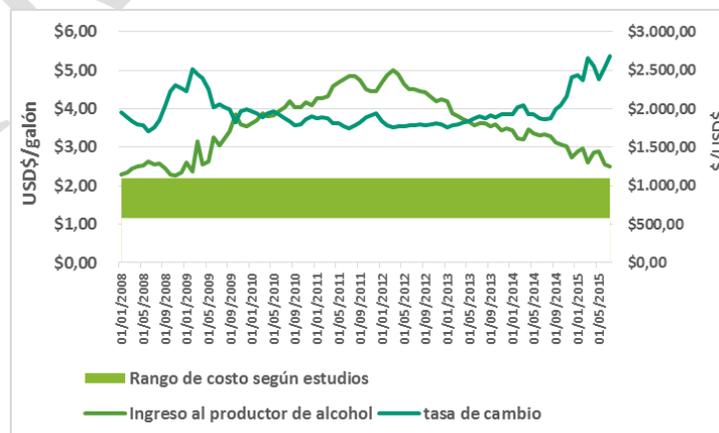
Como se puede observar, la relación del ingreso al productor al precio internacional ha estado oscilando alrededor de 1,6, lo que significa que, sin tener en cuenta que exportar el azúcar tiene costos adicionales, el alcohol carburante, en unidades equivalentes a azúcar (como producto final) dejado de producir, ha estado en un precio interno 60% mayor que el precio internacional.

Se encontró también que el ingreso al productor de etanol ha estado por encima del costo de producción de etanol a partir de caña de azúcar reportado en varios estudios:

- En estudio de la CEPAL (Fernández González, 2005), se estimó para Costa Rica, El Salvador y Guatemala, en el período 2003 a 2005, un costo del azúcar utilizado de USD\$1,13 por galón de alcohol más un costo promedio de procesamiento de USD\$0,25 por galón, para un total de USD\$1,38/gal.
- En el capítulo 6 del documento de trabajo sobre manejo del ambiente y de los recursos naturales No.39 de FAO (Crispín, Felix, & Quintero, 2010), se indica un rango entre USD\$0,27 y USD\$0,51 por litro de alcohol para Perú, que corresponde a USD\$1,02 y USD\$1,93 por galón respectivamente, reportados como costos del año 2009.
- En el estudio de un grupo de investigación de las universidades Nacional de Colombia en Manizales y de Caldas, publicado en la revista de la Universidad EAFIT (Cardona A., Montoya R., Quintero S., & Sánchez T., 2005), estudio citado en el anterior de FAO, se menciona un costo de USD\$0,2867 por litro, lo que es USD\$1,09 por galón de alcohol.
- También se cita en el estudio de FAO el de LMC de 2006 que referencia un costo de USD\$0,30 por litro o USD\$1,14 por galón de etanol, para Brasil.

El rango que aparece en el estudio de FAO claramente incluye los valores reportados de los otros estudios. Teniendo en cuenta que los costos de ese estudio son de 2009, se actualizaron con la inflación de Estados Unidos a 2014 (factor aproximado de 1,14) por lo que el costo está entre USD\$1,16 y USD\$2,20 por galón de alcohol carburante. En la Figura 2.35 se muestra el ingreso al productor de alcohol en dólares y el rango anterior de costo, ambos por galón, y la serie de la tasa de cambio (TRM). Se observa que los períodos en que más se ha acercado el ingreso del productor al límite superior del rango de costo han sido de TRM altas.

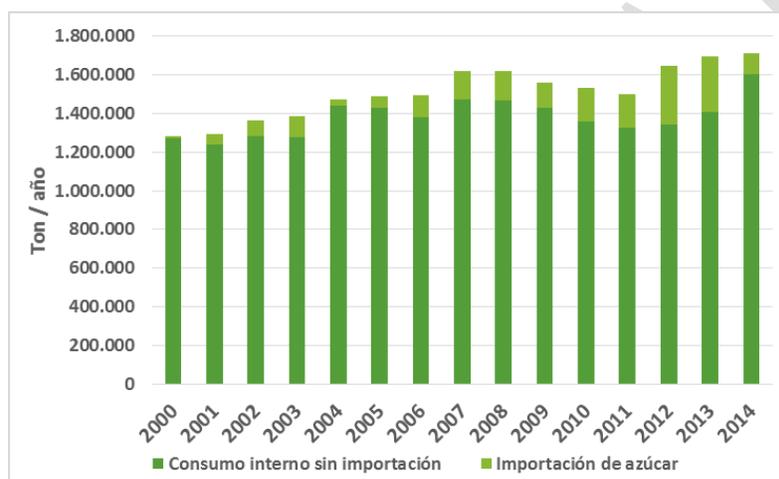
Figura 2.35 Ingreso al productor de etanol en dólares, rango de costo de producción reportado en estudios y tasa de cambio



Fuente: UPME y estudios varios. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

Respecto del consumo interno de azúcar, como se mencionó anteriormente, la parte suministrada por la producción nacional se ha mantenido aproximadamente constante, con un nivel menor en los años 2000 a 2003, un nivel mayor en los años 2004 a 2009 y un nivel similar al primero en los años 2010 a 2013; la excepción la constituye 2014 en que este consumo absorbió parte del incremento en productividad de caña de azúcar. El crecimiento del consumo interno ha sido suplido con importación de azúcar (Ver Figura 2.36).

Figura 2.36 Composición del consumo interno de azúcar según ésta sea de producción nacional o importada



Fuente: Asocaña. Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

En conclusión, del comportamiento del sector descrito en este aparte se desprende que no hay un desarrollo incremental del eslabón agrícola que pueda ser atribuible a la política de biocombustibles, pues no se ha aumentado la producción de caña de azúcar ni el área sembrada de este cultivo por fuera de la tendencia con que venía con anterioridad a la producción de alcohol y a la formulación de la política. Para producir el alcohol se ha dejado de exportar azúcar crudo y se han utilizado las melazas que resultan de la misma producción de azúcar. A pesar de que el alcohol ha competido realmente con el azúcar crudo, la fórmula del ingreso al productor de alcohol está en función del precio internacional del azúcar blanco refinado.

Así, para el análisis costo beneficio del Capítulo 3 no se tendrán en cuenta beneficios y costos del eslabón agrícola, pues estos ya estaban consolidados desde antes de la política de biocombustibles. Un cambio importante en el eslabón agrícola, que coincide con la implementación de la política, es la mecanización del cultivo, especialmente en lo que a la cosecha se refiere; no obstante, tampoco se va a atribuir este cambio a la política, que entre otros aspectos ha implicado desempleo de los corteros, ya que

también puede ser parte del dinamismo que ya traía el sector, pues la mecanización es una opción que se venía estudiando de tiempo atrás.

2.4 DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

Este eslabón de la cadena reúne a distribuidores mayoristas y minoristas, y a todos los consumidores de biocombustibles, que para efectos del presente estudio corresponde al parque automotor del país, y a las opiniones de los representantes de gremios de autopartes y ensambladores.

2.4.1 Eslabón de distribución

Aquí se encuentran los 22 productores mayoristas que concentran asociaciones como la Asociación Colombiana del Petróleo, y 4,828²² estaciones de servicio (EDS) presentes en todo el territorio nacional, 2,380 de ellas se agrupan bajo la cobertura de Fendipetróleo, el gremio más grande para los minoristas, seguido por Fedispetrol y otros. El proceso de distribución inicia con el transporte del etanol y el biodiesel a las centrales de distribución mayorista.

2.4.1.1 Mayoristas

Los mayoristas son un eslabón intermedio en la cadena de distribución de los combustibles. En sus centros de acopio se reciben los vehículos que transportan el etanol y el biodiesel, además de estar alimentados por el poliducto de Ecopetrol que suministra la gasolina, y el diésel premezclado al 2%. Es en este eslabón que se lleva a cabo la mezcla del combustible, de acuerdo a los porcentajes de ley para su posterior distribución.

El margen que reciben los mayoristas dentro de la estructura de precios de los combustibles es de \$305COP por galón, definido por el MME en la Resolución 824338 de 1998²³. Este valor representa el 4% del precio total tanto para la gasolina, como para el biodiesel.

²² De acuerdo con la información reportada en el SICOM con cierre a agosto de 2014.

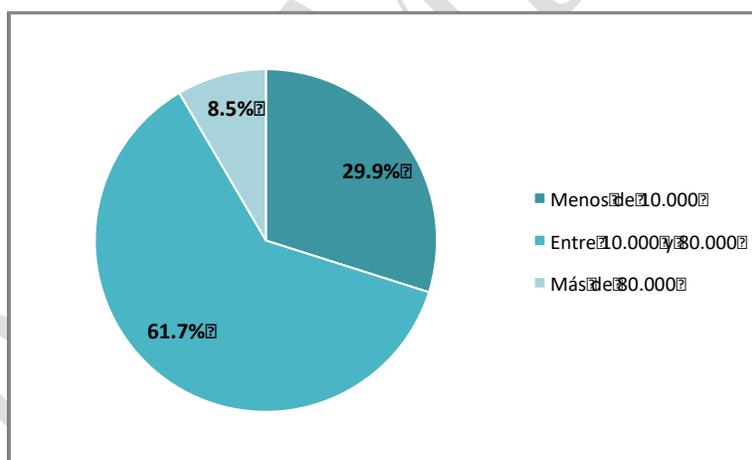
²³ Este valor se actualizó en 2012 con la Resolución 91657.

2.4.1.2 Minoristas

Esta parte del proceso de los biocombustibles representa a las Estaciones de Servicio (EDS) que se encuentran ubicadas en todo el país. Su función es recoger el combustible mezclado en las centrales mayoristas, transportarlo hasta las estaciones y hacer la distribución al usuario final. En este proceso, se puede hacer uso de terceros para el transporte, o el mismo distribuidor hace su transporte.

Las EDS se pueden clasificar, de acuerdo con la información reportada en el SICOM, por el volumen de ventas mensuales que realizan. La Figura 2.37 describe ésta distribución, donde se hace evidente que la mayoría corresponden a estaciones con volúmenes de ventas entre 10.000 y 80.000 galones al año. Sin embargo, existe un 30% de estaciones que venden volúmenes por debajo de 10.000 galones, que recoge EDS pequeñas, ubicadas en municipios dispersos del país.

Figura 2.37 EDS por volumen de ventas anual



Fuente: Cálculos propios con base en SISCOM (Agosto 2014).

De acuerdo con la Resolución 181254 de 2012, las ganancias para este eslabón de la cadena, están dadas por un valor constante de \$578COP por galón; un valor compensatorio por las pérdidas por evaporación²⁴ (sólo en el caso de la gasolina), más

²⁴ De acuerdo con lo señalado en el Artículo 3° del Decreto 3322 de 2006 y en el Artículo 6° de la Resolución 181088 de 2005.

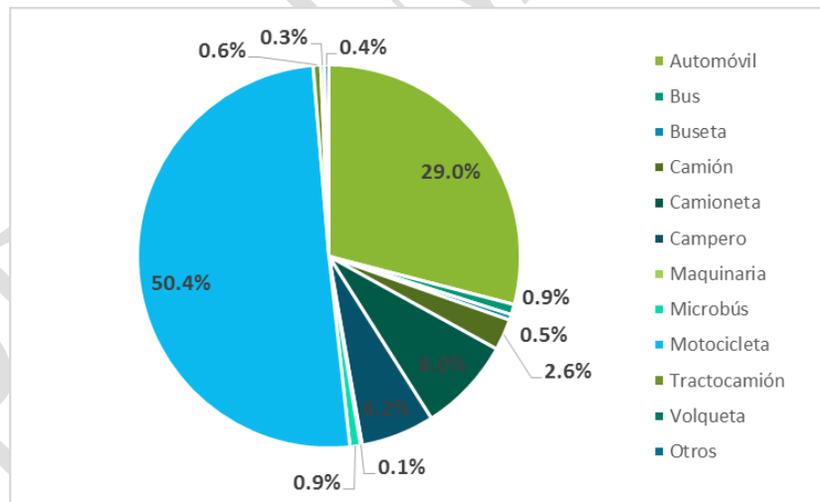
un subsidio de transporte desde la planta de abasto hasta la EDS, de acuerdo con la Resolución 181047 de 2011, que se ajusta cada año de acuerdo con la inflación. El ingreso para los minoristas representa el 7% del precio total de la gasolina y el biodiesel.

2.4.2 Eslabón de consumo

En el desarrollo del sector de biocombustibles los usuarios son fundamentales, pues son los directos afectados por las decisiones de mezcla, determinadas por MME, y que redunda en cambios en la demanda de los mismos. Sin embargo, sus conocimientos sobre la política son limitados, y no hay canales de comunicación eficiente que les permita participar en la toma de decisiones de política.

Para hacerse una idea de quienes son los consumidores de los combustibles, la Figura 2.38 describe la composición del parque automotor colombiano, principales usuarios de los biocombustibles. Como se puede apreciar, la mayoría del parque está compuesto por motocicletas (50.4%) y por automóviles particulares (29%). Sin embargo, estas cifras también incluyen los vehículos de transporte público que representan 9.6% del parque.

Figura 2.38 Composición del parque nacional automotor a 2013



Fuente: Cálculos propios con base en (Ministerio de Transporte, 2013).

Además de los consumidores directos, en este eslabón también se tuvo en cuenta al sector automotriz, porque son los encargados de proveer los vehículos en el país, y quienes deben hacer adaptaciones a las líneas de producción de sus vehículos, para que sean compatibles con nuevas mezclas.

Por otra parte, es importante resaltar que las tecnologías Euro IV en adelante, que permiten a los vehículos funcionar adecuadamente con combustibles mezclados, ingresaron al país solamente desde 2013²⁵. Sin embargo, la edad promedio del parque automotor colombiano está alrededor de 13 años (Ministerio de Transporte, 2013)²⁶, lo que significa que la mayoría de los vehículos no están preparados para recibir estas mezclas. Existe un gran debate a lo largo de toda la cadena el cual está directamente relacionado con el aumento de las mezclas, y las posibles repercusiones que puedan existir, es por esto que antes de implementar cualquier cambio en este sentido, será necesario hacer un análisis profundo sobre la calidad de los combustibles.

2.5 DEBATES DEL SECTOR

El presente apartado presenta los principales debates que se han venido dando en el sector a nivel mundial, e intenta, de alguna manera, analizar desde el punto de vista del evaluador las situaciones.

2.5.1 Análisis de uso del suelo y seguridad alimentaria

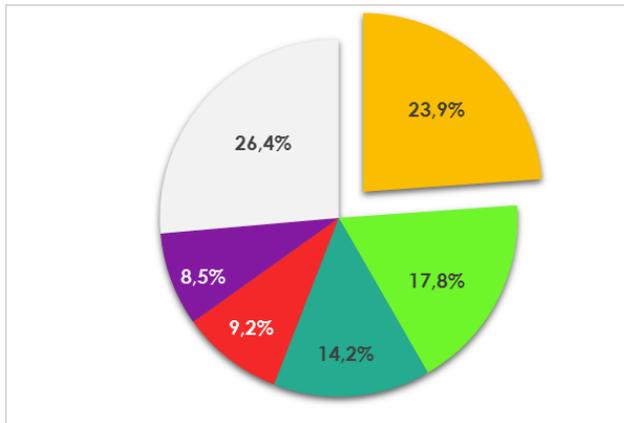
En esta sección es de mayor interés el análisis de suelo respecto al cultivo de palma, debido a que la caña se encuentra históricamente en un área limitada debido a sus características de productividad y calidad del suelo. Por su parte la palma ha tenido un desarrollo heterogéneo en el país y con posible desplazamiento de cultivos.

En primer lugar, se observan las características agropecuarias del Meta, departamento con mayores extensiones de palma sembrada del país. Al seguir el análisis del uso del suelo que lleva a cabo la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) en 2015, con base en datos de 2013, se observa que la palma de aceite concentra un 23.9% de la producción total (411.074 Toneladas) del departamento, siendo el principal cultivo seguido por el arroz y el plátano (17.8% y 14.2% respectivamente). La Figura 2.39 presenta la distribución de los principales cultivos para el departamento del Meta.

²⁵ Ver la Resolución 1111 de 2013.

²⁶ Tal y como se refleja en la Figura 2.38, los cálculos de la edad del parque automotor colombiano incluyen las motocicletas, las cuales representan la mitad del mismo y cuyo boom de ha dado, en particular, a partir del año 2005. Es evidente que este hecho afecta la edad promedio del parque de automóviles que son los principales consumidores de combustibles del país.

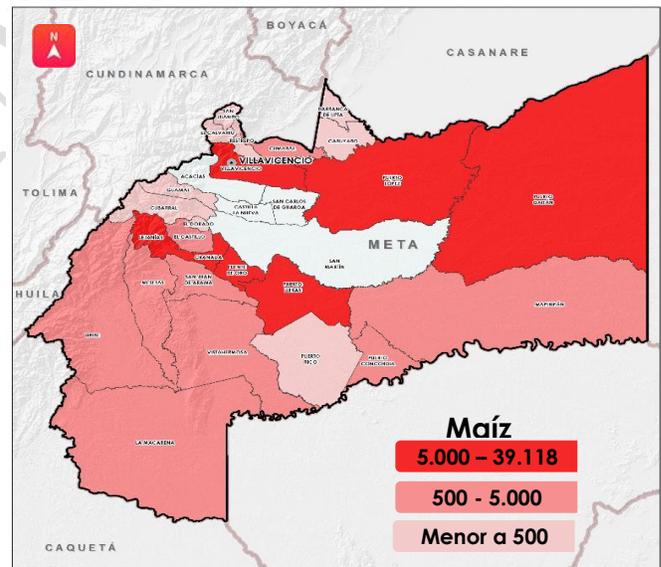
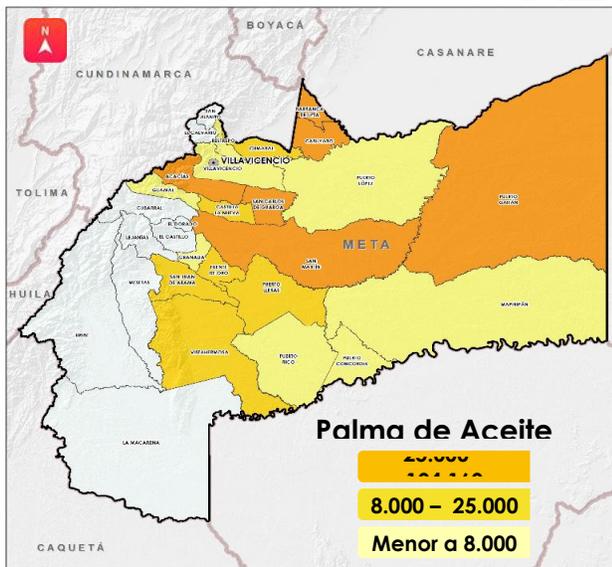
Figura 2.39 Distribución de los principales productos agrícolas cosechados en 2013 en el Meta



CULTIVO	Producción (t)
Palma de aceite	411.074
Arroz	306.853
Plátano	244.435
Maíz	158.799
Cítricos	146.067
Otros	454.304
TOTAL	1.721.532

Fuente: Elaboró UPRA 2015, con base en MADR, 2014, Evaluaciones Agropecuarias Municipales.

Figura 2.40 Principales productos cosechados en el departamento del Meta en 2013



Elaboró UPRA 2015, con base en MADR, 2014, Evaluaciones Agropecuarias Municipales.

Elaboró UPRA 2015, con base en MADR, 2014, Evaluaciones Agropecuarias Municipales.

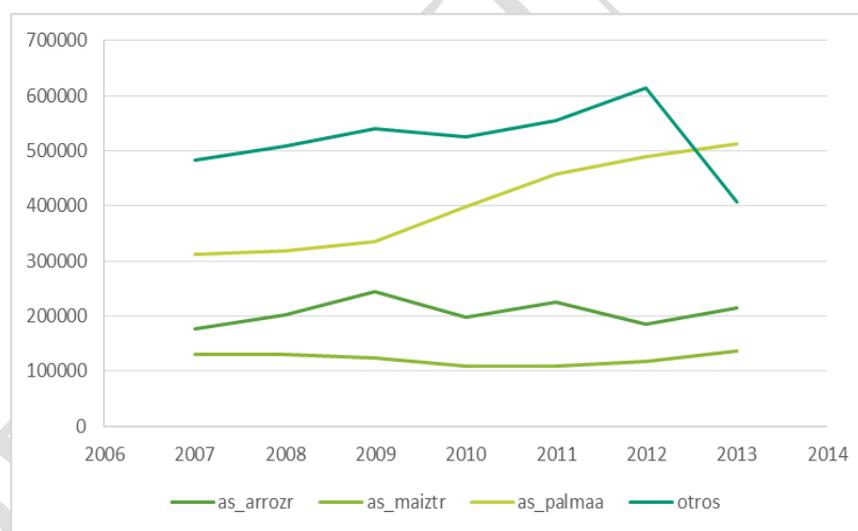
Además en la Figura 2.39 y Figura 2.40 se observa que las zonas con mayor productividad de palma tienen una alta correlación con el maíz que es el quinto cultivo con mayor producción de toneladas (9,2%) en este departamento. Esto desvirtúa la

hipótesis de afectación de la seguridad alimentaria; pues, tanto cultivos de tardío rendimiento como de corto, tienen una alta productividad en los mismos municipios.

Por otra parte, usando el panel municipal de la Universidad de los Andes específicamente el capítulo de agricultura y tierra, se identifican los municipios donde se cultiva la palma gracias al censo Palmero y se analiza el área sembrada del 2007 al 2013. Agrupando en la categoría de otros cultivos aquellos con menos de 100 mil hectáreas sembradas en promedio de los años de análisis.

Es así como en la Figura 2.41 se puede observar la evolución del arroz, maíz, palma de aceite y otros cultivos. Se observa que otros cultivos tiene un quiebre de tendencia en el 2012 pero no se observa un comportamiento creciente discontinuo en Palma, Maíz o Arroz que explique una sustitución a estos cultivos. Frente a la palma se observa su continuo crecimiento a partir del 2008 con el inicio del documento Conpes 3510.

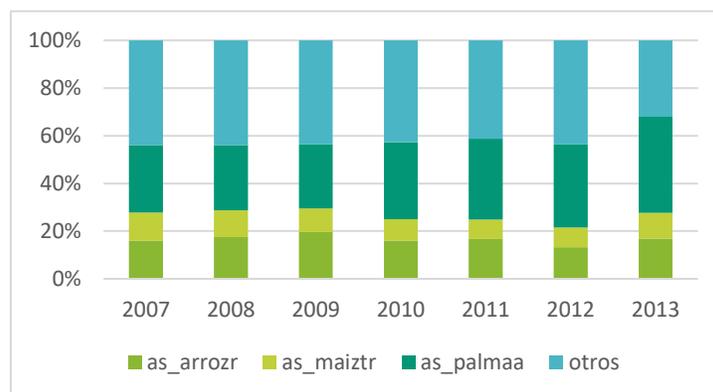
Figura 2.41 Evolución de cultivos en el país



Fuente: Elaboración Propia, Panel Municipal de Agricultura y Tierra Universidad de los Andes

Si se analiza la distribución del área sembrada para estos productos agrícolas (Figura 2.42), se observa que “otros” cultivos presentan un promedio de 41% de participación en el área sembrada durante el periodo de estudio y la palma de aceite tiene un promedio de participación del 30%. Esto refleja la capacidad de los departamentos donde se cultiva palma para no comprometer la seguridad alimentaria.

Figura 2.42 Distribución del área sembrada



Fuente: Elaboración Propia, Panel Municipal de Agricultura y Tierra Universidad de los Andes

Análisis similares se pueden llevar a cabo para otros departamentos que también cuentan con áreas de palma sembradas en extensiones considerables, y las conclusiones se mantienen, evidenciando el bajo riesgo que existe en Colombia en términos de seguridad alimentaria, y el uso del suelo que tienen los cultivos actuales.

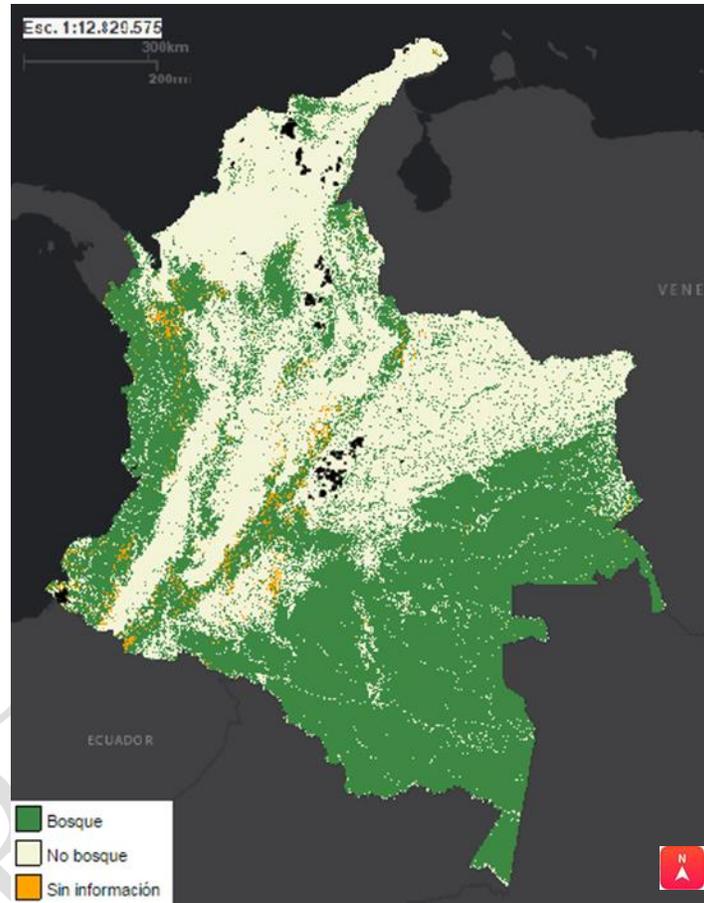
2.5.1.1 Análisis de la ocupación de hectáreas sembradas en bosques

Usando información producida Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) se identificaron las áreas sembradas en palma en dos periodos de tiempo i) de 2000 a 2002, que se considera antes de la política, y ii) de 2005 a 2009. Ya que la palma es un cultivo de tardío rendimiento, podemos considerar esta área sembrada como la inicial al momento de la política. Por otra parte, se toma la información de vocación de la tierra del IGAC correspondiente a zonas de conservación y bosques. Se cruzó esta información para identificar las áreas con vocación de bosque que se han desplazado en el desarrollo de cultivos de palma de aceite.

Para el primer periodo se identificaron 5.813,10 ha identificadas como vocación de bosque en áreas sembradas de palma de aceite (187.356,13 Ha), lo cual equivale al 3,1% de las hectáreas existentes. Por otra parte, durante el segundo periodo de tiempo se encontraron 13.811,04 ha sembradas en palma de aceite con vocación de bosque de 274.203,69 ha, correspondiente a 5% del área sembrada. Entre estos dos periodos el crecimiento en área sembrada es de 46%. Esta información permite identificar la problemática entre uso de suelo pero no define la deforestación de bosque y problemas relacionados con la biodiversidad, ya que la vocación de bosque identifica las zonas ideales de desarrollo de Bosque y conservación.

Por otro lado, se consultó el visualizador geográfico del SIAC en donde se cruzó el área sembrada en palma con el mapa de bosque de 2012, allí solo se identifica a Tumaco en un área de alta zona boscosa, mientras que en la región central y caribe no se observa una alta densidad de bosque. Esto lleva a creer que la mayoría de sustitución en el crecimiento de la palma se ha dado por pasturas y otros cultivos (Ver Figura 2.43).

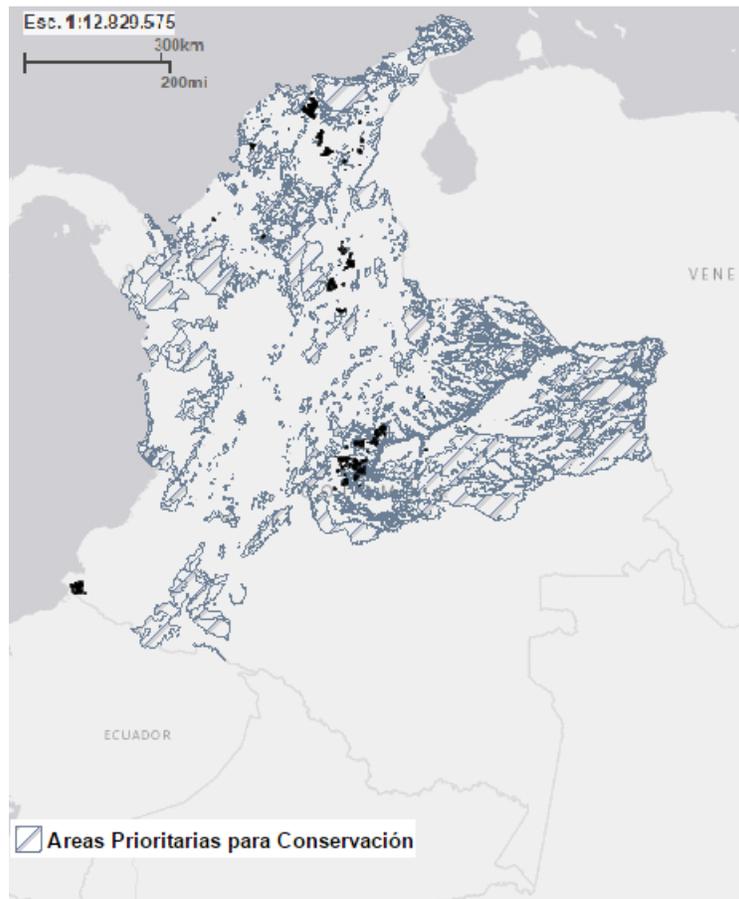
Figura 2.43 Bosque 2012 y palma de aceite



Fuente: SIAC (2015).

Por último, se hizo una revisión sobre las áreas priorizadas para la conservación de la biodiversidad y, opuesto al caso anterior, Tumaco no se encuentra en una zona priorizada. En cuanto a la región que es donde existe menor área boscosa se identifica una zona de alta prioridad en la conservación de biodiversidad. En otras palabras se observa una correlación negativa entre el bosque y las áreas priorizadas de conservación (Ver Figura 2.44).

Figura 2.44 Biodiversidad y palma de aceite



Fuente: SIAC (2015).

2.5.2 El valor de la tierra

La unidad de planificación rural agropecuaria del MADR, ha realizado un inventario comparando la vocación del uso del suelo con la cobertura de la tierra, mostrando los problemas de asignación que hay en Colombia, es decir cuándo y en dónde la tierra está sub utilizada o sobre utilizada o tiene un uso adecuado. El diagnóstico para Colombia es el siguiente:

Figura 2.45 Comparación vocación del uso del suelo y cobertura de la tierra



Según este informe, existen en Colombia 15 millones de hectáreas que están subutilizadas y 18 millones que se consideran sobreexplotadas, mostrando que existe la oportunidad para desarrollar una política agraria integral que permita explotar de manera sostenible algunos territorios, mejorando la competitividad.

En los departamentos donde se está realizando la política de biocombustibles (excepto el cultivo de caña en el valle geográfico del río Cauca), la infraestructura física apenas comienza a desarrollarse y no hay suficiente mano de obra para satisfacer la demanda que existiría, en el caso de que requiriera un gran número de hectáreas adicionales para cultivos extensivos relacionados con los biocombustibles. Vías, servicios públicos, vivienda, educación de calidad serían solo algunas de las principales prioridades a cubrir. Tampoco hay el capital humano para acceder a los cargos de mejor remuneración en estas compañías, los cuales, por lo general, terminan siendo ocupados por personas que no son de la región, o incluso por extranjeros, dado que los biocombustibles son un sector en consolidación y otros países como Brasil tienen mucha más experiencia que Colombia.

En la medida en que los proyectos de biocombustibles sean exitosos y rentables, la demanda por tierras va a continuar en aumento en los territorios donde actualmente se están estableciendo esta clase de empresas, principalmente involucrando los departamentos del Meta, Caquetá y Vichada.

La teoría económica concluye que si hay retornos extraordinarios en un sector en particular, nuevas empresas entrarán a dicho sector, y generarán un exceso de oferta que se verá reflejado en un menor precio, esto es cierto para sectores cuyos precios no

estén regulados, pero cuando el precio está establecido por una entidad externa, el ajuste se debe dar a través de alguno de los costos de producción, el más sensible en este caso es el valor de la tierra que hasta ahora no ha sido un problema para las empresas establecidas. Indagando sobre los precios de la tierra en los departamentos antes mencionados, estos han aumentado más de 300% en los últimos 10 años, especialmente en el departamento del Meta, donde existe también explotación de hidrocarburos.

2.5.3 Mayor uso de combustibles y desgaste del parque automotor

La naturaleza orgánica de los biocombustibles implica repercusiones en los vehículos que operan haciendo uso de ellos. Por esto, es necesario analizar los principales efectos que éstos pueden tener en las emisiones y en el desempeño de los vehículos que son los principales responsables de la contaminación urbana en el mundo. La presente sección del documento se enfocará principalmente en el desempeño, ya que en secciones posteriores se profundizará en los aspectos ambientales del uso de los biocombustibles.

Se han realizado decenas de estudios técnicos sobre diferentes consecuencias del uso de los biocombustibles, dada la importancia que esta alternativa ha recibido en los últimos años, acerca del posible daño de materiales, el comportamiento en las emisiones de gases o partículas y el efecto sobre el desempeño de los motores tomando en cuenta diferentes variables, diferentes mezclas de biocombustibles y diferentes condiciones de operación de los vehículos, como la carga, la altura, la presión, entre otros. Muchos de estos estudios presentan resultados que se contradicen entre sí, en varios de los aspectos tenidos en cuenta; por esto, que necesario analizar las condiciones específicas del estudio, la tecnología utilizada para las pruebas, los alcances de los experimentos etc.

Para esta sección se presentan los consensos incluidos en artículos y estudios publicados en revistas avaladas con los estándares académicos internacionales²⁷, y que agrupan lo que la mayoría de estudios dicen acerca de cada uno de los aspectos a considerar. Se tendrán en cuenta, además, las consecuencias de uso de etanol en la mezcla de gasolinas, y de biodiesel con el ACPM.

²⁷ Es decir, con ISBN registrado o revistas nacionales categoría A1 y A2 o internacionales Q1 a Q4.

2.5.3.1 Etanol

La mezcla de etanol con gasolina, en cualquier proporción, tiene efectos sobre el desempeño de los motores, entre ellos el consumo total de combustible que se incrementa a medida que aumenta la mezcla; un menor tiempo de combustión que mejora la eficiencia térmica que depende de la relación de compresión del combustible en el sistema pistón-cilindro²⁸ (volumétrica) de los vehículos y en un menor esfuerzo del motor (torque) que también muestra tendencia a mejorar en presencia de la mezcla con bioetanol.

