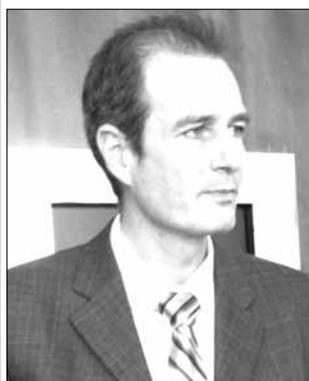


Ciclo de vida del biodiésel en Colombia

Life Cycle Analysis of Colombian Biodiesel



Marcel Gauch

EMPA, Suiza.

Representante del consorcio CUE
marcel.gauch@empa.ch

Palabras CLAVE

Ciclo de vida del biodiésel,
biocombustibles sostenibles,
sostenibilidad de los biocombustibles

Biodiesel lifecycle, sustainable biofuels

Editado por Fedepalma a partir de la grabación de video y la presentación en power point.



Resumen

El Gobierno de Colombia, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, contrató un estudio sobre la sostenibilidad de los biocombustibles en el país. Lo hizo el consorcio CUE, integrado por EMPA (el Instituto Suizo Federal de Ciencias de Materiales, Ciencia y Tecnología), el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), con sede en Medellín; la Universidad Pontificia Bolivariana, y expertos nacionales e internacionales. Uno de los resultados más gruesos del estudio es que, en comparación con sus equivalentes fósiles, el biodiésel de palma y los alcoholes tienen un muy alto potencial de reducción de gases de efecto invernadero –en particular dióxido de carbono (CO₂)–: de 83% para el primero, y de 74% para los segundos (bioetanol de caña). La herramienta del análisis del ciclo de vida (ACV) que utilizó el estudio, considera toda la cadena de producción, desde el cultivo, pasando por los fertilizantes, la energía eléctrica para bombearle agua, etcétera, así como los procesos por ejemplo de extracción, transesterificación y el transporte hasta el destino final (por kilómetro de recorrido de un vehículo en Colombia o en Estados Unidos). El estudio estableció que para cultivar biocombustibles en Colombia de manera sostenible, hay un millón de hectáreas de tierras altamente aptas y tres millones de tierras moderadamente aptas.

Abstract

The Government of Colombia, with the support of the Inter-American Development Bank, commissioned a study on the sustainability of biofuels in the country. It was carried out by the CUE consortium, constituted for EMPA (Swiss Federal Institute of Materials Science, Science and Technology), the National Centre for Cleaner Production (NCPC), headquartered in Medellín, the Universidad Pontificia Bolivariana, and national and international experts. One of the more robust results of the study is that, compared to their fossil equivalents, palm biodiesel and alcohols have a very high potential for reducing greenhouse gases, particularly carbon dioxide (CO₂): 83% for biodiesel, and 74% for the latter (sugarcane bioethanol). The tool of life cycle analysis (LCA) that used the study considers the entire production chain, from cultivation, to fertilizer, power to pump water, etc., as well as the extraction processes, transesterification and transportation to the final destination (per kilometer of travel of a vehicle in Colombia or the United States). The study found that for growing biofuels in a sustainably way in Colombia, there are one million hectares of land highly suitable and three million moderately suitable land.



Introducción

El Gobierno de Colombia, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, contrató un estudio sobre la sostenibilidad de los biocombustibles en el país. Lo hizo el consorcio CUE, integrado por EMPA (el Instituto Suizo Federal de Ciencias de Materiales, Ciencia y Tecnología), el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), con sede en Medellín; la Universidad Pontificia Bolivariana, y expertos nacionales e internacionales.

El estudio se basa en valores investigados por el consorcio CUE: datos de visitas de campo, entrevistas, literatura, consulta de expertos y comparaciones con inventarios existentes de ciclo de vida.

Los datos fueron validados por expertos del consorcio y de las partes interesadas (especialmente Cenicaña y Cenipalma), pero refleja la opinión del consorcio CUE y no necesariamente la de las partes interesadas. El contexto en el cual se desarrolló es el siguiente:

- Colombia tiene 7 millones de hectáreas de tierra potencialmente disponible para la siembra de cultivos energéticos.
- Consecuentemente, el Gobierno Nacional

ha aprobado leyes que obligan la mezcla de biodiésel (B5) y etanol (E10).

- Bajo el tratado de libre comercio, las exportaciones de biocombustibles a Estados Unidos y a la Unión Europea se perciben como un reto y una oportunidad enormes.

De manera que el estudio debe suministrar al Gobierno una base de información y decisión para facilitar inversiones en proyectos de biocombustibles, así como herramientas que faciliten la introducción de los producidos nacionalmente en los mercados internacionales principales (la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá), y adicionalmente, preparar una caja de herramientas para la promoción de inversiones en el sector.

El estudio se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV) de biocombustibles a partir de aceite de palma y caña de azúcar, y sus cadenas de producción equivalentes de combustibles fósiles. Incluye (Figura 1):

Un análisis de la cadena actual de producción de biocombustibles (A1) y un análisis espacial de las oportunidades y riesgos de expandir las áreas de cultivo (A2). Los

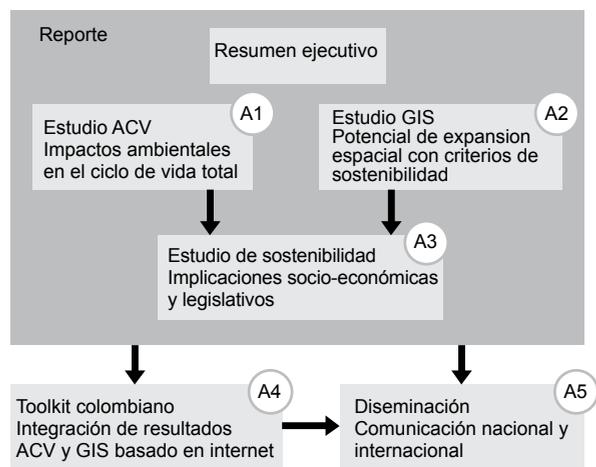


Figura 1. Estructura del estudio.

impactos ambientales se ponen en un contexto socioeconómico (A3). Además, el análisis entrega herramientas para facilitar la penetración de los biocombustibles colombianos en los principales mercados mundiales, con énfasis en la Unión Europea y Norteamérica (A4).

Principales resultados del estudio

La Figura 2 muestra el resultado principal del estudio de ACV. En la parte inferior, a tipo de referencia, se encuentran los combustibles fósiles (diésel y gasolina) y el potencial de calentamiento global. Después se diferencian dos grupos: el de los alcoholes y el del biodiésel.

Como se ve, en comparación con sus equivalentes fósiles, el biodiésel de palma y los alcoholes tienen un muy alto potencial de reducción de gases de efecto invernadero –en particular dióxido de carbono (CO_2)–: de 83% para el primero, y de 74% para los segundos (bioetanol de caña).

Ahora bien, el CO_2 es un gas de efecto invernadero pero existen muchos otros efectos ambientales: impacto al suelo, al agua, etcétera, y para medirlos hay métodos que los combinan en una sola cifra. Ello crea impactos globales (EI99), que son los que se analizan en la Figura 3.

