



CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

Calle 98 No. 70-91  
Tel: 313 86 00  
www.fedepalma.org  
Bogotá D. C., Colombia

Esta publicación cuenta  
con el patrocinio del  
Fondo de Fomento Palmero



Fotografía: archivo Fedepalma

La revista Palmas no se hace responsable  
de las opiniones emitidas por los autores.

Incluida en el portal de revistas de  
la BVS de BIREME/OPS/OMS

Versión digital en OJS:  
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas>

Jens Mesa Dishington  
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

### Editor

Andrés Felipe García Azuero  
Director de Planeación Sectorial y Desarrollo Sostenible

### Comité Editorial

Jens Mesa Dishington  
Boris Hernández Salame  
Jaime González Triana  
Juan Fernando Lezaca Mendoza  
Carolina Gómez Celis

### Comité Científico

Álvaro Campo Cabal, *Ph.D.*  
Álvaro Silva Carreño, *Ph.D.*  
Carlos Beltrán Roldán, *M.Sc.*  
Fernando Munévar Martínez, *Ph.D.*  
Luis Eduardo Zapata Munévar, *Ph.D.*

### Coordinación Editorial

Ana Marcela Hernández Calderón

### Colaboración

Leonardo Paipilla

### Responsable de Publicaciones

Yolanda Moreno Muñoz

### Centro de Información y Documentación

Martha Helena Arango de Villegas

### Traductor

Carlos Arenas

### Diagramación

Fredy Johan Espitia B.

### Impresión

Estudio 45-8 S. A. S.

# CONTENIDO

## EDITORIAL

---

- 6 Una institucionalidad gremial de talla mundial para conquistar, desde Colombia, el mundo de los aceites y las grasas  
*A world-class institutional framework to conquer the world of oils and fats from Colombia*  
Jens Mesa Dishington

## SOSTENIBILIDAD

---

- 15 Emisiones de GEI y desempeño económico del sector palmero en Colombia: escenario actual y perspectivas a largo plazo  
*The GHG Emissions and Economic Performance of the Colombian Palm Oil Sector: Current Status and Long-term Perspectives*  
Ramírez C. Nidia E., Munar F. David. A., García Núñez Jesús A., Mosquera Montoya, M., Faaij Andre P. C.
- 49 Emisiones de gases de efecto invernadero para diferentes métodos de cosecha, alce y transporte de racimos de fruta fresca de palma de aceite  
*Greenhouse Gas Emissions for Different Harvesting, Rising, and Transportation Methods of Oil Palm Fresh Fruit Bunches*  
Munar F. David A., Chaparro Triana Diana C., Ramírez Contreras Nidia E., García Núñez Jesús A.
- 62 Estimación del dividendo palmero en Colombia. Efectos de la producción de palma en las condiciones socioeconómicas de los municipios productores, II parte  
*Estimation of the Palm Dividend in Colombia. Effects of Oil Palm Production on the Socio-economic Conditions of Producers Municipalities, II Part*  
Gutiérrez Pablo E., Rico Daniel M.

## SANIDAD

---

- 82 Reducción del malogro en racimos de cultivares híbrido OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) mediante el uso de buenas prácticas  
*Reduction of Oil Palm Bunch Failure in OxG Hybrid Cultivars (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis) through the Deployment of Good Practices*  
Pérez Wilson A., Arias A. Nolver A.
- 93 Descripción del comportamiento de la Marchitez letal de la palma de aceite a partir del análisis epidemiológico temporal  
*Describing the Behavior of Lethal Wilt in Oil Palm from Temporal Epidemiological Analysis*  
López V. Juan M., Mesa F. Eloína, Acosta María C., Tovar Juan P.

---

Cualquier utilización por terceros, de todo o parte del contenido de la revista Palmas, deberá ir acompañada de su nota bibliográfica y estar claramente referenciada (indicando en cada caso el nombre de la revista, volumen, número y año de edición).  
Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los artículos con fines comerciales.

---

## Política editorial revista Palmas

PALMAS es una publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) fundada en 1980, de circulación trimestral a nivel nacional e internacional.

PALMAS es una revista de análisis especializada en la agroindustria de la palma de aceite con artículos sobre el desarrollo de nuevas tecnologías para el cultivo, el procesamiento y la extracción de aceite de palma, aspectos nutricionales del consumo de aceites y grasas, análisis de mercados y comercialización, así como el registro de los eventos gremiales de la Federación.

Está dirigida a todo el sector palmicultor, los gerentes, administradores y agrónomos de las plantaciones, a las entidades representativas del sector agropecuario en general, a los diferentes estamentos del gobierno, a las industrias de aceites y grasas, a los alimentos concentrados, a las industrias con aplicaciones no comestibles de los aceites de palma, a los centros educativos y de investigación nacionales e internacionales y al público interesado en el tema. Circula, además, en países de América, Europa y Asia.

Se publican trabajos inéditos, resultados de investigación, artículos preparados con base en tesis de grado, informes o avances técnicos, artículos traducidos de otras publicaciones, ponencias de eventos, artículos de revisión.

Las opiniones expresadas en los artículos reflejan el pensamiento y opinión de los autores y no necesariamente los de Fedepalma.

El Comité Editorial se reserva el derecho de aceptar los artículos que se van a publicar, previa revisión por personal técnico y pares.

Los artículos deben cumplir con las normas editoriales elaboradas por Fedepalma. Todos los artículos serán sometidos a una corrección de estilo realizada por un experto.