Las emisiones de los vehículos también han sido estudiadas y muestran una reducción significativa de contaminantes del aire como los hidrocarburos totales y del monóxido de carbono, pero señalan también un aumento en las emisiones de dióxido de carbono debido a un consumo mayor de combustible. El mayor octanaje del biocombustible (es decir la capacidad del combustible de no detonarse prematuramente ante la compresión ejercida por el motor) no alcanza a sustituir el menor poder calorífico del mismo (es decir la cantidad de calor que entrega una unidad de masa de combustible al oxidarse en forma completa).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por su sigla en inglés) de los Estados Unidos, en 2010 permitió la mezcla de etanol con gasolina en una proporción del 15%, pero solo lo autorizó para modelos ligeros de 2007 en adelante; en 2011 se incluyeron también vehículos de modelos 2001 a 2006 dentro de los que podían usar etanol en este nivel de mezcla. A pesar de que el etanol lleva un proceso mucho más largo en los Estados Unidos, no había una conclusión definitiva de sus efectos sobre el ambiente, sobre los precios de los alimentos y sobre su efecto en los vehículos, de hecho, uno de los gremios que siempre se opuso a incrementar el mandato de mezcla fue el de los fabricantes de automóviles.

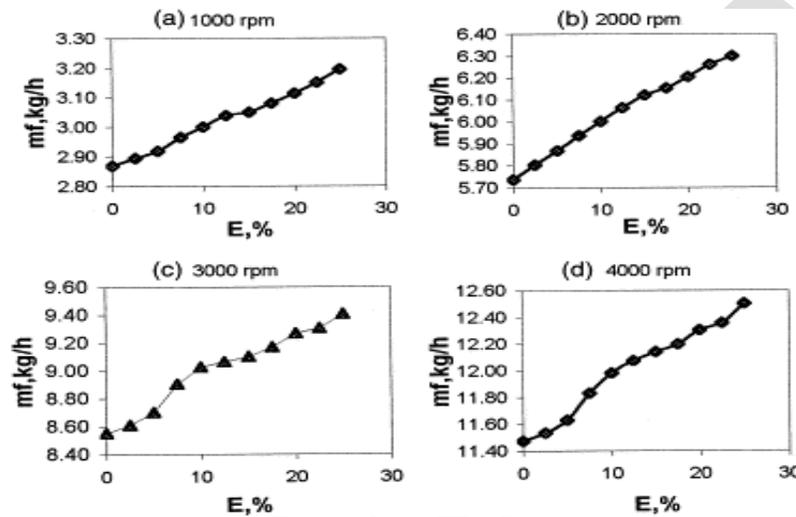
En este contexto, a continuación se presentarán algunas de las conclusiones de diferentes estudios que han investigado sobre los efectos de los biocombustibles en el desempeño de los automóviles y en las emisiones que se generan por su uso, sin pretender un análisis del estado del arte, lo que supera el alcance de la presente evaluación.

²⁸ http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2017279/html/unidad_5/u_5_cont_7.html

Consumo de combustible

En el estudio de (Al-Hasan, 2003), se determina el efecto de las mezclas de etanol en el desempeño del motor y en las emisiones usando un motor pequeño equivalente al de un Toyota Tercel a diferentes velocidades de operación (Ver Figura 2.46).

Figura 2.46 Consumo de combustible gasolina oxigenada a diferentes porcentajes de mezcla y revoluciones del motor



Fuente: Al-Hasan 2003.

El consumo de combustible aumenta a medida que aumenta la mezcla gasolina-etanol, y dependiendo de las revoluciones por minuto que tenga el motor. Para una mezcla de E10, el incremento de consumo es alrededor de 4.5% en promedio. Esto es un resultado del menor poder calorífico que tiene el etanol con respecto a la gasolina, lo que quiere decir que se requiere más cantidad de combustible para lograr la misma cantidad de energía, este efecto es más alto a medida que la velocidad de operación del vehículo aumenta. Este es un costo real que está enfrentando el consumidor colombiano y que no se había tenido en cuenta en estudios anteriores.

De acuerdo con el mismo estudio (Al-Hasan, 2003), otros indicadores de desempeño de los motores mejoran para la mezcla de etanol-gasolina, entre ellos, la potencia del motor, la eficiencia térmica y la eficiencia volumétrica se incrementan en 8.3%, 9.7% y 0.7%, respectivamente, haciendo que los motores con la mezcla tengan un mejor

desempeño en general²⁹. Esta mayor eficiencia en ninguno de los casos compensó el menor poder calorífico del combustible.

Pensando en mayores mezclas, es importante anotar que otros estudios han mostrado que se puede lograr una gran eficiencia del motor, e incluso llegar a desplazar el menor poder calorífico del etanol, si se cambian las razones de compresión iniciales de los motores, pero esto implicaría un cambio en la línea de producción de los fabricantes de automóviles, quienes a la fecha no han estado dispuestos a hacerlo para el caso colombiano por el reducido tamaño de mercado. En entrevista con compañías ensambladoras de vehículos, se hizo la pregunta si estarían dispuestos a cambiar la línea de producción en caso de que mayores mezclas fueran aprobadas, y la respuesta fue que el mercado mínimo para autorizar cambios es la línea de producción es de alrededor de un millón de unidades por año. El total del mercado colombiano, fue alrededor de 328.526 unidades según Asopartes el año pasado (Asopartes, 2014). Sumado a lo anterior, un aumento en la compra de automóviles para promover el ajuste de los motores, implicaría un aumento significativo de las emisiones de gases y partículas con cualquier combustible fósil o mezcla que usen.

En otro estudio, (Waytulonis, Kittelson, & Zarling, 2008), recomiendan adelantar la chispa como alternativa al aumento de la compresión de los motores. En caso de no cambiar la compresión de los motores, y algunas otras especificaciones relacionadas con el octanaje del combustible, se pueden presentar efectos adversos de cascabeleo (knocking)³⁰. Este fenómeno causa desajustes adicionales en el vehículo, y reduce la vida del motor.

Sin embargo, la evidencia más contundente con respecto al mayor consumo de combustible debido a la mezcla de gasolina y etanol la reportan agencias de Estados Unidos como la Administración de Información sobre Energía de los Estados Unidos (EIA por su sigla en inglés) que se encarga de *“recolectar, analizar y diseminar independiente e imparcialmente información sobre las fuentes energéticas para promover la construcción de políticas públicas sólidas, los mercados eficientes y el entendimiento público de la energía y sus interacción con la economía y el ambiente”* (EIA, 2016) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en Inglés), como se explica en el Anexo 6. En su sección sobre el consumo de gasolina oxigenada, la primera reconoce el hecho de que se puede llegar a un mayor

²⁹ (Al-Hasan, 2003) hace un análisis con mezclas desde el 5% hasta el 25% los resultados que se presentan son los promedios para todas las mezclas.

³⁰ El knocking se presenta cuando la tasa de oxidación es tan grande que la última porción de la mezcla combustible aire hace ignición instantáneamente, generando una explosión violenta.

consumo de combustible estimado en alrededor del 3% al hacer uso de la mezcla E10³¹. Este tipo de información, de acceso público avala y respalda los postulados de incrementos en el consumo que se describen en la presente sección.

Efectos sobre los materiales de los motores

El etanol también tiene efectos sobre los materiales de los motores, como se explicará más adelante, y aunque estos han cambiado a través del tiempo, el parque automotor colombiano puede ser muy sensible a mezclas superiores al 10% pues su edad promedio es de alrededor de 13 años.

Por su parte, (Baena, Gómez, & Calderón, 2012) realizan pruebas de inmersión de materiales metálicos y poliméricos en una mezcla etanol-gasolina de 20%, lo que permite prever los efectos de un incremento en la mezcla de etanol-gasolina sobre algunos materiales presentes en los motores del parque automotor nacional. En cuanto a los materiales metálicos, se probaron acero-carbono, aluminio, acero inoxidable, cobre y acero cromo. Ningún material mostró deterioro significativo con la exposición permanente al E20, a excepción del acero-carbono y el cobre, se puede decir que el resto de materiales son compatibles con una mezcla superior al 10% establecido actualmente. El acero-carbono no es compatible con la mezcla E20, lo que constituye un problema para el país porque era muy usado en modelos anteriores, por lo cual una porción del parque automotor colombiano tendría consecuencias de desgaste y corrosión si se aprueba una mezcla de E20. Sin embargo, en el mismo estudio se encontró un inhibidor que permite disminuir los efectos corrosivos del etanol sobre el acero-carbono llamado etanolamina, el costo aproximado de la etanolamina es de 4.000 pesos por kilo.

El otro estudio de esta serie, (Baena, Jaramillo, & Calderón, 2012), se hizo para la misma mezcla, pero haciendo el análisis solamente sobre materiales poliméricos. Fueron analizados la fibra de vidrio reforzada, el polioximetileno, polietileno fluorado y poliamida 66 (también llamada nylon 66), que son usados en diferentes partes necesarias para el funcionamiento de los vehículos. Salvo la poliamida 66, los otros componentes no mostraron cambios drásticos con respecto a la gasolina sin mezcla, al enfrentar las pruebas de inmersión, ni en dureza, ni en degradación a la temperatura, ni en cambios de masa, haciendo inferir que son compatibles con una mezcla del 20% de etanol.

³¹ Ver <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=27&t=10> para leer la información original

Cabe anotar que la poliamida 66 es muy utilizada en el funcionamiento del motor y por ello sería necesario proponer soluciones a los cambios de tamaño y dureza que se presentan cuando es expuesta al contacto con E20. Este material está presente en los mecanismos de arranque, en el sistema de enfriamiento, unidades de inyección, partes del turbo cargador, las coberturas de las cabezas de los cilindros, filtros de aire, separadores de aceite, bombas de aceite, tapas del filtro de aceite, entre otros muchos usos dentro de los motores y los vehículos.

En conclusión, podemos decir que el etanol tiene efectos positivos en el desempeño de los motores, principalmente eficiencia térmica, disminuye las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos totales. Por otro lado, el etanol E20 puede generar desgaste inusual de las piezas de acero carbono y de poliamida 66, usados comúnmente en los motores presentes en el parque automotor colombiano. Finalmente, el consumo de combustible aumenta a pesar de la mejora en la eficiencia de los motores.

2.5.3.2 Biodiesel

Diversos estudios muestran que la mezcla de biodiesel, incluso desde proporciones del 5%, tiene un impacto sobre el consumo de combustible total del motor. Por ejemplo, (Buyukkaya, 2010) reporta que el consumo se incrementa entre 2.5% para mezclas B5 y 3% para B20, mientras que (Ghobadian, Rahimi, Nikbakht, Najafi, & Yusaf, 2009) reportan que el B10 aumenta el consumo específico de combustible en 4% en promedio y para algunos motores el incremento en consumo alcanza el 11%.

Adicionalmente, de acuerdo con la literatura, hay cuatro aspectos estudiados acerca del biodiesel que son conocidos y se mencionan en (Lapuerta, Armas, & Rodríguez-Fernández, 2008):

1. En promedio, el biodiesel tiene 9% menor poder calorífico que el diésel fósil, por lo que se hace necesario un mayor consumo de combustible cuando aumenta la mezcla de biodiesel. En este punto también es importante anotar que hay mejoras en la eficiencia de los motores según algunos estudios³², pero dicha eficiencia no alcanza a compensar el menor poder calorífico.
2. El biodiesel es más lubricante que los combustibles fósiles, pero puede contribuir a la formación de depósitos, la degradación de materiales o el

³² Existe más de 52 estudios que llevan a esas conclusiones, que son basadas en cálculos de los autores. Sobresalen (Lapuerta, Armas, & Rodríguez-Fernández, 2008) y (Xue, Grift, & Hansen, 2011).

taponamiento de filtros, dependiendo de la degradabilidad, el contenido de glicerol y otras impurezas, las propiedades de flujo en frío, y otras especificaciones. Además, todavía no hay suficiente evidencia sobre los efectos de largo plazo del biodiesel sobre los motores.

3. El biodiesel es 100% renovable solo si el alcohol que se utiliza en el proceso de transesterificación es renovable también, lo cual casi nunca pasa, pues el alcohol usado es metanol extraído del petróleo. Aun así, su potencial de reducción de gases efecto invernadero en su ciclo de vida es muy alto, en particular de CO₂.
4. El biodiesel tiene un gran potencial para reducir las emisiones químicas; sin embargo, el efecto del biodiesel es diferente para cada una de las especies de contaminantes y depende del tipo de motor, de la velocidad del motor, las condiciones de carga, las condiciones ambiente, entre otras.

En la Tabla 2.5 se muestra un resumen de los aspectos más estudiados a cerca del desempeño de motores y de las emisiones en presencia de biodiesel.

Tabla 2.5 Tabla resumen de literatura sobre los efectos del biodiesel puro en los motores en comparación con el diésel fósil³³

Característica bajo estudio	Referencias	Incrementó		Similar		Disminuyó	
	Totales	Numero	%	Numero	%	Numero	%
Desempeño de potencia	27	2	7,4	6	22,2	19	70,4
Desempeño en economía	62	54	87,1	2	3,2	6	9,7
Emisiones de Material Particulado	73	7	9,6	2	2,7	64	87,7
Emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx)	69	45	65,2	4	5,8	20	29,0
Emisiones de Monóxido de Carbono (CO)	66	7	10,6	2	3,0	57	86,4
Emisiones de Hidrocarburos Totales (HCT)	57	3	5,3	3	5,3	51	89,5
Emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂)	13	6	46,2	2	15,4	5	38,5
Compuestos aromáticos	13	0	0,0	2	15,4	11	84,6
Carbonilos	10	8	80,0	0	0,0	2	20,0

³³ Esta tabla muestra el porcentaje de estudios que dijeron si aumentaba, disminuía o no había relación en cada uno de estos compuestos, comparando la mezcla con el combustible fósil. Los porcentajes de mezcla, las tecnologías usadas y la materia prima usada para la producción del biodiesel cambian entre los estudios.

Se puede concluir que las emisiones de CO, hidrocarburos totales y material particulado se reducen con la presencia de biodiesel, las emisiones de óxido nítrico aumentan³⁴, al igual que el consumo de combustible.

Potencia

En general, la potencia de los motores con el uso de mezclas de biodiesel disminuye, incluso se pueden encontrar incrementos leves de potencia, dependiendo de la carga del vehículo pero su disminución es leve, dadas las propiedades de mayor eficiencia que implica usar biodiesel. Hay incluso artículos que muestran incrementos en la potencia de los vehículos al utilizar las mezclas. Lo que si ocurre es que hay un mayor consumo de combustible, dado el menor poder calorífico, este consumo adicional varía entre 3,3% y 15% dependiendo de la mezcla de biodiesel-diésel que se tome en cuenta.

Fluidez y filtrabilidad

Recientemente se ha estudiado³⁵ un problema más grande del biodiesel, que está generando costos para el sector automotriz, de transporte y a los consumidores en general, y se refiere al taponamiento de filtros, lo que comúnmente se conoce como "*la formación de manteca*". Este no es un hecho aislado en el mundo y tiene que ver, tanto con el punto de nube del biodiesel de palma, como con las condiciones de arranque en frío, pero principalmente con la existencia de esteril glucósidos y monoglicéridos en el combustible. El principal problema de estas sustancias es que contribuyen a la cristalización del biodiesel y la aparición de materias insolubles, sobre todo cuando se está a bajas temperaturas. Estos problemas de cristalización y precipitación de partículas se presentan tanto en los tanques de almacenamiento del combustible y en la planta productora, como en el transporte, si está almacenado por más de 12 horas, como en los tanques de las estaciones de servicio.

³⁴ Los Óxidos de nitrógeno (NOx) son precursores del Ozono troposférico (O₃), por tal motivo, este contaminante también aumenta.

³⁵ Algunos de los estudios que abarcan los problemas mencionados y las reglamentaciones son: Dunn R. Effect of minor constituents on cold flow properties and performance of Bio diesel. Progress in energy and combustion science 35 2009, National Biodiesel board. Biodiesel ASTM update and future technical needs. Lapuerta y otros (2008). Effect of biodiesel fuel on diesel engine emission. Progress in energy and combustion science 34. 2008. Tang y otros. Formation of insolubles in palm oil-,yellow grease-, and soybean oil-based biodiesel blends after cold soaking at 4 C. J Am Oil Chem Soc 2008;85. Bondioli P, Cortesi N, Mariani C. Identification and quantification of steryl glucosides in biodiesel. Eur J Lipid Sci Technol 2008. Van Hoed V, y otros. Identification and occurrence of steryl glucosides in palm and soy biodiesel. J Am Oil Chem Soc 2008.

Es tan importante esta característica, que, por ejemplo, en el caso de Estados Unidos después de un episodio de taponamiento de filtros de manera masiva, usando biodiésel de soya, se estableció el llamado *cold soak test* (prueba de filtrado en frío), que consiste en dejar enfriando a una temperatura de 40° Fahrenheit una cantidad específica de B100 por 16 horas, para después hacerlo pasar por un filtro de cristal de 7 micras y contar el tiempo exacto en el que el fluido pasa. El test se aprueba si el tiempo es menor a un umbral especificado por la norma. La Tabla 2.6 resume de las propiedades de flujo en frío varios tipos de materia prima lípida de la que se puede hacer biodiesel.

Tabla 2.6 Propiedades del flujo en frío del biodiesel hecho de varias materias primas lípidas

Lípidos materia prima	CP, °C	PP, °C	CFPP, °C	LTFT, °C
Aceite de Canola	-3	-4	-4	
Aceite de maíz	-3	-4	-7	
Aceite de semilla de algodón	6	0	3	
Manteca	11	12	8	
Aceite de linaza	0	-9	-7	
Aceite de oliva	-2	-3	-6	
Aceite de palma	14	14	12	
Grasa de aves	4	6	1	
Aceite de colza (<5 erúcico)	-3	-9	-9	
Ester Metílico de Aceite de Soya (SME, por sus siglas en inglés)	0	-2	-2	0
Aceite de semilla de girasol	2	-3	-2	
Sebo	17	15	9	20
Aceite de oliva usado	-2	-6	-9	
Grasa amarilla	8	6	1	
Petrodiesel No. 1	-31	-46	-42	-27
Petrodiesel No. 2 (S<500 partes por millón, ppm)	-16	-27	-18	-14
Petrodiesel No. 2 (S<50ppm)	-5		-6	

Fuente: Tomado de (Dunn, 2009).

Nota: CP: Cloud Point o Punto de nube; PP: Pour Point o Punto de Vertido o de Fluidez; CFPP: Cold Filter Plugging Point o punto de obstrucción de filtros en frío; LTFT: Low Temperature Flow Test o Prueba de flujo a baja temperatura.

En (Benjumea, Agudelo, & Agudelo, 2009) se trató de observar el desempeño de los motores diésel comparando biodiesel de palma vs diésel fósil, tomando en cuenta la altura en la cual se desarrollaban. Se encontró que a mayor altura, el consumo de combustible en estos motores aumentaba; y también que el biodiesel y la altura reducen

el tiempo de los procesos de inyección y combustión, comparado con el diésel fósil. Finalmente muestran que el biodiesel de palma permite un mejor desempeño del motor en alturas altas.

2.5.4 Implementación del QA-QC

Si bien, antes de la existencia de los biocombustibles existía una regulación³⁶ para el manejo de los combustibles fósiles, la implementación de la mezcla ha traído consecuencias en el manejo de la distribución minorista de los biocombustibles. En el proceso de investigación de la evaluación fueron reiterativas las quejas por parte de los distribuidores minoristas con respecto a los costos en que han incurrido en el manejo de los nuevos combustibles, que, de acuerdo con sus testimonios, van en detrimento de su ingreso y cada vez consumen una parte mayor del mismo.

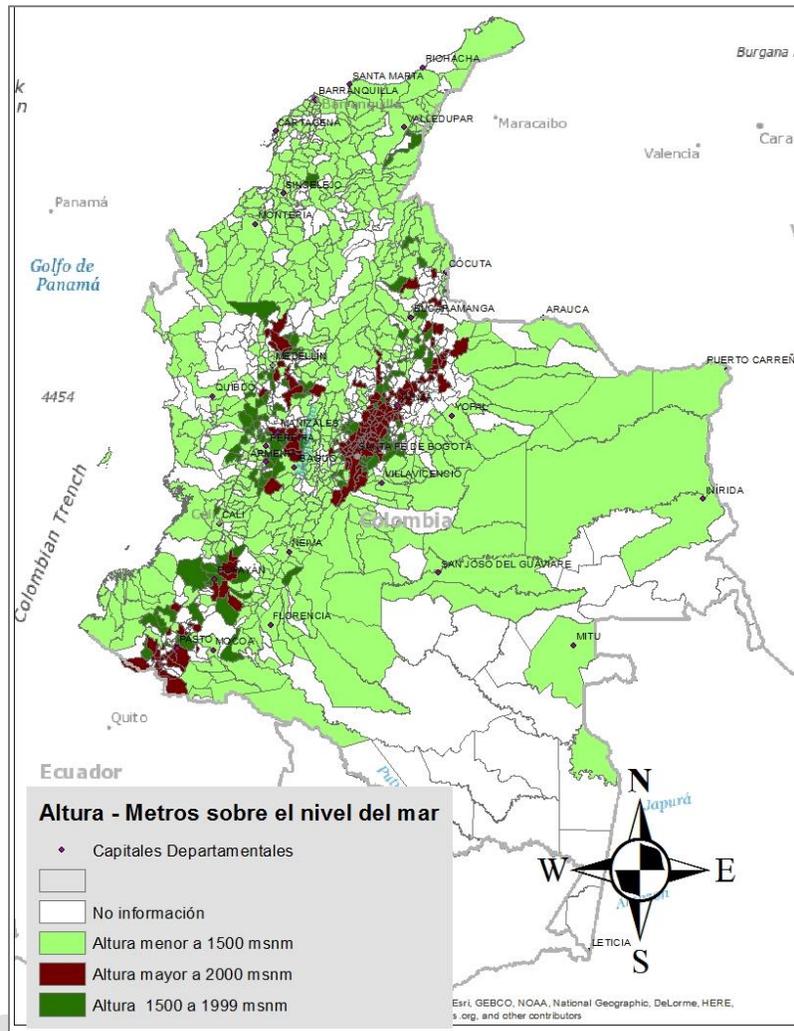
Reconocemos que la intensión del Gobierno es sana en el sentido de la protección ambiental... pero para nosotros con el biodiesel hemos tenido problema, porque Nariño, su gran mayoría es clima frío, extremadamente frío... el biodiesel se cristaliza, se solidifica con el frío. (Participante Grupo Focal Nariño)

Sin embargo, las inconformidades no son un factor común en todo el país, ni para los dos tipos de combustibles. Las quejas se remiten al manejo específico del biodiesel en territorios de gran altura, y con temperaturas por debajo de los 16° centígrados, donde se intensifica el punto de nube del biodiesel y empiezan a aparecer partículas en el combustible. Dichas partículas contaminan el combustible y generan problemas en los tanques de almacenamiento y en filtros de las EDS, que requieren de limpiezas y cambios más frecuentes, generando así costos extra en el mantenimiento de las EDS.

Las EDS que están por encima de 2.000msnm son las más vulnerables a esta problemática, y son aproximadamente un cuarto del total de estaciones en el país y concentran el 32.24% de las ventas de combustibles líquidos del país. El mapa de la Figura 2.47, señala los municipios por encima de esta altura, sobre los cuales deben tenerse consideraciones especiales, más aún cuando Bogotá, es el mayor consumidor de combustibles líquidos del país, y se encuentra a 2.665msnm.

³⁶ Decreto 4299 de 2005 y 733 de 2008.

Figura 2.47 Clasificación de municipios por altura sobre el nivel del mar



Fuente: Elaboración propia con base en datos IGAC.

Por su parte, la Federación Nacional de Biocombustibles (Fedebiocombustibles) argumenta que los problemas no están únicamente relacionados con la altura, sino también con las malas prácticas que se presentan en algunas EDS que van en detrimento de la calidad del combustible. A la fecha la Federación sólo ha recibido 35 quejas formales, en lo que va corrido de la política, con respecto a la calidad del combustible. Así mismo, junto con los gremios de minoristas, han adelantado programas para capacitar a los empleados de las EDS en el manejo del combustible, en especial en el manejo de la humedad responsable de la mayoría de los problemas. Más recientemente, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) estudia la opción de la implementación del sistema de calidad para el manejo de los biocombustibles a lo largo de toda la cadena.

Este sistema de calidad, conocido como QA-QC (Quality Assurance, Quality Control) se reglamentaría y realizaría el monitoreo del manejo de los biocombustibles desde el acopio mayorista, pasando por la cadena de transporte, y terminando en la distribución minorista. Al respecto el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) junto con el MME contrató un estudio en 2011 para analizar el marco regulatorio vigente a la fecha; sin embargo, a la fecha no se ha hecho la reglamentación formal del QA-QC, y existe gran debate sobre quién debe asumir los costos de su implementación, si el Gobierno, los transportadores, los distribuidores minoristas, o en últimas los usuarios que no conocen totalmente sus implicaciones, pero que son los que se ven perjudicados con el aumento de los márgenes asignados a los minoristas.

2.5.5 Seguridad energética

Dentro de los objetivos específicos del documento Conpes 3510 sobresale la promoción de una producción sostenible de biocombustibles, junto con la diversificación de la canasta energética de país en el mediano plazo. La caída del precio del petróleo, unida a la disminución de las reservas³⁷, plantea un escenario donde se hace necesario analizar las opciones energéticas del país, y su posible evolución en el mediano y largo plazo.

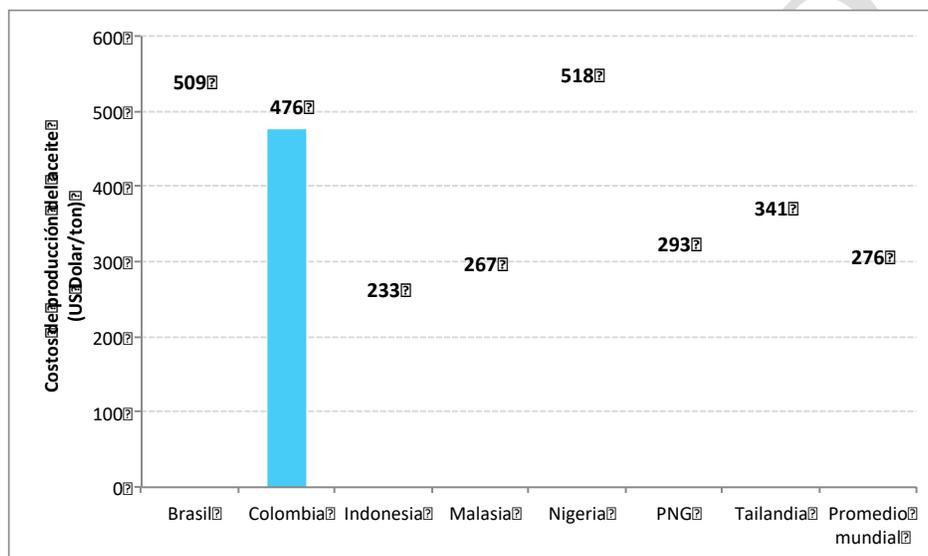
Es común escuchar dentro de los actores del sector que los cultivos que abastecen de materia prima a la producción industrial de etanol y biodiesel pueden ser considerados como un pozo que produce cantidades constantes de combustible durante 20 años, como en el caso de la palma de aceite. En este sentido, su crecimiento aumentaría las "reservas" para garantizar la sostenibilidad energética del país, además de generar valor agregado para la sociedad en su conjunto.

En aras de consolidar el sector y hacerlo una alternativa energética sostenible, la política nacional ha venido apoyando su desarrollo a través de incentivos tributarios como subsidios agrícolas (en el caso particular de la palma de aceite) y exenciones de impuestos, que ayuden a los empresarios a lograr una producción constante y que cumpla con los estándares nacionales e internacionales de calidad del producto. A la fecha, una gran parte del objetivo se ha logrado. La extensión de hectáreas sembradas de palma ha crecido cerca del doble con respecto a 2005, cuando la política era aún

³⁷ En junio de 2015 la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el MME anunciaron que, dados los niveles actuales de producción, el país cuenta con una autosuficiencia de 6.4 años, de acuerdo con la relación Reservas/Producción. En el caso del gas esta relación es de 13.2 años. (Ver <http://www.minminas.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=2625485>)

insipiente, y la producción de biodiesel podría fácilmente sobrepasar el porcentaje de mezcla actual que se sitúa entre 8 y 10% a lo largo del territorio nacional. Sin embargo, en comparación con otros países productores de aceite de palma, los costos nacionales son aún demasiado elevados (Ver Figura 2.48), lo que limita su competitividad y encarece el producto final que pagan los usuarios.

Figura 2.48 Comparación de costos totales promedio de la producción de aceite de palma (1983-2013)



Fuente: Tomado de (Guterman, 2014).

Nota: Papua Nueva Guinea (PNG)

Cabría entonces señalar que ante la situación actual de Colombia, con reservas de petróleo cada vez más bajas y con un precio internacional del crudo lo suficientemente deprimido como para afectar las inversiones en exploración y explotación, una alternativa viable sigue siendo el mayor desarrollo de los biocombustibles a mediano y largo plazo; siempre y cuando el sector le apueste a mejorar sus indicadores de competitividad, de tal manera que la oportunidad inmediata de su disponibilidad, sea más alta que la importación de combustibles fósiles a bajo costo.

En contraste, para muchos analistas la situación actual refleja más una estrategia geopolítica para presionar los ingresos de algunos países, que se perciben como posibles amenazas en diferentes aspectos. Pero más allá de eso, el petróleo sigue siendo una industria en desarrollo cuya frontera de producción aún no ha llegado a su fin, y por lo tanto, sus costos seguirán siendo competitivos en el largo plazo, obligando al

país a limitar el crecimiento de los biocombustibles, y a recurrir a importaciones de combustibles fósiles a costos más bajos para menores precios para el consumidor.

2.5.6 Análisis del ciclo de vida

A pesar de sus limitaciones, el análisis de ciclo de vida se ha estandarizado como la herramienta para definir emisiones contaminantes específicas para productos o procesos en los países, y para proyectar los costos que podrían tener dichas emisiones.

Esto se debe a la gran cantidad de información necesaria que se debe usar para concluir de manera exitosa dicho estudio y a la aceptación que ha tenido su interpretación por los hacedores de política a nivel mundial. Como se puede ver este análisis no solo toma en cuenta las emisiones causadas en el proceso productivo del etanol y del biodiesel, desde el cultivo hasta la quema en el motor, también tiene en cuenta los subproductos de estos procesos y su comparación con el combustible de referencia.

Es por esto que para hallar el efecto ambiental neto que se genera en el país gracias a la utilización de biocombustibles, se tendrá en cuenta, primordialmente, las emisiones de gases efecto invernadero, medidas en toneladas de CO₂ equivalente (eq), que se emiten cuando se usa combustible oxigenado y su comparación con las emisiones en el caso de utilizar solo combustible fósil. Las toneladas de CO₂ equivalente tienen en cuenta las emisiones de metano, dióxido de carbono, NO₂ y en algunos casos el ozono.

Según el estudio las emisiones del etanol son 74% menores a las de la gasolina y las de Biodiesel son 83% inferiores a las del diésel. Para el ejercicio se tomarán los valores de biodiesel y de etanol efectivamente usados en cada año y se calcularán las emisiones que se ahorran cuando se utiliza la mezcla en lugar del combustible de referencia. Los factores de emisión específicos de cada uno de los cuatro combustibles son los que aparecen en el estudio de ciclo de vida de los biocombustibles.

Una vez calculados los ahorros en emisiones de CO₂ equivalente se pasará a cuantificar dichas emisiones y para ello, serán valorados de acuerdo a la metodología de abatimiento de emisiones, usada comúnmente en valoración ambiental para calcular cuánto sería necesario invertir para lograr una meta de reducción de emisiones determinada. Existen varios estudios que utilizan esta metodología para cuantificar las metas de emisión de la unión europea y ver qué tan realistas son. El estudio de (Kuik & Tol, 2009) es uno de los más citados, pues tiene en cuenta 26 estudios que tratan de calcular el valor de dichas metas a través de un meta-análisis de la información, llegando

a un valor por emisiones de CO₂ equivalente que está entre 69 y 242 euros por tonelada.

Para este ejercicio se tomará una actualización a este valor que hizo la consultora inglesa experta en temas de transporte (MOVE, 2014), publicado en 2014 y que da un valor de la tonelada de CO₂ equivalente en el rango de 48 a 148 euros a precios constantes de 2010. Para Colombia, dados el PIB comparada con el promedio europeo y la paridad de poder adquisitivo se tomó la cota mínima de dicho valor para ver cuanto sería el ahorro por tonelada de CO₂ lo que es la cota mínima del costo social mencionado anteriormente.

El resultado se pasó a precios constantes de 2014 y nos dio un valor por tonelada de CO₂ de \$127.376 COP por tonelada. Este monto se multiplicó por las toneladas que se ahorraron con el uso de biocombustibles y así se obtuvo el resultado anual.

2.5.6.1 Otros efectos ambientales no relacionados en el ciclo de vida

Algunos otros impactos que no han sido tan estudiados sobre los biocombustibles anotados por (DeLuchi, 1993)son:

Impactos biogeofísicos

Se refiere a qué cambios en el uso de la tierra y en la vegetación pueden generar cambios en variables físicas como las tasas de reflectividad de la luz (albedo) y evotranspiración, que a su vez afectan la absorción y la disposición de energía en la superficie de la tierra, y por lo tanto afecta la temperatura a nivel local y regional, como se muestra en (Bala, y otros, 2007) y (Feddema, y otros, 2005). Estos cambios, a su vez, pueden generar cambios en los ciclos hidrológicos que afectan ecosistemas y el clima en diversas formas (acumulación de nubes, enfriamiento evotranspirativo, precipitaciones etc.).

Estudios han encontrado que en algunas latitudes como el nordeste de los Estados Unidos convertir un bosque en agricultura disminuye las temperaturas en el invierno, debido a una menor reflectividad de los bosques en invierno, pues los arboles pasan a través de la nieve que tiene alta reflectividad y las aumenta en el verano debido a una mayor evapotranspiración de los bosques, porque la agricultura tiene raíces más cortas y menos espacio de hojas, lo que permite menor absorción de humedad, de acuerdo con (Lamptey, Barron, & Pollard, 2005).