El sector sombreado (inferior de la figura) representa el impacto del CO_2 de la referencia fósil –la gasolina–, y arriba está el impacto global y de nuevo 100% para la referencia. Como se ve, tanto en CO_2 como en el impacto ambiental

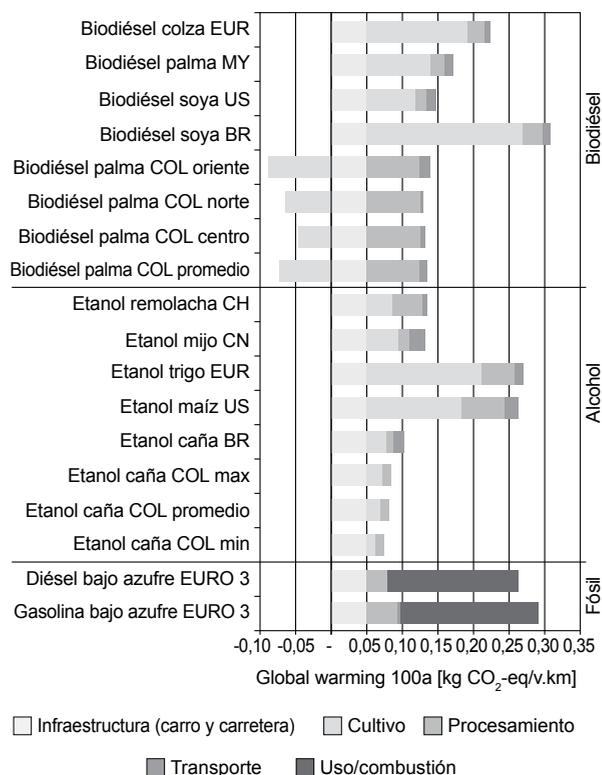


Figura 2. Principal resultado del análisis del ciclo de vida (ACV).

global (EI99) los impactos son más bajos que otros productos internacionales comparables; sobre todo para biodiésel de palma el potencial de mejoramiento es impresionante considerando los escenarios de tecnología optimizada.

El resultado principal del análisis de sostenibilidad y aumento de la producción se refleja en la Figura 4, con la evaluación del sistema de información geográfica, en la cual se aprecia que hay una buena cantidad de zonas aptas para la producción de palma –alrededor de 1 millón de hectáreas–, y cerca de 3 millones de hectáreas moderadamente aptas. En la Figura 5 el análisis se realiza con una subdistinción por departamento, para mostrar su potencial.

La herramienta del análisis del ciclo de vida (ACV) considera toda la cadena de producción: desde el cultivo, pasando por los fertilizantes, la energía eléctrica para bombearle agua, etcétera. Se consideran asimismo los procesos por ejemplo de extracción, transesterificación y el transporte hasta el destino final (por kilómetro de recorrido de un vehículo en Colombia o en Estados Unidos).

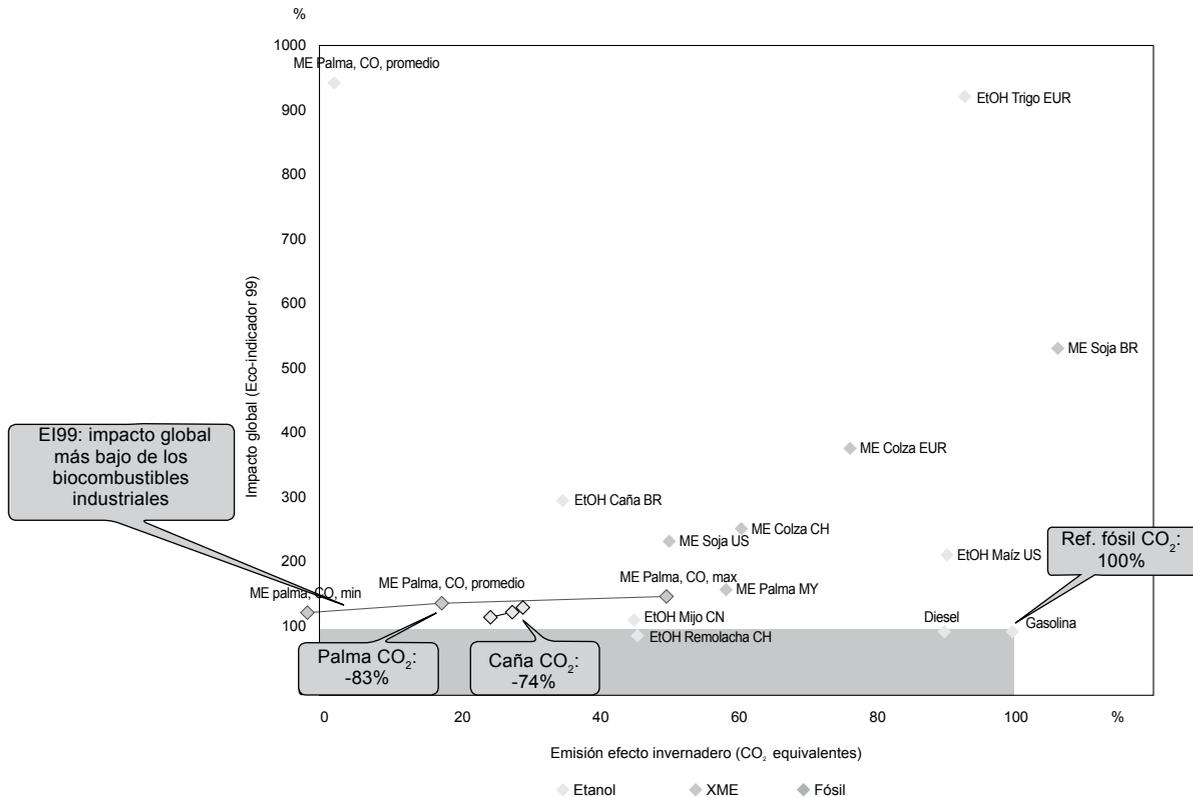


Figura 3. GEI y EI99 en dos dimensiones.

Ello es así, porque cada uno de esos pasos necesita un flujo de masa, químicos... y todo ellos producen algunas emisiones que es necesario contabilizar. La cadena productiva puede contener miles de pequeños pasos que hay que tener en cuenta en la contabilidad.

Como es un trabajo complejo y consume un buen tiempo, para eso existen herramientas como bases de datos y de inventarios de múltiples cosas, por ejemplo, de acero, de fertilizantes y otros. Para obtener cierta información se trabajó entonces en directa cooperación con Ecoinvent, que es una institución que recoge ese tipo de datos y garantiza su calidad por varios años.

No obstante, para Colombia, como en la mayoría de los casos, se necesita información más precisa del asunto particular. Por ejemplo, sobre agricultura tropical, suelos y productos específicos, entre otros. Este trabajo se hizo durante meses, con expertos nacionales y en cooperación con Cenipalma y Cenicaña.

Vale la pena aquí explicar el contexto y el nivel de detalle con los que se desarrolló el estudio:

Objetivo:

Analizar el impacto ambiental promedio de la cadena de producción de biocombustibles actuales en Colombia. (La meta no es comparar vehículos ni cultivos individuales).

Combustibles comparados:

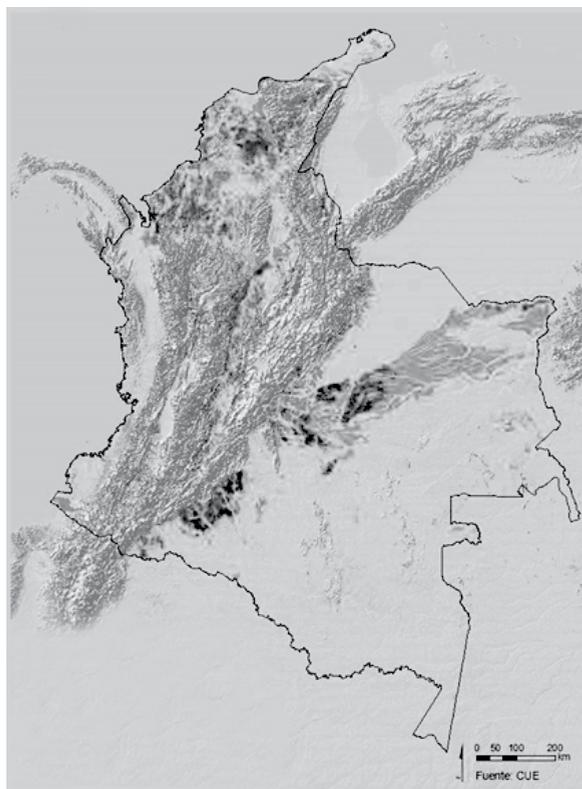
- Bioetanol E100 y E10 a partir de caña de azúcar.
- Biodiésel B100 y B5 a partir de aceite de palma.
- Combustibles fósiles: gasolina 87 y diésel 50 ppm.