## Guía para la elaboración de artículos en revista Palmas

### Presentación de artículos

- Enviar original por medio del portal OJS ([publicaciones.fedepalma.org](http://publicaciones.fedepalma.org))
- Documento original en Word, en medio digital, a 12 puntos y doble espacio, con márgenes de 2,5 cm.
- Todos los artículos deben incluir título (no más de 15 palabras) en español y en inglés, sección a la que pertenecen y tipo de artículo.
- Títulos. Primer orden en mayúsculas y negritas; segundo orden: minúsculas y negritas; tercer orden: en cursivas.
- Las tablas y figuras en Excel o programa original. Las fotos en alta resolución (300 dpi o 1 Mega).
- Los artículos deben tener resumen en español y en inglés (250 palabras, cada uno), y palabras clave en los dos idiomas. No debe contener las palabras del título.
- El nombre del autor: dos apellidos, cuando los use, dirección, correo electrónico, cargo y empresa.
- Los artículos de innovación científica y tecnológica tienen un máximo de 25 páginas.
- Los tipos de artículos que tiene la revista son: investigación e innovación científica, reseña, reflexión y traducción.
- Las secciones son: Cultivo, Sostenibilidad, Extensión, Institucionalidad, Emprendimiento, Comercialización y mercados, Valor agregado, Salud y nutrición humana, Memorias de eventos.

La estructura de artículo de investigación e innovación científica y tecnológica es la siguiente:

- Sección y tipo de artículo: enumerados anteriormente.
- Título: en español e inglés, corto (15 palabras máximo), de lo contrario deberá incluirse un subtítulo.
- Autores: escribir el primer nombre e inicial del segundo, primer apellido e inicial del segundo. La dependencia a que pertenecen, dirección postal completa y correo electrónico.
- Resumen en español e inglés: no debe superar las 250 palabras.
- Palabras clave: hasta ocho palabras que faciliten el uso de los sistemas de catalogación y búsqueda de información por computador. No se deben repetir las palabras del título.
- Introducción: se define el problema por estudiar, los objetivos del artículo, la metodología y se indica la importancia de la investigación. Con citas bibliográficas se sustenta la revisión de literatura sobre el tema.
- Materiales y métodos: se deben describir los detalles y características del sitio, materiales, técnicas, diseño experimental y análisis estadísticos.
- Resultados y discusión: es preferible presentarlos unidos. Los resultados deben describirse en forma concisa y utilizar tablas, figuras y fotografías. En la discusión se hará la evaluación de los resultados obtenidos y se relacionan con los resultados de otras investigaciones, sustentados con citas bibliográficas dentro del texto.
- Conclusiones: deben ser breves y corresponden a las recomendaciones, sugerencias e hipótesis nuevas. No debe repetir los resultados.
- Bibliografía: se debe limitar a la estrictamente necesaria y en relación directa con la investigación realizada. Todas las referencias listadas deben estar citadas en el texto. Se deben colocar en orden alfabético por apellido e incluyen: autor, año, título, número de edición, casa editora, lugar de publicación, número de páginas, siguiendo las normas de citación de la American Psychological Association (APA), sexta edición. En caso de ser publicación periódica se debe citar el nombre de la revista y entre paréntesis el país, volumen, número y páginas, si corresponde a una serie o colección.

---

Advertencia. Los contenidos de los avisos publicitarios de esta revista son atribuibles y responsabilidad exclusiva de los anunciantes o pautantes. Para interponer cualquier reclamación relacionada con los contenidos publicitarios insertados en la revista Palmas, pueden dirigirse a la siguiente dirección de correo electrónico [atencionalafiliado@fedepalma.org](mailto:atencionalafiliado@fedepalma.org) y desde allí se hará el contacto con el pautante.

---

## Editorial Policy for Palmas Journal

PALMAS is a publication of the National Federation of Oil Palm Growers (Fedepalma) founded in 1980, published quarterly with national and international circulation.

PALMAS is an analysis journal specialized in the oil palm agro-industry, with articles on the development of new technologies for cultivation, processing and extraction of palm oil, nutritional aspects of oils and fats consumption, market analysis and marketing, as well as the record of the trade association events of Fedepalma.

The journal is aimed at the entire oil palm sector, plantation managers, directors, and agronomists, the representative bodies of the agricultural sector in general, the different institutions of the government, the oils and fats industries, animal feed industry, industries with non-edible applications of palm oils, and national and international research and educational centers and public interested in the subject. It also circulates in countries of America, Europe, and Asia.

Unpublished works, research results, articles prepared on the basis of degree thesis, technical reports or advances, articles translated from other publications, papers from events, and review articles are published in this journal.

The opinions expressed in the articles reflect the view and opinion of the authors and not necessarily those of Fedepalma.

The Editorial Committee reserves the right to accept the articles to be published, after review by technical staff or peer review.

The articles must comply with the publishing guidelines established by Fedepalma and submitted to the Office of Publications of Fedepalma in digital form. All articles will be subject to proofreading by an expert.