Ciclo del nitrógeno

Las actividades humanas que aportan nitrógeno al ambiente, tales como el uso de fertilizantes o la quema de combustibles, alteran aspectos del ciclo global del nitrógeno. Estos cambios pueden tener efectos ambientales muy grandes como el aumento anormal de nutrientes en fuentes de agua como regiones costeras y lagos, conocido como eutrofización. Este fenómeno cambia tanto la estructura como la dinámica de los ecosistemas; en general, se produce un aumento de la biomasa vegetal y una disminución de la diversidad acuática. Otra de las consecuencias es la fertilización de sistemas terrestres, haciendo predominar especies herbáceas ecológicamente pioneras con alta tasa de reproducción. También está la acidificación de los suelos y cuerpos de agua, cambios en la biodiversidad, enfermedades respiratorias en humanos mediadas por la exposición al ozono (contaminante secundario producido a partir de óxidos de nitrógeno y radiación ultravioleta) a las cosechas y cambios en el clima global.

Algunos autores han denominado esta secuencia de efectos como la cascada del nitrógeno, ya que el mismo átomo puede causar diferentes efectos en la atmósfera, en ecosistemas terrestres, en sistemas de agua dulce y marinos, y en la salud humana (Galloway J. N., y otros, 2003).

Es así como emisiones de nitrógeno a la atmósfera como NO_x , NH_y ³⁸ o N_2O pueden contribuir a la alteración del clima a través de reacciones físicas y químicas que afectan la concentración de ozono, metano, óxido nitroso, dióxido de carbono y aerosoles. A continuación se mencionarán algunas de dichas relaciones:

- El NO_x participa en reacciones atmosféricas químicas que envuelven CO , hidrocarburos no metanos, agua (H_2O), Hidroxilo (OH), Dioxígeno (O_2) y otras especies que afectan la producción de ozono troposférico, un gas efecto invernadero muy poderoso que al mismo tiempo es contaminante del aire urbano. Es tan poderoso que, de acuerdo con el panel interdepartamental sobre cambio climático de los Estados Unidos, la fuerza radiactiva global media debido a cambios en el ozono troposférico desde 1750 es más grande que la fuerza radiactiva de todos los otros gases y aerosoles, exceptuando el dióxido de carbono y el metano.

³⁸ NH_y se refiere a los compuestos Grupo amino (NH_2), Amoníaco (NH_3) y Amonio (NH_4).

- En la química atmosférica mencionada en el punto anterior, NO_x afecta la producción de hidróxilo radical OH que oxida, y por ende altera el tiempo de vida del metano, que es otro poderoso gas de efecto invernadero.
- En la reacción química mostrada en el primer punto, el NO_x afecta la producción de aerosol de sulfato que tiene la ventaja de reducir la fuerza radiactiva y ayuda a la concentración de nubes, reduciendo el calentamiento global, pero tiene la gran desventaja de que es negativo para la salud del ser humano.
- El NH_y y el nitrato del NO_x se depositan en los suelos y océanos y eventualmente reemiten N en forma de N_2O , NO_x , o NH_y ; las deposiciones de nitratos también afectan las emisiones de suelos de metano CH_4 .
- El NH_y y el nitrato del NO_x fertilizan los ecosistemas marinos y terrestres, y por lo tanto estimulan el crecimiento de plantas y la captura de dióxido de carbono en ecosistemas limitados en nitrógeno.
- El NH_y y el nitrato del NO_x forman nitrato de amonio que, como aerosol, tiene una fuerza radiactiva negativa, pero también es negativo para la salud humana.
- El nitrato depositado, N de NO_x puede incrementar la acidez del suelo y afectar las plantas, que en dicho caso no podrían capturar la misma cantidad de C y CO_2 .

Es así como la producción de biocombustibles genera emisiones de NH_y , NO_x y NO_2 que son completamente ignoradas en el análisis convencional del ciclo de vida de los biocombustibles (a excepción del efecto de del N fertilizante en las emisiones de NO_2). La razón por la que en general no se tienen en cuenta estos efectos, es debido a la complejidad de su medición. Algunos estudios como el de (Shine, Bernsten, Fuglestvedt, & Sausen, 2005) calculan los efectos del NO_x sobre O_3 y CH_4 , pero no calculan el efecto del NO_x sobre los aerosoles de nitrato mencionados arriba y no habla de otros impactos también mencionados.

Incertidumbre en el análisis del ciclo de vida

La construcción de modelos es un proceso de aproximación, extrapolación y simplificación, que resulta inevitablemente en divergencias entre los resultados del modelo y el proceso modelado. No existe controversia en que esos modelos son imperfectos y que existe incertidumbre en sus resultados. Sin embargo, cuando los resultados del modelo forman la base para una decisión, es importante entender cómo

la incertidumbre afectaría la decisión, lo que requeriría un análisis cuantitativo de la incertidumbre que por lo general nunca se hace (Plevin, 2010).

Las principales distinciones a cerca de los tipos de incertidumbre son: 1) variabilidad resultado de la heterogeneidad de los individuos en el tiempo o en el espacio; 2) falta de conocimiento que incluye tanto incertidumbre en los parámetros como en el modelo; y 3) incertidumbre en las decisiones, son problemas subjetivos para definir el problema a analizar o como se interpretan los resultados del modelo.

La mayoría de estudios sobre combustibles producen estimadores puntuales (DeLuchi, 1993), (Shapouri, Duffield, & Graboski, 1995), (Wang M. Q., 1999) y (Wang, Lee, & Molburg, 2004), y en los casos en que la incertidumbre es tratada cuantitativamente, el análisis es incompleto. No se analizan todos los parámetros que generan incertidumbre, y nunca se dice la metodología para escoger los que sí se analizaron.

En este punto se presentan algunas de las áreas dentro del estudio de ciclo de vida de los biocombustibles, que son reconocidas como generadoras de incertidumbre. Esta incertidumbre puede ser de tal tamaño que haga que los efectos de ahorro de gases efecto invernadero, que por lo general se atribuyen a los combustibles, se diluyan completamente.

(Edwards, Szekeres, Neuwahl, & Mahieu, 2008) analizaron los efectos directos e indirectos de la incertidumbre sobre la emisión de gases efecto invernadero y concluyeron que *“la incertidumbre de emisiones debidas a los efectos indirectos, la mayoría de las cuales ocurren por fuera de la unión europea, significa que es imposible decir con certeza que el efecto neto de gases efecto invernadero del programa de biocombustibles sea positivo”*.

Para ilustrar el punto anterior un estudio de (Farrell, y otros, 2006) analizan 6 estudios diferentes, volviéndolos homogéneos a través de técnicas de modelación, todos para etanol de maíz. Los estudios mostraban resultados completamente heterogéneos, pero una vez los autores tuvieron en cuenta parte de la incertidumbre, se volvieron comparables. Concluyen que las emisiones de gases efecto invernadero en este proceso están en un rango entre emitir 20% menos con respecto a la gasolina hasta emitir 32% más. Esto debido a diferencias en los procesos, lugares en donde ubican y, sobre todo, por el tratamiento de los coproductos³⁹.

³⁹ Se habla de coproductos porque son producidos con la misma materia prima en procesos distintos, por ejemplo, de la caña de azúcar se obtienen, etanol, azúcar crudo, azúcar refinado, energía eléctrica,

Es importante entender algunos de los factores que generan incertidumbre, al realizar un estudio se debe definir:

1. Utilizar promedios nacionales o regionales para los procesos de producción y conversión de biocombustibles, o enfocarse en un sistema de producción específico.
2. La aproximación regional o local se debe usar para calcular la emisión de gases efecto invernadero que tienen que ver con el uso de la electricidad y los desplazamientos.
3. Estimar efectos marginales o promedio.
4. Como tratar los coproductos, por asignación y que hace que sea así la asignación.
5. Efectos sobre el clima que se deben incluir el estudio. Por ejemplo, solo los 3 principales gases efecto invernadero, otros gases y partículas, efectos biofísicos como el albedo y la evotranspiración.
6. Agregación de las emisiones de gases efecto invernadero en un solo indicador.
7. Se debe examinar el sistema en retrospectiva o se deben anticipar cambios tecnológicos.
8. Se debe analizar solo la cadena de suministro o también efectos indirectos.

2.5.7 Otros compuestos no regulados y no monitoreados

Aldehídos

Son compuestos orgánicos que pertenecen al grupo de los carbonilos. Los carbonilos (CC) son compuestos que se encuentran en la atmósfera, y han recibido gran atención debido a sus posibles efectos nocivos sobre la salud humana, y a su gran importancia en la química atmosférica. Son emitidos directamente por la combustión incompleta de los combustibles fósiles a través de los exostos de motores, de las chimeneas de fuentes fijas y de quemas de biomasa. También se forman indirectamente por la fotooxidación de los compuestos orgánicos volátiles emitidos por procesos humanos y por procesos naturales. La quema espontánea de bosques es la principal fuente de carbonilos y emite aldehídos alifáticos, aromáticos y cíclicos al igual que otros compuestos.

abono, dióxido de carbono líquido. Todos estos son coproductos de una destilería de etanol, subproductos de la caña de azúcar.

Por otro lado, algunas fuentes naturales también contribuyen a la concentración de carbonilos en la atmósfera a través de la emisión biogénica de algunas plantas y la oxidación fotoquímica de precursores de hidrocarburos naturalmente emitidos. Dentro de las formas auspiciadas por el hombre se encuentran los procesos industriales, quema de residuos, madera y combustibles. De hecho el proceso de combustión de carburantes fósiles se convirtió en el principal generador de carbonilos en las áreas urbanas.

En años recientes muchos estudios han sido desarrollados para medir los carbonilos emitidos por motores diésel que usan diésel fósil o diferentes mezclas de diésel y biodiésel. También se ha evaluado la presencia de estos compuestos en la atmósfera urbana y su relación con la formación de compuestos secundarios, principalmente ozono. La conclusión principal es que la adición de biodiésel al diésel incrementa las emisiones totales de carbonilos, entre ellos los que mayor presencia tienen son los acetaldehídos y formaldehídos, en este sentido el incremento de la mezcla de biodiésel aumenta más los formaldehídos que los acetaldehídos.

El uso de los biocombustibles reduce la concentración de benceno y de 1,3 butadieno, que son consideradas sustancias cancerígenas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, los biocombustibles aumentan la concentración de formaldehídos y acetaldehídos en el ambiente, siendo los formaldehídos considerados como una sustancia de riesgo cancerígeno medio y el acetaldehído como de riesgo cancerígeno bajo. Entre otros efectos para la salud humana están los siguientes: irritación de la piel, irritación de los ojos y reducción de la capacidad pulmonar.

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los países con mayor penetración de biocombustibles es Brasil, y varios estudios se han realizado para determinar el incremento en la concentración de formaldehídos y acetaldehídos presentes en las ciudades donde se mezclan biocombustibles. En (Bradley, y otros, 1999) se citan estudios en los cuales se muestra la alta concentración de aldehídos en varias ciudades de Brasil, que superan ampliamente los promedios de estas sustancias con respecto a otras ciudades del continente que también han implementado políticas de biocombustibles.

En un estudio desarrollado para Salvador Bahía, en una estación de buses operados con diésel, se buscaba demostrar que la emisión de formaldehídos y acetaldehídos se incrementaba con la mezcla de biodiésel, lo cual fue establecido, pero se mostró igualmente, que la emisión de estos gases depende también de la composición de la flota que se esté utilizando. Finalmente, el artículo determinó que la concentración de

aldehídos mejora con la introducción de la mezcla diésel/biodiésel (Rodrigues, y otros, 2012), sustentada en una reducción de los acetaldehídos y un leve incremento de los formaldehídos en los lugares de medición, donde había gran presencia de vehículos pesados.

Uno de los resultados que se mantienen robustos a través de los estudios es que a medida que aumenta la mezcla de biocombustible, bien sea etanol o biodiésel, aumenta la razón de formaldehídos/acetaldehídos en el ambiente, incrementando el riesgo que generan los formaldehídos.

También es importante mencionar que el aislamiento del efecto directo de los biocombustibles en el incremento de estas sustancias a la atmósfera se vuelve muy difícil de implementar, por lo que en la mayoría de estudios se establecen relaciones que puedan ser tenidas como estadísticamente significativas. La razón de la dificultad radica en que estos compuestos ya existen en la atmósfera, y no sólo son producidos por la combustión de biocombustibles, pueden aumentar por una multitud de razones como la exposición a la luz solar que tenga un lugar en particular, la concentración industrial que haya, la densidad poblacional, otras políticas que tengan que ver con los combustibles, como políticas de eficiencia energética, composición de la flota automotor, en edad y en clase de vehículo, entre otros.

Para ilustrar este punto se menciona el artículo de (Nogueira, Dominuttia, Rothschild Franco de Carvalho, Fornaroa, & Andrade, 2014), en el cual fueron medidas las concentraciones de NO, NOx, formaldehídos y acetaldehídos en 2012 y 2013. Los resultados demostraron que a pesar de haber un aumento significativo en el número de vehículos que usaban etanol en el periodo en cuestión, no hubo un aumento significativo de la concentración de aldehídos en el área metropolitana de Sao Pablo. Los autores atribuyen el resultado a mejoras tecnológicas en los motores de los nuevos autos usando etanol. Estas mejoras fueron desarrolladas gracias al programa de control de la contaminación del aire en vehículos automotores que ya ha pasado por 5 etapas en Brasil, y que controla la cantidad de aldehídos que pueden emitir los automóviles.

Capítulo 3

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El segundo componente de la evaluación al documento Conpes 3510 de 2008 corresponde a un análisis de los costos y beneficios que la política ha traído para el país, en términos de las mejoras en el bienestar social de la sociedad. Para desarrollar este punto, el presente capítulo tuvo en cuenta las tres dimensiones definidas por el marco teórico de la evaluación, económica, social y ambiental, lo mismo que los eslabones de la cadena de producción, agrícola, transporte, industrial, distribución y consumo final.

3.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Una vez definidos el conjunto de beneficios y costos a estimar, tal como se describirá en detalle en la siguiente sección, será posible calcular los beneficios sociales, ambientales y económicos netos producto de la implementación de la política de los biocombustibles. Para llevar a cabo esta valoración se propone el siguiente modelo a estimar, el cual toma como referencia un intervalo de tiempo de interés para calcular el valor presente neto de los beneficios, y así poder inferir, de acuerdo con sus resultados, la pertinencia de la política. La especificación del modelo corresponde a:

$$VPN(\delta, \text{Beneficios Netos})_j = \left[\sum_{t=0}^k \frac{1}{(1+\delta)^t} * (\alpha x_t - \beta y_t) \right] \quad (1)$$

Donde,

j corresponde al índice que identifica los sectores de caña y palma, respectivamente,

k identifica el número de períodos a considerar en el análisis

δ es la tasa de descuento social,

α es el vector de ponderaciones para cada uno de los beneficios identificados de acuerdo con la población afectada por él,

β es el vector de ponderaciones para cada uno de los costos identificados de acuerdo con la población afectada por él,

x corresponde al vector de beneficios en el período t

y corresponde al vector de costos en el período t .

Una vez estimado el VPN propuesto en la ecuación (1), el escenario de análisis corresponderá a uno de los siguientes casos:

$$VPN > 0, \quad VPN = 0 \quad \text{ó} \quad VPN < 0 \quad (2)$$

En cuyo caso, si el VPN es mayor que cero, será rentable para la sociedad llevar a cabo el proyecto, pero si este valor es menor que cero, habría evidencias para analizar la viabilidad económica de la política. Finalmente, si se da el caso de que el VPN es igual a cero, se podría decir, en principio, que implementar o no la política tiene los mismos resultados; sin embargo, si se presenta esta situación será importante analizar qué tipo de externalidades positivas, que no se capturan con este análisis, harían política y socialmente deseable continuidad de la política de los biocombustibles.

La otra forma de presentar las conclusiones del análisis costo beneficio es tomando el VPN de los beneficios y dividiéndolo entre el VPN de los costos, si el resultado es mayor que 1, entonces los beneficios son superiores a los costos y la política genera bienestar social neto.

Dentro de los elementos más importantes para la estimación del valor presente neto están las estimaciones de la tasa social de descuento y de los pesos distributivos de los costos y los beneficios. Alrededor de su estimación existen diferentes opciones que permiten incluir diferentes aspectos inherentes al contexto del país, como se describe a continuación.

3.1.1 Pesos distributivos en el análisis costo - beneficios

Es importante tener en cuenta que para políticas de Gobierno como la delineada por el documento Conpes 3510 de 2008, las diferentes dimensiones, a saber social, ambiental y económica afectan a diferentes grupos poblacionales con características particulares en cuanto a ingresos, nivel educativo y grado de vulnerabilidad. Es por esto que se han propuesto alternativas para tener en cuenta dichos componentes, dentro de la estimación del análisis costo beneficio.

Una de las más relevantes es la visión de una persona un voto. Según este principio tanto las personas de bajos ingresos como las personas de altos ingresos deben tener la misma influencia dentro de las decisiones sociales, en muchos casos el valor del excedente del consumidor de una persona rica, que se refleja en la disponibilidad a pagar por alguna política, es mayor que el valor del excedente del consumidor de una persona pobre, por lo que las políticas que tengan impacto sobre los ricos tendrían una mayor probabilidad de realizarse aumentando aún más la desigualdad social. En este caso el excedente debe ser ajustado como si todas las personas tuvieran el mismo peso.

La otra herramienta comúnmente usada son los pesos distributivos de cada uno de los determinantes de los costos y beneficios, que están incluidos en el cálculo del valor presente neto social, y en la literatura hay una gran controversia sobre las metodologías para calcularla y sobre la conveniencia de su uso.

La racionalidad de los pesos distributivos en el análisis costo beneficio se basa en la norma de que, partiendo de una función de bienestar social y con heterogeneidad entre los ingresos de los individuos y en la separabilidad de la función de utilidad, debería existir igualdad entre utilidades marginales del ingreso entre ricos y pobres, como requisito para estar en un óptimo social, (Johansson-Stenman, 2005), si se tiene en cuenta este objetivo, un dólar aportado a una persona de bajos ingresos tendrá mayor peso a nivel social que un dólar aportado a una persona de altos ingresos.

Si hay dos individuos con diferentes niveles de ingresos, uno alto y_a y otro bajo y_b según la ley de la utilidad marginal decreciente para la mayoría de los bienes de la economía,

$$\frac{dU}{dy_a} < \frac{dU}{dy_b}$$

Lo que a su vez implica que el bienestar social podría aumentar si se realizan proyectos relativamente costosos que beneficien solo a los más pobres. Es por esto que las políticas que afectan a personas de ingresos altos y las que afectan a personas de ingresos bajos deberían tener diferentes ponderaciones en el análisis costo beneficio.

Si se toman en cuenta factores redistributivos, algunos proyectos que no son eficientes desde el punto de vista económico van a ser rechazados porque no son rentables, a pesar de que mejoren la redistribución social de los recursos. De la misma manera proyectos que van en contra de disminuir la desigualdad pueden ser aprobados por su rentabilidad, aunque solo beneficien a unos pocos. Entre los autores que han desarrollado esta idea están, entre otros, (Boadway & Bruce, 1984); (Brent, 1984) (Cowell & Gardiner, 1999); (Creedy, 2006); (Dasgupta & Pearce, 1972) y (Dasgupta, Sen, & Marglin, 1972).

Algunos otros aseguran que sólo se deben usar pesos distributivos cuando los proyectos están enfocados a mejorar la distribución del ingreso, tales como las políticas de impuestos, (Harberger A. C., 1978), dada la complejidad en el cálculo y la cantidad de hipótesis necesarias para su desarrollo. En el mismo artículo, Harberger muestra que bajo algunas circunstancias (desigualdad extremadamente alta y aversión social por la

desigualdad alta) podría ser socialmente eficiente enviar helado, en el lomo de un camello en pleno desierto de un oasis rico a un oasis pobre. (Frank, 2000), (Ng Y.-K. , 2000) y (Ng Y. K., 2000), y (Farnk & Bernanke, 2001) también argumentan que no se deben aplicar pesos distributivos debido a que en realidad el impacto económico de las políticas se puede ver disminuido.

Los componentes más susceptibles a ser objeto de pesos distributivos en políticas como la propiciada por el Conpes 3510, son el ambiental, por su impacto intergeneracional y el social porque aborda directamente las desigualdades de ingresos y oportunidades de la población afectada por la política.

Si bien se reconocen alternativas para la ponderación de los costos y beneficios, tal y como se expuso, para el presente ejercicio, y después de varias discusiones entre el equipo de la UT y el Comité Técnico de la Evaluación, se decidió usar ponderaciones iguales para cada una de las dimensiones del análisis, es decir, para la dimensión económica, social y ambiental. La decisión se sustenta en el hecho de que el documento Conpes 3510 al basarse en el concepto de desarrollo sostenible, no favorece a ninguna más que a las otras. Por otro lado, la metodología de cálculo de cada costo/beneficio tiene implícita la ponderación por población, dado que considera solamente a los implicados en cada uno de ellos.

En un sondeo de análisis costo beneficio para diferentes políticas de la Unión Europea, y de los Estados Unidos, se pudo evidenciar que en ninguno de los casos se usaron los pesos distributivos, tampoco se propone el uso de tasas distributivas en la cartilla del Banco Mundial para análisis costo beneficio (Ver (Warner, 2010)). Siempre debería haber una valoración política sobre a qué dimensión darle más importancia, y esto es una labor para el hacedor de política. Por otro lado, la metodología de cálculo de cada costo/beneficio, como fue planteada para este ejercicio, tiene implícita la ponderación por población, ya que los más importantes tienen en cuenta efectos sobre un mayor número de habitantes que los más pequeños.

3.1.2 Tasa de descuento social

La tasa social de descuento refleja la valoración relativa de la sociedad sobre el bienestar de hoy comparado con el bienestar en el futuro. Si ésta es fijada muy alta, van a existir proyectos que, a pesar que ser rentables desde el punto de vista social, no se van a llevar a cabo; en este caso también apoyaría proyectos que tengan sus beneficios en el corto y

mediano plazo. Por otro lado, si es muy baja tendría el problema de que muchos proyectos que no prestan el suficiente beneficio social, serían aprobados sin problema.

En economía se han propuesto varias formas de calcular la tasa de descuento social, pero aún no hay un consenso para saber cuál es la más adecuada. Lo que se ha llegado a concluir es que ésta depende de las características del país y de su sistema financiero, por eso no hay un estándar a nivel mundial para dicho indicador. Las formas más utilizadas son:

1. Tasa social de preferencia por tiempo, SRTP por su sigla en inglés: Es la tasa a la cual los hogares de una economía van a ser indiferentes entre ahorrar y consumir hoy. Esta tasa ha sido soportada por (Sen, 1961), (Diamond, Opportunity Cost of Public Investment: Comment, 1968). Esta tasa tiene en cuenta que la inversión pública desplaza el consumo privado, pero no tiene en cuenta que también desplaza la inversión privada, ya que tanto el sector público como el sector privado están compitiendo por los mismos recursos.

En general, puede ser hallada utilizando la fórmula de Ramsey, pero implicaría la escogencia de parámetros que son desconocidos (elasticidad de la utilidad marginal del consumo (θ) y la tasa de descuento de la utilidad (ρ). Por la complejidad y la arbitrariedad en la escogencia de estos parámetros, en los estudios en diferentes países, esta tasa ha sido aproximada a la tasa de retorno de los bonos del gobierno después de impuestos o una tasa promedio de los activos financieros de bajo riesgo en el mercado. (Interés de los bonos – tasa de impuesto).

2. Costo de oportunidad social del capital (SOCC): Fue apoyada por (Baumol, 1968) y (Diamond & Mirrlees, Optimal Taxation and Public Production I: Production Efficiency, 1971) (Harberger A., 1972). En esta aproximación los privados y el gobierno compiten por la misma cesta de recursos, y por lo tanto la inversión pública desplaza a la inversión privada. Se sugiere que esta tasa sea aproximada por la tasa marginal antes de impuestos de activos privados libres de riesgo. (Bonos corporativos con las mejores calificaciones de riesgo). La principal crítica a esta tasa es que no tiene en cuenta la disminución en el consumo futuro que ocurre cuando se hace inversión pública.

3. La aproximación del promedio ponderado: dado que tanto la tasa social de preferencia por el tiempo social como la tasa de costo de oportunidad social del capital, enfrentan críticas objetivas, en cuanto a la clase de proyectos que favorecen y en cuanto a las generaciones que se verían afectadas por los proyectos que son descontados por las mismas, algunos economistas (Harberger A. , 1972) y (Burgess, 1988) han propuesto un promedio ponderado, entre las dos tasas de descuento.

En este método se toman en cuenta tanto el menor consumo presente generado por la SRTP tanto la menor inversión privada que toma en cuenta la SOCC, y para economías abiertas también se toma en cuenta la tasa a la cual se ejerce el endeudamiento internacional que pueda tener la economía. La forma empírica que se ha utilizado para calcular esta tasa es:

$$\delta = \alpha * SOCC + \beta * SRTP + (1 - \alpha - \beta) * i_f \quad (3)$$

Donde

α es proporción de fondos para inversión pública obtenidos a costa de inversión privada,

β es la proporción de los fondos para inversión pública obtenidos a costa de consumo presente

i_f Es la tasa real a la que el gobierno puede pedir prestado en el exterior en el largo plazo.

Es importante notar que si, en una economía cerrada, la oferta de fondos es muy inelástica, la inversión pública solo desplaza inversión privada y por lo tanto β va a tender a 0 por lo que la tasa de descuento está dada por la SOCC, mientras que si la demanda de fondos es inelástica, es α la que va a tender a 0. En una economía pequeña y abierta con perfecta movilidad de capitales, tanto β como α van a ser 0 y la tasa de descuento social será la internacional.

3.1.3 Escogencia de la Tasa

Para este estudio en particular la UT ha decidido utilizar como tasa de descuento social la que se utiliza para las Asociaciones Público Privadas (APP), que está conformada por la tasa libre de riesgo construida a partir de los bonos del tesoro de 10 años, más la prima de riesgo país expresado en términos reales publicada por el MHCP en el marco de lo establecido en la Resolución 2080 de fecha 31 de julio de 2008, modificada por la

resolución 446 del 24 de febrero de 2010 del ministerio de hacienda y crédito público. El valor de esta tasa es de 7,75%. Algunas ventajas que tiene la utilización de esta tasa son:

- Incluye el costo de consecución de capital para empresas privadas que están ejecutando una obra pública, lo que se asemeja a la definición del costo de oportunidad social del capital.
- Tiene en cuenta consideraciones tributarias dentro de la estimación de costo del capital.
- Incluye una prima de riesgo para la actividad específica que se está desarrollando, tomada con el riesgo sistémico.
- Incluye el riesgo país teniendo en cuenta los spreads de *credit default swaps* para Colombia que se obtienen en el mercado financiero

Es decir que tiene en cuenta el desplazamiento del consumo futuro por parte de la inversión pública (SRTP) y tiene en cuenta también el riesgo propio del sector privado.

3.1.4 Identificación y estimación de los Beneficios

3.1.4.1 Económicos

Los beneficios económicos que genera el sector de los biocombustibles tienen que ver, en su mayoría, con los ingresos fiscales que percibe la nación, así como los ingresos operacionales y utilidades que reciben los empresarios que están al frente de las actividades agroindustriales.

En términos de desarrollo económico, se encuentran las inversiones en I+D que jalona el sector y que están por encima del promedio del país (0.3% con respecto a 0.18% del PIB según lo reportan estimaciones de los Indicadores del Desarrollo Mundial que publica (Banco Mundial, 2015)).

Estimación del beneficio por lubricidad del biodiesel

Debido a las características del biodiesel se encuentra un beneficio por lubricidad que se estima como el no pago de aditivos que antes se añadían al ACPM. Tomando como referencia la “*Evaluación beneficio - costo del uso del biodiesel como componente en la formulación del diésel distribuido en Colombia*” de la Federación Nacional de Biocombustibles (2013), se toma como precio de referencia el del aditivo Infineum R680 con un valor de \$ 4,5

USD incluido IVA. Entonces la estimación se hace como el volumen de biodiesel por el porcentaje de lubricidad necesario, que es de 0.015%, que se reemplazaría por aditivos en ausencia de la política. Esta cifra se multiplicó por la TRM a precios constantes de 2014 para la proyección.

Estimación del beneficio por los oxigenantes del etanol

Antes de utilizar los biocombustibles, la gasolina se oxigenaba con otros insumos, como el éter metil terbutílico o MTBE, los cuales fueron sustituidos por el etanol cuando se inició la producción de este biocombustible. Además, el mayor octanaje del alcohol frente a la gasolina fósil permitió la adición de nafta a la mezcla para reducir los costos por galón sin afectar el cumplimiento del nivel mínimo de octanaje requerido por la norma, lo que afecta positivamente el ingreso al productor de gasolina.

En los reportes mensuales que viene publicando desde 2008 la UPME sobre la estructura de precios de los combustibles en las principales ciudades del país, para los años en que aún no se había cubierto todo el mercado nacional con gasolina oxigenada utilizando alcohol, aparecía el ingreso al productor para la gasolina fósil (0% de mezcla de alcohol) y para los porcentajes de mezcla que se estuviesen utilizando en el año y mes correspondiente.

Entonces se hizo un análisis de la diferencia entre el ingreso del productor con mezcla cero (E0) y el ingreso con distintas mezclas y se obtuvo un parámetro del costo en pesos de 2014 por punto porcentual de mezcla de alcohol, de \$11,65/galón, con el cual se calculó el beneficio debido a esta reducción de costo. El beneficio corresponde al producto de este valor por galón, por los puntos del porcentaje de mezcla y por el volumen total de gasolina consumida. Por ejemplo, si la mezcla de alcohol es de 8% y se vendieron 1000 millones de galones de gasolina en un año determinado, el beneficio es de \$93.200 millones de 2014 ($8 \times 11,65 \times 1000 = 93.200$).

3.1.4.2 Sociales

Generación de empleo

Este beneficio se analiza a través de dos dimensiones que afectan a los dos tipos de biocombustibles que se producen en el país. Estas son:

- Empleo directo

Como se explicó en la parte introductoria del análisis costo beneficio, para el sector de alcohol carburante se tiene en cuenta el empleo adicional generado en las destilerías (empleo industrial directo), y aquellas hectáreas nuevas que sea necesario cultivar para aumentar la producción agrícola que redunde en un aumento de las cantidades de etanol (empleo agrícola directo). Para el sector biodiesel se considera la generación de empleo, tanto industrial como del eslabón agrícola. Para el caso de etanol, se asume que el aporte de generación de empleo en nuevas áreas, como las del proyecto Bioenergy y las que se requieran a futuro, es marginal, pues se cultivarán de manera completamente mecanizada.

Como supuestos básicos para el cálculo del beneficio de generación de empleo se han colocado los distintos rubros que intervienen en términos del salario mínimo mensual legal vigente, SMMLV, de 2014; esto es, \$616.000 COP. A este salario se le aplica el factor prestacional⁴⁰ de 1,38, que se compone de los siguientes conceptos:

Tabla 3.1 Multiplicador para el personal de planta por salario menos de 10 SMMLV

Criterios	Aporte al total
Sueldo	100.00%
Cesantías	8.33%
Intereses de Cesantías	1.00%
Primas	8.33%
Vacaciones 15 días hábiles	4.17%
Aportes a Salud	0.00%
Aportes a Pensión	12.00%
Aportes Parafiscales	4.00%
Riesgos profesionales	0.52%
Sub Total Gastos de Personal	138.35%

Fuente: Econometría S.A.

Los empleos industriales en promedio se han valorado en 4 SMMLV y los agrícolas en uno (1), de acuerdo con las respuestas obtenidas en las observaciones en situ a los

⁴⁰ De acuerdo con la última reforma, la empresa no paga salud para salarios menores de 4 SMMLV.

ingenios y a las plantas de biodiesel, donde también se obtuvo que en una destilería se ocupan en promedio 50 personas y en una planta de biodiesel 90.

Para la proyección futura, que se realizó hasta 2025, se calcula la necesidad de aumentar la capacidad de producción industrial, la cual se asume que requiere de nuevas destilerías y/o nuevas plantas de biodiesel a las cuales se les asocia una generación de empleo con las mismas bases descritas.

Respecto del empleo agrícola generado por la palma de aceite, se contabilizaron las hectáreas en producción necesarias para cubrir la producción de biodiesel en cada año. Luego se calculó el incremento en hectáreas respecto del año inmediatamente anterior y para estas nuevas hectáreas se asumió que se han debido sembrar con al menos tres años de anterioridad, por lo que se les imputó adicionalmente 3 veces el valor para un año del empleo normal generado. De acuerdo con la información reportada en las encuestas se identificó una generación de empleo de alrededor de 10 hectáreas por trabajador para todas las fases del cultivo. Sin embargo, el Censo 2011 y otras entrevistas con actores claves en el proceso indican que la base de generación de empleo es de un trabajador por cada 8 hectáreas en promedio. En caña de azúcar se tomó 36 hectáreas por cada trabajador, que corresponde al empleo en un cultivo tecnificado como el de Bioenergy; este cultivo se puede considerar con una producción promedio todos los años.

Para la proyección hasta 2025 se calcula la necesidad de sembrar nuevas áreas en palma de aceite, lo cual se hace con una anticipación al menos de 3 años para que entren producción en el momento en que se requieren. Una vez determinadas estas áreas nuevas requeridas, se valora la generación de empleo con las mismas bases ya explicadas.

➤ Empleo indirecto

Se está asumiendo que por cada empleo directo, tanto agrícola como industrial, se generan 2,5 empleos indirectos y que los empleos industriales se valoran a dos veces un SMMLV y los agrícolas con un salario mínimo. Esta información se trabajó con base en la información de la revista (Federación Nacional de Biocombustibles, 2011).

3.1.4.3 Ambientales

Emisión de CO₂

Si se toma en cuenta el proceso total del biodiesel, hay una reducción en las emisiones de CO₂ y de CO₂ equivalente que la literatura científica evalúa entre un 50% y un 80% (Lapuerta, Armas, & Rodriguez-Fernandez, 2008). Esta reducción tiene en cuenta los efectos que se presentan en el cultivo, en la fabricación, en la distribución y en el uso del biodiesel en los motores comparado con el combustible de referencia. El documento que permite medir esto para Colombia es el análisis del ciclo de vida realizado para el sector de los biocombustibles (Consortio CUE para BID y MME, 2012).

En la etapa final de uso del biodiésel en los motores, de hecho, las emisiones de CO₂ incrementan por dos razones, en primer lugar hay un mayor contenido de carbono en la molécula del combustible, y en segundo lugar por el mayor consumo de combustible. La universidad de Antioquia realizó un estudio comparando los efectos sobre los motores del diésel convencional y biodiesel que venían de diferentes materias primas (Palma, Jatropha, Sacha Inchi e Higuierilla) con mezclas del 5% y del 20%. Una de sus conclusiones fue que "A medida que aumenta la carga del motor, la emisión de CO₂ también lo hace, para todos los combustibles sin que se hubiese presentado diferencias significativas entre los diferentes tipos de biodiesel y el diésel de referencia, porque como se mencionó antes se incrementa el consumo de combustible".