Unidad funcional:

- 1 MJ al punto de distribución.
- 1 vehículo-kilómetro.

Límites del sistema:

El sistema incluye todos los procesos relacionados con el cultivo, el procesamiento, el transporte y el uso de biocombustibles y



□ Plantaciones de palma

Palma - Aptitud

- No apto condicional
- Apto con restricciones severas
- Apto con restricciones moderadas
- Apto

Figura 4. Resultado principal del potencial de expansión.

combustibles fósiles en Colombia. Asimismo la producción, mantenimiento, reutilización y disposición de la infraestructura, incluyendo construcciones y vías.

Año de referencia:

Para las consideraciones de cambio de uso del suelo, el año 2000; para tecnología de procesos, 2009.

Inventario:

Recopilación de información primaria sobre el cultivo y el procesamiento de biocombustibles en el campo.

La información secundaria (*background data*) se extrae de la base de datos ecoinvent v2.2.

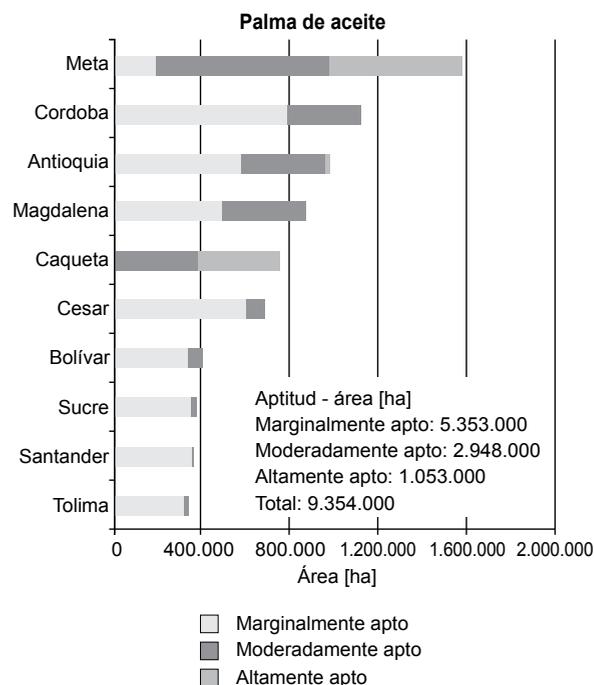


Figura 5. Potencial de expansión de la producción por zona para palma de aceite.

Evaluación del impacto:

- GEI calentamiento global GWP [kg_CO2-eq.]
- Demanda de energía CED [MJ]
- Acidificación ACID [kg SO2-eq.]
- Eutrofización EUTRO [kg PO4-eq.]
- Oxidación fotoquímica SMOG [kg C2H4-eq.]
- Enfermedad respiratoria de inorgánicos PM [pt.]
- Ecotoxicidad ETOX [pt.]
- Eco-Indicador 99 impacto global EI99 [pt.] (en el anexo CapII ACV)

Método de asignación:

Se les asignó una parte del daño ambiental de la producción a todos los subproductos (por ejemplo torta de palmiste, compost, electricidad, etcétera) del biocombustible según su valor económico.

Representatividad palma:

- Dato primario proveniente de la evaluación de:
- 10 cultivos de palma (4 de la Zona Norte, 3 de la Zona Central y 3 de la Zona Oriental), con lo cual se cubrió el 26% del área de

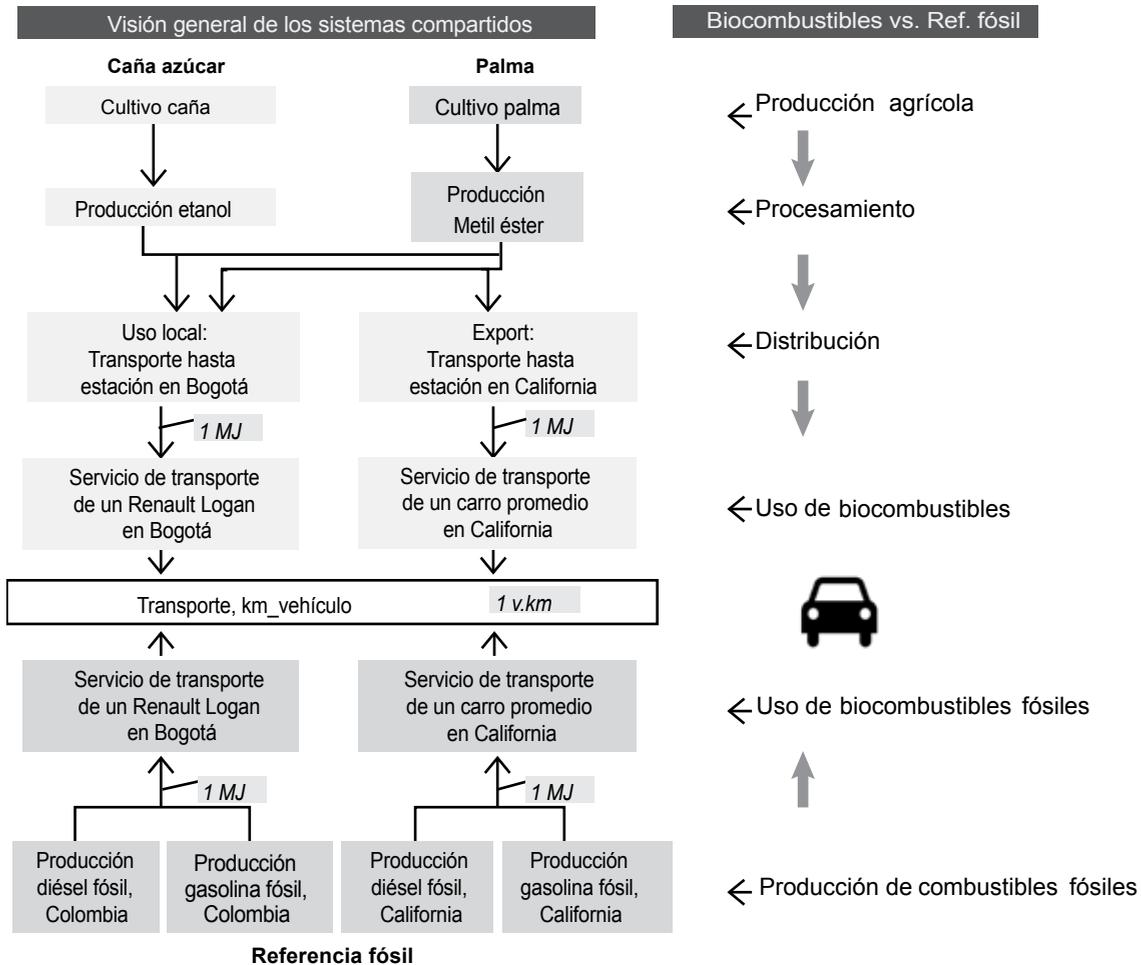


Figura 6. Aspectos que es necesario tener en cuenta en un análisis de ciclo de vida (ACV), además del CO₂.

producción para biodiésel, y el 80% de la capacidad de procesamiento con:

- 5 extractoras
- 4 refinadoras
- 4 transesterificadoras.