## Note for the Authors: Guidelines for the Preparation of Articles in Palmas

### Articles Submission

- Submissions should be processed via OJS through [publicaciones.fedepalma.org](http://publicaciones.fedepalma.org)
- Original in Word format 12 points, in digital media, and double space with margins of 2,5 cm.
- The article title should be short, maximum 15 words, in Spanish and English, section and type of article.
- First-order headings must be in upper case and bold; second-order in lower case and bold, and third-order in italics.
- The tables and figures preferably in Excel. High resolution photos (300 dpi or 1 Mega).
- All articles must have a summary in Spanish, and whenever possible in English, and keywords.
- Authors' name must indicate both surnames if used, and data of address, position and company in case of having them.
- Scientific articles should not exceed 25 double-spaced pages.
- The types of articles are: scientific research and innovation, review, reflection and translation.
- The sections are: Culture, Sustainability, Extension, Institutionalality, Entrepreneurship, Marketing and Markets, Added Value, Health and Nutrition

The structure of scientific and technological research and innovation article should be following:

- Title: should be short, maximum 15 words, otherwise a subtitle should be included.
- Authors: place first name and middle initial, first surname and initial of the second; provide organizational affiliation, Email and full postal address.
- Abstract should not exceed 250 words.
- Keywords: up to eight words can be placed to facilitate the use of modern computer-based systems for cataloguing and retrieval of information. The words of the title should not be repeated.
- Introduction: the problem to be studied is defined and the importance of the research is indicated. Literature review on the topic is supported with bibliographic citations.
- Materials and Methods: details and characteristics of site, materials, techniques, experimental design, and statistical analysis should be described
- Results and Discussion: It is preferable to present them together. Results should be described in a concise manner using tables, figures, and photographs. In the discussion, an evaluation of the results obtained will be done and related to other research results, supported with bibliographic citations within the text.
- Conclusions: they should be brief and correspond to the new recommendations, suggestions, and hypotheses. Do not repeat results.
- References: should be limited to the strictly necessary and directly related to the research done. All listed references should be cited in the text. They should be placed in alphabetical order by surname and include: author, year, title, issue number, publishing house, place of publication, page numbers, following the American Psychological Association (APA), sixth edition, referencing and style system. In the event of being a periodical publication, the name of the journal should be cited and in parenthesis the country, volume, number and pages if it corresponds to a series or collection.

## Una institucionalidad gremial de talla mundial para conquistar, desde Colombia, el mundo de los aceites y las grasas

En junio, hace 32 años, con la instalación del XVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite inició mi labor como dirigente gremial del sector palmero colombiano. Mucho ha pasado en este tiempo, por tratarse de un sector dinámico, joven, en pleno desarrollo, que lleva alrededor de seis décadas desde que se establecieron las primeras plantaciones de palma africana en nuestro país, gracias a una iniciativa gubernamental orientada a suplir la falta de aceites vegetales de origen nacional.

Contar con un producto versátil con ventajas competitivas claras; el compromiso de los empresarios del sector; y el amor de los productores por el campo y su creencia en el valor gremial, que dio lugar a una construcción colectiva; fueron factores que siempre me hicieron confiar en el desarrollo de esta agroindustria. Esta confianza, y el convencimiento de que el potencial del sector solo podría aprovecharse con una orientación estratégica y un soporte institucional pertinente para gestionar sus necesidades y oportunidades, llevaron al desarrollo de la institucionalidad palmera que hoy conocemos y que constituye uno de los principales activos de la palmicultura colombiana.

Con creatividad, visión colectiva y decisión, este desarrollo institucional ha sido crucial para la generación y transferencia de conocimientos, tecnologías e información relevante, que impactan en la productividad, la sostenibilidad y la competitividad del cultivo y la agroindustria. De igual manera, ha impulsado el diseño y gestión de políticas e instrumentos orientados a crear un entorno más favorable para el sector, con el apoyo de un gremio que representa y defiende a los palmicultores, y propende por un negocio competitivo.

De la mano con los palmicultores, en estas poco más de tres décadas, hemos logrado la construcción de una institucionalidad gremial de talla mundial, fuerte, consolidada, moderna y funcional. Hoy día Fedepalma, Cenipalma y los instrumentos de la parafiscalidad palmera se han convertido en un referente para otros sectores en el ámbito nacional y para la palmicultura de otros países, especialmente en Latinoamérica. Y lo más importante, los propios palmicultores colombianos reconocen la gestión gremial como un incuestionable valor agregado para nuestro sector, como lo expresó en algún momento un destacado miembro de Fedepalma, al señalar que su empresa tenía un valor mucho mayor con la Federación, su organización y sus servicios, que sin ellos. Algo que resume lo que la acción gremial le ofrece y le reditúa a los empresarios y productores, sin importar su tamaño.

## Un poco de historia

Para un mayor entendimiento de cómo se fue desarrollando la institucionalidad gremial palmera, es importante recordar algunos de los aspectos más relevantes de la historia del sector. En sus inicios, la generación pionera de los palmicultores, durante 20 años, adelantó directamente el trabajo gremial, posteriormente, conformó un equipo responsable de ejecutar las políticas y decisiones gremiales, para lo cual en 1982 designó su primer Director Ejecutivo, Antonio Guerra de la Espriella, mi antecesor. A mi llegada en 1989, la Federación contaba con unos 120 miembros afiliados, que representaban tres cuartas partes del área cultivada de entonces, se tenía organizado un servicio de comercialización de unos pocos insumos importados y, además, se había iniciado el trabajo investigativo técnico en algunos aspectos puntuales del cultivo con tres profesionales y se promovía la transferencia de tecnología mediante días de campo, publicaciones y eventos. Para ese entonces, el equipo de la Federación estaba conformado por ocho personas.