Método de Valoración

La forma de valorar el beneficio ambiental por reducción de emisiones de CO₂ equivalente para biodiesel y caña se realizó con la siguiente formula

$$\begin{aligned} \text{BeneficioCO2equivalente} \\ &= DCom * \%Mezcla * (EmisionCom - EmisionBio) \\ &* CostoEmision \end{aligned}$$

<i>DCom</i>	Demanda de Combustible en Galones
<i>EmisionCom</i>	Emisión Combustible Toneladas CO ₂ equivalente/Galón
<i>EmisionBio</i>	Emisión Biocombustible Toneladas CO ₂ equivalente/Galón
<i>\%Mezcla</i>	Porcentaje de Mezcla de Biocombustible
<i>CostoEmision</i>	Costo por tonelada de emisión (costo de 127376 pesos en el

2014)

3.1.4.4 Otros beneficios ambientales no cuantificados

Emisiones de los vehículos

También se ha podido demostrar que el etanol reduce ampliamente las emisiones de monóxido de carbono (45%) y este porcentaje puede ser mayor si se incrementa la mezcla⁴¹. En cuanto a hidrocarburos totales estos también disminuyen dada la mejor combustión que hay con la mezcla del etanol y la gasolina, la reducción es de 25% con respecto al combustible fósil. Finalmente, el dióxido de carbono se incrementa en alrededor de 7% cuando se usa combustible mezclado, debido al mayor consumo de combustible.

En la Figura 3.1 se ve el resultado sobre el acero carbono en una mezcla de E20 el panel A muestra cómo se ve cuando la inmersión se hace en gasolina, el panel b se hace la inmersión durante 90 días en E20, sin usar ningún aditivo, en el panel c se ha recubierto el material con etanolamina antes de la inmersión y en el panel D se le había aplicado otro aditivo llamado dietanolamina. Es notorio tanto el desgaste de la pieza sin aditivos, como el efecto protector de la etanolamina.

Figura 3.1 Óxido de nitrógeno (NOx)

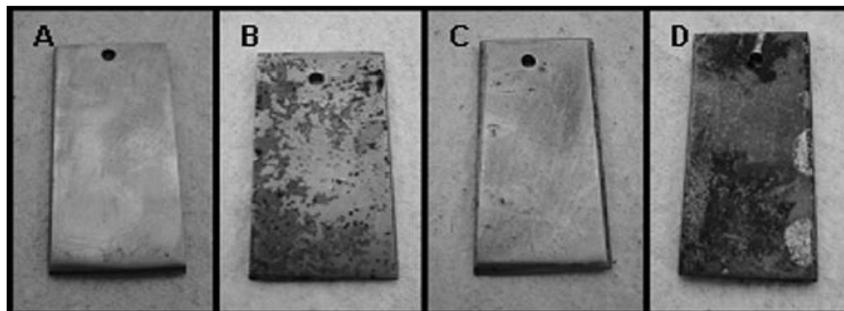


Fig. 1. Visual aspect of carbon steel samples exposed to fuels at 45 °C during 90 days. (A) Gasoline, (B) E20, (C): E20 + Etanolamine, (D): E20 + Dietanolamine.

⁴¹ Es importante decir que el monóxido de carbono no tiene efectos importantes ni sobre la salud ni sobre el medio ambiente, aunque su presencia podría generar a través de relaciones de oxidación, un aumento del dióxido de carbono. En particular si reacciona con un radical hidroxilo OH y hay presencia de ozono, podría generar más CO₂.

Como se mostró en Tabla 2.5, la mayoría de los estudios dan un incremento del óxido nitroso cuando se aumenta la mezcla de biodiesel, algunas razones para que esto pase son:

- La mayoría de los investigadores proponen que la combustión se adelanta como consecuencia del avance en la inyección, dadas las propiedades físicas del biodiesel. Casi todas las explicaciones en la literatura están relacionadas con el tiempo que transcurre entre la inyección del combustible y el comienzo de la combustión. Este efecto es reforzado por el mayor índice de cetano.
- Otros de las razones es la mayor cantidad de oxígeno que hay en la cámara de combustión cuando se usa biodiesel y que puede propiciar la formación de grupos NO.
- Este incremento en NOx tiene soluciones como lo son retrasar el tiempo de inyección, lo cual disminuirá la formación de NOx pero tiene un costo porque se genera más material particulado. También hay varios aditivos que pueden ayudar a reducir las emisiones de NOx como peróxido de diterbutil que mejora el cetano, al igual que el hehil exil nitrato, que son más efectivos en mezclas del 20% (Lapuerta, Armas, & Rodríguez-Fernandez, 2008).
- Consumo de combustible (break specific fuel consumption) con diferentes mezclas
- Este incremento en el consumo de combustible es un consenso entre los académicos y la industria y se debe básicamente al menor poder calorífico del biodiesel que debe ser compensado con más combustible. Este mayor consumo de combustible aumenta cuando se incrementa el porcentaje de mezcla con el combustible fósil. Otros estudios muestran que este incremento puede llegar a 16% cuando se utiliza B100 (Lapuerta, Armas, & Rodríguez-Fernandez, 2008).

Estos resultados fueron corroborados con estudios realizados en Colombia y publicados internacionalmente como (Armas, Rodríguez, Cárdenas, & Agudelo, 2004) y (Universidad de Antioquia grupo Gimel, 2009).

Material Particulado (MP)

El material particulado es uno de los contaminantes que mayor impacto negativo tiene en la salud humana debido, tanto la portabilidad de virus que permite como a los efectos secundarios de la acumulación del mismo en el tejido pulmonar y a la abrasión de las mucosas.

Según la mayoría de estudios realizados, el material particulado disminuye a medida que se incrementa la mezcla con diésel-biodiésel, también es importante mencionar que se presenta una disminución de los hidrocarburos policíclicos aromáticos, que son los compuestos a los cuales se les ha asociado efectos cancerígenos y mutagénicos.

Algunas de las razones para que disminuya el MP son, el contenido de oxígeno de la molécula de biodiésel que permite una combustión más completa, y promueve la oxidación del hollín ya formado. También influye la una menor necesidad de aire en la combustión del biodiésel, lo que reduce la probabilidad de regiones ricas en combustible en la mezcla no uniforme de aire/combustible. Finalmente está el adelanto en la combustión de la cual ya se ha hablado, el no contener azufre evita la formación de sulfatos y la diferencia en la estructura de las partículas de hollín del biodiésel comparadas con las de diésel fósil, que favorece la oxidación del hollín en el caso de biodiésel. Sin embargo, en Colombia no es fácil medir la reducción de MP que aportan los biocombustibles, debido a las reducciones en el contenido de azufre que han sufrido los combustibles fósiles de manera gradual desde el año 2010.

Hidrocarburos totales

La mayoría de estudios muestran que los hidrocarburos totales también se reducen cuando aumenta la mezcla de diésel biodiésel. Algunas de las razones son el contenido de oxígeno en la molécula de biodiésel y una combustión más limpia, el mayor número de cetano del biodiésel que reduce el retardo en la combustión, la mejora en los tiempos de inyección y combustión cuando se usa biodiésel.

Emisiones de CO

Las emisiones de óxido de carbono muestran una caída significativa cuando se incrementa el porcentaje de biodiésel en la mezcla. El mayor número de cetano del biodiésel hace que haya menos depósitos de combustible que son relacionadas con emisiones de CO, esto se debe al mayor contenido de oxígeno y a la menor razón carbono oxígeno del biodiésel. La combustión adelantada también juega un papel en la menor emisión de CO, al igual que la carga del motor a medida que aumenta la velocidad de operación disminuyen las emisiones de CO.

Figura 3.2 Resumen de resultados de 16 estudios sobre los efectos del biodiesel

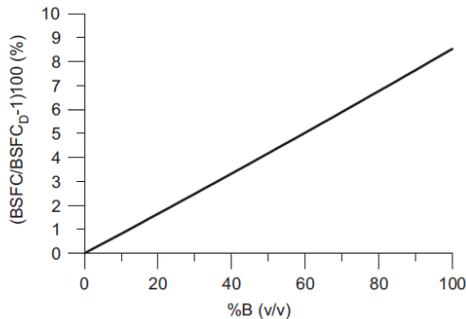


Fig. 2. Mean increase in *bsfc* as the biodiesel content increases (trend obtained from Ref. [46] for heavy-duty engines with no EGR or aftertreatment system).

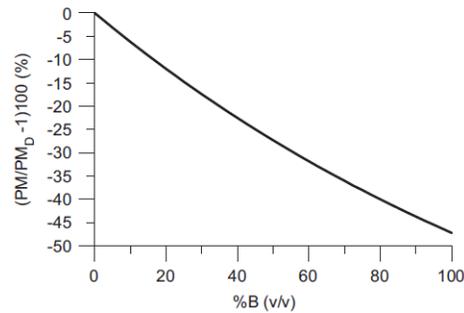


Fig. 5. Mean reduction in PM emissions as the biodiesel content increases (trend obtained from Ref. [46] for heavy-duty engines with no EGR or aftertreatment system).

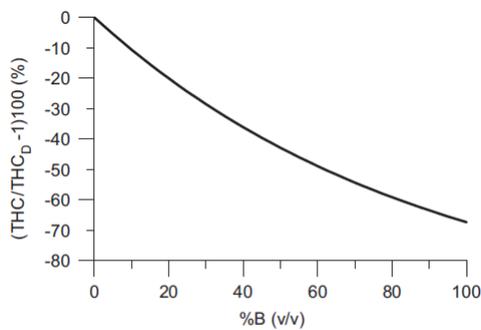


Fig. 7. Mean reduction in THC emissions as the biodiesel content increases (trend obtained from Ref. [46] for heavy-duty engines with no EGR or aftertreatment system).

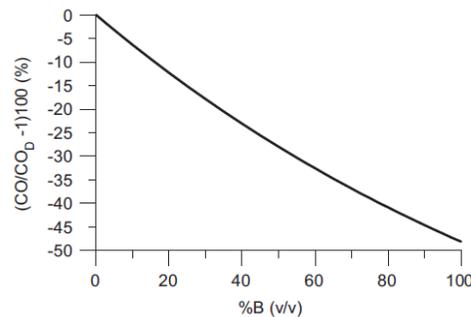


Fig. 8. Mean reduction in CO emissions as the biodiesel content increases (trend obtained from Ref. [46] for heavy-duty engines with no EGR or aftertreatment system).

La Figura 3.2 fue tomada de la división de análisis y estándares de la EPA en los Estados Unidos (2002), quienes resumieron los resultados de 16 estudios sobre efectos del biodiesel a nivel mundial y de manera simplificada, se establecen relaciones suavizadas entre las variables claves a medida que aumenta la mezcla de biodiesel en el diésel convencional.

3.1.5 Identificación y estimación de los Costos

3.1.5.1 Económicos

Costo fiscal

La estimación de los costos fiscales debe tener en cuenta una serie de eventos normativos que han ocurrido desde el inicio de la misma. Como se muestra en la Tabla 3.2, la Ley 788 de 2002 da comienzo a la exclusión de impuestos IVA, impuesto global

y la sobretasa para la porción de alcohol carburante que se mezcla con la gasolina. En 2012, la Ley 1607 reforma la estructura del precio de la gasolina, unificando el impuesto global y el IVA en un solo impuesto llamado impuesto nacional y además mantiene la exención al porcentaje de mezcla del combustible. En cuanto al diésel, la Ley 734 de 2004 genera las mismas exenciones para el biodiésel, pero no incluye la sobretasa dentro de las exenciones.

Tabla 3.2 Evolución de la normativa tributaria para los biocombustibles

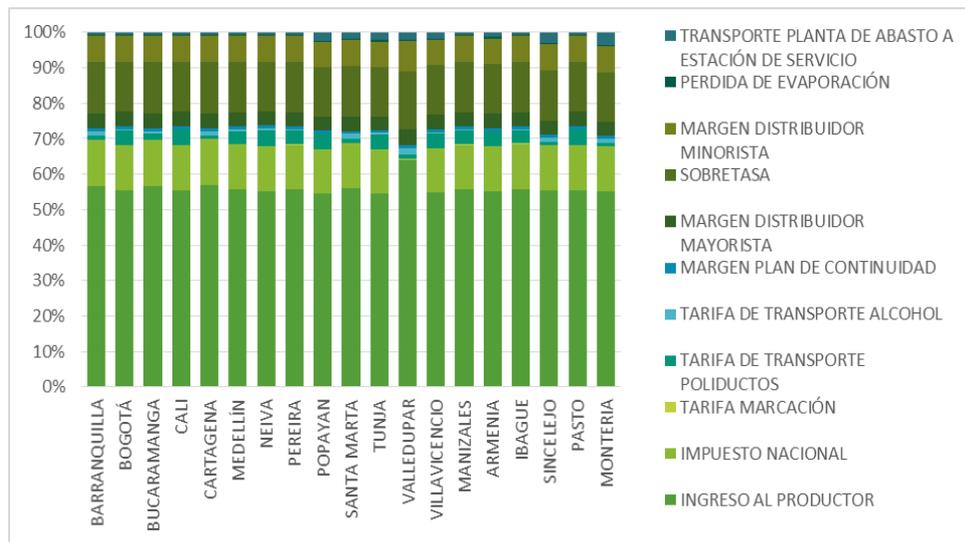
Tipo de Impuesto	Normatividad		
	Alcohol Carburante	Biodiésel	General
Impuesto Nacional			Ley 1607 de 2012
IVA	ARTÍCULO 31. Ley 788 de 2002	Ley 734 de 2004	Artículo 474 del Estatuto Tributario
Impuesto Global	ARTICULO 88.- Ley 788 de 2002	Ley 734 de 2004	Ley 681 de 2001
Sobretasa	ARTICULO 88.- Ley 788 de 2002		Artículo 55 de la Ley 788 de 2002

Fuente: Elaboración propia con base en la normativa.

En este sentido, los cálculos de costos fiscales se entienden como el número de galones de gasolina que se dejaron de tasar a las tarifas impositivas vigentes, dado que los biocombustibles están exentos de impuesto nacional y de la sobretasa. Vale la pena aclarar que con respecto a la sobretasa, sólo hay exenciones para el caso del etanol. Para realizar esta estimación se toma la estructura de precios por ciudad que define la UPME desde 2008 hasta septiembre de 2015.

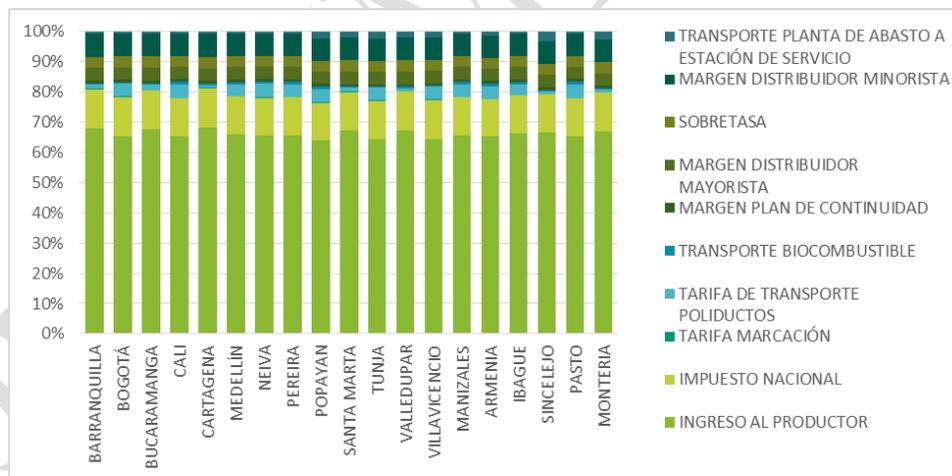
Es importante tener en cuenta que para la estimación del costo fiscal se utiliza la estructura por componentes del precio de los combustibles por ciudad con el fin de controlar por el consumo en zona de frontera. La Figura 3.3 y Figura 3.4, a continuación, presentan la participación por componentes y por ciudad del precio de la gasolina y del ACPM para febrero de 2015.

Figura 3.3 Participación por componentes en la estructura de precios de la Gasolina Motor Corriente



Fuente: Elaboración propia con base en SICOM

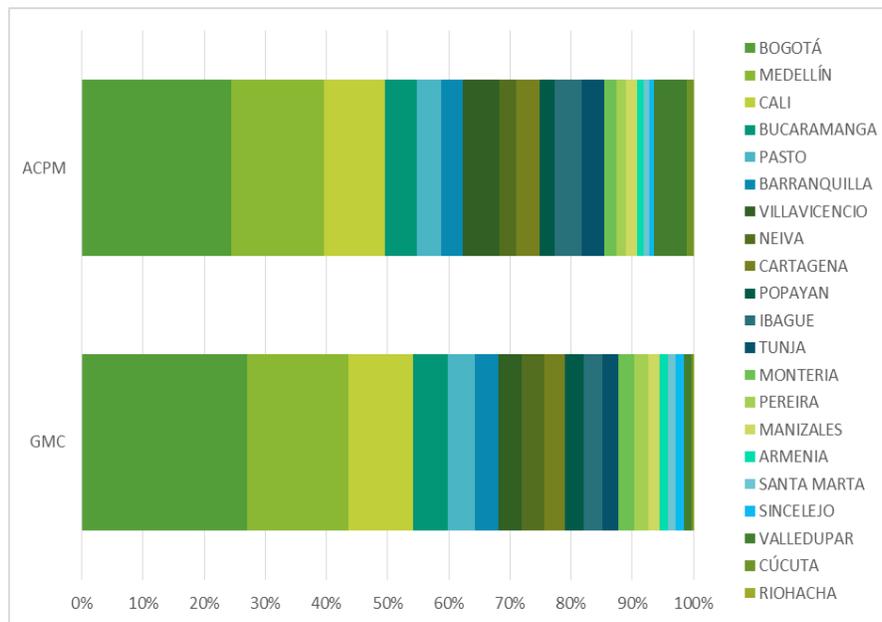
Figura 3.4 Participación componentes estructura precio ACPM



Fuente: Elaboración propia con base en SICOM

A los municipios clasificados como zona de frontera, según el criterio del MME, se les asocia una ciudad con su correspondiente estructura de precios (Pasto, Valledupar, Riohacha y Cúcuta), ver el Anexo 3. Por otro lado, usando la información del SICOM sobre el volumen de ventas de las estaciones de servicio del país, es posible identificar la participación del consumo de Gasolina oxigenada y Biodiesel. A manera de ejemplo se presentan la participación por ciudad en el consumo total de combustibles para febrero del 2015 (Ver Figura 3.5).

Figura 3.5 Participación por ciudad en el consumo total de combustibles para febrero de 2015



Fuente: Elaboración propia con base en SICOM

Dado que la información disponible en el SICOM sólo está referenciada para el período 2010 a 2014, fue necesario proyectar los años faltantes con una tendencia lineal del porcentaje de consumo de Bogotá, y para el resto de las ciudades, la proyección se hizo descontando el consumo de Bogotá, sobre el promedio de consumo de cada ciudad en los 5 años anteriores, y además normalizado la proyección para garantizar que se tenga en cuenta el 100% del consumo nacional.

La Figura 3.6 presenta la estimación de tendencia para Bogotá junto con su correspondiente proyección para los años faltantes en la base del SICOM.

Figura 3.6 Estimación de la tendencia de consumo de combustibles para Bogotá



Fuente: Elaboración propia con base en SICOM

Figura 3.7 Proyección del consumo de combustible



Fuente: Elaboración propia con base en SICOM

Ahora bien, usando la participación del consumo de combustibles por ciudad junto con la estructura de precios, se está controlando por las demás exenciones impositivas de la zona de frontera al momento de calcular el costo fiscal.

Al tomar el componente de impuesto nacional, o sobretasa, de la estructura de precios, se sabe que éste corresponde a la base gravable multiplicada por el porcentaje de combustible, o a la base gravable multiplicada por uno menos del porcentaje de mezcla de biocombustible. De esta manera el costo fiscal corresponde a los galones de combustible no tasados (equivalente al combustible por la mezcla) multiplicado por las bases gravables de los impuestos. Ver ecuaciones (1) y (1') de la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Ecuaciones que definen la base gravable para calcular las exenciones fiscales

GMC $Costo\ fiscal_{GMC} = \%Mezcla * Combsutible$ (1)
 $* (BaseImpuestoNacional * (1 - \%Mezcla) + BaseSobretasa$
 $* (1 - \%Mezcla))$

GMC $Costo\ fiscal_{GMC} = VentasEtanol * \left(\frac{Impuesto\ nacional + Sobretasa}{1 - \%Mezcla} \right)$ (2)

ACPM $Costo\ fiscal_{ACPM}$ (1')
 $= \%Mezcla * Combsutible$
 $* (BaseImpuestoNacional * (1 - \%Mzcla))$

$$ACPM \quad Csoto\ fiscal_{ACPM} = Ventas_{Biodiesel} * \left(\frac{Impuesto\ nacional}{1 - \%Mezcla} \right) \quad (2')$$

Las fórmulas (2) y (2') son estimadas para cada ciudad, usando el peso de consumo de combustibles multiplicado por el porcentaje de mezcla y normalizado para cada mes como variable proxy del consumo de biocombustible por ciudad. Entiéndase por impuesto nacional la suma del impuesto global e IVA para periodos anteriores al 2012.

3.1.5.2 Valoración de los otros efectos ambientales

La metodología anterior aplicada como complemento en el análisis de ciclo de vida, nos permite ver los efectos en el ambiente de la producción de los biocombustibles comparados con combustibles fósiles (gasolina y diésel). Se ve claramente que en la parte ambiental en general, los efectos de los biocombustibles son mayores que los de los combustibles fósiles, salvo en emisiones efecto invernadero, como lo presenta la metodología del ciclo de vida, sin embargo la cuantificación de dichos efectos en el mundo, aún está en una etapa bastante precaria.

En Europa se realizó un estudio comprensivo para toda la comunidad europea que se llamó el proyecto CASES que buscaba monetizar las emisiones por tonelada de un grupo de contaminantes incluyendo amoniaco, óxido nítrico, dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano y material particulado de 10 y 2,5 micras de diámetro aerodinámico. Después de recolectar información específica comparable para los países de la comunidad, y de hacer una revisión completa de las metodologías disponibles para valoración de impactos ambientales, fue producido un documento que muestra el valor monetario de los costos por tonelada de cada uno de los contaminantes⁴² antes mencionados, dividiéndolo por efectos sobre la salud humana, agricultura, biodiversidad y materiales de construcción, para todos los países de la comunidad europea. La base también incluye la monetización del efecto de algunos metales pesados.

Para medir la categoría de congestión el estudio actualizado en 2011, que es enfocado al sector transporte, utiliza relaciones de velocidad flujo, valor del tiempo y elasticidades de demanda. Para contaminación del aire y ruido de utiliza la aproximación de la ruta de impacto (impact pathway). Los efectos sobre la salud son valorados por la metodología

⁴² La base de datos está disponible en internet "External cost per unit of emission 08/08/21" y tiene una actualización realizada por la firma (MOVE, 2014).

de la disponibilidad a pagar y para los efectos sobre el clima, dadas las metas en las reducciones de gases efecto invernadero, se utiliza la metodología de costos de abatimiento.

Como se puede observar todas estas metodologías son ricas en información específica del sitio para el cual se están aplicando y este estudio pagado por la comunidad europea tuvo que hacer supuestos para poder completar la información para algunos países. Es complicado aplicarlos directamente a otro país, pues los resultados no serían comparables.

A pesar de lo anterior la firma consultora tomó, como un ejercicio, la magnitud de algunos de esos costos generados por los procesos productivos de los biocombustibles y especificados en el análisis de ciclo de vida, e incorporó dichos impactos en el análisis costo beneficio realizado para esta investigación, tomando los factores de emisión específicos del amoníaco y del óxido nítrico. El resultado se presenta en el análisis de costo de vida y como se puede observar tomando en cuenta solo la dimensión sobre la salud humana.

Métodos de valoración

Para este ejercicio de valoración de impactos, es importante notar que se hizo una revisión de los datos existentes que podían tener una fuente confiable para Colombia, el estudio más específico que se ha hecho en el país, aplicado al sector de los biocombustibles, fue el análisis de ciclo de vida, y en este documento, se proveen emisiones específicas en campo de 3 contaminantes, a saber: Amoníaco (NH_3), óxido de nitrógeno (N_2O) y Monóxido de Nitrógeno (NO). Estas emisiones se especifican en el documento tanto para caña de azúcar como para palma de aceite y se refieren únicamente a la etapa de cultivo. No se especifican emisiones de otros componentes, ni en el cultivo, ni en el uso de los biocombustibles, por lo que este ejercicio de valoración se constituye en una cota mínima.

También es importante anotar que dentro del cálculo de toneladas de CO_2 equivalente que se ahorra con los biocombustibles, están los efectos del óxido de nitrógeno en el calentamiento global, por lo que ya hay una medición de este compuesto en el ejercicio que se hizo sobre toneladas de CO_2 equivalente y por eso se dejó fuera de este ejercicio.

El análisis del ciclo de vida da las emisiones específicas de NH_3 , de N_2O y de NO que se tienen para los cultivos de caña de azúcar y de palma de aceite, dichas emisiones son: NH_3 : 0.00024; N_2O : 0.000077 y NO_x : 0.000016, todas en kg/kg de caña para el caso de

caña de azúcar y NH₃-N: 0.0002399, N₂O: 0.0001574 y NO_x: 0.0000330 todas en kg/kg de racimo de fruta fresca en palma. (Ver Tabla 3.6).

Los resultados del proyecto CASES muestran el costo de mitigar los efectos de una tonelada NH₃ y de NO durante un periodo de 25 años, que es el periodo de estudio, con base en la información de las tablas del proyecto CASES (European Commission under the Sixth Framework Programme), que muestra los resultados del estudio para 49 países de la Unión Europea y de África. De estos 49 países se sacaron los 9 que generan mayor varianza al indicador de costo externo relacionado con salud humana, y el promedio de los otros cuarenta países fue lo que se tomó como una proxy para Colombia.

Los valores fueron calculados para 2005 así que se utilizó la tasa de cambio promedio de ese año Euro-COP, y se deflactó la serie de valores. Cabe anotar que en este valor está incluido el costo de abatimiento de esos compuestos para llegar a la meta impuesta por la Comunidad Europea para 2025.

Tabla 3.4 Valores estimados para Colombia

Euro=2800 COP		
Emisión	Euros/ton	pesos/ton
NH ₃	5.464	\$ 18.106.459,19
NO _x	3.560	\$ 11.797.034,17

Es así que la fórmula para estimar el costo ambiental es:

$$\text{Costo Ambiental} = (\text{Ren} * \text{Ha} * \text{Factor} * \text{Costo})$$

Ren Rendimiento Toneladas/Hectáreas Nuevas (toneladas de caña o Toneladas de racimos de palma)

Ha Hectáreas totales (llanos orientales para caña, hectáreas atribuibles a biodiesel)

Factor Factor de conversión (caña o racimo palma) a Emisión

Costo Costo en miles de pesos/Tonelada

Los resultados fueron comparados con otros estudios que utilizan la base de datos y se pudo establecer que están dentro de los rangos⁴³. Los demás compuestos que muestra la tabla de costos externos no se pueden calcular pues no se tienen emisiones específicas de los mismos.

Vale la pena aclarar que de los 5 contaminantes que monetiza el proyecto CASES sólo se encontró información de emisiones específicas de tres de ellos para Colombia y son específicamente para la parte de cultivo, los efectos ambientales sobre el agua y sobre el suelo, que están parcialmente explicados por los resultados de punto medio que se presentan en la parte de costos ambientales no cuantificados del documento, se debería hacer un estudio separado para poder cuantificar la mitigación de los efectos de la eutrofización, acidificación del suelo y ecotoxicidad, entre otros.

3.1.5.3 Otros costos ambientales no cuantificados

Resultados de punto medio

En el análisis de ciclo de vida para Colombia, como complemento del estudio se muestran resultados sobre otras áreas del ciclo que nos permiten ver con una mayor profundidad los efectos de los biocombustibles en el ambiente.

En un país rico en biodiversidad como Colombia la imposición de un mono cultivo puede generar efectos importantes en los sistemas ecológicos vigentes, que solo serán evidentes cuando el daño sea irreparable, los biocombustibles han mostrado, en general, que tienen más efectos directos sobre la naturaleza que los combustibles fósiles dado su origen renovable. (Nocker, Spirinckx, & Torfs, 1998) cuestionan que el biodiesel de colza sea ambientalmente más amigable que el diésel fósil, mostrando que el biodiesel tiene efectos negativos en la acidificación del suelo, la eutrofización, el smog de verano, uso de inorgánicos, uso de agua y residuos radiactivos y no radiactivos, los cuales en todos los casos son mayores que los efectos negativos del diésel fósil, solo superando a este último en las categorías de uso de combustibles fósiles y calentamiento global. Para este estudio el índice ambiental del biodiesel es más dañino que el del diésel fósil, aunque no se procedió a monetizar dichos efectos debido a que los estudios de valoración económica ambiental son en su mayoría costosos y de largo alcance, y casi que deben ser el fin único de la investigación y no una actividad extra.

⁴³ En este caso se habla de (Santamaría & Azqueta, 2015) y (Nocker, Spirinckx, & Torfs, 1998).

Resultados similares encuentran (Ceuterick & Spirinckx, 1997) y (Coulon, Camobreco, Sheehan, & Duffield, 1996). Muchas de esas conclusiones se pueden aplicar a todas las formas de biodiesel, en general generan más contaminantes inorgánicos, fomentan la acidificación del suelo y la eutrofización. En algunos casos, como el etanol de caña, genera mayor smog de verano que la gasolina corriente (*este se forma cuando los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles reaccionan con las radiaciones ultravioletas y el oxígeno, produciendo ozono y otros compuestos, tomado de (Maldonado, 2011)*), debido a las quemas precosecha, lo que genera un impacto directo sobre la salud de las personas.

Los resultados del análisis del ciclo de vida para Colombia están en línea con esos resultados, de acuerdo con las mediciones realizadas alrededor del ecoindicador 99⁴⁴. La metodología del ecoindicador 99 (de acuerdo con (Geodkoop & Spriensma, 2000)) indica los efectos sobre el ambiente teniendo en cuenta tres tipos de daños dirigidos a:

- Salud Humana: en esta categoría se incluye el número y duración de enfermedades, y los años de vida que se pierden debido a muerte prematura debido a causas relacionadas con el ambiente.
- Calidad del Ecosistema: aquí se tienen en cuenta los efectos sobre diversidad de las especies, especialmente en plantas vasculares y organismos inferiores.
- Recursos: esta categoría considera la energía extra que se requerirá en el futuro para extraer minerales y recursos fósiles de menor calidad.

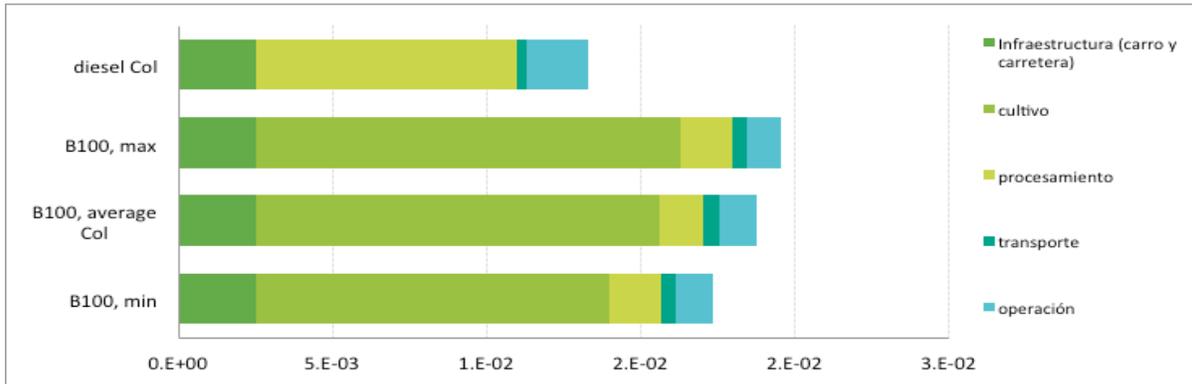
En este contexto el análisis tuvo los siguientes hallazgos para los tipos de biocombustibles:

Biodiesel

La comparación del diésel fósil con el biodiesel en Colombia (Figura 3.8) en las diferentes categorías que contempla el ecoindicador 99 indican que la medida para el biodiesel es superior comparada con el diesel fósil (143% en promedio). La fase de cultivo contribuye especialmente al impacto ambiental total y se genera por la ocupación del suelo, previniendo que el área se regenere naturalmente (alrededor del 70% del impacto), tal y como lo enuncian (Consorcio CUE para BID y MME, 2012).

⁴⁴ Un eco-indicador 99 es una medición que expresa la carga total al ambiente que genera un producto o proceso productivo. El método tiene ponderación entre categorías de daño, lo que hace posible la comparación de puntuaciones por fase de ciclo de vida. (Geodkoop & Spriensma, 2000).