En un ACV muchas veces se habla de CO₂ únicamente, y cuando eso sucede, no refleja la realidad. Por tal motivo es necesario incluir otros aspectos, como se analizaron durante el estudio y que muestra la Figura 6.

La idea era comparar los biocombustibles contra la referencia fósil. Así es como se hace, por ejemplo en la Comunidad Europea y Estados Unidos, países que desean obtener cifras de reducción de gases de efecto invernadero, siempre con la referencia de la alternativa fósil.

Como se dijo, debe comenzarse por la producción agrícola y los procesamientos, hasta

llegar a la distribución mediante transporte. De esta manera se llega a un megajulio (la unidad de energía) y a la estación de distribución y el uso final, para medir un kilómetro recorrido por un vehículo. Todo ello se compara con la referencia fósil, que igualmente tiene cierto esfuerzo para producirse: infraestructura, transportes hasta la estación, etcétera, e igualmente se utiliza como unidad de energía el megajulio, y el uso final en forma de un kilómetro de un carro.

Para los sustratos, se quería conocer cuál es el promedio. En la actualidad, el promedio de la producción colombiana está alrededor de 17 toneladas de fruta fresca por hectárea, con un mínimo y un máximo, dependiendo de la situación y de la edad de las plantas (Figura 7).

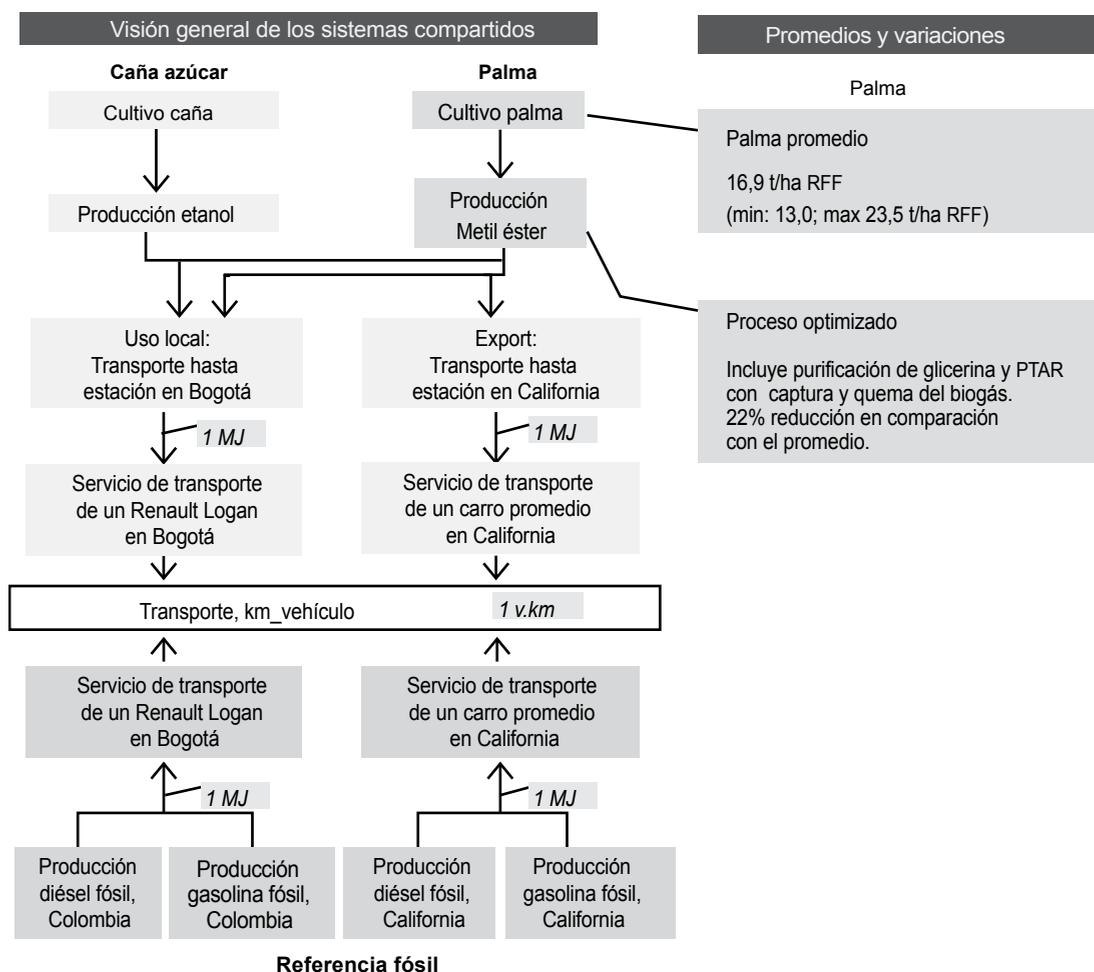


Figura 7. Promedio de los sustratos de los sistemas comparados.

Cambio del uso del suelo: efecto directo e indirecto

Una pregunta clave: ¿Qué pasa con el cambio de uso de suelo, directo e indirecto? surgió a raíz de la demanda por tierras que creó un conflicto entre la producción de alimentos y de combustibles. Hacia el año 2008 comenzó a estudiarse, especialmente por Timothy D. Searchinger, quien optimizó el análisis. Ya también el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) tiene un alto nivel de conocimiento sobre el tema.

La presión en la tierra puede ser directa (LUC, por su sigla en inglés), lo que supone el uso de la tierra antes y después, como por ejemplo que estuviera sembrada para palma de aceite (como alimento), otro tipo de producto agrícola o pastoreo.

En otras palabras: hay un nuevo jugador en el estadio (un cultivo energético), un nuevo producto que necesita ocupar un nuevo espacio. Se analizará si se cambia la tierra directamente para obtener la posibilidad de producirlo. En este caso, no hay más efectos, el cambio de uso directo se puede calcular fácilmente.

La presión sobre la tierra también puede ser indirecta (ILUC, por su sigla en inglés), con efectos de desplazamiento de la producción existente en otra zona, porque la demanda sigue para los productos reemplazados. El área productiva perdida puede ser compensada mediante: (a) la intensificación de la producción o (b) la expansión hacia áreas naturales, por ejemplo a selva húmeda tropical, bosque húmedo, matorrales, etcétera.

Visto de otra manera, el efecto indirecto puede partir de la pregunta: ¿Qué pasa si se

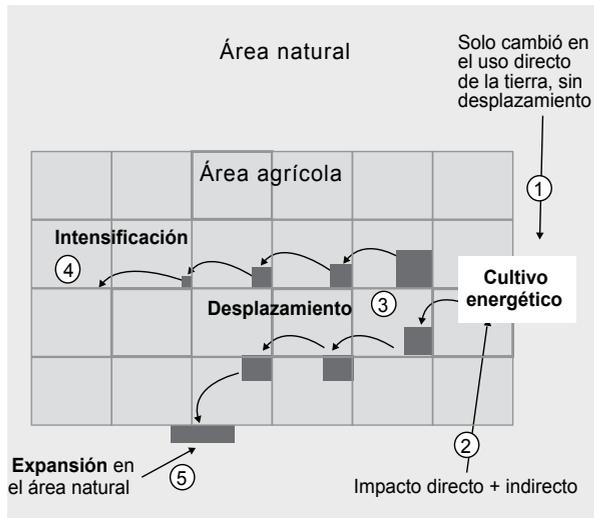


Figura 8. Vista esquemática del cambio indirecto en el uso del suelo.

ocupa este terreno adicional, qué pasa con lo que estaba antes en este terreno? Hay dos opciones. Si existe la posibilidad de intensificar la producción, la misma tierra agrícola en la región será suficiente para absorber la demanda por tierras adicionales. En el caso en que ello no sea posible, hay un desplazamiento y es necesario expandirse a nuevas áreas, que podrían ser naturales, como por ejemplo selva tropical. En tal evento, el daño que se causa al medio ambiente es impresionante (Figura 8).