El sector comenzaba a transitar nuevamente por un ciclo de precios bajos. Luego de un periodo llamado por muchos de “años dorados”, el precio del aceite de palma había caído fuertemente, el proteccionismo económico gubernamental también estaba en jaque, las presiones por liberar el mercado de aceites y grasas estaban en su punto y muchas políticas de fomento se habían suspendido. Adicionalmente, se empezaban a generar crecientes excedentes de aceite de palma y aún no era claro cómo manejarlos de manera que no se menoscabara el ingreso de los productores. Además, los cultivos se estaban viendo afectados por un grave problema fitosanitario causado por una enfermedad de la que muy poco se conocía. Era un momento crítico para la actividad palmera y para el sector, en donde pedirle apoyo al Gobierno no era una opción real, por lo tanto, era necesario tener otra actitud, en la que el gremio, las empresas y los productores nos volviéramos capitanes de nuestro propio destino, para lo cual era necesario consolidar la gremialidad, en la que todos sumaran para sacar adelante esta agroindustria, bastante incipiente en ese entonces.

En ese tiempo, recuerdo que “ser los dueños de nuestro destino” se convirtió en un criterio rector de muchas de nuestras políticas y actividades gremiales. Fue así como asumimos una visión colectiva proactiva, con enfoque internacional, que nos permitió en el largo plazo crecer en un mundo cada día más globalizado. De cara a enfrentar los retos productivos, al igual que los propios de la comercialización en los mercados externos, se crearon Cenipalma y C. I. Acepalma S. A., luego, buscando fortalecer y ampliar la gestión sectorial, se desarrollaron el Fondo de Fomento Palmero y el Fondo de Estabilización de Precios para el Palmiste, el Aceite de Palma y sus Fracciones (FEP Palmero). Estos mecanismos contribuyeron a asegurar el compromiso colectivo, a proveer los recursos requeridos para realizar las actividades demandadas por el sector y a facilitar su dinámica exportadora.

Desde entonces, hemos seguido robusteciendo esta institucionalidad y continuado con la innovación en el diseño e implementación de estrategias que nos han llevado al punto en el cual nos encontramos hoy, con una agroindustria fortalecida, más compleja, que ha superado muchos desafíos y que tiene aún amplias oportunidades de crecimiento.

En los años transcurridos en Fedepalma he visto cómo ha crecido esta agroindustria. A principios de los 90, la palma de aceite era un cultivo desconocido para muchos, bastante exótico para la realidad agrícola colombiana, pero en 3 décadas multiplicó su área 6 veces y hoy contamos con cerca de 590.000 hectáreas, con más de 6.600 productores, de los cuales alrededor del 97 %

son de pequeña y mediana escala; tenemos más de 133 alianzas productivas y estamos congregados y organizados en alrededor de 70 Núcleos Palmeros, presentes en más de 160 municipios, de 21 departamentos. El sector palmero representa el 9,1 % del PIB agrícola nacional y genera más de 190.000 puestos de trabajo directos e indirectos, con una formalidad mayor al 82 %. El valor de la producción se multiplicó por 8,5 veces, pasando de 132 millones a 1,13 billones de dólares en la actualidad; los mercados se han diversificado y las ventas en los mercados de exportación han aumentado hasta llegar a niveles cercanos al 50 % de la producción total.

Soy testigo de excepción de que la agroindustria de la palma de aceite es una de las alternativas más promisorias de la producción agropecuaria colombiana. El aceite de palma es actualmente el más consumido en el mundo, por su gran versatilidad y por ser un producto competitivo, siendo el cultivo oleaginoso con mayor rendimiento de aceite por unidad de área, ejerciendo así menor presión sobre el uso de la tierra e igualmente demandando menor uso de fertilizante y pesticidas que las otras oleaginosas. Es un producto estrella con grandes posibilidades de desarrollo tanto en la industria alimentaria como en la no alimentaria.

De igual manera, son muchos los logros alcanzados con la institucionalidad gremial palmera, de los cuales quisiera resaltar algunos de ellos. En primer lugar, Cenipalma, que actualmente es un referente internacional en investigación y generación de tecnologías y buenas prácticas para la agroindustria de la palma de aceite. Su acompañamiento científico y técnico me permitió ver grandes avances, como fue en su momento la identificación del agente causal de la Pudrición del cogollo, la *Phytophthora palmivora*, hallazgo que impulsó un manejo más asertivo de la enfermedad, con la cual todavía luchamos por controlar y que sigue causando pérdidas de importancia, pero que gracias a ese acompañamiento y a los avances obtenidos no ha impedido el desarrollo del cultivo de la palma de aceite en el país. También he sido testigo del mejoramiento en la genética de los distintos cultivares y en la adopción de tecnologías novedosas, como la aplicación del ácido 1-naftalenacético (ANA) en la polinización del híbrido OxG, la cual ha logrado impactar muy positivamente la formación y calidad de los racimos de fruta y por supuesto en alcanzar una tasa industrial de extracción de aceite (TEA) de más de 27 %; logrando así 10 y hasta más toneladas de aceite por hectárea-año en cultivares híbridos OxG, triplicando la productividad promedio nacional.

Pero todo este trabajo debía estar articulado con la sostenibilidad y el cuidado de nuestro entorno y fue así como enfocar los esfuerzos en esa dirección se convirtió en una directriz gremial. Los mercados demandan productos sostenibles, que tengan la trazabilidad de toda la cadena, desde el cultivo hasta el destino final, que permita asegurar unos manejos ambientales y sociales adecuados, respetuosa de los límites de la naturaleza y que valide los derechos de las comunidades y de los trabajadores vinculados a la agroindustria.