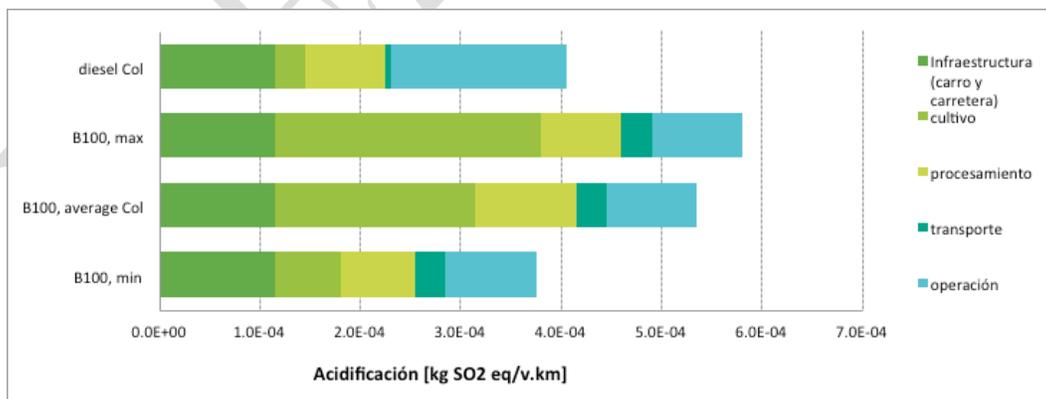
Figura 3.8 Eco-indicador 99 para comparar el diésel fósil con el biodiesel en

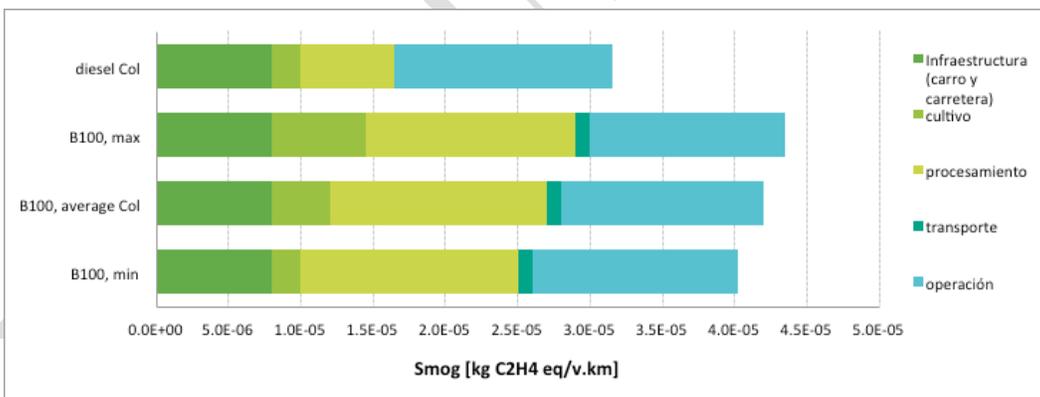
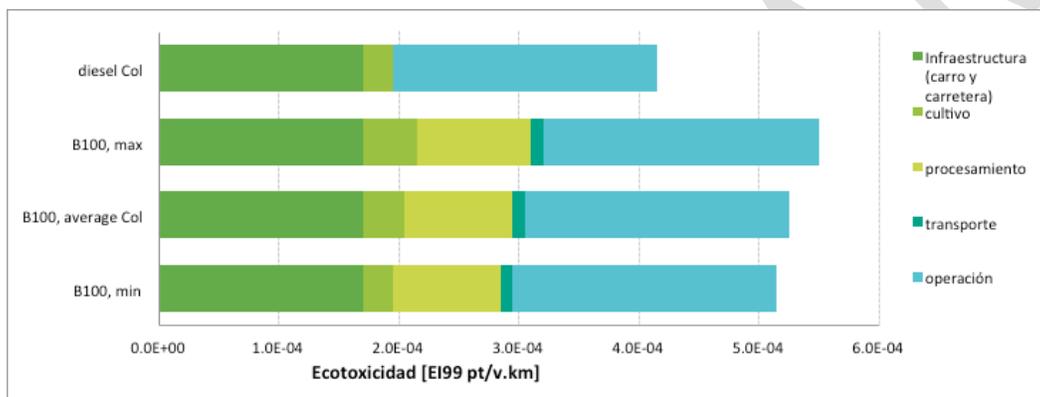
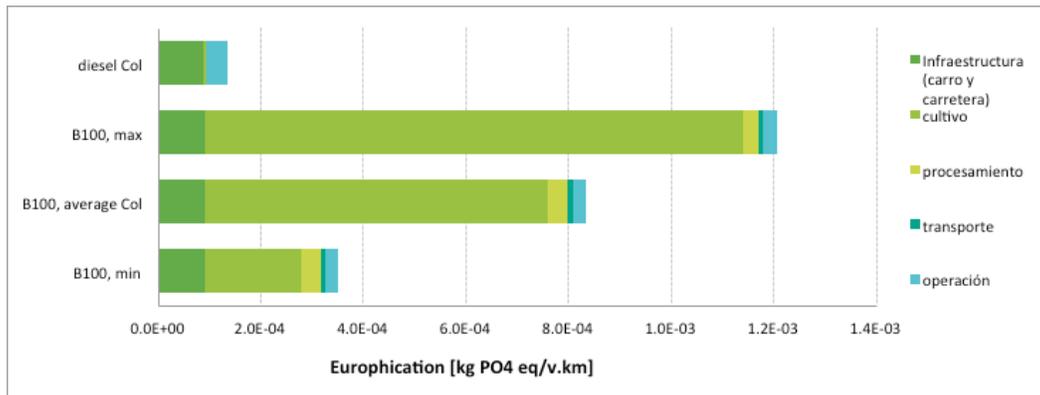


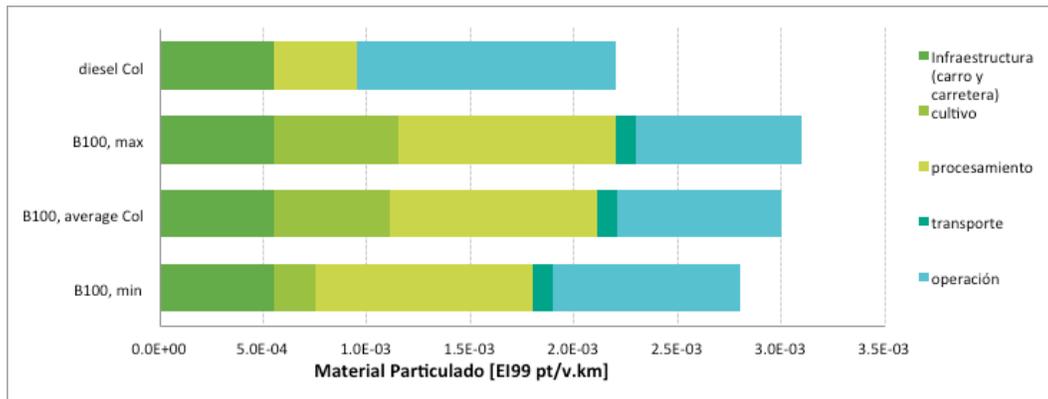
Fuente: Tomado de (Consortio CUE para BID y MME, 2012)

En la Figura 3.9 se presentan las comparaciones de las diferentes dimensiones del ecoindicador 99 del biodiesel comparado con el diésel fósil, acidificación, eutrofización, ecotoxicidad, smog de verano y material particulado son comparadas con el combustible de referencia. Se puede observar que en todos los casos el diésel fósil tiene menores indicadores de contaminación que el biodiesel. Dada la alta demanda de infraestructura que generó la construcción de plantas de biodiesel en el país, en sectores relativamente alejados de cascos urbanos, podemos observar un deterioro en el indicador de eutrofización y de acidificación del suelo. En el resto de indicadores predomina la fase operativa del biodiesel.

Figura 3.9 Comparación de las dimensiones del eco indicador







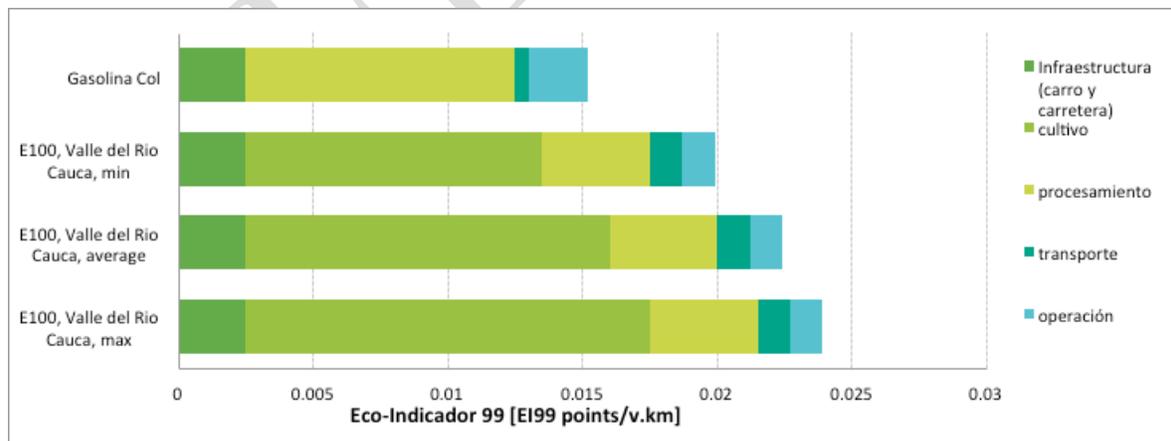
Fuente: Tomado de (Consortio CUE para BID y MME, 2012)

Esto se debe tomar como un factor de alerta, sobre todo en lo que se refiere a las zonas donde se está cultivando palma de aceite, ya que históricamente muchas de ellas habían tenido poco contacto con agroindustrias.

Etanol

La Figura 3.10 describe del impacto ambiental agregado del etanol a través del Eco-Indicador 99, que se reporta como 141% mayor al de la gasolina sin mezclas de etanol. El principal causante de dicho índice es el cultivo, dado que tiene efectos directos en la salud humana a través de la quema pre-cosecha

Figura 3.10 Impacto ambiental agregado del etanol

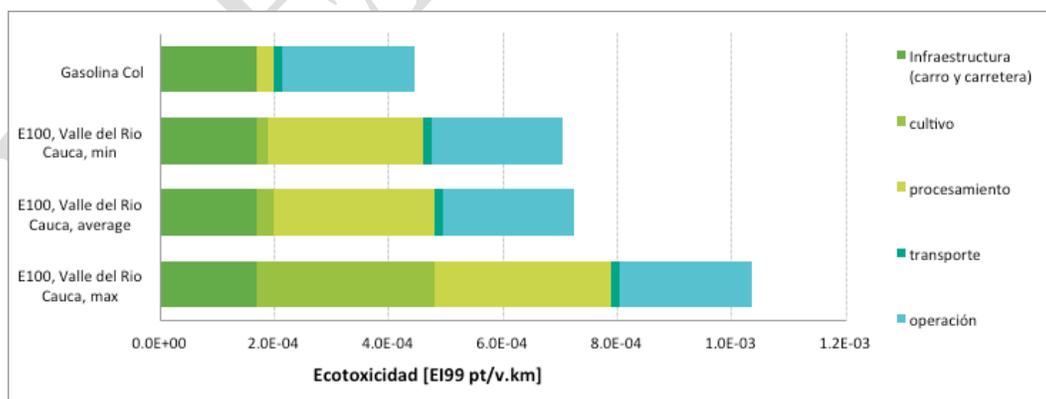
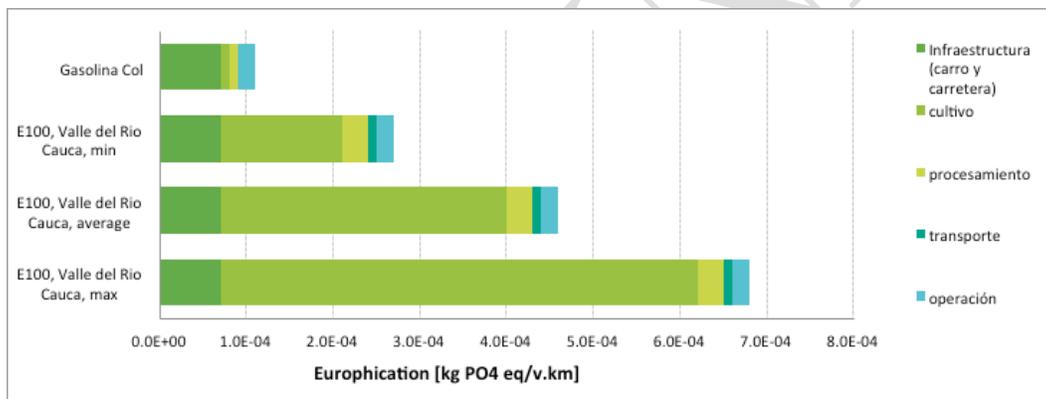
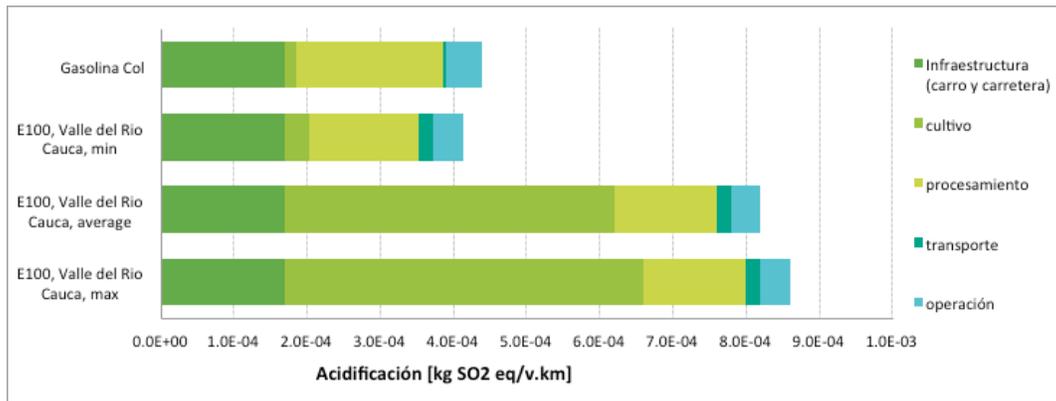


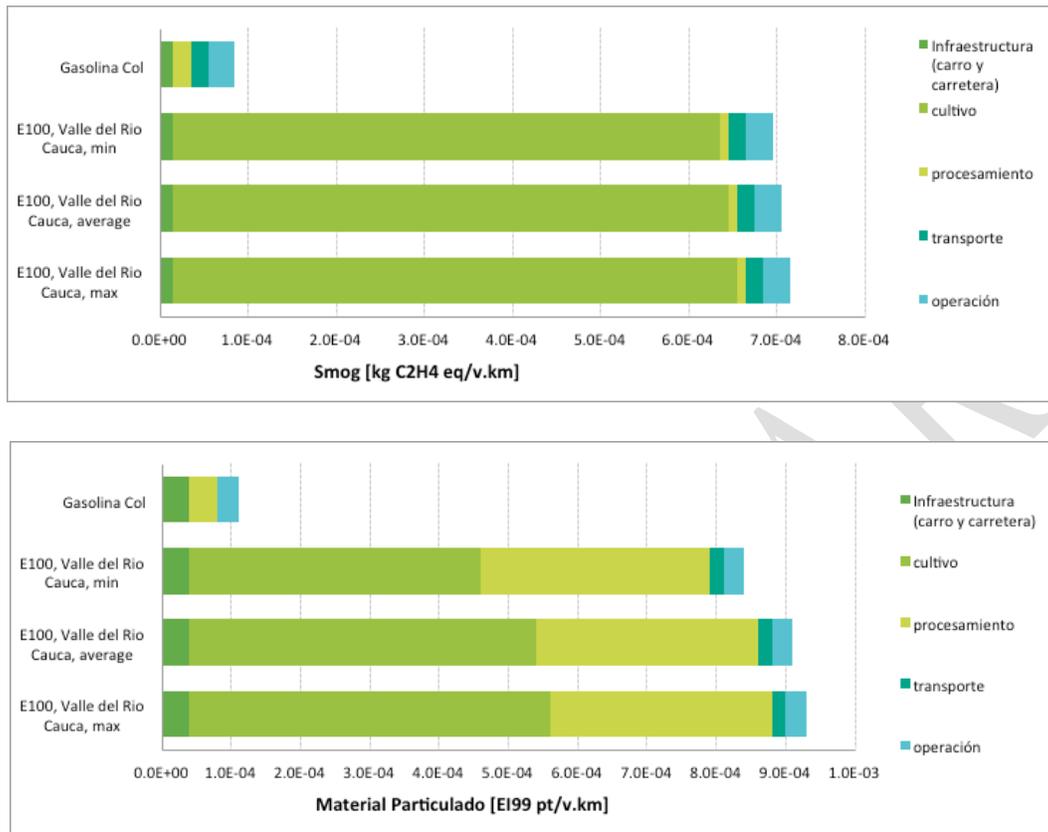
Fuente: Tomado de (Consortio CUE para BID y MME, 2012)

En los paneles de la Figura 3.11 se puede ver mejor el efecto perverso de la quema pre-cosecha, incluso comparado con el combustible fósil en la gráfica de smog de verano, la mayor parte de la eco-toxicidad es generada por las emisiones de la fábrica y sorprende

que en el indicador de material particulado la parte de cosecha tenga más influencia que el procesamiento del combustible.

Figura 3.11 Efecto perverso de la quema pre-cosecha





Fuente: Tomado de (Consorcio CUE para BID y MME, 2012)

Finalmente, aunque el Eco Indicador 99 presenta limitaciones relacionadas con la ausencia de modelos de impacto ambiental para los diferentes entornos en Colombia y algunos parámetros han utilizado los indicadores del estándar europeo, dado que para el presente estudio se utiliza su información para corroborar las conclusiones encontradas, resulta ser una herramienta útil que permite validar e identificar los impactos ambientales sobre el ciclo de vida de los diferentes combustibles.

3.2 PROYECCIONES DE DEMANDA DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

La presente sección corresponde a las estimaciones tenidas en cuenta para proyectar las diferentes demandas de combustibles líquidos del país. La decisión final en este aspecto para efectos de la presente evaluación fue suscribirse a los cálculos que lleva a cabo la UPME, como la autoridad máxima en estos temas en Colombia. Sin embargo, el Anexo 4 presenta ejercicios de estimaciones propias, que en caso de considerarse pertinente podrán usarse en los análisis costo beneficio, como sustitutos de la fuente oficial, considerando las limitaciones en términos de información que puede tener la UT con respecto a la UPME.

3.2.1 Proyecciones UPME

Para la estimación de la demanda de combustibles líquidos se toman los tres escenarios de ACPM, Gasolina publicados en "Proyección de demanda de combustibles en el sector transporte en Colombia" revisión marzo 2015 realizado por la UPME, Dirección de Hidrocarburos. Esta estimación se realiza de forma analítica con información del sector de transporte identificando el comportamiento del parque automotor y cambios en la movilidad de los usuarios, se asume que la inelasticidad de los precios se mantiene constante.

Dentro del análisis se evidencia la proyección del comportamiento del parque automotor como número de vehículos, rendimiento y distancia recorrida. Este es complementado con información de movilidad en cuanto a pasajeros transportados, carga transportada, nivel urbano e interurbano y conceptos de eficiencia operativa. Para el presente análisis Costo-Beneficio se toman los tres escenarios base de demanda de combustible para el sector de transporte. Estos se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Escenarios base para la demanda de combustible en el sector transporte

	ACPM (BDC)			Gasolinas (BDC)		
	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo
2012	106,437	106,437	106,437	84,409	84,409	84,409
2013	110,209	110,209	110,209	87,036	87,036	87,036
2014	113,688	113,688	113,688	89,206	89,206	89,206
2015	116,883	116,883	116,883	91,167	91,167	91,167
2016	120,950	120,351	119,749	93,268	92,732	92,192
2017	125,854	124,612	123,366	96,417	95,300	94,178
2018	130,481	128,560	126,640	101,214	99,458	97,698
2019	134,932	132,288	129,653	106,391	103,932	101,472
2020	139,067	135,672	132,300	110,942	107,737	104,535
2021	144,192	139,982	135,812	115,366	111,350	107,345
2022	148,109	143,053	138,059	119,006	114,112	109,235

2023	152,554	146,598	140,732	125,135	119,291	113,480
2024	159,423	152,513	145,732	129,918	123,117	116,364
2025	166,326	158,393	150,636	135,853	127,995	120,208
2026	171,620	162,651	153,908	140,074	131,340	122,731
2027	175,634	165,625	155,900	144,702	134,822	125,097
2028	180,336	169,341	158,704	150,019	139,072	128,337
2029	185,888	173,721	161,990	155,896	143,719	131,807
2030	190,254	176,909	164,082	161,082	147,633	134,501

Para lograr estas proyecciones la UPME realiza una estimación de vehículos usando información histórica, la cual busca modelar una curva de saturación del mercado bajo un modelo de algoritmo genético. Allí se asume que el crecimiento de las motos en el parque automotor absorbe parte del crecimiento de los automóviles. Con esta información se estima un parque automotor con 21.3 millones de vehículos en el 2030. Respecto a la movilidad, el estudio utiliza como fuente primaria las proyecciones de población del DANE, ajustándolas a un análisis de series de tiempo, para 4 regiones analizadas. Con estos cálculos se logra estimar viajes urbanos e inter urbanos. Finalmente, con estos dos insumos se estima el escenario base de proyección de demanda de combustibles líquidos. El modelo de costo beneficio usa como insumo principal el escenario medio de la estimación realizada por la UPME.

3.3 ESCENARIOS DE PROYECCIÓN

3.3.1 Supuestos

El primer paso para el desarrollo de los ejercicios de proyecciones de demanda es aclarar una serie de supuestos que se deben tener en cuenta sobre las variables de los costos y beneficios. Estos incluyen:

Tabla 3.6 Supuestos del análisis Beneficio-Costo

Categoría	Descripción	Unidad	Valor
Conversión	litros a galones	Lt/Gal	0.26417
Conversión	densidad biodiesel	Kg/M3	871.52705
Conversión	densidad biodiesel	Kg/Gal	3.29909

Conversión	Galones por tonelada	Gal/Ton	303.11400
Conversión	Ton biodiesel por ton aceite crudo	Ton/Ton	1.08000
Conversión	Euro/Peso	Euro/Peso	
Salario	Factor prestacional		1.38000
Mayor consumo	Porcentaje de mayor consumo por mezcla GMC	%	0.03000
I+D	Porcentaje de los ingresos invertidos en investigación y desarrollo ACPM/GMC	%	0.0030
Lubricidad	Porcentaje de lubricidad por KG ACPM	%	0.00015
Lubricidad	Precio aditivo R680 de infeum	USD/Kg	4.5
Emisiones	Costo por tonelada de emisión (CO ₂ equivalente 2010)	COP	127376
Emisiones	Emisión de gasolina	Ton CO ₂ /Gal	0.01
Emisiones	Emisión de diésel	Ton CO ₂ /Gal	0.012
Emisiones	Emisión de biodiesel	Ton CO ₂ /Gal	0.002
Emisiones	Emisión de etanol	Ton CO ₂ /Gal	0.003
Emisiones	NH ₃ Cultivos nuevos de Caña	Kg amoniaco/Kg caña	0.000240
Emisiones	NOx Cultivos nuevos de Caña	Kg amoniaco/Kg caña	0.000016
Emisiones	NH ₃ Cultivos atribuibles a Biodiesel	Kg amoniaco/Kg racimo palma	0.000240
Emisiones	NOx Cultivos atribuibles a Biodiesel	Kg amoniaco/Kg racimo palma	0.000033
Emisiones	valor NH ₃ a 25 años	Euros/ton	5464
Emisiones	valor NOx a 25 años	Euros/ton	3560
Emisiones	valor NH ₃ a 25 años, ajustada Colombia	Miles Pesos/ton	18106
Emisiones	valor NOx a 25 años, ajustada Colombia	Miles Pesos/ton	117974
Industria	Capacidad instalada Etanol existente	Miles Gal/año	185686.5346
Industria	Capacidad instalada Etanol industria nueva	Miles Gal/año	41844.8529
Industria	Capacidad instalada Biodiesel existente	Miles Gal/año	230669.7540
Industria	Capacidad instalada Biodiesel nueva	Miles Gal/año	30311.4000
Importación	Flete Costa del Golfo a Colombia	USD/Gal	0.04
Importación	Flete Poliducto Pozos Colorados - Barranca	USD/Gal	0.03
Importación	Mercado Cartagena	USD/Gal	0.2
Importación	Valor ponderado por mercados	USD/Gal	0.064
Exportación	Factor exportación azúcar-etanol	Kg/Gal	4.6674

3.3.1.1 Producción de etanol

Se asume que la planta Rio Paila Castilla empezará a producir desde 2016 una cantidad de 250.000 litros día para contribuir a la oferta de etanol del país.

3.3.1.2 Costo/Beneficio del usuario por la diferencia de precios entre el biocombustible y el combustible fósil

A partir de la estructura del panel de precios por ciudad que va desde 2008 hasta 2015, por tipo de biocombustible, tal y como se describió en el cálculo de los costos fiscales, se construyeron imputaciones del consumo de combustibles en las diferentes zonas del país (incluyendo las diferencias con municipios fronterizos). Dichas estimaciones tuvieron en cuenta el volumen de ventas por ciudad, ver referencia en los costos fiscales. La Figura 3.12 resume las fórmulas usadas en el cálculo de los ingresos al productor de alcohol y biodiesel.

Figura 3.12 Fórmulas para la proyección de los ingresos a los productores de biocombustibles

$$\left(IP_{alcohol} - \left(IP_{Gasolina(oxigenar)} + \frac{1}{1 - \%Mezcla} (Impuesto nacional + sobretasa) \right) \right) * VolumenVentasAlcohol \quad (3)$$

$$IP_{Biodiesel} - \left(IP_{ACPM(oxigenar)} + \frac{1}{1 - \%Mezcla} (Impuesto nacional) \right) * VolumenVentasBiodiesel \quad (3')$$

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los precios del azúcar, para la proyección 2015-2025 se usó el precio del alcohol siguiendo el contrato No. 5 de Londres, además de los precios del azúcar que reporta el Banco Mundial. De la mano de esta proyección también se hace necesario hacer supuestos sobre la Tasa Representativa del Mercado (TRM) del peso colombiano. Entonces, se hace uso de valores en pesos colombianos de 2014.

Figura 3.13 Proyección del precio del azúcar, en dólares nominales

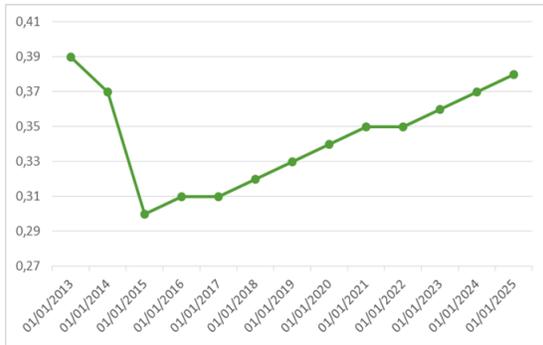
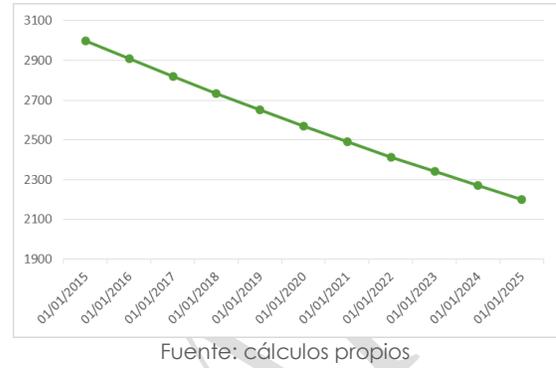


Figura 3.14 TRM del COP a precios constantes de 2014



Luego se transforma la serie anual en dólares a pesos con periodicidad mensual, y se interpolan los datos con una tendencia lineal, tanto para la TRM como para el precio del azúcar internacional en pesos

Figura 3.15 Supuesto sobre la TRM

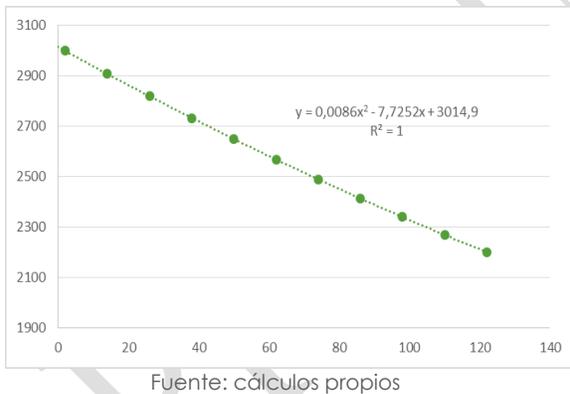
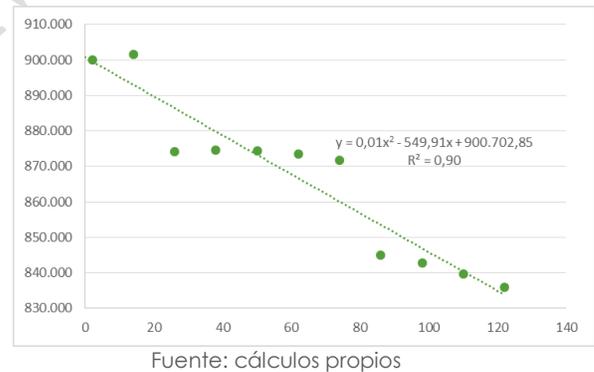


Figura 3.16 Supuesto sobre la proyección del azúcar

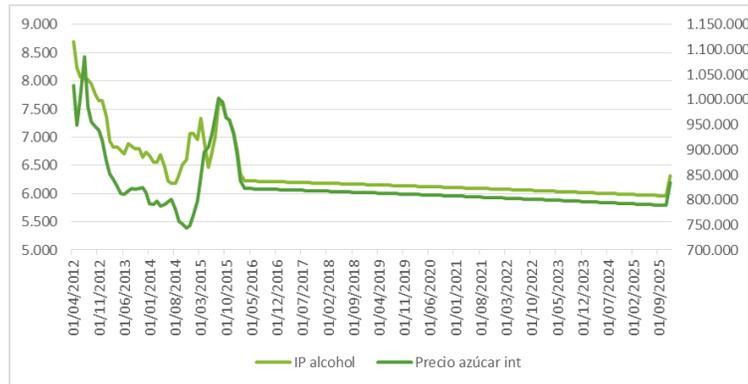


El ingreso al productor del alcohol se proyecta siguiendo los lineamientos de la Resolución 180643 de 2012 del MME. La proyección se realizó con la fórmula:

$$VEAC(t) = ((AZLN(t) - 26) * TRM - 33642) * 0.0079194 - 22.39$$

que se explica en el Anexo 2, donde VEAC(t) es el ingreso del productor, AZLN(t) es el promedio de los seis meses anteriores del precio internacional del azúcar blanco refinado, de acuerdo con la proyección del Banco Mundial y TRM es la tasa de cambio proyectada.

Figura 3.17 Proyección del ingreso al productor de alcohol carburante



Fuente: Cálculos propios

Por otra parte, el ingreso al productor de biodiesel se proyecta usando las variaciones del precio internacional, aunque se debe recordar que los precios colombianos están intervenidos a través de la franja andina de precios que hace parte del fondo de estabilización de la palma (Ver

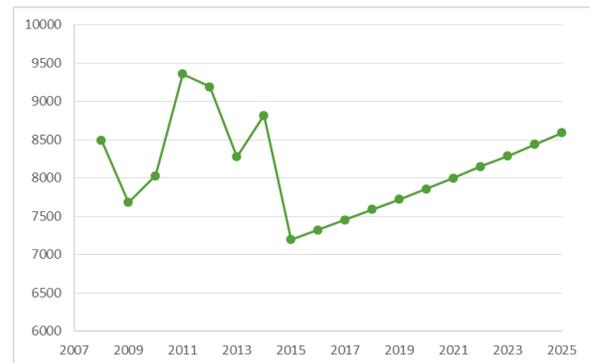
Figura 3.18).

Figura 3.18 Proyección del precio del aceite de palma en dólares nominales



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial

Figura 3.19 Proyección del ingreso al productor de biodiesel de palma



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial

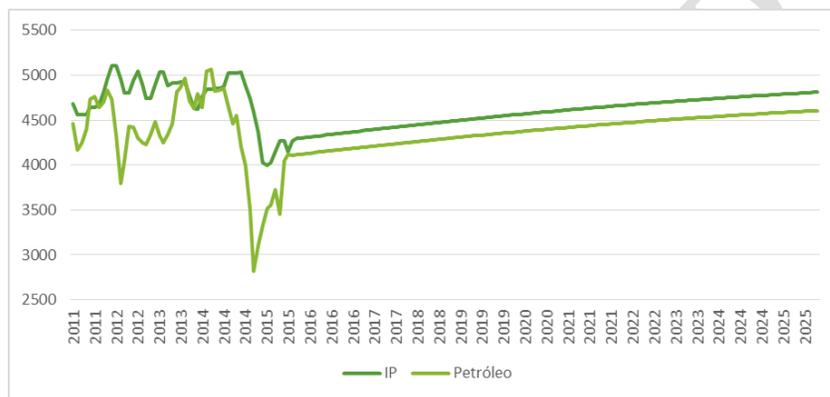
Por último se calcula el ingreso al productor de combustible para oxigenar, y se proyecta haciendo uso las predicciones del Banco Mundial del precio de crudo, actualizadas a junio del 2015; siguiendo la fórmula del ingreso al productor definida como:

$$IP_t = IP_{t-1} * (1 + c)$$

$$\text{donde } c = \text{signo}(IP'_{t-1} - IP'_{t-3}) * (\min(1 + 0.03, \max\left(\frac{\text{Promedio}(IP'_{t-1}, IP'_{t-2})}{\text{Promedio}(IP'_{t-2}, IP'_{t-3})}, \frac{\text{Promedio}(IP'_{t-2}, IP'_{t-3})}{\text{Promedio}(IP'_{t-1}, IP'_{t-2})}\right) - 1)$$

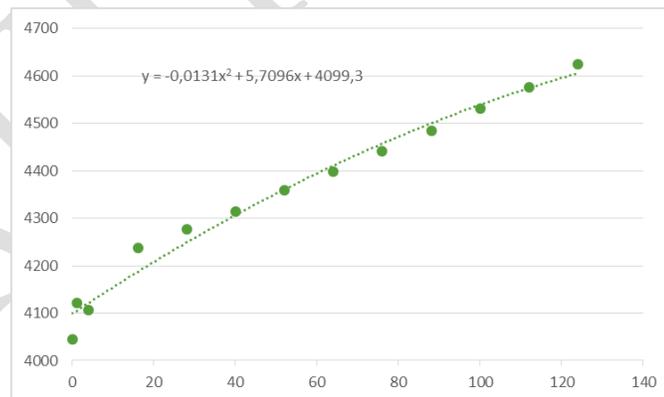
donde IP'_t es el precio internacional del petróleo según la proyección del Banco Mundial, convertido a pesos de 2014 con la tasa de cambio proyectada.