El cálculo de cambio de uso de la tierra es un verdadero desafío. Pero se ven adelantos en por ejemplo un método propuesto por el IPCC en 2006:

- El cambio de carbono se calcula como la diferencia de carbono en la biomasa superficial del suelo (AGB, por su sigla en inglés), biomasa por debajo del suelo (BGB, por su

sigla en inglés), relación tallo/raíz RS_R , materia orgánica descompuesta (MOD) y carbono orgánico del suelo (COS) antes y después de la plantación.

- Los cambios en las reservas de carbono son analizados sobre un periodo de 20 años (estándar IPCC/Unión Europea).
- El año de referencia es el 2000 y por tanto no se consideró el cambio de uso del suelo de las plantaciones establecidas antes del milenio.

Los métodos actuales permiten hacer cálculos dependiendo del tipo de tierra que se tiene. Por ejemplo, si se habla de un bosque tropical es de alrededor de 200 toneladas de carbono acumulado en este sitio, y si es matorral pueden ser unas 50 toneladas de carbono, lo que sin duda es una diferencia bastante considerable (Tabla 1).

La Figura 9 ilustra el funcionamiento del modelo del IPCC. A la izquierda está el año cero, hoy, y se quiere producir biodiésel de palma. Entonces se parte de cuál era el estatus de la zona en el año 2000, que es el de referencia; si hubo bosque primario, con la metodología del IPCC se ve 20 años al futuro, y dentro de 20 años este bosque primario todavía sería bosque primario; no hay cambio de carbono, pero hay una reserva de carbono todavía existente en esta zona.

Si se plantara palma de aceite, entonces desaparecería este carbono de la zona; pero como la oleaginosa crece, 20 años después también habrá acumulado material de carbono. Pero falta, y ello resulta en una pérdida de carbono neto como promedio de esas dos décadas que considera el IPCC.

Tabla 1. Cambio de carbono por zonas vegetales.

| Zona vegetales | Biomasa encima del suelo (Toneladas de $dm\ ha^{-1}$) | Tallo/raíz tasa | Biomasa total (Toneladas de $C\ ha^{-1}$) |
|----------------------------|---|-----------------|---|
| Bosque tropical | 300,0 | 0,37 | 193,2 |
| Bosque húmedo caducifolia | 220,0 | 0,24 | 128,2 |
| Bosque tropical seco | 210,0 | 0,28 | 126,3 |
| Matorral tropical | 80,0 | 0,40 | 52,6 |
| Sistema montañoso tropical | 145,0 | 0,27 | 86,6 |

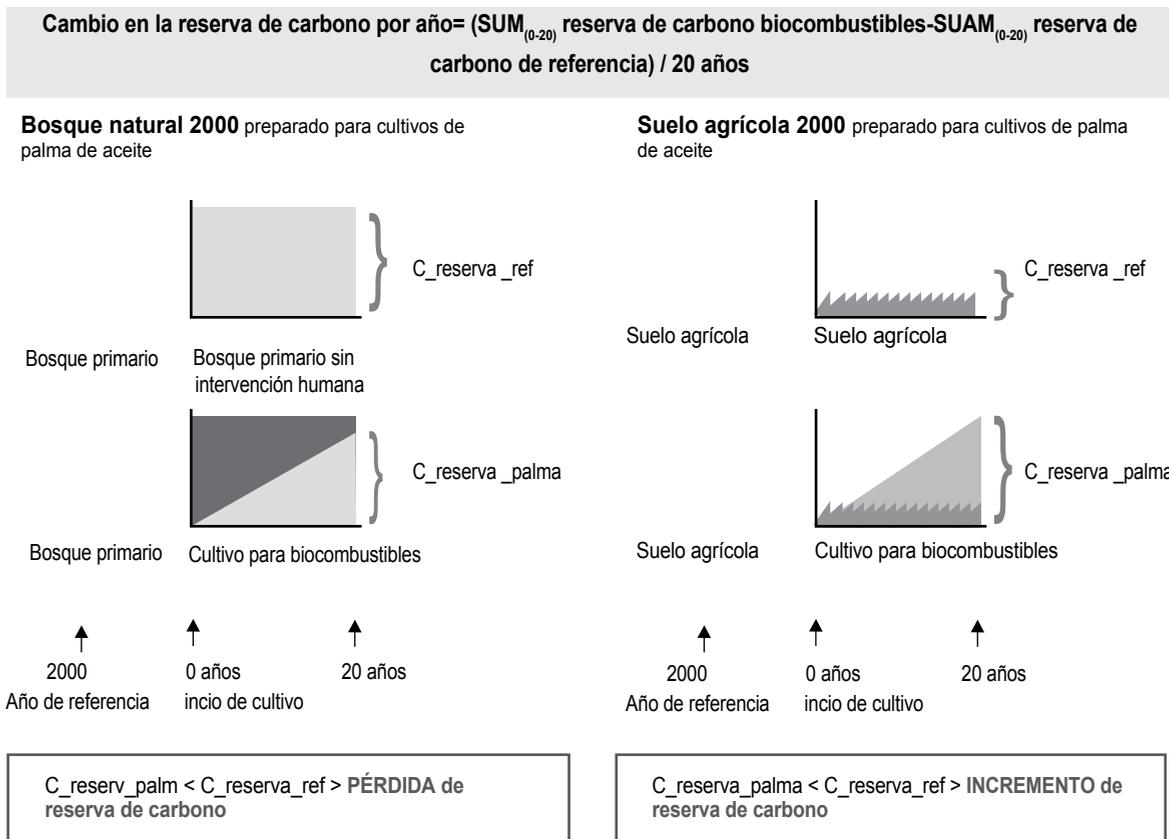


Figura 9. Ilustración de la metodología del IPCC.

A la derecha de la Figura 9 se ve otro ejemplo. Antes se trataba de un cultivo con cosechas anuales, y la reserva de carbono de referencia es estable. Si se reemplaza este producto por uno que tiene más acumulación de carbono, como la palma de aceite, es posible que después de 20 años, en promedio, haya un beneficio de acumulación de carbono. Lo cual representaría un incremento de la reserva en caso positivo. Es importante mantener este punto en la mente para entender los análisis de ACV y los resultados de diferentes fuentes.

En la parte superior de la Figura 10 se ve la manera como normalmente se han hecho los cálculos. Ahora es imprescindible incluir el cambio directo del uso de suelo. En la figura se abarca solo el peor caso de cambio de uso del suelo indirecto asumiendo la expansión de palma de aceite a sistemas naturales, con el objetivo de ilustrar el impacto potencial máximo.