Si bien he podido ver de primera mano los estudios que corroboran que el sector palmero colombiano se ha desarrollado con un mínimo impacto en deforestación, que además le da enormes beneficios a las comunidades donde se encuentra, como generar empleo formal en el sector rural, donde la informalidad es superior al 85 %, también he sufrido, liderando el gremio, con la estigmatización que ha tenido todo el sector, en buena medida derivada de una guerra comercial global al aceite de palma, sin importar su origen, como si fuera *per se* un producto dañino y un cultivo deforestador. Por ello, desde la Federación impulsamos la adopción masiva de las prácticas de sostenibilidad y la búsqueda de mecanismos para su reconocimiento, como las certificaciones y esquemas complementarios, por lo cual también se creó el Programa de Aceite de Palma Sostenible de Colombia, una iniciativa que sustentará nuestro posicionamiento como un origen sostenible. Asimismo, hemos sido implacables en comunicar que el

sector palmero de nuestro país está comprometido con el respeto por la naturaleza, que genera trabajo de calidad respetando los derechos humanos y que es una agroindustria incluyente que genera bienestar en las comunidades rurales. En una frase, que la agroindustria de la palma de aceite colombiana es sostenible, única y diferenciada.

Otro de los logros clave en estos años, de gran impacto en el fortalecimiento del mercado local, fue la gestión exitosa desde Fedepalma, de la mano con el Gobierno Nacional, para la creación del Programa Nacional de Biodiésel. En el marco del mismo, se ha aumentado de una mezcla B5 (2008) a B12 en la actualidad, y este segmento hoy representa para los palmicultores más de la mitad de las ventas locales de aceite. Por otra parte, se creó el programa de mercadeo del aceite de palma, que ha permitido aumentar el uso del aceite de palma colombiano en las mezclas de aceites vegetales y mejorar el posicionamiento de nuestra agroindustria dando a conocer las bondades y beneficios funcionales y nutricionales del aceite de palma.

En la labor gremial desarrollada, también se logró el fortalecimiento de presencia en las regiones, con el desarrollo de los campos experimentales en las cuatro zonas palmeras; la creación de la figura de los Delegados Gremiales Regionales; y la consolidación del Sistema de Información Estadística del Sector Palmero y del Centro de Información y Documentación (CID Palmero), que han logrado brindar información abundante, oportuna y veraz, para que los palmicultores y la gremialidad tengan más elementos y mejores argumentos para la toma de decisiones y las proyecciones a mediano y largo plazo. Dentro de estos productos de información, se encuentra la Revista Palmas, una publicación periódica de análisis especializada en la agroindustria de la palma de aceite, que ha contribuido a la difusión de información y a la transferencia de conocimiento por más de 40 años (creada en 1980).

Los palmicultores se deben sentir orgullosos de su Federación y de toda la institucionalidad que han logrado construir y que les seguirá brindando el apoyo necesario para enfrentar los diferentes retos y aprovechar las oportunidades que tenemos en el presente y en el futuro.

Tenemos unas potencialidades enormes, apenas nos encontramos en las primeras etapas del desarrollo de esta agroindustria. Colombia tiene un potencial agrícola enmarcado en su vasta frontera agropecuaria que está disponible, de la cual más de cinco millones de hectáreas cuentan con la mayor aptitud para el desarrollo del cultivo de la palma de aceite. Los invito a conquistar, desde Colombia, el mundo de los aceites y las grasas, con productos sostenibles y de alta calidad para los diversos mercados y consumidores nacionales e internacionales.

JENS MESA DISHINGTON  
Presidente Ejecutivo de Fedepalma

## A world-class institutional framework to conquer the world of oils and fats from Colombia

---

My work as leader of the Colombian oil palm sector association began 32 years ago, in June, with the inauguration of the 16th National Congress of Oil Palm Growers. A lot has happened in this time in a dynamic, young and developing sector that has been around for about six decades, since the first African oil palm plantations were established in our country thanks to a government initiative to address the shortage of domestic vegetable oils.

A versatile product with clear competitive advantages, the commitment of the sector's entrepreneurs, and the love of oil palm growers for the countryside and their belief in the value of association, which led to a collective construction, were the factors that made me confident in the development of this agribusiness. This confidence, and the belief that the sector's potential could only be harnessed with strategic guidance and relevant institutional support to manage its needs and opportunities, led to the development of the oil palm institutional framework that we know today, and which is one of the main assets of Colombian palm oil industry.

With creativity, collective vision and determination, this institutional development has been essential to create and transfer knowledge, technologies and relevant information, which impact the productivity, sustainability and competitiveness of this crop and agribusinesses, in general. Similarly, we have promoted the design and implementation of policies and instruments to create a more favorable business environment for the sector with the support of an association that represents and defends oil palm growers and promotes a competitive business.

Hand in hand with the producers, we have managed to build a world-class, strong, consolidated, modern and functional institutional framework in just over three decades. Today, Fedepalma, Cenipalma and palm-oil-related parafiscal instruments have become a benchmark for other sectors at the national level and for oil palm growing in other countries, especially in Latin America. And most importantly, Colombian growers recognize the work of the Federation as an absolute added value for our sector. A prominent member of Fedepalma once said that the value of his company was higher thanks to the Federation, its organization and its services. This statement sums up what associative actions offer to entrepreneurs and producers, regardless of their size.