Figura 3.20 Pronóstico del ingreso al productor de gasolina



Fuente: Cálculos propios

Figura 3.21 Proyección del precio del crudo en pesos colombianos de 2014



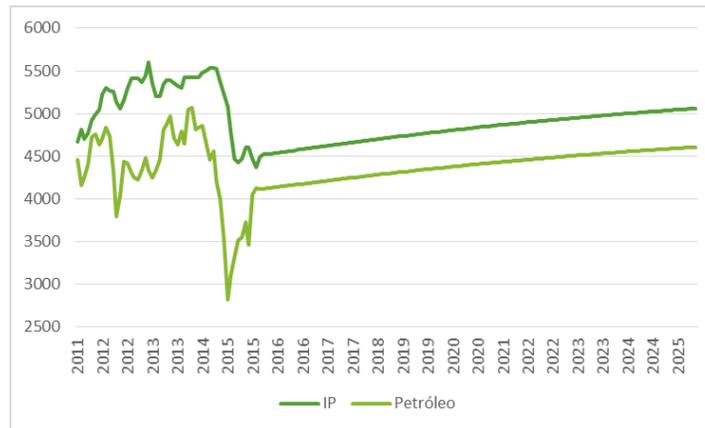
Fuente: Cálculos propios

En el caso del diésel se utiliza la misma fórmula pero cambia el valor del diferencial de compensación a 2.8%

$$\text{donde } c = \text{signo}(IP'_{t-1} - IP'_{t-3}) * (\min(1 + 0.028, \dots))$$

$$, \max \left(\frac{\text{Promedio}(IP'_{t-1}, IP'_{t-2})}{\text{Promedio}(IP'_{t-2}, IP'_{t-3})}, \frac{\text{Promedio}(IP'_{t-2}, IP'_{t-3})}{\text{Promedio}(IP'_{t-1}, IP'_{t-2})} \right) - 1)$$

Figura 3.22 Pronóstico del ingreso al productor de ACPM



Fuente: Cálculos propios

Volviendo al cálculo del costo/beneficio del usuario frente al precio descrito en la ecuación (3), también es necesario proyectar el impuesto nacional y la sobretasa. Para el primero se asume que la base gravable de 2014, \$1096,49 COP, mantiene constante y cambia con la proporción de mezcla. En cuanto a la sobretasa, se calcula la proporción del impuesto sobre el ingreso al productor del combustible fósil y se fija en un porcentaje de 25,3% para la proyección. Al multiplicar este porcentaje por el ingreso al productor anteriormente proyectado se obtiene la sobretasa para los diferentes años. Es importante recalcar que la sobretasa solo aplica para el etanol, ya que el biodiesel no está exento de este impuesto.

3.3.1.3 Estimación Costo QA/QC

El siguiente costo busca cuantificar el valor asociado al manejo de la cadena de distribución los biocombustibles. En particular, la mayoría de estos costos están al manejo específico del biodiesel. Desde 2009 el Gobierno incrementó el margen a los distribuidores minoristas para adecuar el sistema al manejo del biodiesel, pero existen vacíos en cuanto al manejo de residuos contaminados, y las opciones no son claras aun cuando existen normas para el tratamiento del mismo.

Siguiendo la cartilla de "*Buenas prácticas de manejo para el biodiesel y las mezclas diésel – biodiesel en la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados de petróleo en Colombia*" publicada por el MME en 2011 se identifican las siguientes buenas prácticas para el manejo de biodiesel:

- Prácticas de recibo
- Almacenamiento de mezcla
- Limpieza de tanques
- Control de contaminación microbiana
- Manejo de filtros
- Contingencias y derrames
- Hermeticidad del sistema
- Control de humedad
- Disposición de residuos
- Tiempos máximos de almacenamiento
- Control de inventarios

Ahora bien, de estas prácticas se identifican como costos de la política aquellas que impliquen un mayor costo de manejo debido a la entrada del biodiesel en la distribución. Teniendo como referentes la información recogida en los grupos focales, y en las entrevistas con diferentes expertos, el equipo consultor decidió tomar solamente los costos asociados al manejo de filtros y el lavado de tanques como los principales costos implicados al manejo de biodiesel. Vale la pena contrastar la información dada por los minoristas reportan una mayor frecuencia de lavado de tanques, 2-3 veces por año, frente a 1-2 que hacían sin la llegada de biocombustibles. Frente a los filtros se identifica que los cambiaban 2 veces al año mientras que con la llegada de biocombustibles, en casos extremos, puede llegar hasta 1 vez cada mes.

Para las proyecciones de los costos asociados al QA-QC, se definieron tres tipos de estación de servicios según el promedio de ventas de combustible mensual (menos de 10.000 galones, entre 10.000 y 80.000, y más de 80.000), y se imputan los costos asociados ponderados por el porcentaje de población urbana respecto a la población rural, esto con el fin de capturar el número de estaciones en ubicación rural y urbana. Finalmente, el costo calculado se proyecta hasta 2025 con un crecimiento dado por la tasa de inflación esperada.

3.3.1.4 Costo de transporte por poliducto versus transporte por carro-tanque

Este costo hace referencia a la diferencia de precios por no poder transportar el porcentaje de mezcla por poliducto; la única excepción está en el diésel que se transporta con una mezcla de 2% por el poliducto. Existe una amplia heterogeneidad en las tarifas de transporte por poliducto por ciudad, así como en la tarifa de transporte de alcohol o de biocombustible que se realiza por carro-tanque. Por lo que la estimación se realiza por ciudad para los cada una de las tarifas mencionadas y se obtiene el promedio ponderado por volumen del biocombustible (etanol o biodiesel). De acuerdo con la estructura de precios, el costo se estima como:

$$\left(\frac{\text{tarifa Alcohol}}{\%Mezcla} - \frac{\text{tarifapoliducto}}{1 - \%Mezcla} \right) * \text{VolumenVentasBiodiesel}$$
$$\left(\frac{\text{tarifa Biodiesel}}{\%Mezcla - 0.02} - \frac{\text{tarifapoliducto}}{1 - \%Mezcla + 0.02} \right) * \text{VolumenVentasBiodiesel}$$

Para la proyección, debido a la heterogeneidad de las tarifas, las estimaciones del porcentaje de combustible que consumen se hacen por ciudad a precios constantes del 2014, junto con las tarifas de poliducto y transporte de alcohol, usando el promedio de los últimos 3 años; esto es, asumiendo que la participación en la venta del biocombustible por ciudades se mantiene.

3.3.1.5 Costo de la inversión

Es claro que la inversión requerida para iniciar operaciones es uno de los costos importantes en el que incurrieron los inversionistas, así que las inversiones registradas por las plantas en las observaciones in-situ fueron tomadas como uno de los costos de la política.

Las otras inversiones importantes son las inversiones en investigación y desarrollo que se vio obligado a hacer el sector para asumir el reto de los biocombustibles. Según los datos de Cenipalma las inversiones en investigación y desarrollo, para el período 2005-2011 fueron de \$5.900 millones de COP, al tomar este rubro como proporción del ingreso del sector y calculado como el volumen de ventas multiplicado por el ingreso al productor de biodiesel, menos la estimación de empleo directo, se encuentra que la inversión en I+D es en promedio 0,3%. Por otra parte, usando información del SIREM y tomando 1.5% de la utilidad neta de las 5 plantas de etanol como el valor que se invierte en I+D, con respecto a la estimación del ingreso se encontró que la proporción

es de 0,2%⁴⁵. Con estos valores en mente, y comparando las cifras que compila el Banco Mundial sobre la proporción del PIB que invierte Colombia en I+D (0.17% del PIB para 2012), el equipo consultor decidió aplicar al sector un porcentaje de inversión en I+D de 0.3% porque sus inversiones están por encima del promedio de otros sectores de la economía del país.

3.3.1.6 Mayor consumo de combustible para el caso de la gasolina (3%)

Como se explicó en la Sección 2.5.2, los estudios muestran que hay un incremento en el consumo de los vehículos al hacer uso de los biocombustibles. Los rangos de mayor consumo varían para el etanol desde el 3% hasta el 11%, y para el biodiesel desde el 3% hasta el 16%, debido a las propiedades químicas diferentes del biocombustible en comparación con el fósil. Vale la pena destacar que la evidencia no es concluyente con respecto al biodiesel derivado de la palma, por esta razón se tendrá en cuenta el mayor consumo dentro de los análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros del ACB y en el anexo 7.

Para el caso de etanol, cuyas evidencias son más claras, se decidió tomar la cota inferior del intervalo (3%) para medir los costos por mayor consumo, éstos se multiplicaron por el volumen de ventas de gasolina oxigenada por el lado del consumidor final; y también por el ingreso al productor de alcohol, que redundará en un aumento de sus ingresos. Cabe resaltar que ese mayor consumo también genera beneficios fiscales por un aumento en el recaudo de 3% que viene de los impuestos que se aplican a la parte fósil.

3.3.2 Escenarios

⁴⁵ Si bien el presupuesto de Ceñicaña representa el 0.7% del PIB del sector, no es posible afirmar que el 100% de tales recursos se dedica totalmente al avance de los biocombustibles. De acuerdo con la información reportada en la Figura 2.30 para el período 2012-2014, donde se estabilizó la proporción de azúcar que se dedica a etanol, solo el 20.69% de la producción se transforma en alcohol. De esta forma se asume que la inversión en I+D para los avances en biocombustibles es proporcional a esta magnitud, y asciende a 0.144%. Para efectos de prácticos, y para no penalizar los esfuerzos de Ceñicaña debido a la dificultad de aislar la I+D que solo afecta los biocombustibles, la consultoría decidió tomar el valor más alto posible dentro de las opciones descritas en este apartado y se aplicó el mismo para ambos sectores: biodiesel y etanol.

La valoración de costos y beneficios se efectuó obteniendo el valor presente neto de los distintos conceptos de análisis, en pesos constantes de 2014 y con una tasa de descuento de 7,75%, que es la última publicada por el MHCP para proyectos de APP y concesión, como se explicó en la Sección 3.1.3. Los flujos se evaluaron descontados desde el inicio de la producción de cada biocombustible; esto es, desde 2005 para alcohol y desde 2008 para biodiesel. La proyección de estos flujos de beneficios y costos se hizo hasta el año 2025.

A continuación se presentan tres escenarios del análisis costo beneficio:

- Escenario base o de mezcla de 10% - E10 y B10
- Escenario de mezcla de 20% en 2020 - E20 y B20
- Escenario óptimo

Para cada escenario se describen de manera gráfica los resultados, presentando primero los costos y beneficios identificados, luego agrupándolos por los tres grandes temas de análisis – económico, social y ambiental –, y finalmente por eslabones de la cadena – agrícola, industrial, distribución, consumo transversal –, este último para aquellos temas que tienen que ver con más de un eslabón de la cadena de producción.

En cada escenario se presentan primero los resultados para alcohol y luego para biodiesel.

3.3.2.1 Escenario base o de mezcla de 10% - E10 y B10

Este escenario corresponde a la evaluación de la política en la situación actual. Aunque en la realidad no se ha llegado a la mezcla de 10% en ninguno de los dos biocombustibles, se asume que en un año se logra la meta en biodiesel y en dos años en alcohol.

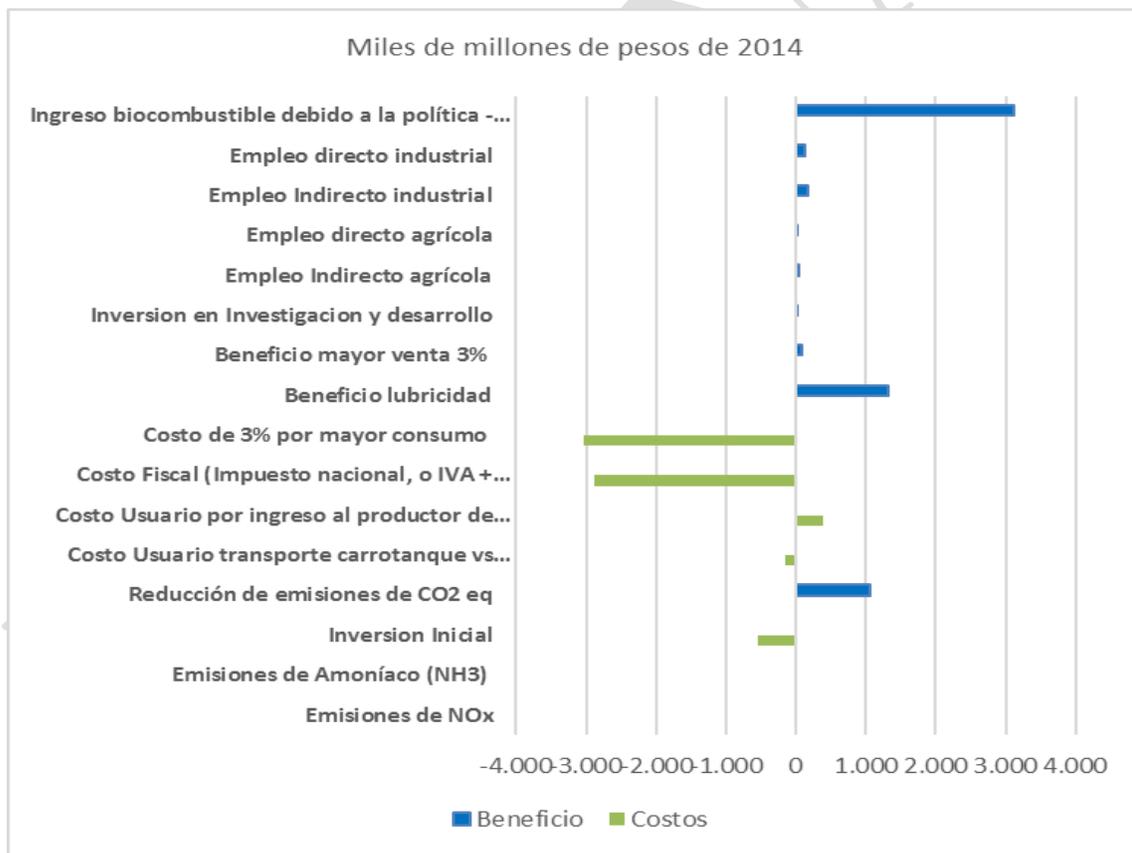
Alcohol

La Figura 3.23 ilustra la valoración realizada de los beneficios y costos identificados para la evaluación de la política de biocombustibles. Como se puede apreciar el beneficio más importante es el de ingresos del sector, el cual recoge el valor agregado de la industria. Le sigue el beneficio por mayor consumo de combustible, que se da por las propiedades caloríficas de la mezcla (etanol y gasolina), el mayor recaudo que genera el aumento del consumo, dada la condición anterior; y finalmente, la reducción de costos del combustible fósil debida a que se sustituyó el oxigenante que se utilizaba antes del alcohol y por la adición de nafta a la gasolina para efectos de reducirle el

octanaje de manera que la mezcla se obtenga con el octanaje especificado por la UPME. Por el lado ambiental se destacan los beneficios que generan las reducciones en emisiones de CO₂ equivalente. Los demás beneficios son relativamente pequeños respecto de los ya enunciados.

Los costos más relevantes son los del 3% mayor de consumo que implica la mezcla con alcohol, causado por la reducción de poder calorífico; el costo fiscal para el Estado, que comprende los impuestos que éste ha dejado de recibir, tanto en cabeza de la Nación, impuesto nacional (antes de 2012 impuesto global más IVA), como en cabeza de los municipios, sobretasa, y el costo por inversión inicial. Igual que en los beneficios, los demás costos no son de gran relevancia.

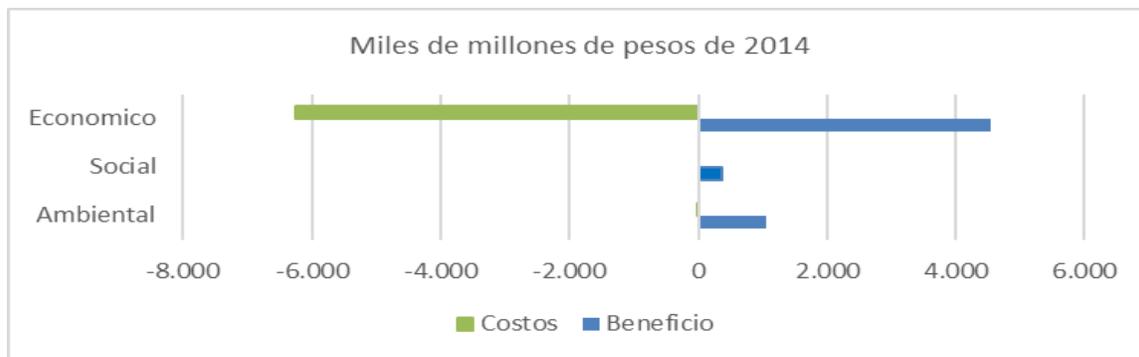
Figura 3.23 Valoración de los beneficios y costos identificados en la gasolina mezclada con alcohol carburante, E10



Fuente: Econometría S. A.

Los beneficios y costos identificados, agrupados según los grandes temas del análisis costo beneficio, se presentan en la Figura 3.24. El mayor valor, tanto de beneficios como de costos, es de naturaleza económica.

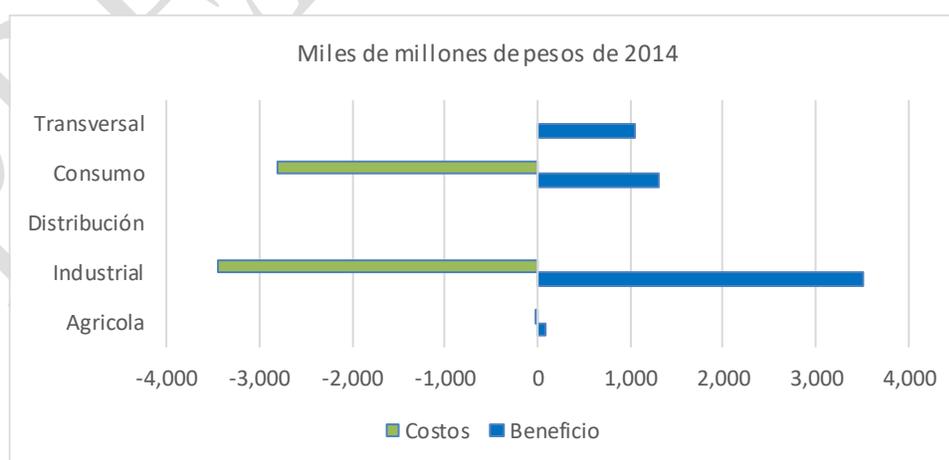
Figura 3.24 Valoración de los beneficios y costos según los grandes temas de la evaluación, para el combustible E10



Fuente: Econometría S. A.

La Figura 3.25 presenta estos resultados por eslabones de la cadena de producción. En el caso de alcohol carburante, los beneficios y costos más relevantes se materializan en los eslabones industrial y de consumo del combustible E10. En el caso industrial la razón de beneficio a costo es de 1,02, mayor que la razón total, debido especialmente a que en este eslabón se materializa el beneficio de los ingresos del sector y el costo fiscal del Estado apenas resta en cerca de una tercera parte. En el eslabón de consumo, la razón beneficio a costo es de 0,47, por la importancia que tiene el costo por el 3% mayor de consumo ya explicado

Figura 3.25 Valoración de los beneficios y costos por eslabón de la cadena de producción del etanol, en el combustible E10



Fuente: Econometría S. A.

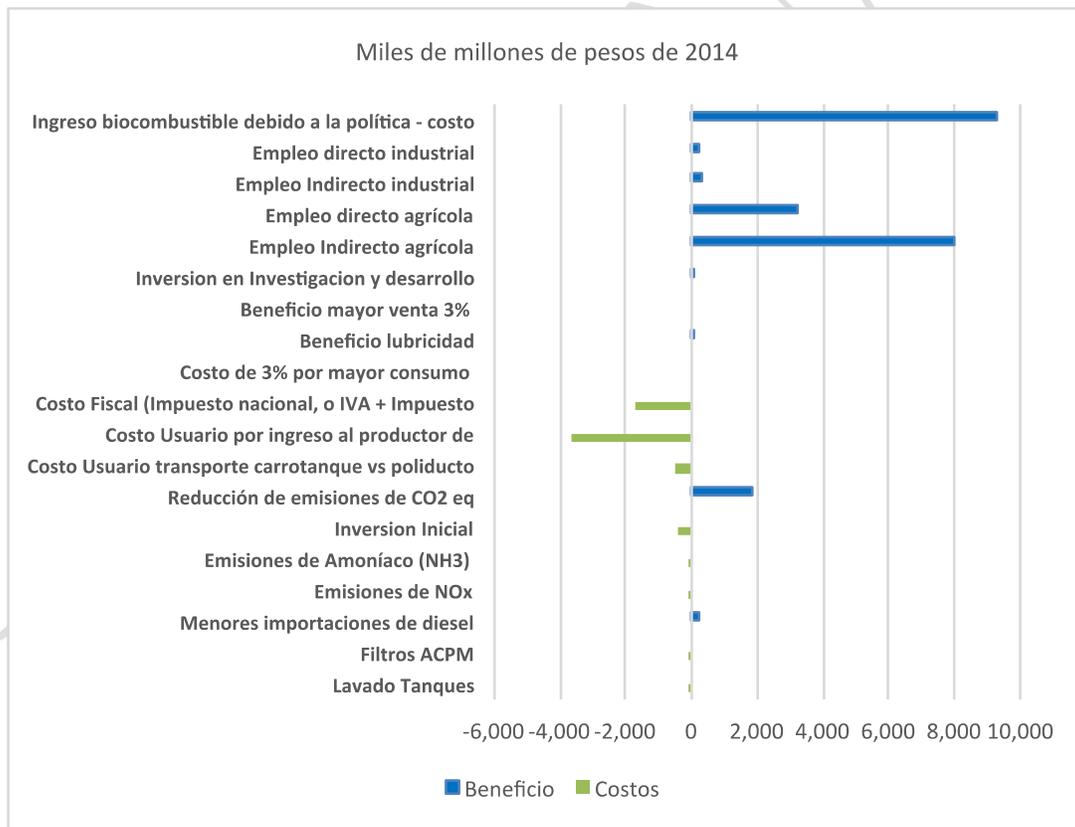
La razón costo beneficio total de este escenario del combustible E10 es de 0,95.

Biodiesel

Los beneficios más relevantes en este escenario del combustible B10 son los ingresos del sector y la generación de empleo, en que es mayor el beneficio del empleo indirecto que el del directo (Ver Figura 3.26).

Los costos más relevantes son el mayor costo para el usuario debido a que el ingreso al productor de biodiesel es mayor que el del ACPM fósil más los impuestos, y el costo fiscal para el Estado, que en el caso del biodiesel solo es la parte en cabeza de la Nación.

Figura 3.26 Valoración de los beneficios y costos identificados en el ACPM mezclado con biodiesel, B10

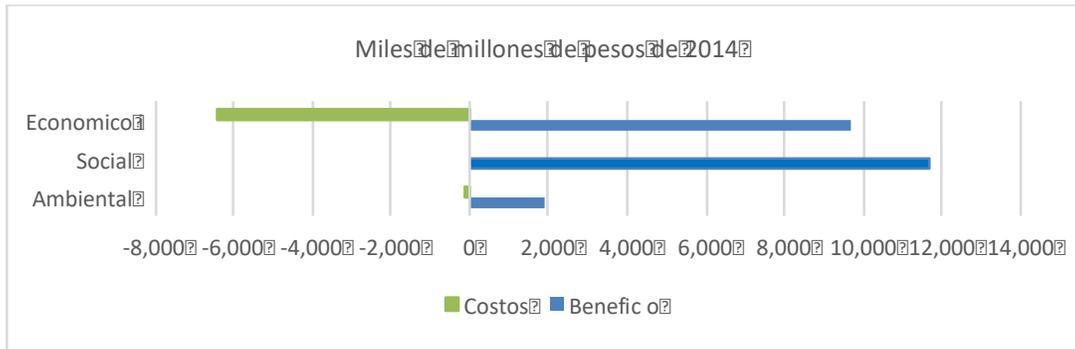


Fuente: Econometría S. A.

Los beneficios y costos identificados, agrupados según los grandes temas del análisis costo beneficio, se presentan en la Figura 3.27. El mayor valor de los costos es de naturaleza económica (razón beneficio a costo de 1,5), mientras que para beneficios es

la dimensión social; sin embargo, para el combustible B10 se materializa un beneficio social importante debido a la generación de empleo.

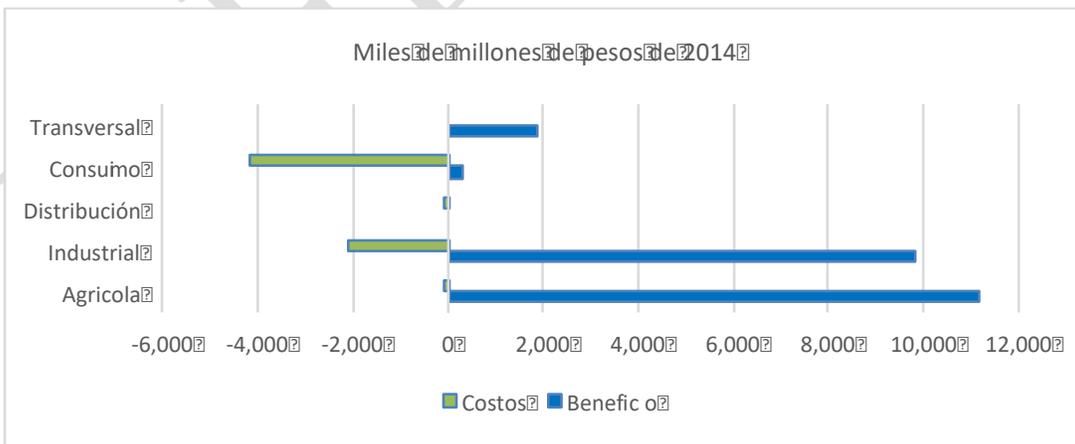
Figura 3.27 Valoración de los beneficios y costos según los grandes temas de la evaluación, para el combustible B10



Fuente: Econometría S. A.

La Figura 3.28 presenta estos resultados por eslabones de la cadena de producción. En el caso de biodiesel, los beneficios y costos más relevantes ocurren en los eslabones industrial, agrícola y de consumo del combustible B10. En el primero la razón de beneficio a costo es de 4,66, causado por los ingresos del sector. En el eslabón agrícola es relevante el beneficio social de empleo, por lo que la relación de beneficio a costo es de 109,29.

Figura 3.28 Valoración de los beneficios y costos por eslabón de la cadena de producción del biodiesel, en el combustible B10



Fuente: Econometría S. A.

La razón costo beneficio total de este escenario del combustible B10 es de 3,55.

3.3.2.2 Escenario de mezcla de 20% en 2020 - E20

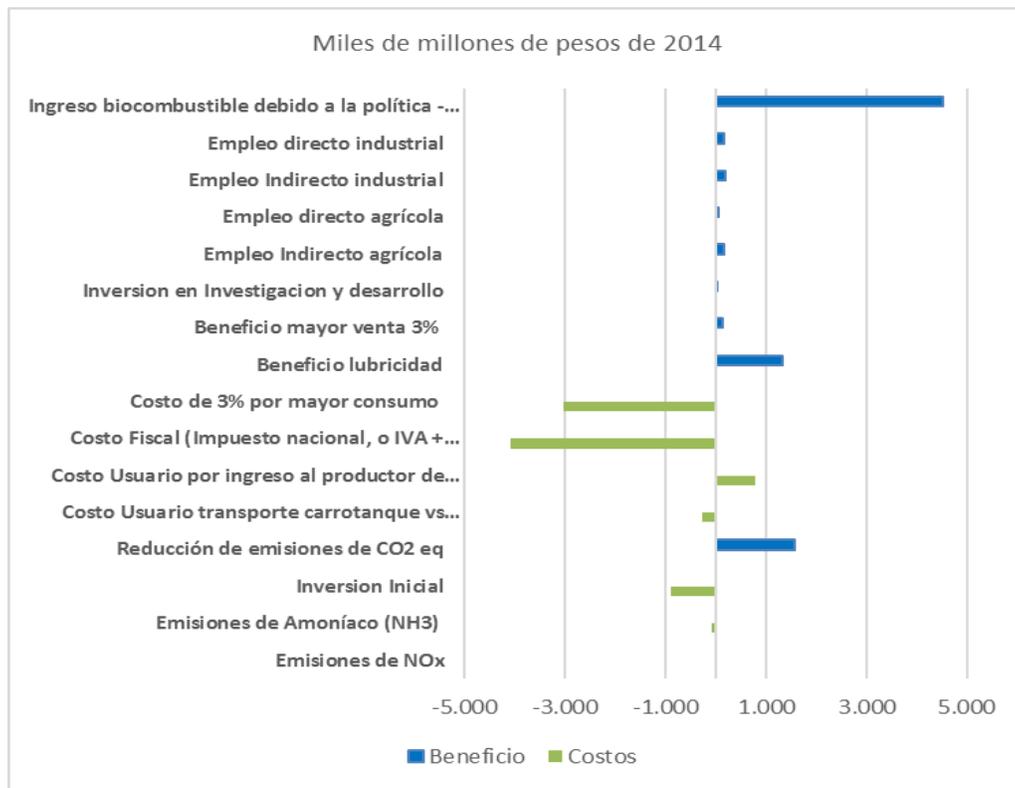
Alcohol

La Figura 3.29 describe la valoración realizada de los beneficios y costos identificados para la evaluación de la política de biocombustibles en el caso del combustible E20

Como se presentó para el escenario anterior, el beneficio más importante es el de ingresos del sector, éste representa el valor agregado de la industria. En orden de magnitud le siguen los beneficios por la reducción de emisiones de CO₂ equivalente y los beneficios por lubricidad. Los demás beneficios no son relevantes.

El costo más relevante en este caso corresponde al sacrificio fiscal en que incurre el Gobierno, seguido por el 3% mayor de consumo que implica la mezcla con alcohol, causado por la reducción de poder calorífico, entre otras especificaciones técnicas, y el costo relacionado con las inversiones iniciales requeridas para lograr este nivel de mezcla. Los demás costos y beneficios calculados no representan mayor importancia en el análisis.

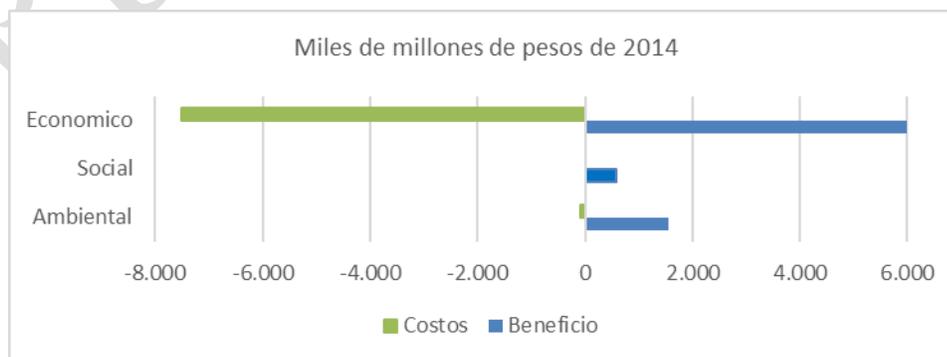
Figura 3.29 Valoración de los beneficios y costos identificados en la gasolina mezclada con alcohol carburante, E20



Fuente: Econometría S. A.

Los beneficios y costos identificados, agrupados según los grandes temas del análisis costo beneficio, se presentan en la Figura 3.30. El mayor valor, tanto de beneficios como de costos, es de naturaleza económica, seguido por lo ambiental, y por último la dimensión social. La razón beneficio a costo para la dimensión económica es de 0,80.

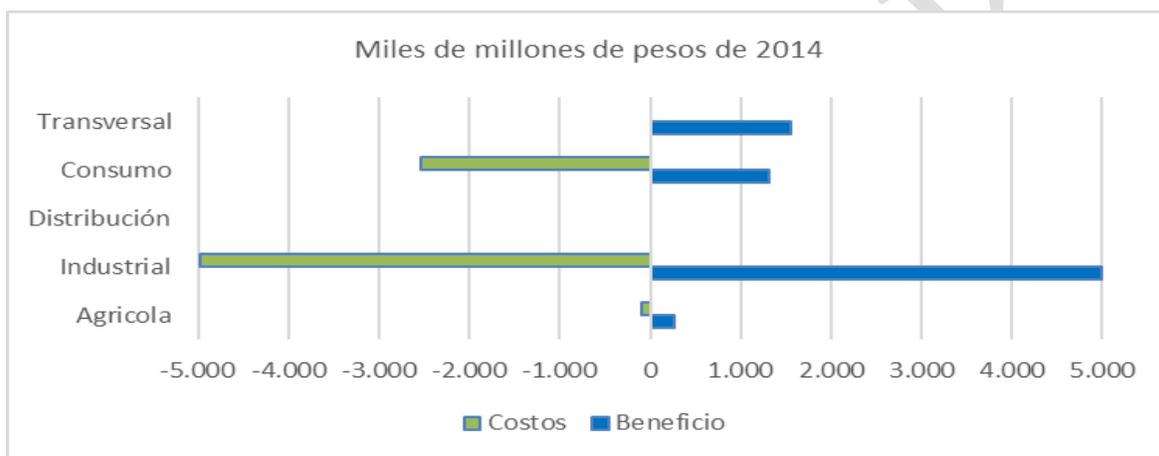
Figura 3.30 Valoración de los beneficios y costos según los grandes temas de la evaluación, para el combustible E20



Fuente: Econometría S. A.

Figura 3.31 presenta los resultados por eslabones de la cadena de producción. En el caso de alcohol carburante, los beneficios y costos más relevantes se materializan en los eslabones industrial y de consumo del combustible E20. En el primero, la razón de beneficio a costo es de 1,0012; en este eslabón se materializa el beneficio de los ingresos del sector. En el eslabón de consumo la razón es de 0,52, por la importancia que tiene el costo por el 3% mayor de consumo ya explicado.