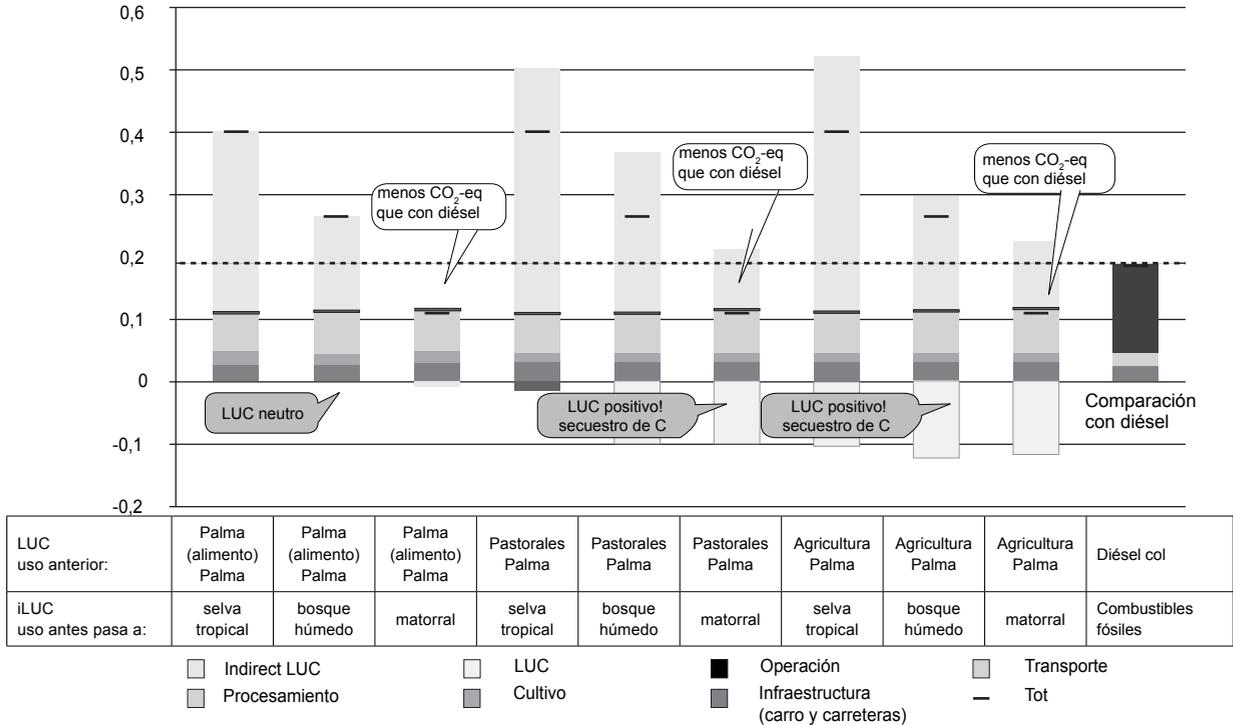
El resultado promedio para Colombia es impresionante, con una reducción de 83% en términos de CO_2 en comparación con la refe-

rencia fósil que se observa en la parte de abajo de la figura. Incluyendo el cambio de uso de tierra indirecto (expansión de la producción), solo la expansión a matorral ahorraría gases de efecto invernadero (GEI). De lo contrario, el impacto GEI sería mayor comparado con diésel fósil (Figura 11).

Pero CO_2 no es el único indicador ambiental que debe analizarse. Los otros indicadores ambientales llamados indicadores punto medio (*Midpoint Indicators*), también cuentan. En la Figura 12 aparecen cinco de ellos: acidificación, eutrofización, ecotoxicidad, smog y material particulado. El biodiésel siempre tiene mayor impacto en otras categorías. Para facilitar el análisis se pueden unir estos indicadores al indicador global, y en este caso se utiliza el ecoindicador (Figura 13).

La Figura 14 muestra de manera distinta los impactos de productos de varios países en CO_2 , relacionados con la gasolina fósil, como por ejemplo el etanol de maíz de Estados Unidos, que no genera mucho beneficio y crea

Ejemplo: Producción de aceite de palma en tierras anteriormente cultivadas
 Unidad: GEI [CO₂-eq.] por vehículo-km.



En la figura, se abarca solo el peor caso de cambio de uso del suelo indirecto asumiendo la expansión a sistemas naturales, con el objetivo de ilustrar el impacto potencial máximo.

Figura 10. Ahorro de GEI con la siembra de palma de aceite en tierras anteriormente cultivadas, y asumiendo también una expansión de la misma a sistemas naturales.

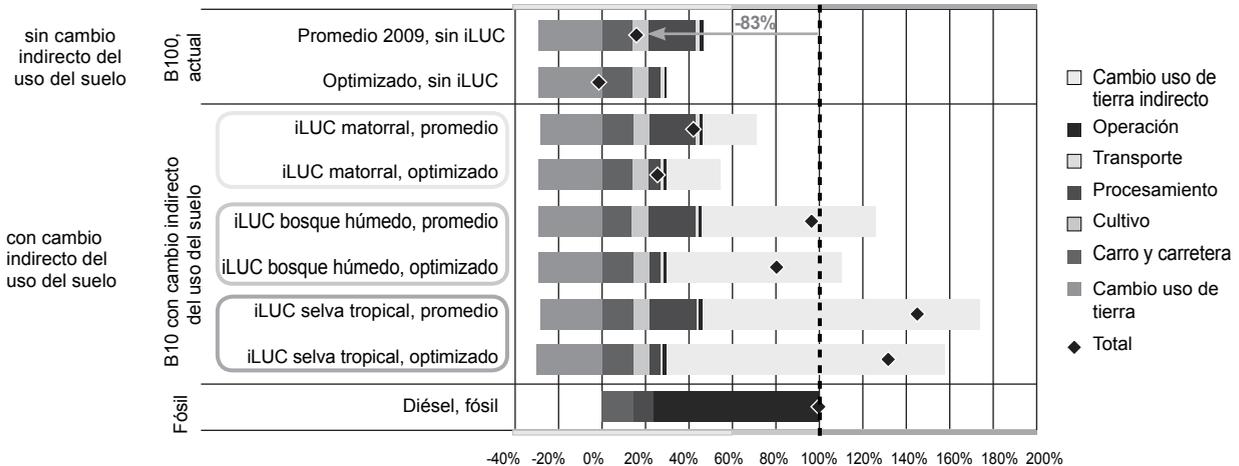


Figura 11. Impacto GEI de la palma de aceite incluyendo iLUC.

más daño, al igual que los cultivos de la costa europea. La figura utiliza cifras para la palma de Malasia del año 2007, y en una revisión reciente se evidenció que la situación del cultivo en ese país ha empeorado, pues desde entonces se ha tumbado más bosque natural.

Potencial de expansión en Colombia

Ahora bien: ¿Cuál es el potencial de expansión sostenible para la producción de biocombustibles en Colombia, considerando otros aspectos

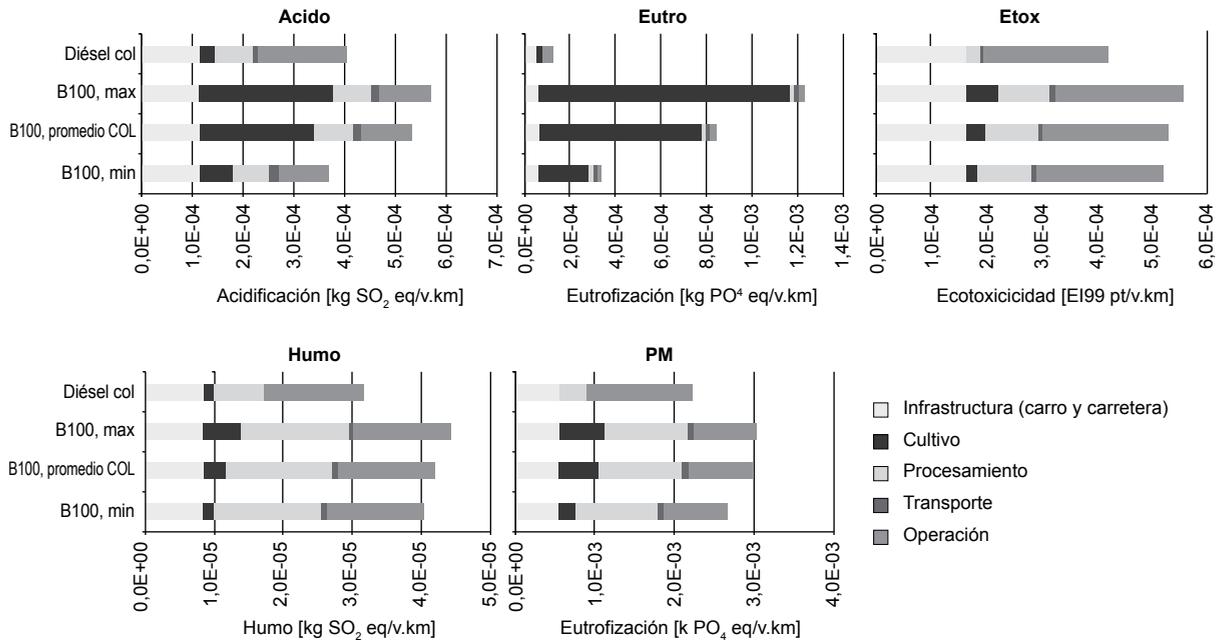
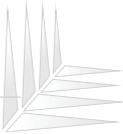