### A bit of history

To better understand the development of the oil palm sector's institutional framework, we should recall some of the most relevant aspects of the sector's history. In its early years, the pioneering generation of oil palm growers directly carried out the Federation's work for 20 years.

They later formed a team responsible for executing policies and decisions, for which, in 1982, appointed its first Executive Director, Antonio Guerra de la Espriella, my predecessor. When I arrived in 1989, the Federation had about 120 affiliated members, representing three-quarters of the cultivated area with oil palm in Colombia, and a trading service for a few imported inputs had been organized. In addition, technical research work had begun on some specific aspects of the crop with three professionals, and technology transfer was being promoted through field days, publications and events. At the time, the Federation's team consisted of about eight people.

The sector was once again entering a cycle of low prices. After a period many called the "golden age," palm oil prices had fallen sharply, government economic protectionism was also in check, pressures to open the oils and fats market were at their peak, and many promotion policies had been suspended. Furthermore, there were growing surpluses of palm oil, and it was not yet clear how to manage them not to undermine producers' income. Besides, crops were being affected by a severe phytosanitary problem caused by a previously unknown disease. It was a critical time for the sector, and asking the government for support was not a real option. Therefore, we needed a different attitude. Fedepalma, companies, and producers would become captains of their destiny. Consequently, it was necessary to consolidate a stronger Federation, in which everyone would join forces to push forward this agribusiness.

At that time, I remember that "being the masters of our destiny" became a guiding principle for many of our sectorial policies and activities. This is how we adopted a collective vision with an international focus, which allowed us to grow in the long term in an increasingly globalized world. First, to face the productive challenges and trading in foreign markets, Cenipalma and C. I. Acepalma S.A. were created. Later, to strengthen and expand the sector's endeavours, the Oil Palm Development Fund and the Price Stabilization Fund for Kernel, Palm Oil and their Fractions (FEP, in Spanish) were developed. These mechanisms helped to ensure collective commitment, provide the resources required to carry out the activities demanded by the sector, and facilitated exports dynamics.

Since then, we have continued to strengthen this institutional framework and innovating to design and implement the strategies that have brought us where we are today, with a strengthened and more complex agribusiness that has overcome many challenges and still has many opportunities.

Throughout my years at Fedepalma, I have seen the growth of this agribusiness. In the early 90s, oil palm was an unknown crop for many, quite exotic for the Colombian agricultural reality. Still, in three decades, it expanded its area six-fold, and today we have about 590,000 hectares, with more than 6,600 growers, of which nearly 97% are small and medium-scale growers. The sector has over 133 productive alliances, and we are gathered and organized in about 70 Núcleos Palmeros (palm oil hubs) in over 160 municipalities and 21 departments. The palm oil sector represents 9.1% of the national agricultural GDP and creates over 190,000 jobs, with a formality rate of over 82%. The value of production increased 8.5 times, from USD 132 million to USD 1.13 billion. Markets have diversified, and sales in export markets have increased to around 50% of total production.

I am certain about the oil palm agribusiness is one of the most promising alternatives for Colombian agricultural production. Palm oil is currently the most consumed vegetable oil in the world due to its great versatility and for being a competitive product. Oil palm is the oilseed crop with the highest yield per unit area, thus exerting less pressure on land use and demanding less use of fertilizer and pesticides than other oilseeds. Therefore, it is a star product with great potential for development in both food and non-food industries.

Likewise, the oil palm sector's institutional framework has attained many achievements. I would like to mention some of them. First, Cenipalma, now an international leader in research and the development of technologies and best practices for the oil palm agribusiness. Its scientific and technical support allowed me to see significant progress, such as identifying the causal agent of bud rot, *Phytophthora palmivora*, a finding that led to more proactive management of the disease, which we are still struggling to control, and which continues to cause significant losses. However, thanks to the progress made, this disease has not prevented the development of the oil palm agribusiness in the country. I have also witnessed the improvement in the genetics of the different cultivars and the application of novel technologies, such as the use of 1-naphthaleneacetic acid (ANA) in the pollination of the OxG hybrid, which has had a very positive impact on the formation and quality of fruit bunches and, of course, in reaching an industrial oil extraction rate (OER) of over 27%, thus achieving ten and more tons of oil per hectare/year in OxG hybrid cultivars, threefold the national average productivity.

But all this work had to be coordinated with sustainability and the protection of our environment. Therefore, focusing efforts on that direction became a guideline for the Federation. Markets demand sustainable products that are traceable throughout the entire supply chain, from cultivation to the shelves, ensure adequate environmental and social management, respect the limits of nature, and respect the rights of the communities and workers involved.

I have been able to see firsthand the studies that confirm that the Colombian palm oil sector has developed with a minimal impact on deforestation, which also gives enormous benefits to local communities, such as the creation of formal employment in the rural sector, where informality is over 85%, as leader of the Fedepalma. Still, I have also suffered the stigmatization against the entire industry, primarily derived from a global trade war on palm oil —regardless of its origin— as if it were a harmful product and a deforesting crop *per se*. For this reason, the Federation encourages the massive adoption of sustainability practices and the search of mechanisms for their recognition them, such as certifications and complementary schemes, insights that led to the creation of the Sustainable Colombian Palm Oil Program. This initiative will help position Colombian palm oil as a sustainable source. We have also been relentless in communicating that our palm oil sector is committed to the conservation of nature while creating quality work and respecting human rights. This is an inclusive agribusiness that brings wellbeing to rural communities. In short, the Colombian oil palm agribusiness is sustainable, unique and differentiated.