Figura 3.31 Valoración de los beneficios y costos por eslabón de la cadena de producción del etanol, en el combustible E20



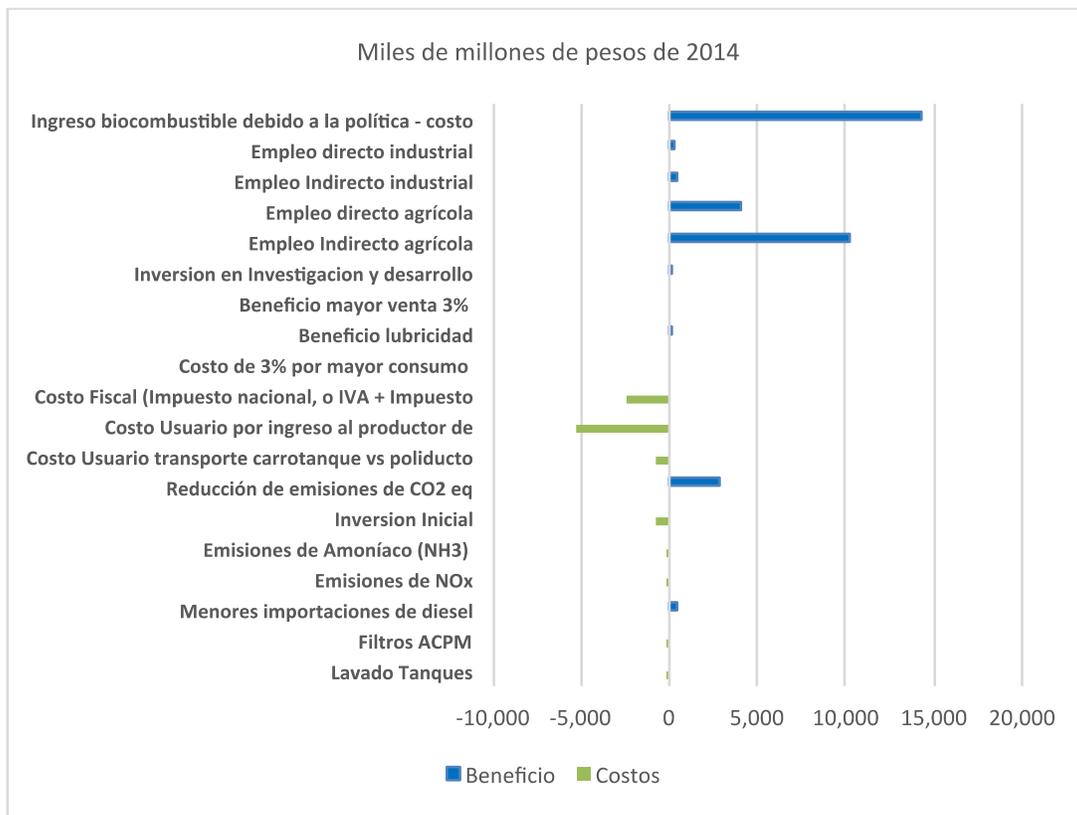
Fuente: Econometría S. A.

La razón costo beneficio total de este escenario del combustible E20 es de 1.0678.

Biodiesel

En cuanto al escenario de mezcla de un 20% a 2020 con incrementos paulatinos, este porcentaje de mezcla se logra en 2019 porque las áreas nuevas sembradas hasta diciembre de 2014 lo permiten, se observa que el beneficio más relevante se atribuye al valor generado por la producción de Biodiesel en las Refinerías seguido por el empleo industrial y agrícola (Ver Figura 3.32), tanto indirecto (mayor) como directo. Los mayores costos son el mayor precio al usuario debido al uso de biodiesel, y el costo fiscal para el Estado.

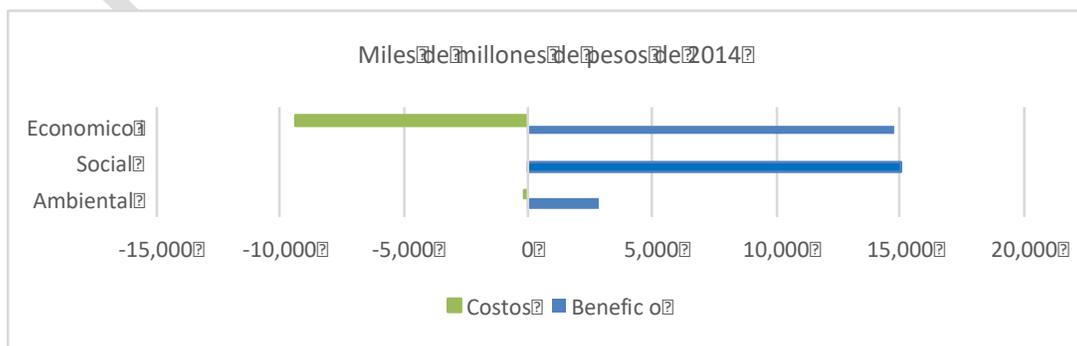
Figura 3.32 Valoración de los beneficios y costos identificados en el ACPM mezclado con biodiesel, B20



Fuente: Econometría S. A.

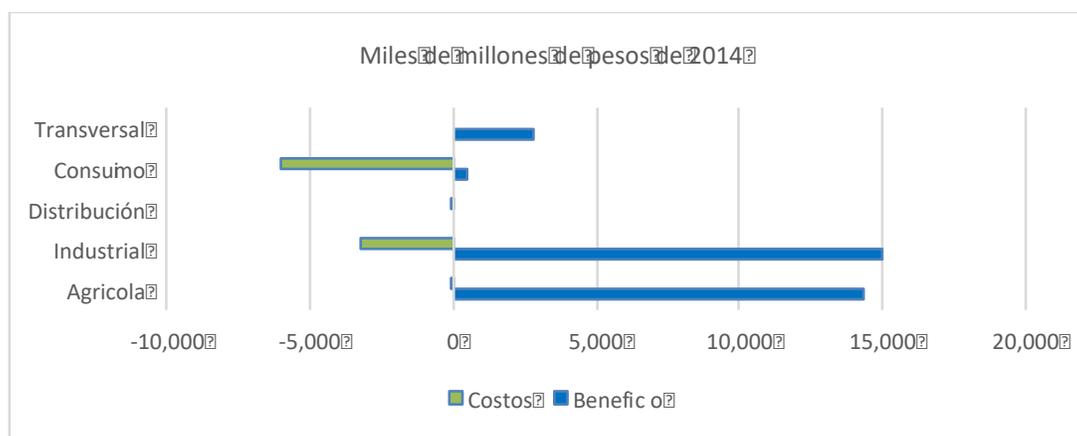
Los beneficios y costos identificados, agrupados según los grandes temas del análisis costo beneficio, se presentan en la Figura 3.33. El mayor valor, tanto de beneficios como de costos, es de naturaleza económica, aunque también es importante el beneficio social (empleo).

Figura 3.33 Valoración de los beneficios y costos según los grandes temas de la evaluación, para el combustible B20



A continuación se presentan estos resultados por eslabones de la cadena de producción. En el caso de Biodiesel, los beneficios y costos más relevantes se materializan en los eslabones industrial, seguido por el eslabón agrícola y el de consumo (Ver Figura 3.34).

Figura 3.34 Valoración de los beneficios y costos por eslabón de la cadena de producción del biodiesel, en el combustible B20



Fuente: Econometría S. A.

La razón costo beneficio total de este escenario del combustible B20 es de 3,44 mostrando una disminución en el beneficio frente al escenario B10 causado principalmente por el costo asociado al consumo.

3.3.2.3 Mezcla óptima

Para obtener la mezcla óptima se hizo el ejercicio de calcular la relación de beneficio a costo para varios porcentajes de mezcla de cada uno de los biocombustibles, de ser una función creciente o decreciente no acotada, se hace necesario tener en cuenta otras consideraciones para establecer la restricción que permita determinar el punto óptimo. Sin embargo, es necesario señalar que existen limitaciones en la inclusión de restricciones técnicas o de costos y/o beneficios ambientales que no es posible estimar, afectando la forma de la curva beneficio a costo que se presenta en esta sección. Algunas de estas restricciones implican:

- Costos ambientales no cuantificables como: efectos sobre la biodiversidad, ecotoxicidad, acidificación del suelo, eutrofización, aldehídos, aerosoles, compuestos orgánicos diferentes al metano.
- Efectos de los cambios generados por el cambio en el ecosistema que genera el cultivo extensivo de palma.
- Cambios en la frontera agrícola
- Cambios en el valor de la tierra
- Mayor uso de combustibles por menor poder calorífico
- Cambios requeridos en el parque automotor para soportar las mezclas
- Restricciones sobre la importación de vehículos con motores flexibles impuestas por los tratados comerciales que ha negociado el país
- Necesidad de mejora y evolución del proceso de implementación del QA-QC.

Es muy importante entender que la relación costo beneficio como se muestra en este estudio quiere decir cuántos pesos de beneficios le genera el sector a la sociedad, por cada peso de costo, por lo que maximizar esta relación significa que se está maximizando la eficiencia de los pesos invertidos en el sector. Una relación creciente no acotada quiere decir que dicha eficiencia crece a medida que se aumenta el porcentaje de mezcla y, de no haber restricciones técnicas o de otro orden, el óptimo estaría en 100%; puesto de otra manera, estas restricciones fijarían el punto óptimo.

Limitaciones del análisis costo beneficio

Un resultado matemático de esta naturaleza no puede desconocer el hecho de que existen otras restricciones en Colombia para poder llegar a mezclas superiores al 20%, uno de los más importantes aspectos son las repercusiones sobre los vehículos con las nuevas tecnologías euro4 que ahora deben comenzar a operar, y que según los expertos van a ser más sensibles a los problemas que se han presentado hasta ahora con el biodiesel, particularmente; la evidencia aún no es clara en cómo la mezcla de etanol con la gasolina afecta el desgaste de los motores en el largo plazo. Por el lado del biodiesel, se debe prestar especial importancia a los problemas de filtrabilidad y de flujo en frío que presenta con la mezcla del aceite de palma colombiano.

- Mayor costo a los consumidores

El otro problema es que el precio que enfrentan los consumidores, a causa del menor poder calorífico, a medida que se incrementa la mezcla va a ser mayor, pues el consumo de combustible se incrementa relativamente (para el análisis se ha mantenido el mínimo

de 3% en el caso del etanol); así, los consumidores terminarían pagando un combustible muy costoso.

Los resultados de los estudios indican que el mayor consumo de combustible está entre 3% y 15% dependiendo de la mezcla de biodiesel o etanol que se haya incorporado. Se realizó un análisis de sensibilidad permitiendo variar el costo por mayor consumo de combustible a medida que se incrementa la mezcla para llegar de un 3% a un 6%, y el resultado es que las relaciones costo beneficio son menores pero las funciones siguen siendo crecientes. Ver también la información en el anexo 7.

El otro costo para el usuario está afectado por el costo del biodiesel y el etanol en Colombia, el cual arrastra ineficiencias intrínsecas al mecanismo de fijación de precios (ya se había mencionado cómo el tema de la franja de precios del Sistema Andino ha hecho que en los últimos meses el precio se pegue al límite inferior de la misma, y las distorsiones que crean las fórmulas para determinar el ingreso al productor). Estos mecanismos son propios de sectores regulados, lo cual hace pensar en la necesidad de buscar fórmulas para promover la competencia.

- Costo del uso de la tierra

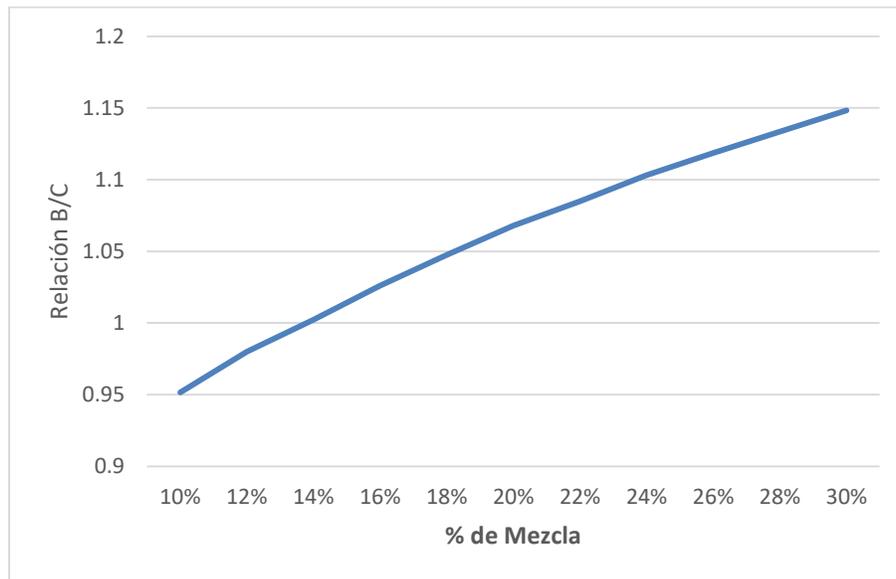
Un factor que no se ha tomado en cuenta por la carencia de información específica es el costo de la tierra en los sectores en donde probablemente se van a expandir los cultivos de palma de aceite, o donde potencialmente se podrían tener cultivos de caña de azúcar (aún con rendimientos menores a los de la zona del Valle del Cauca). Este costo en el uso de la tierra podría, no solo tomar los beneficios extraordinarios que se plantean para este sector, sino que volvería ineficiente cualquier otro cultivo o actividad pecuaria que haya en estas regiones del país. En el caso particular de la palma de aceite, la ganadería extensiva, que en realidad podría volverse más eficiente para generar un mayor valor agregado, y la siembra de cereales estarían amenazadas por los cultivos de palma. Sin embargo, no existe un estudio concluyente que dé cuenta de los verdaderos impactos del valor de la tierra para el crecimiento de estos sectores.

Alcohol Carburante

Como se aprecia en la Figura 3.35, los resultados para etanol no muestran un máximo global de la relación costo beneficio, es más, existe una relación creciente a medida que se incrementa el porcentaje de mezcla, este escenario sería capaz de absorber la producción que de la planta de Bioenergy una vez esta entre en operación el próximo año. Sin embargo, como se explicará más adelante, hay que tener en cuenta las

restricciones técnicas que no captura el modelo y que son clave para determinar un rango óptimo de mezcla.

Figura 3.35 Relación Beneficio-Costo para etanol

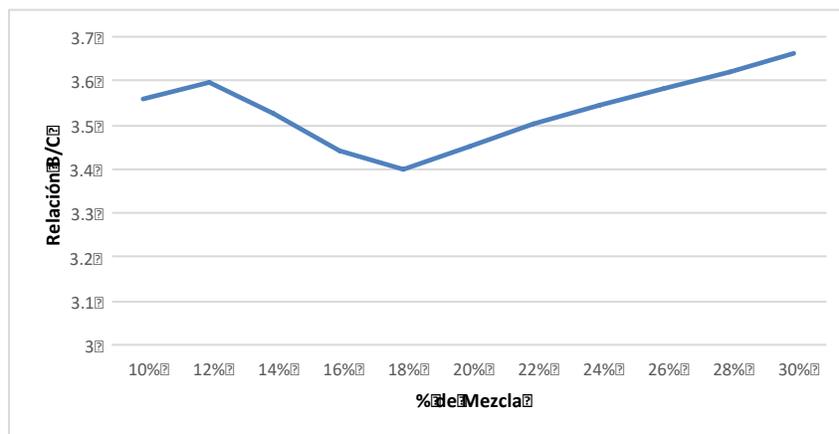


Fuente: Econometría S. A.

Biodiesel

En el biodiesel, de la forma como fue concebido el análisis costo beneficio, no hay un escenario de mezcla que sea considerado como óptimo pues al aumentar la mezcla hasta el 30% aún sigue dando beneficios netos sociales cada vez mayores que el anterior nivel de mezcla sugerido. Sin embargo, alrededor del 18% de mezcla de presenta un cambio de pendiente en la función, que se vuelve creciente. Más allá del 18%, los beneficios continúan creciendo, como se explicó antes.

Figura 3.36 Relación Beneficio-Costo para biodiesel



Fuente: Econometría S. A.

Los beneficios sociales y económicos del biodiesel son más grandes que los del etanol y es por esto que este sector podría desarrollarse en regiones consideradas como de postconflicto dado el escenario en que se encuentra el país.

En conclusión, y ante las condiciones actuales de todos los elementos que hacen parte del desarrollo del sector, en ambos casos el rango óptimo de mezcla debería situarse entre la mezcla actual (aproximadamente 10%) y el 20%, la cual debería darse de manera progresiva. En este caso se haría uso de los nuevos proyectos que están en desarrollo, al tiempo que se implementan los procesos necesarios para adecuar el parque automotor a este tipo de combustible. Sin embargo, previo a tomar una decisión, es indispensable tener los estudios que validen el avance del sector en términos del valor y uso de la tierra, así como de las implicaciones técnicas de los motores y el mayor consumo de combustible en que incurre el usuario, que en el caso del etanol puede llevar a una relación beneficio costo inferior a uno (1), lo mismo que la revisión de las fórmulas de precios.

3.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE EL ESCENARIO ÓPTIMO

A continuación se presenta un análisis de sensibilidad del modelo costo-beneficio frente a dos variables de interés, la tasa de descuento de los flujos futuros al valor presente del inicio de la política y el porcentaje de mayor consumo de combustible ocasionado por la pérdida de poder calorífico (ver sección 2.5.3). Este análisis busca encontrar las

variaciones sobre el escenario óptimo dejando todas las otras variables constantes, con el objetivo de capturar el efecto y determinar la robustez del modelo.

3.4.1 Sensibilidad a la Tasa de Descuento

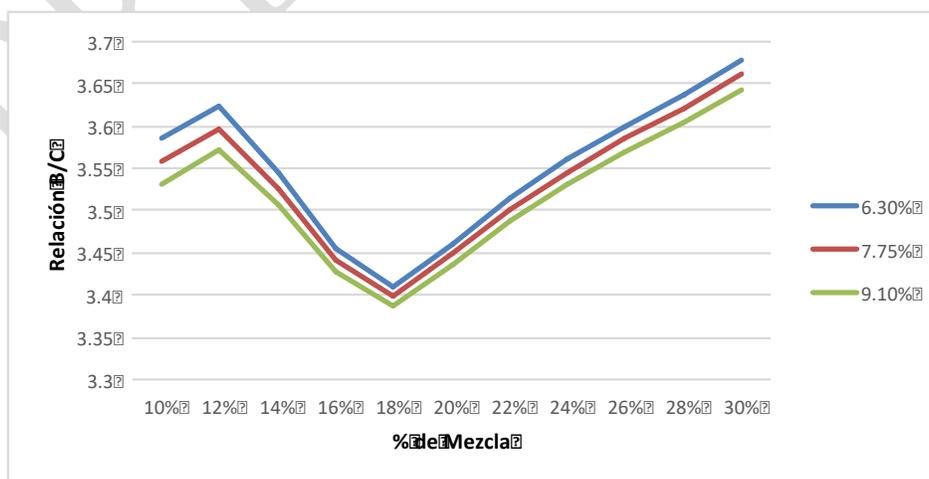
La primera tasa de interés (6,3%) que se tiene en cuenta es la DTF efectiva anual promedio para el año 2006, que fue el primer año de producción efectiva de biocombustible en Colombia. Esta tasa representa la tasa de captación de los bancos comerciales en ese año en particular, y teóricamente se parece a la tasa de preferencia social por el tiempo, ya que es la tasa a la que los consumidores deciden posponer consumo presente porque a esa tasa mantienen sus excedentes de riqueza en el banco.

En una segunda aproximación, se tomó la tasa de títulos del estado soberano a 10 años (TES) en 2006 que fue 9,1%; ésta representa la tasa a la que el gobierno puede conseguir recursos de agentes privados para financiar el gasto público. Esta tasa, de nuevo, tiene una aproximación realista al costo de oportunidad social del capital, pues refleja la lucha del gobierno con el sector privado para conseguir recursos que sirvan para financiar proyectos públicos.

Biodiesel

En el caso de biodiesel la relación beneficio costo presenta un comportamiento similar sin generar cambios en la función y solo en mezclas altas se puede observar una divergencia donde disminuye la razón beneficio-costos si se aumenta la tasa de descuento.

Figura 3.37 Sensibilidad a la tasa de descuento para biodiesel

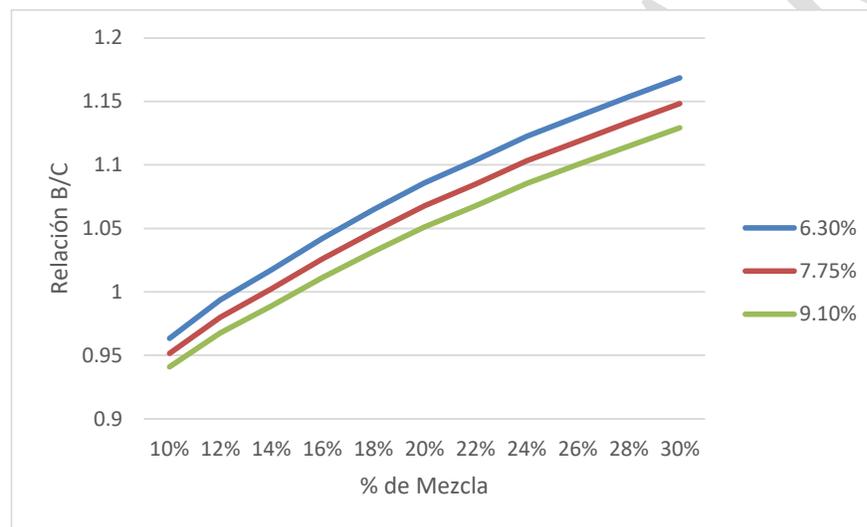


Fuente: Elaboración Propia

Etanol

Para las diferentes tasas de descuento se observa que la relación beneficio costo mantiene la forma funcional cóncava donde el máximo encontrado en la sección 3.3.2.3 de 13% se mantiene (Ver Figura 3.38). Por otra parte, con mezclas por encima del 16%, con algún grado de diferencia, aumentos en la tasa de descuento generan una mayor relación beneficio costo. Es evidente que estas divergencias son mínimas y no significativas, además el comportamiento esta explicado por la pendiente de la función.

Figura 3.38 Sensibilidad tasa de descuento para etanol



Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Sensibilidad al porcentaje de mayor consumo de combustible

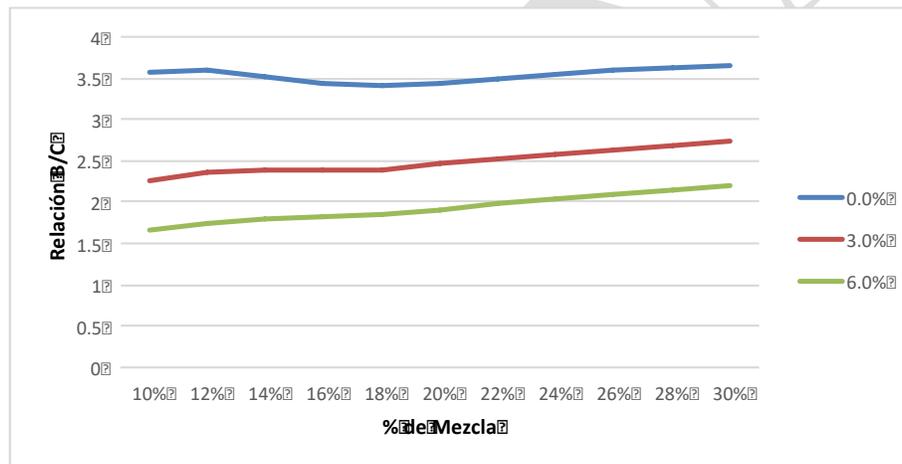
El mayor consumo de combustible cuando existen mezclas es un tema tratado en estudios científicos recientemente. En etanol, está el estudio de (Al-Hasan, 2003) según el cual, tomando el promedio de mayor consumo de combustible con mezclas desde el 5% hasta el 25% y teniendo en cuenta la velocidad de aceleración del motor, el resultado es que la presencia de etanol aumenta el consumo de combustible en promedio un 6%. Como se dijo anteriormente, este promedio incluye un rango de mezclas que tiene en cuenta el relevante para este estudio, del 10% al 20%. De manera conservadora, este promedio ha sido considerado como nuestro consumo adicional máximo en el chequeo de robustez de los resultados.

El mayor consumo de 4,5% en etanol, es aproximadamente el promedio para E10 según el mismo estudio, y el 3% es el mínimo de incremento que en los estudios mencionados se otorga a la presencia de etanol en la gasolina.

Para el caso del biodiesel el comportamiento es similar, los incrementos están entre el 2% y el 15% dependiendo del contenido de biodiesel en la mezcla. Para mezclas del 5% el incremento en el consumo de combustible es aproximadamente 3% y para mezclas del 20% hay incrementos del orden del 5%. Dado que se incluyeron escenarios de proyección desde el 10% hasta el 30% en biodiesel, se decidió hacer los mismos escenarios que para etanol.

Biodiesel

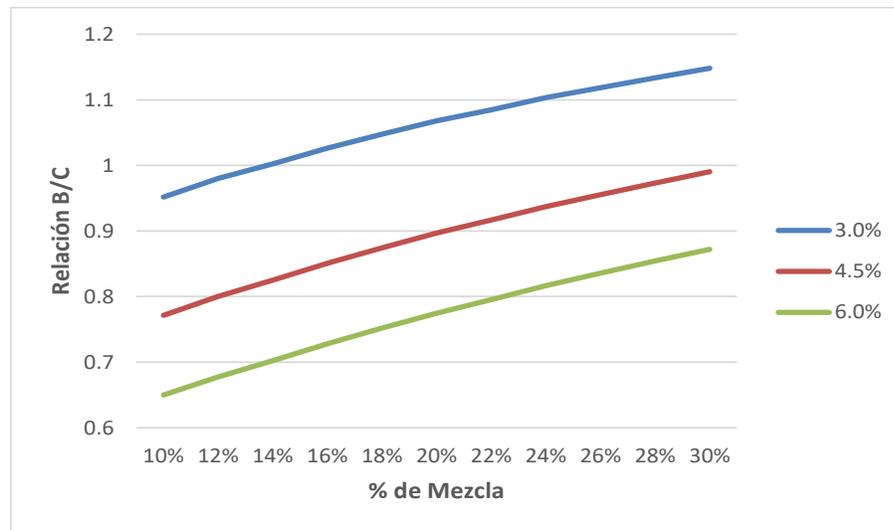
Figura 3.39 Sensibilidad Porcentaje de mayor consumo de combustible



Fuente: Elaboración Propia

Para el biodiesel, debido a su comportamiento, el máximo se presenta en la restricción que se decida imponer, como se discutió anteriormente. De manera similar a lo que se muestra más adelante para el caso del etanol, en el biodiesel se presenta un desplazamiento hacia abajo de la función, sin cambiar su forma, reduciendo en todos los niveles la razón beneficio costo (Ver Figura 3.39).

Figura 3.40 Sensibilidad a un porcentaje de mayor consumo de combustible



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Figura 3.40, la sensibilidad a diferentes porcentajes de consumo no afecta la forma creciente de la función. Sin embargo, al aumentar a 3.0% el porcentaje de mayor consumo de combustible, la relación beneficio costo resulta menor que uno (1) para mezclas inferiores al 13% de etanol; si el mayor consumo de combustible se eleva a 6% dicha relación sería inferior a uno (1) hasta mezclas menores que 30%, reflejando que los costos de la política serían mayores que los beneficios para rango del porcentaje de mezcla. Este resultado evidencia la gran sensibilidad del modelo al costo debido al mayor consumo de combustible para el usuario, determinado por el estudio. Las limitaciones de este análisis están dadas por la asignación de un costo fijo a diferentes porcentajes de mezcla, lo cual, como se mencionó en la sección 2.5.3, puede variar frente la cantidad de mezcla, la composición química, los vehículos usados en el estudio y las condiciones de la investigación. Esta argumentación fundamenta la decisión de la UT de tomar la cota inferior de las diferentes investigaciones. Ver también el análisis presentado en el anexo 7.

3.4.3 Sensibilidad del Ingreso al Productor para el caso del biodiesel

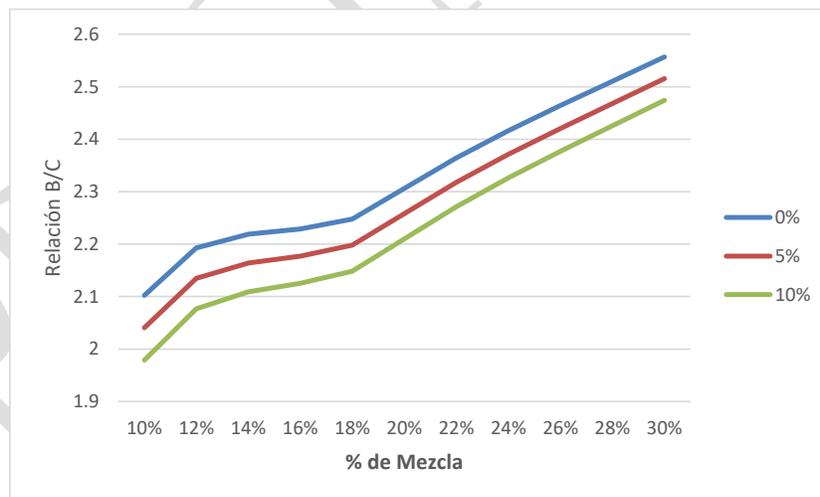
Un rubro del análisis costo beneficio es el ingreso de los productores de los biocombustibles. Debido a que no era posible realizar un ejercicio sobre el factor multiplicador en la economía de esta actividad, pues la matriz de insumo-producto está desactualizada y no contempla nuevas actividades como la de los biocombustibles, se

tomó el ingreso sin restar los costos de producción por dos razones (para aproximarse al valor agregado): la primera, en el caso del biodiesel no se tenía información suficiente sobre los costos para hacerlo y, la segunda, al considerar que estos costos son ingresos de otros agentes en la cadena de producción, de cierta manera se está compensando el hecho de no considerar el efecto mencionado sobre la economía. Sin embargo, sin la política de todas formas se hubiera obtenido una parte de este valor agregado.

Se realizó entonces una sensibilidad al rubro de ingreso de los productores de biodiesel, restando el ingreso que se hubiese tenido de no haber existido la política⁴⁶, para lo cual se consideró que las tierras nuevas para producir el aceite crudo de palma necesario para las cantidades utilizadas del biocombustible en el país, eran tierras fundamentalmente en pastizales de baja producción, por lo que se hicieron unas sensibilidades restando al rubro de ingreso del productor un 5% y un 10% de éste, que se hubiese obtenido en el mejor de los casos en pastizales.

Como se aprecia en la Figura 3.41, si bien se desplaza hacia abajo la curva, esta sigue siendo positiva (relación beneficio costo mayor que uno) en todo el rango analizado.

Figura 3.41 Relación B/C del biodiesel restando del ingreso del productor el que se hubiese obtenido de haber continuado con el área requerida para el biocombustible en pastizales, según porcentaje de mezcla



Fuente: Elaborado por U.T. Econometría – SEI.

⁴⁶ En el caso del alcohol carburante, en el escenario base quedó considerado que los productores hubiesen exportado más azúcar crudo y vendido más melazas, de no haber existido la política de biocombustibles.

Capítulo 4

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- Existe información limitada, que hace necesario hacer supuestos, para muchos rubros del análisis costo-beneficio que por lo general es un ejercicio rico en información específica para el sector en particular. Por ejemplo, se asume para la proyección un mejoramiento en la productividad de palma africana (volver a los niveles de hace diez años en los próximos 10 años), el escenario de precio internacional del petróleo se tomó de la proyección más reciente del Banco Mundial pero de todas formas es bastante incierto, igualmente los escenarios de precios internacionales del aceite de palma y del azúcar blanco refinado envuelven mucha incertidumbre, el costo por mayor consumo debido a la pérdida de poder calorífico se tomó como el mínimo obtenido en los estudios revisados, pero, de acuerdo con los mismos podría ser significativamente mayor dependiendo de factores que requerirían de estudios costosos para establecerlos con precisión para el caso colombiano.
- En la parte de costos ambientales se tomó una aproximación que fue hecha para países de Europa, como lo han hecho estudios similares en Colombia pues no existen estudios específicos para nuestro país ni para la región. Se trató de determinar por donde estarían los sesgos, uno de ellos son los costos de la salud en Colombia comparado con muchos de estos países, en algunos son demasiado altos y esto podría dar un valor inadecuado para el caso colombiano, en este caso se tomó el promedio de 40 economías de las 49 que están incluidas en el estudio y que tienen ingresos per cápita más parecidos a los de Colombia. En la parte de biodiversidad por ejemplo se sabe que si se incluye el valor sería una cota mínima para el caso colombiano debido a que es uno de los pocos países megadiversos en el mundo.
- El hecho de tomar los ingresos como beneficio de la política implica que se está tomando todos los beneficios que la política causa en otros sectores de la industria, pero al mismo tiempo se están tomando posibles sesgos e ineficiencias en las que se haya incurrido al fijar el precio del biocombustible, pues es un sector regulado, esto implica que los beneficios tienden a estar sobre dimensionados para los fines del estudio.

- El estudio no incluyó encuestas a usuarios de los biocombustibles en el país, por lo cual, de una parte no se conoce la disponibilidad a pagar del usuario por los beneficios netos que implican los biocombustibles (se ha tomado el costo para el usuario como la diferencia entre el precio al usuario del combustible mezclado menos el precio final si este fuese todo de origen fósil), y, de otra parte, el costo para el usuario por los problemas de calidad, especialmente para el biodiesel en climas fríos, no fue tenido en cuenta. La experiencia obtenida en los grupos focales es que los usuarios debieron incurrir en costos relacionados con la filtrabilidad del biodiesel.

PRELIMINAR

Capítulo 5

PROSPECTIVA Y CONCLUSIONES

5.1 PROSPECTIVA DE LOS SECTORES DE ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL

En reciente estudio para la UPME (Infante, 2014), sobre el desarrollo de una política nacional de bionergía, además del conocimiento amplio del autor sobre el tema, se han tomado insumos importantes de información, como los del estudio de LMC Internacional de 2013 y el estudio de (Guterman, 2014) sobre costos del sector de palma de aceite, en desarrollo en 2014, se muestra una visión prospectiva sobre los desarrollos en bionergía y, en particular, sobre los sectores de palma de aceite y caña de azúcar. Vale la pena destacar algunos aspectos contenidos en este estudio.

Alcohol carburante

En cuanto a producción de biomasa en Colombia, el sector azucarero tiene una posición importante. El 26,3 % de la biomasa proviene del cultivo de la caña de azúcar. Además la caña panelera provee un 18% adicional. De hecho, aunque la cogeneración tiene una participación muy pequeña en el mercado energético nacional, 0,5%, el sector azucarero aportó más de la mitad de los 66 MW entregados a la red interconectada por esta actividad en 2013, tiene el 59% de la capacidad instalada de cogeneración (21 plantas de cogeneración en el país con 351 MW instalados) y el bagazo fue el combustible más utilizado (65%).

En el contexto internacional el aporte del azúcar de caña ha ido perdiendo participación frente al de remolacha, debido especialmente al incremento importante de la productividad de este segundo cultivo logrado a través de la investigación genética y el mejoramiento de la mecanización, a la vez que en la caña de azúcar se ha ido incrementando especialmente el costo de la mano de obra y en los últimos años, al menos en Colombia, una caída en la productividad (toneladas de caña por hectárea). A pesar de esto, Brasil sigue siendo el mayor productor de azúcar en el mundo, le siguen India, Unión Europea, China Tailandia y Estados Unidos. Siguen a Estados Unidos como segundos países latinoamericanos, México y Colombia, con participaciones relativamente pequeñas. El mercado mundial pasó de una cifra mayor de 140.000

toneladas métricas en equivalentes de azúcar crudo (tmvc) en 2002 a superar las 180.000 tmvc en 2012; los momentos más bajos se dieron en 2005 y 2009.