Figura 12. Biodiésel. Indicadores punto medio. Impactos ambientales del biodiésel de palma por vehículo-km especificados por etapa de producción.

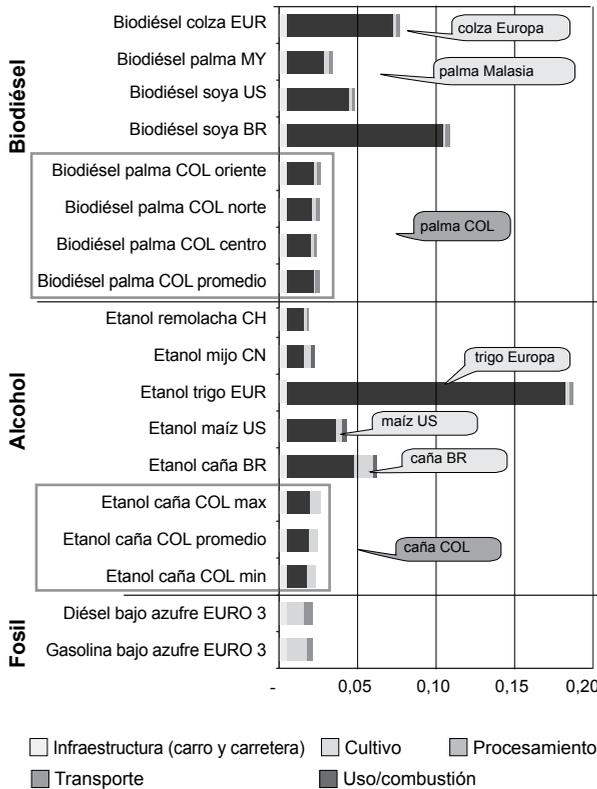


Figura 13. Impacto ambiental global (método Ecoindicador 99) de los biocombustibles colombianos comparados con otras cadenas de valor de biocombustibles. Combustibles colombianos adaptados para el vehículo estándar de Ecoinvent.

aparte del CO₂? Que sea sostenible significa que incluya las oportunidades y los riesgos en los niveles social, económico y ambiental.

El objetivo fue la creación de capas GIS que permiten identificar regiones aptas y críticas. No se buscó hacer un análisis de expansión detallado por cada punto del mapa.

Para llegar a establecer los mapas finales, se analizaron los factores espaciales que se indican en la Figura 15.

En un primer grupo se estableció la información que es necesario acopiar como: precipitación, temperatura, pendientes, drenaje, fertilidad del suelo, etcétera, todo lo cual puede calcularse y el acceso a los datos para hacerlo es fácil en Colombia.

El resultado de estos cálculos permite establecer la aptitud biofísica para la palma de aceite de ciertas zonas, en las que el grado de aptitud se traduciría en cifras de productividad potencial.

Otro aspecto importante, en un segundo grupo, es el de establecer las limitaciones legales como que las zonas sean parques nacionales, o reservas indígenas o pertenezcan a comunidades negras, y para eso existen mapas en Colombia.

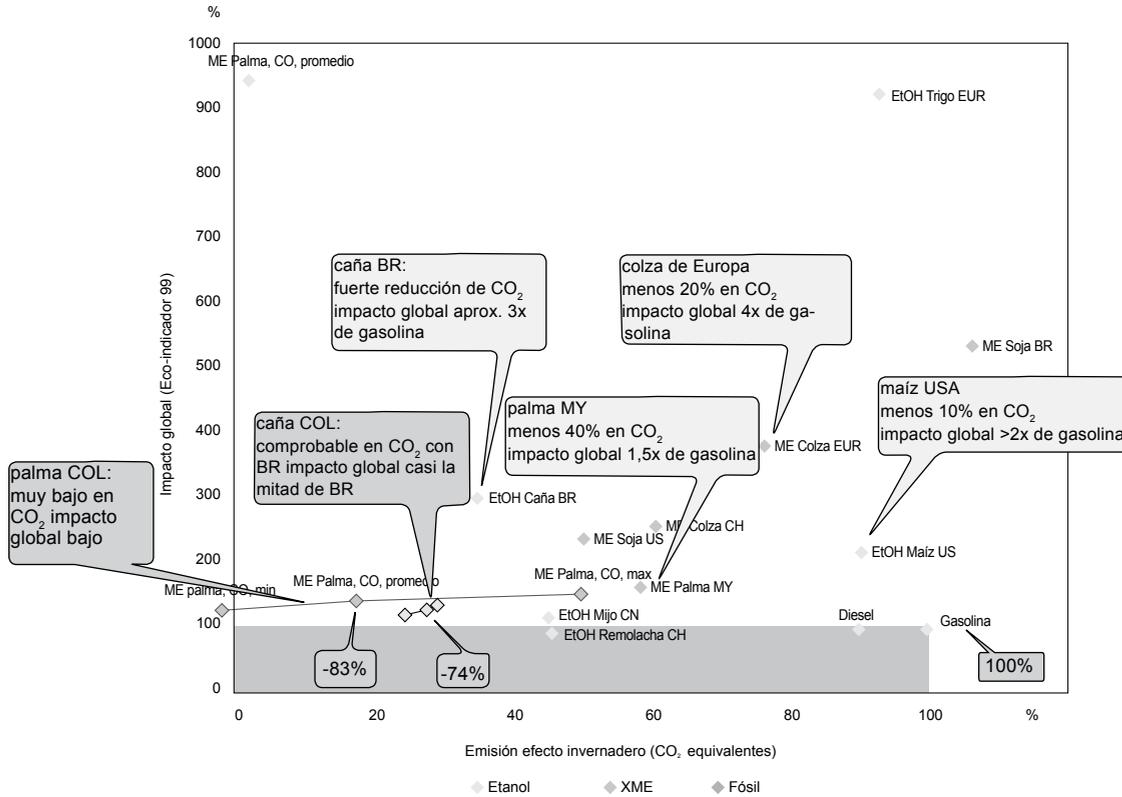


Figura 14. Potencial de calentamiento global del impacto ambiental total de los biocombustibles relativo a la gasolina fósil (100%).