Another key achievement during these years, with a significant impact on strengthening the local market, was Fedepalma's successful efforts —together with the National Government— to create the National Biodiesel Program. As part of this program, we have moved from a B5 blend (2008) to the current B12 blend, and sales of palm oil to biodiesel industry now accounts for over half of the local market share. In addition, the palm oil marketing program was created, an initiative that has increased the use of Colombian palm oil in vegetable oil blends and improved the positioning of our agribusiness by publicizing the functional and nutritional benefits of palm oil.

Fedepalma's work also included the strengthening of its presence in the regions by developing experimental fields in the four oil-palm-growing zones, appointing regional delegates, and consolidating the Statistical Information System of the Colombian Oil Palm Sector and the Documentation Center (CID Palmero, in Spanish), which have provided substantial, timely and accurate information, so that growers and the sector have more elements and better arguments to make decisions and medium and long-term projections. These information products include

Palmas Journal, a periodical publication with specialized analyses of the oil palm agribusiness, which has contributed to disseminating information and the knowledge transfer for over 40 years (created in 1980). Oil palm growers should feel proud of their Federation and all the institutions they have built. These will continue to provide them with the necessary support to face the different challenges and harness current and future opportunities.

We have enormous potential. We are only in the early stages of developing this agribusiness. Colombia has agricultural potential framed by its vast agricultural frontier, where over five million hectares are suitable for oil palm growing. I invite you all to conquer the world of oils and fats with sustainable and high-quality products from Colombia that could reach various national and international markets and consumers.

JENS MESA DISHINGTON  
CEO of Fedepalma

# ESTAMOS TRABAJANDO POR CONSOLIDAR Y POSICIONAR LOS ATRIBUTOS QUE DIFERENCIAN NUESTRO PRODUCTO



## Principios del Aceite de Palma Sostenible de Colombia\*

1. Agroindustria productiva, competitiva y resiliente
2. Uso adecuado y eficiente del suelo, el agua y la energía
3. Cero deforestación y no reemplazo de AVC
4. Palmicultura armónica con su entorno natural y la biodiversidad
5. Prevención y mitigación de la contaminación ambiental
6. Generación de valor a partir de la biomasa
7. Trabajo decente y derechos de los trabajadores
8. Esquemas de suministro responsable y negocios inclusivos
9. Relacionamiento responsable con comunidades y protección de derechos humanos
10. Comportamiento ético, legal y transparente

\* Condiciones que enmarcan la producción palmera colombiana y que se despliegan con la aplicación de las mejores prácticas productivas, ambientales y sociales

## PROGRAMA DE ACEITE DE PALMA SOSTENIBLE DE COLOMBIA



## Emisiones de GEI y desempeño económico del sector palmero en Colombia: escenario actual y perspectivas a largo plazo\*

The GHG Emissions and Economic Performance of the Colombian Palm Oil Sector: Current Status and Long-term Perspectives

**CITACIÓN:** Ramírez-C., N. E., Munar-F., D. A., García-Núñez, J. A., Mosquera-Montoya, M. & Faaij, A. P. C. (2021). Emisiones de GEI y desempeño económico del sector palmero en Colombia: estado actual y perspectivas a largo plazo. *Palmas*, 42(2), 15-48.

**PALABRAS CLAVE:** Biomasa, Huella de carbono, Reservas de carbono, LUC, POM, NER.

**KEYWORDS:** Biomass, Carbon footprint, Carbon stock, LUC, POM, NER.

\* Traducido del original *The GHG emissions and economic performance of the Colombian palm oil sector: current status and long-term perspectives*, Journal of Cleaner Production, 258, 120757. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite su uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que el trabajo original se cite correctamente.

### RAMÍREZ C. NIDIA. E.

Asistente de investigación, Programa de Procesamiento, Cenipalma  
Instituto de Investigación en Sostenibilidad Energética de Groningen, Universidad de Groningen, Países Bajos  
[nramirez@cenipalma.org](mailto:nramirez@cenipalma.org)

### MUNAR F. DAVID. A.

Auxiliar de investigación, Programa de Procesamiento, Cenipalma

### GARCÍA NÚÑEZ JESÚS A.

Coordinador del Programa de Procesamiento, Cenipalma

### MOSQUERA MONTOYA M.

Coordinador de la Unidad de Validación, Cenipalma

### FAAIJ ANDRÉ P. C.

Profesor distinguido, Universidad de Groningen, Países Bajos  
Director de ciencia, TNO Energy Transition, Groningen, Países Bajos

## Resumen

La expansión de las plantaciones de palma de aceite, tanto para la extracción de aceite de palma crudo (APC) como para la elaboración de productos de origen biológico, ha generado gran preocupación en torno al impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de este