Para que se logre un crecimiento importante del cultivo de caña de azúcar necesariamente hay que recurrir a otras zonas del país, por fuera del valle geográfico del río Cauca. Los llanos orientales (altiplanicie de la Orinoquia) aparecen como una alternativa importante, donde el proyecto Bioenergy en este momento ya tiene sembradas 17.000 hectáreas. Sin embargo, y a pesar del apoyo de Cenicaña con base en la experiencia del Valle del Cauca, existen dudas sobre los logros en productividad que se puedan obtener, por lo que se está buscando tener asesoría y traer tecnología de zonas similares en Brasil.

Biodiesel

La participación de la palma africana en la biomasa generada en el país es significativamente menor que la de la caña de azúcar (3,6%), no obstante, este es un sector con importantes posibilidades de cogeneración, en particular si se logran mayores economías de escala para que se justifiquen las inversiones que permitan transformar las plantas extractoras en biorefinerías. Este tipo de aprovechamientos, junto a otros coproductos, han permitido que en Malasia se haya llegado a un costo negativo de la extracción de aceite.

La palma africana, parecido a lo ocurrido con la caña de azúcar frente a la remolacha, ha perdido posición competitiva por razones similares. La soya y la colza han mejorado su productividad y, por el contrario, la palma de aceite la ha disminuido. En Colombia ha sido especialmente notorio el descenso en productividad, debido a enfermedades, malas prácticas y otras causas. En el contexto del mercado internacional, los grandes jugadores son Indonesia (con la mitad) y Malasia, entre los dos con cerca del 90% de la producción; sigue Colombia, pero ya con una participación apenas de 1,5%. De manera opuesta a lo ocurrido en Colombia, en que la productividad bajó de 4 toneladas de aceite por hectárea a 3, en Malasia lograron pasar de 3 a 4. Se espera que el uso de aceites vegetales para la producción de biocombustibles en el mundo crezca de 24,3 millones de toneladas en 2015 a 31,5 millones en 2025.

En Colombia se ha tenido el problema de la formación de estéril glucósidos a temperaturas bajas, que lleva a la necesidad de procurar una mejor calidad del biocombustible, para lo cual especialmente una de las plantas ha hecho esfuerzos importantes. Infante Villarreal en su informe para la UPME menciona la posibilidad de

tener dos calidades de biodiesel, uno para climas cálidos (de verano) y otro para todos los climas (súper).

La palma de aceite se cultiva en varias zonas del país y el altiplano de la Orinoquía también es una de las zonas con mayores posibilidades de desarrollo. El capítulo 3 del informe mencionado (Infante Villarreal, 2014) dedica un numeral al potencial de esta zona para el desarrollo de cultivos energéticos.

5.2 CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados del análisis costo beneficio, la implementación de la política de biocombustibles fue acertada para biodiesel, pues el escenario base arroja una relación costo beneficio superior a uno.
- En el caso de etanol, los costos superan levemente a los beneficios y la relación costo beneficio del escenario base es ligeramente inferior a uno, incluyendo en el análisis la planta de procesamiento de Castilla-Riopaila.
- A continuación, se concluye sobre la evaluación de la política en cada uno de los objetivos de la misma:
 - o El objetivo de la política de generar empleo rural se cumplió de manera destacada en la agroindustria del biodiesel, en que entre empleos directos e indirectos se generaron y se generarán en valor presente, entre 2008 y 2025, beneficios estimados en cerca de \$10 billones en pesos de 2014.
 - o El objetivo de la política de diversificar la canasta energética en el caso de biodiesel ha permitido unos beneficios directos en términos del ahorro en costos de logística de la importación del diésel fósil, pero, así no se haya cuantificado, es importante considerar el valor que tiene en términos de seguridad energética el hecho de contar con plantaciones, tanto en caña de azúcar como en palma africana, que hoy permiten dejar de consumir cerca de un 10% del consumo del sector transporte nacional de un combustible de origen fósil y, por ende, no renovable.
 - o El objetivo de la política sobre los biocombustibles como alternativa de desarrollo productivo, se ha cumplido; de hecho, el mayor rubro en los beneficios estimados, tanto en etanol como en biodiesel, lo constituyen los ingresos de la industria, para alcohol carburante del orden de \$6,5

billones y para biodiesel de \$9,5 billones de pesos de 2014, en valor presente.

- El objetivo de producción competitiva y sostenible, no se ha cumplido en cuanto que la producción de biocombustibles es costosa en Colombia, especialmente de biodiesel, y debido a que se ha requerido de un costo fiscal para el Estado, en términos de dejar de recibir unos impuestos, para que este sea sostenible económicamente y el usuario lo pueda pagar.
 - El objetivo de sostenibilidad ambiental se ha cumplido en la medida en que los biocombustibles representan un ahorro significativo por emisiones de CO₂ equivalente. Sin embargo, como se ha explicado en las limitaciones del estudio, este resultado puede no ser concluyente o representativo de los efectos de la política debido a que se pudieron identificar numerosos factores asociados a los biocombustibles, que por falta de investigaciones rigurosas y datos relevantes para Colombia no fue posible cuantificar todos los efectos ambientales atribuibles a la política de biocombustibles. Debido a lo anterior, determinar conclusiones sin el sustento de la investigación de impactos ambientales en un sector no cubierto por procesos de licenciamiento ambiental, viola el principio de precaución consignado en la Ley 99 de 1993⁴⁷.
 - Finalmente, el objetivo de posicionamiento del país como exportador de biocombustibles no se ha cumplido; no se han realizado exportaciones de ninguno de los dos biocombustibles.
- La relación costo beneficio óptima para el etanol corresponde a una mezcla entre 12% y 13% que ocuparía la capacidad instalada de producción en el valle geográfico del río Cauca más los 480 mil litros día de la planta que se espera que entre en producción en 2016. En términos prácticos implicaría que se debe utilizar la totalidad de la capacidad instalada, incluyendo Castilla-Riopaila y Bioenergy. Inversiones adicionales en etanol mostrarían una relación costo beneficio mayor que uno, pero menor a la que se logra en el porcentaje óptimo.

⁴⁷ "La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente."

- En todos los escenarios, el biodiesel genera mayores beneficios sociales que el etanol de caña de azúcar, principalmente por las grandes ventajas sociales que ha generado. No se encontró evidencia para asegurar que los productores actuales de etanol carburante, hubieran incrementado el número de hectáreas sembradas gracias a la política o hubieran incrementado el empleo.
- La relación costo beneficio tiene una tendencia creciente al aumentar la mezcla con biodiesel, por lo que la no se puede hablar de un escenario óptimo desde el punto de vista matemático, el escenario óptimo para biodiesel debe estar entre el 10 y el 20% dadas las restricciones vigentes para el mercado colombiano y los mayores costos no tenidos en cuenta en este estudio por falta de información.
- Para el biodiesel la relación costo beneficio mejora a medida que la mezcla aumenta; sin embargo, se deben considerar las restricciones técnicas sobre la calidad del biocombustible, especialmente cuando entra a regir la norma euro4, que dificulta, al menos en un corto plazo, sobrepasar el 20% de biodiesel en la mezcla para el ACPM; además deben considerarse los costos para el usuario que esto implica, por mayor consumo del combustible mezclado y por el mayor costo de éste respecto de la alternativa de que fuese 100% de origen fósil.
- Respecto del mayor costo para el usuario del combustible mezclado comparado con el combustible sin mezcla de biocombustible, es importante tener en cuenta la conveniencia de incrementar la demanda que se asegura a los productores de biocombustibles sin contar con mecanismos para promover la competencia, al menos sobre esa nueva demanda.
- El costo fiscal para el Estado, de los biocombustibles, ha financiado parte del costo para el usuario, e incluso en etanol ha habido épocas en que ha generado beneficio para el usuario. Sin que el Estado hubiese asumido este costo la política no hubiese sido viable, pues en ambos casos el costo para el usuario habría sido significativamente más alto.
- Es muy importante profundizar en la generación de información que permita hacer estudios ambientales, pues en este ejercicio no pudieron ser cuantificados los costos generados por acidificación del suelo, la ecotoxicidad, el smog de verano y la eutrofización que se genera por la extensión de los cultivos de palma de aceite en los llanos orientales.

- En las ciudades los biocombustibles han contribuido a la disminución de los gases efecto invernadero, pero aún se desconocen las concentraciones emitidas de ozono troposférico, aerosoles, y de aldehídos.
- Si se tienen en cuenta los efectos ambientales negativos de sustancias como el amoníaco y compuestos secundarios de los NO_x como el ozono troposférico en las personas, emitidos al utilizar fertilizantes químicos y pesticidas en los cultivos, es posible que los costos monetarios de hacer frente a la contaminación por estos compuestos sobrepasen los beneficios ambientales representados en menores emisiones de CO₂ equivalente. En este apartado no se tienen en cuenta los efectos sobre biodiversidad o materiales de construcción, solamente los efectos sobre salud humana. Sumado a lo anterior, el cálculo de los costos por tratamiento de emisiones en todo el ciclo de vida, y no únicamente en la etapa de cultivo como se adelantó en este ejercicio, posiblemente incrementaría los costos ambientales. Se hace necesario contar con estudios sobre estos factores ambientales con información generada para Colombia.

PRELIMINAR

Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA

- Al-Hasan, M. (2003). Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management* 44(9), 1547-1561.
- Armas, O., Rodríguez, J., Cárdenas, M., & Agudelo, A. (2004). Efecto del biodiesel procedente de aceites vegetales usados sobre las emisiones y prestaciones de un motor diesel. *Anales del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, León, Spain*.
- Asopartes. (2014). *Informes venta de vehículos nuevos*. Bogotá.
- Baena, L., Gómez, M., & Calderón, J. (2012). Aggressiveness of a 20% bioethanol–80% gasoline mixture on autoparts: I behavior of metallic materials and evaluation of their electrochemical properties. *Fuel* 95, 320-328.
- Baena, L., Jaramillo, F., & Calderón, J. (2012). Aggressiveness of a 20% bioethanol 80% gasoline mixture on autoparts: II Behavior of polymeric materials. *Fuels* 95, 312-319.
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T., Lobell, D., Delire, C., & Mirin, A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(16), 6550-6555.
- Banco Interamericano de Desarrollo y Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2011). *Estudio para la Estructuración de un Programa de Aseguramiento de Calidad (QA/QC) de los Biocombustibles*. Bogotá.
- Banco Mundial. (18 de Septiembre de 2015). *World Development Indicators*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>:
<http://wdi.worldbank.org/table/5.13>
- Baumol, W. (1968). "On the Social Rate of Discount." . *American Economic Review* 58, 788–802.
- Benjumea, P., Agudelo, J., & Agudelo, A. (2009). Effect of altitude and palm oil biodiesel fuelling on the performance and combustion characteristics of a HSDI diesel engine. *Fuel*, 88(4), 725-731.
- Boadway, R. W., & Bruce, N. (1984). *Welfare Economics*. B. Blackwell.

- Bradley, A., DaMassa, C., Fuentes, E., Luo, H., Woodhouse, V., & Yang. (1999). Analysis of the Air Quality Impacts of the Use of Ethanol in Gasoline. . *Public draft Review, California Air Resources Board*.
- Brent, R. J. (1984). Use of distributional weights in cost-benefit analysis: A survey of schools. *Public Finance Review*, 12(2), 213-230.
- Burgess, D. (1988). Complementarity and the Discount Rate for Public Investment . *The Quarterly Journal of Economics*. August 1988, 527–541.
- Buyukkaya, E. (2010). Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel* 89, 3099–3105.
- Cardona A., C. A., Montoya R., M. I., Quintero S., J. A., & Sánchez T., O. J. (2005). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz. *Universidad EAFIT*, 41(139), 76-87.
- Ceuterick, D., & Spirinckx, C. (1997). Comparative LCA of biodiesel and fossil diesel fuel. . *VITO-Report (1997/PPE/R/026)*.
- Consortio CUE para BID y MME. (2012). *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia*. Medellín.
- Coulon, R., Camobreco, V., Sheehan, J., & Duffield, J. (1996). Life cycle assessment of biodiesel versus petroleum biodiesel fuel of SETAC. *17 Annual Meeting 'Partnerships for the Environment: Science, Education and Policy', published by Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, Washington, D.C.)*.
- Cowell, F. A., & Gardiner, K. (1999). *Welfare weights*. London: STICERD, London School of Economics.
- Creedy, J. (2006). Evaluating policy: Welfare weights and value judgements. *University of Melbourne Dept. of Economics Working Paper No. 971*.
- Crispín, M., Felix, E., & Quintero, J. A. (2010). Análisis de costos de producción de biocombustibles en Perú; una dimensión social. En E. Felix, & C. Rosell, *Bioenergía y Seguridad Alimentaria "BEFS" - El análisis de BEFS para el Perú, Compendio técnico, Resultados y conclusiones* (Vol. I, págs. 97-115). Perú: FAO.
- Dasgupta, A., & Pearce, D. (1972). *Cost–Benefit Analysis*. UK: Palgrave Macmillan.

- Dasgupta, P., Sen, A., & Marglin, S. (1972). *Guidelines for Project Evaluation*. Viena: United Nations Industrial Development Organization.
- Delucchi, M. (2010). Impacts of biofuels on climate change, water use, and land use. . *Annals of the New York academy of sciences.*, 1196.
- DeLuchi, M. A. (1993). Greenhouse-gas emissions from the use of new fuels for transportation and electricity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 27(3), 187-191.
- Diamond, P. (1968). Opportunity Cost of Public Investment: Comment . *Quarterly Journal of Economics* 84, 682–688.
- Diamond, P., & Mirrlees, J. (1971). Optimal Taxation and Public Production I: Production Efficiency. *American Economic Review* 61, 8–27.
- Dunn, R. O. (2009). Effects of minor constituents on cold flow properties and performance of biodiesel. *Progress in Energy and Combustion Science*, 35(6), 481-489.
- Edwards, R. S., Szekeres, F., Neuwahl, & Mahieu, V. (2008). *Biofuels in the European context: Facts and uncertainties. Technical report*. European Commission Joint Research Centre.
- European Comission under the Sixth Framework Programme. (s.f.). *Cost Assessment for Sustainable Energy Systems CASES*.
- Farnk, R. H., & Bernanke, B. (2001). *Principles of Economics*. New York: McGraw-Hill.
- Farrell, A. E., Plevin, R., Turner , B., Jones , A., O’Hare , M., & Kammen , D. (2006). Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311, 506–508.
- Feddema, J. J., Oleson, K., Bonan, G., Mearns, L., Buja, L., Meehl, G., & Washington, W. (2005). The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 310(5754), 1674-1678.
- Fedepalma. (2013). *Minianuario Estadístico 2013: Principales cifras de la agroindustria de la* Bogotá: Fedepalma.
- Fedepalma. (2015). *Minianuario Estadístico 2015: Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Bogotá: Fedepalma.

- Federación Nacional de Biocombustibles. (2011). *Mitos y Realidades de los Biocombustibles en Colombia*.
- Fernández González, L. (2005). *Análisis económico de precios del bioetanol para mezclas con gasolinas*. Naciones Unidas - CEPAL.
- Frank, R. H. (2000). "Why Is Cost-Benefit Analysis So Controversial?" . *Journal of Legal Studies* 29 (2), 913-930.
- Galloway, J. N., Aber, J., & Erisman. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience* 53, 341–356.
- Galloway, J. N., Aber, J., Erisman, J., Seitzinger, S., Howarth, R., Cowling, E., & Cosby, B. (2003). The nitrogen cascade. *BioScience* 53, 341–356.
- Geodkoop, M., & Spriensma, R. (2000). *The Eco-indicator 99 a damage oriented method for life cycle impact assessment, Methodology report and manual for designers*. Amsterdam: PRé Consultants.
- Ghobadian, B., Rahimi , H., Nikbakht, A., Najafi, G., & Yusaf, T. (2009). Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy* 34, 976-982.
- Guterman, L. (2014). Costos de producción e indicadores de productividad laboral en la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2011-2012. *Revista Palmas*, 35(3), 23-40.
- Harberger, A. (1972). *Project Evaluation: Collected Papers*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Harberger, A. C. (1978). On the use of distributional weights in social cost-benefit analysis. *The Journal of Political Economy*, 87-120.
- IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel*. San José: IICA.
- Infante Villarreal, A. (2014). *Fundamentos para el desarrollo de una política nacional de bioenergía*. UPME, Bogotá.
- Infante, A. (2014). *Fundamentos para el desarrollo de una política nacional de bioenergía*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.

- Johansson-Stenman, O. (2005). Distributional weights in cost-benefit analysis—should we forget about them? *Land Economics*, 81(3), 337-352.
- Kuik, L., & Tol, R. (2009). Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. *Energy Policy* 37, 1395–1403.
- Lamprey, B. L., Barron, E., & Pollard, D. (2005). Impacts of agriculture and urbanization on the climate of the Northeastern United States. *Global and Planetary Change*, vol. 49, no 3, 203-221.
- Lapuerta, M., Armas, O., & Rodriguez-Fernandez, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in energy and combustion science*, 34(2), 198-223.
- Maldonado, O. R. (13 de Octubre de 2011). *México haz algo*. Obtenido de <http://www.mexicohazalgo.org/tag/smog-de-verano/>
- Mesa-Dishington, J. (8 de agosto de 2014). *Experiencia del gremio palmero colombiano en el desarrollo del biodiesel de palma*. Presentación, Fedepalma, San José de Costa Rica. Obtenido de http://web.fedepalma.org/media/Presentacion_JMD_Costa%20Rica_Biodiesel_opt2.pdf
- Ministerio de Transporte. (2013). *Transporte en Cifras*. Bogotá.
- MOVE, D. (2014). *Update of the handbook on External Costs of Transport*. DG MOVE.
- Ng, Y. K. (2000). *Efficiency, Equality and Public Policy-With a Case for Higher Public Spending*. Basingstoke, U.K.: Macmillan.
- Ng, Y.-K. (2000). "The Optimal Size of Public Spending and the Distortionary Cost of Taxation." *National Tax Journal* 53 (2), 253-272.
- Nocker, L. D., Spirinckx, C., & Torfs, R. (1998). Comparison of LCA and external-cost analysis for biodiesel and diesel. *In 2nd international conference LCA in agriculture, agro-industry and forestry, Brussels (Vol. 34)*.
- Nogueira, T., Dominuttia, P. M., Rothschild Franco de Carvalho, L., Fornaro, A., & Andrade, M. (2014). Formaldehyde and acetaldehyde measurements in urban atmosphere impacted by the use of ethanol biofuel: Metropolitan Area of Sao Paulo (MASP), 2012–2013. *Fuel* 134, 505-513.

- Plevin, R. (2010). Life Cycle Regulation of Transportation Fuels: Uncertainty and its Policy Implications. *Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Energy and Resources in the Graduate Division of the University of California, Berkeley.*
- Ribeiro Gallo, W. L. (2007). *Perspectivas para el biodiesel en Centroamérica: Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras.* Convenio CEPAL - República Federal Alemana.
- Rodrigues, M., Guarieiroa, L., Cardoso, M., Souza, L., Da Rocha, G., & De Andrade. (2012). Acetaldehyde and formaldehyde concentrations from sites impacted by heavy-duty diesel vehicles and their correlation with the fuel composition: Diesel and diesel/biodiesel blends. *Fuel Volume 92, Issue 1*, 258-263.
- Sandoval Esquivas, A. (2011). Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011 Paquete Tecnológico Palma de Aceite (*Alaëis guinnensis* Jacq.) Establecimiento y mantenimiento. *SAGARPA. INIFAP.*
- Santamaría, M., & Azqueta, D. (2015). Promoting biofuels use in Spain: A cost-benefit analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50*, 1415-1424.
- Sen, A. (1961). "On Optimizing the rate of saving". *Economic Journal 71*, 479 – 496 .
- Shapouri, H., Duffield, J., & Graboski, M. (1995). Estimating the net energy balance of corn ethanol Technical Report Agricultural Economics Report No. (AER721), Economic Research Service, US Dept. of Agriculture. *Technical Report Agricultural Economics Report No. (AER721), Economic Research Service, US Dept. of Agriculture.*
- Shine, K. P., Bernsten, T., Fuglestvedt, J., & Sausen, R. (2005). Scientific issues in the design of metrics for inclusion of oxides of nitrogen in global climate agreements. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102*, 15768–15773.
- Shine, K. P., Bersten, T., Fuglestvedt, J., & Sausen, R. (2005). Scientific issues in the design of metrics for inclusion of oxides of nitrogen in global climate agreements. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102*, 15768–15773.
- Universidad de Antioquia grupo Gimel. (2009). Evaluación del comportamiento energético y ambiental del biodiesel. *Financiado por el MADR y el área metropolitana del valle de Aburra.*

- Wang, M. Q. (1999). GREET 1.5-transportation fuel-cycle model-Vol. 1: methodology, development, use, and results (No. ANL/ESD-39 VOL. 1). *Argonne National Lab., IL (US)*.
- Wang, M., Lee, H., & Molburg, J. (2004). Allocation of energy use in petroleum refineries to petroleum products. . *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(1), 34-44.
- Warner, A. (2010). *Cost Benefit Analysis in World Bank Projects. Independent Evaluation Group*. Washington D.C.: World Bank.
- Waytulonis, R., Kittelson, D., & Zarling, D. (2008). E20 Effects in Small Non-road SI Engines: A Literature and Information Search. *University of Minnesota, Center for Diesel Research*.
- Xue, J., Grift, T., & Hansen, A. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1098-1116.

PRELIMINARY

ANEXO 1: DISEÑO MUESTRAL

PRELIMINAR

ANEXO 2: ANÁLISIS DE LA FÓRMULA DE INGRESO AL PRODUCTOR DE ETANOL

PRELIMINAR

ANEXO 3: TABLA DE COSTOS MUNICIPALES

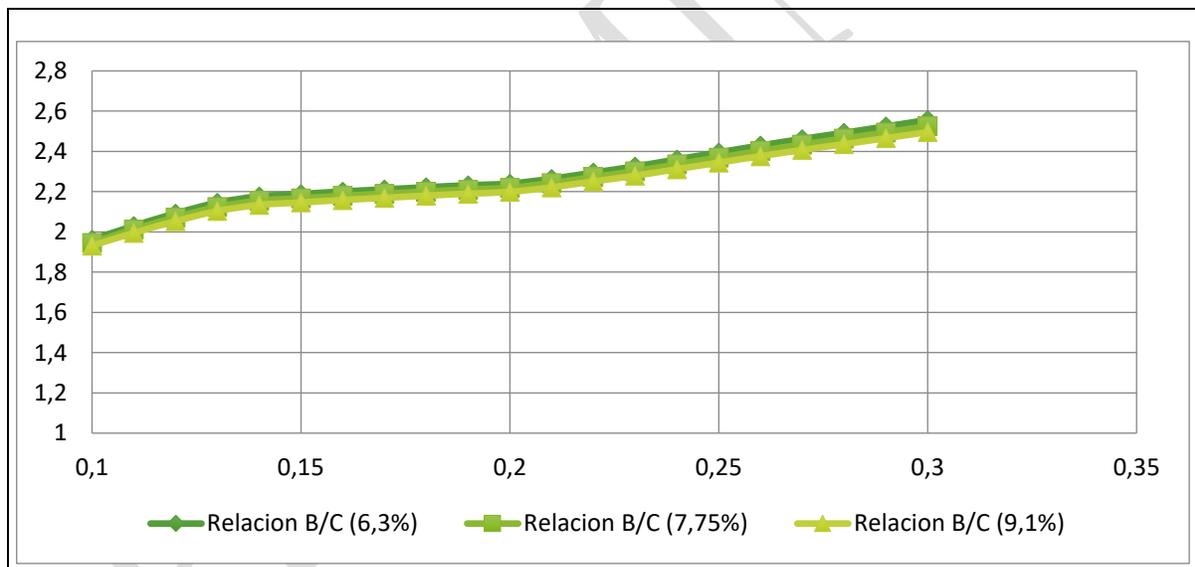
PRELIMINAR

ANEXO 4: PROYECCIONES DE DEMANDA DE COMBUSTIBLES

PRELIMINAR

ANEXO 5: TABLAS DE ERRORES MUESTRALES

Figura 1. Sensibilidad Poder Calorífico Biodiesel



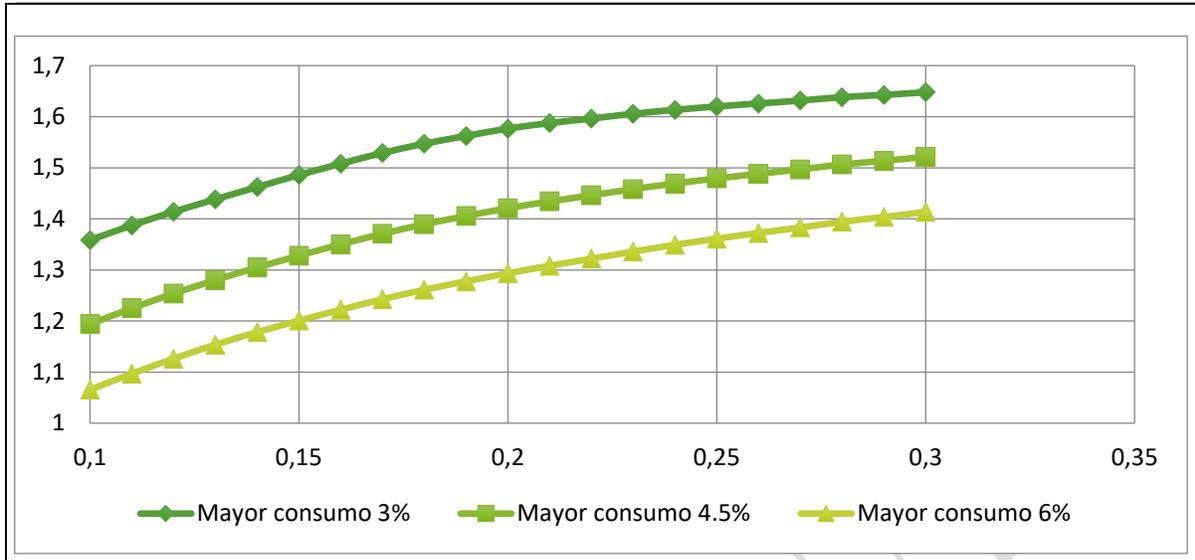
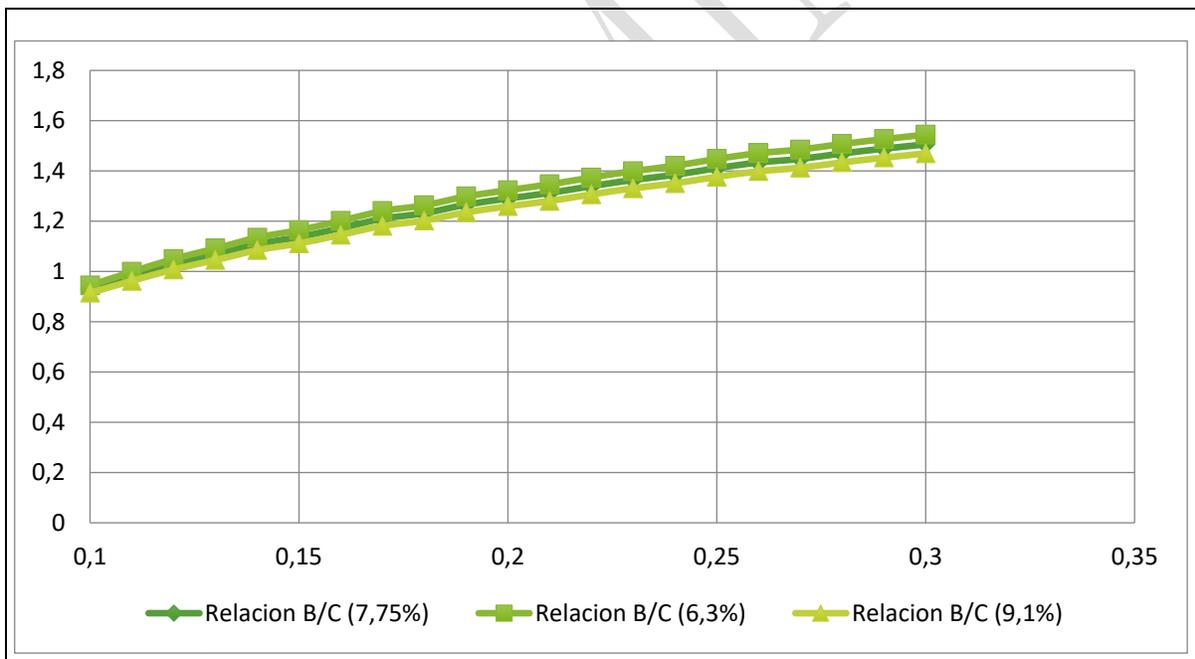
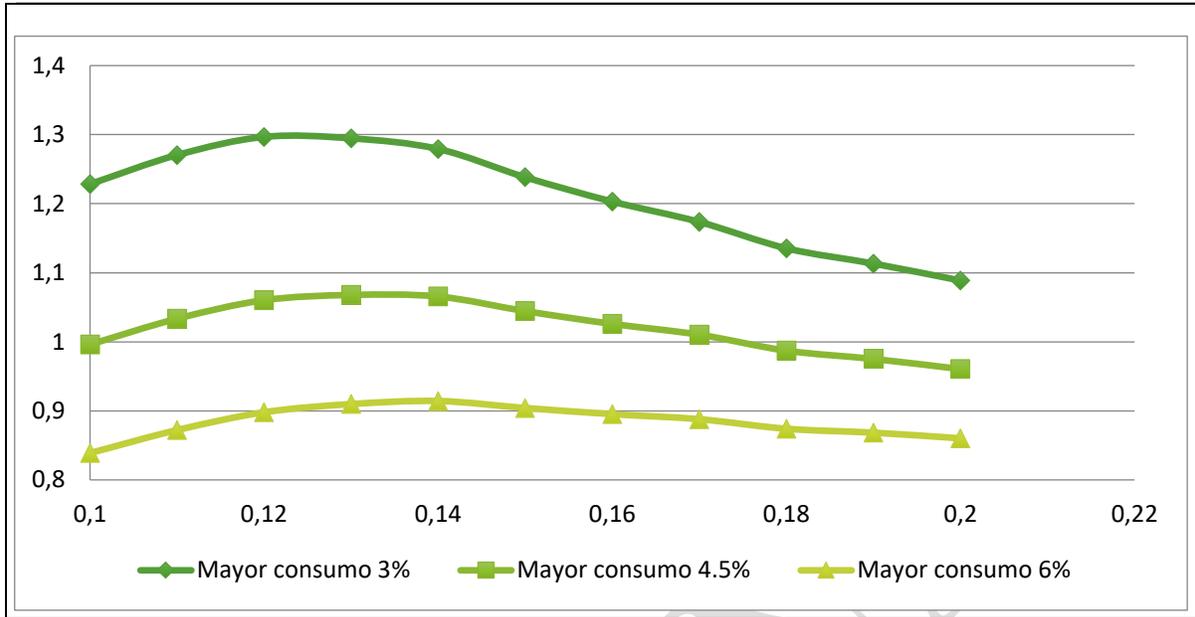


Figura 1. Sensibilidad Poder Calorífico Etanol





PRELIMINAR

**ANEXO 6: MAYOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MEZCLA
DE GASOLINA CON ETANOL**

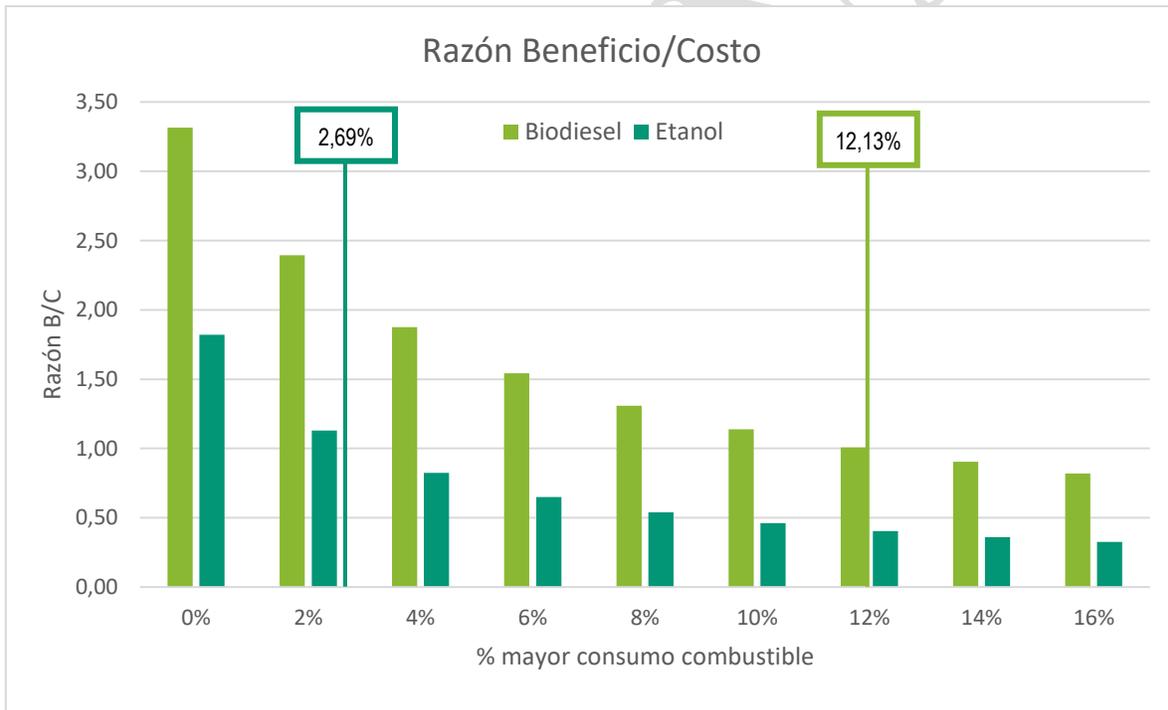
PRELIMINAR

**ANEXO 7: CAMBIO EN LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO
FRENTE A MAYOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

PRELIMINAR

La siguiente gráfica muestra cómo cambia la relación beneficio - costo frente a diferentes niveles de mayor consumo de combustible. Los recuadros señalan el porcentaje de mayor consumo de combustible que produce que la relación beneficio – costo sea igual a 1, es decir, tenga punto de equilibrio. Como se puede apreciar, para etanol, la relación alcanza niveles superiores a 1 cuando el mayor consumo reportado sea inferior al 2,69% del total del combustible, mientras que para el caso de biodiesel el punto de inflexión de la relación beneficio – costo ocurre cuando los vehículos reporten que el consumo por presencia de la mezcla resulte un 12,13% superior frente al caso de no tener mezcla.

Figura A7. 1 – Cambio en Relación Beneficio - Costo frente a mayor consumo de combustible



Fuente: Elaboración propia.