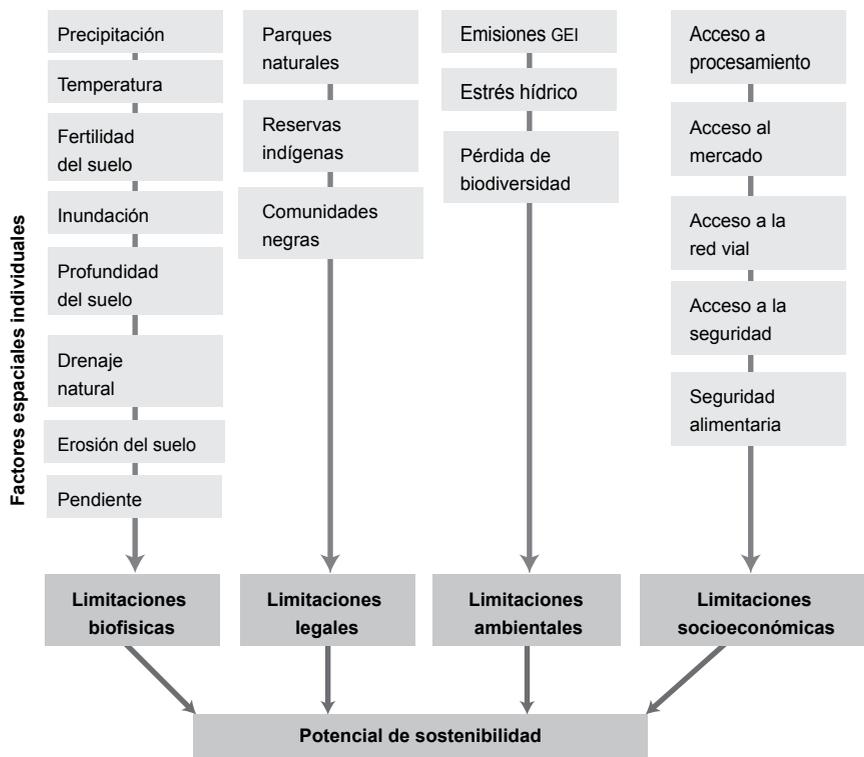
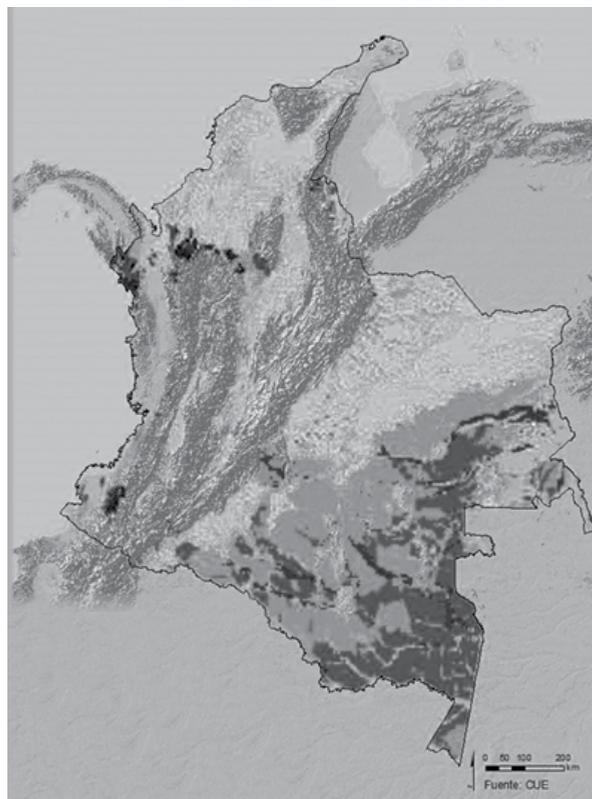


Figura 15. Factores espaciales para analizar.



Palma - Emisiones de GEI (%)



Figura 16. Emisiones netas de GEI en comparación con la gasolina. Las zonas en gris claro tienen una reducción mayor del 40%.

Un tercer grupo, que puede considerarse como el más crítico, es el cálculo de las emisiones de GEI. El primer paso es contestar las preguntas: ¿Cuál es el contenido de carbono, antes, en esta zona específica de los trópicos? ¿Cuál es la suma de carbono en el suelo, en las raíces y en la masa verde por encima del suelo? ¿Cuál es el contenido de carbono 20 años después de la reconversión de una cierta tierra a una plantación de biocombustible? ¿Cuál es el rendimiento teórico de los cultivos y las emisiones CO_2 de su producción bajo las circunstancias locales? ¿Cómo se comparan las emisiones CO_2 de biocombustible con emisiones del combustible fósil?

El resultado final es el posible ahorro neto de gases efecto invernadero en cualquier pun-



Plantaciones de palma

Palma - Aptitud

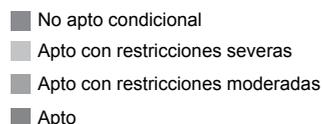


Figura 17. Potencial de expansión de la palmicultura, de manera sostenible.

to del país. En la Figura 16, las áreas más oscuras son las zonas que tienen un potencial de ahorro mínimo de 40% de CO_2 , en comparación con un carro con energía fósil. Resultan las más interesantes, porque cumplen, por ejemplo, con las exigencias de la Comunidad Europea o del EMPA de Estados Unidos.

El último grupo de limitaciones son las socioeconómicas. Por ejemplo, el acceso a mercados, las distancias, las más cortas posibles; el acceso a puertos. La seguridad sigue siendo uno de los temas críticos como también el acceso a la infraestructura, por ejemplo a vías o a ríos.

Para incluir aspectos de seguridad alimentaria, en el estudio se incluyeron mapas de la producción existente de los alimentos y esas

zonas se excluyeron como aptas, para evitar discusiones de competencia de alimentos.

Todos los aspectos enunciados, finalmente, se puede combinar. De manera que para la elaboración del mapa final que mostrara el potencial de expansión de la palma de aceite de manera sostenible, se eliminaron las áreas protegidas y no aptas, las áreas de alta prioridad para la biodiversidad; las que no tienen un potencial alto de reducción de CO₂, y zonas de agricultura actual, para garantizar una seguridad alimentaria.

Se incluyeron asimismo unas restricciones: a zonas que no tienen buen acceso a vías todavía. No es criterio de exclusión, pero debe considerarse, pues habría que armar la infraestructura primero, para posibilitar su aprovechamiento.

El resultado final, como se dijo, es de un millón de hectáreas de tierras altamente aptas y tres millones de tierras moderadamente aptas (Figura 17).

Traducido a los departamentos, en el Meta y Caquetá está el mayor número de tierras altamente aptas, como se muestra en la Figura 18.

En resumen, existe un potencial real para la producción sostenible de palma de aceite,

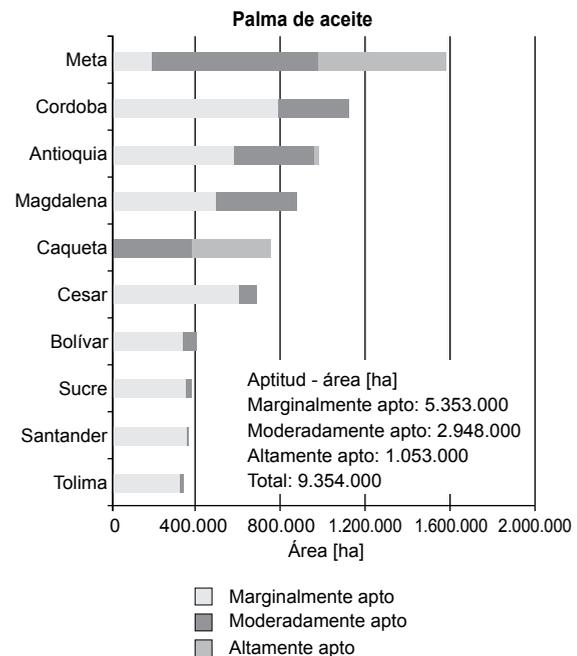


Figura 18. Potencial de expansión de la producción palmera por departamento.

con procesos optimizados. Colombia puede destacarse en el ámbito mundial si confía en los biocombustibles y trabaja en la dirección correcta para lograr su producción sostenible.