cultivo. Aunque Colombia tiene el potencial para producir bienes de origen biológico sostenibles a partir del cultivo de palma de aceite, las emisiones nacionales de GEI no han sido reportadas para este sector. Por ello, la recolección de datos primarios consolidados del sector palmicultor colombiano representa un interesante desafío. A partir de ese interés, el presente estudio logró la recolección de datos del 70 % de la producción nacional de racimos de fruta fresca (RFF) con el fin de analizar el estado actual de la producción de APC, incorporando información sobre (i) el cálculo de emisiones de GEI, (ii) la relación de energía neta (NER, por sus siglas en inglés) y (iii) el desempeño económico del proceso. Este análisis considera dos escenarios futuros en los que se optimiza la cadena de producción de APC para reducir las emisiones de GEI. El escenario futuro A contempla la producción de biodiésel (BD), biogás, compost y la cogeneración de energía. Por su parte, el escenario futuro B considera la producción de BD, biogás, pélets y la cogeneración de energía. La metodología empleada para ambos escenarios incluye una evaluación del ciclo de vida y un análisis económico. Los resultados muestran un potencial considerable para mejorar la producción de APC y lograr una reducción de 55 % en las emisiones de GEI. Así mismo, nuestros hallazgos señalan que es necesario mitigar el impacto del cambio en el uso del suelo para reducir dichas emisiones, por lo cual la expansión sostenible del cultivo de palma de aceite deberá desarrollarse en áreas con bajas reservas de carbono o en zonas aptas y disponibles para este cultivo, evitando así la deforestación de áreas naturales. Sumado a lo anterior, resulta necesario incrementar el rendimiento de este cultivo para así minimizar el uso del suelo, emplear la biomasa residual en la elaboración de productos de origen biológico y capturar biogás para reducir las emisiones de gas metano. En cuanto al ciclo de producción de BD, el análisis de la NER muestra que la energía fósil consumida es menor que la energía renovable producida. Respecto al desempeño económico, se evidencia que una cadena de producción optimizada reduciría los costos de capital y los gastos operativos en 20 %, aproximadamente.

## Abstract

Increasing oil palm plantations, both for obtaining crude palm oil (CPO) and for the production of biobased products, have generated growing concern about the impact of greenhouse gas (GHG) emissions on the environment. Colombia has the potential to produce sustainable biobased products from oil palm. Nevertheless, national GHG emissions have not yet been reported by this sector. Achieving the collection of the total primary data from the oil palm sector, in Colombia, entails a tremendous challenge. Notwithstanding, for this study, the data collection of 70% of the production of fresh fruit bunches (FFB) was achieved. Therefore, current situation of CPO production in Colombia is analyzed, including (i) GHG emissions calculation, (ii) net energy ratio (NER), and (iii) economic performance. Moreover, the analysis includes two future scenarios, where the CPO production chain is optimized to reduce GHG emissions. Future scenario A produces biodiesel (BD), biogas, cogeneration, and compost; while future scenario B produces BD, biogas, cogeneration, and pellets. The methodology, for all the scenarios, includes life-cycle assessment and economic analysis evaluation. The results show a significant potential for improving the current palm oil production, including a 55% reduction in GHG emissions. The impact of land-use change must be mitigated to reduce GHG emissions. Therefore, a sustainable oil palm expansion should be in areas with low carbon stock or areas suitable/available to the crop (e.g., cropland, pastureland). Avoiding the deforestation of natural forests is required. Besides, crop yield should be increased to minimize the land use, using biomass to produce biobased products, and capture biogas to reduce methane emissions. In the biodiesel production life-cycle, the NER analysis shows the fossil energy consumed is lower than the renewable energy produced. Regarding the economic performance, it shows that in an optimized production chain, the capital expenditure and operational expenditure will decrease by approximately 20%.

## Lista de abreviaturas

<b>bbbl</b>	Barriles de petróleo	<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno
<b>BD</b>	Biodiésel	<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>BioPB</b>	Modelo desarrollado por Cenipalma, Colombia	<b>kg</b>	Kilogramos
<b>C</b>	Carbono	<b>kW</b>	Kilovatios
<b>CAPEX</b>	Gasto de capital	<b>ACV</b>	Análisis del ciclo de vida
<b>CH<sub>4</sub></b>	Gas metano	<b>ICV</b>	Inventario del ciclo de vida
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono	<b>LUC</b>	Cambio en el uso del suelo (en inglés)
<b>CO<sub>2eq</sub></b>	Equivalentes de dióxido de carbono	<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>DOQ</b>	Demanda de oxígeno químico	<b>Mha</b>	Millones de hectáreas
<b>COP</b>	Pesos colombianos	<b>MJ</b>	Megajulios
<b>APC</b>	Aceite de palma crudo	<b>VAN</b>	Valor actual neto
<b>RFV</b>	Racimos de fruta vacíos	<b>NER</b>	Relación de energía neta (en inglés)
<b>AGL</b>	Ácido graso libre	<b>POM</b>	Planta de beneficio de aceite de palma (en inglés)
<b>RFF</b>	Racimos de fruta fresca	<b>POME</b>	Efluente de planta de beneficio de aceite de palma (en inglés)
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero	<b>ppm</b>	Partes por millón, que también significa miligramos por litro
<b>h</b>	Hora	<b>SBE</b>	Tierra de blanqueo gastada durante el proceso de refinación del aceite de palma (en inglés)
<b>ha</b>	Hectáreas	<b>t</b>	Toneladas
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia	<b>UPRA</b>	Unidad de Planeación Rural Agropecuaria
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	<b>USD</b>	Dólares de Estados Unidos

## Introducción

El aceite de palma es considerado como un motor económico (Thomas *et al.*, 2015) debido a su versatilidad, alta productividad por hectárea, la cual es cercana a 3,4 t de aceite de palma crudo (APC) (EPOA, 2016; Fedepalma, 2017a; Fry, 2017), y menor costo de producción en comparación con otros aceites vegetales (Khasanah *et al.*, 2015). Indonesia (12,7 Mha) y Malasia (5,2 Mha) son los países productores con mayor área sembrada con palma de aceite, concentrando aproximadamente 79 % del área total de este cultivo a escala mundial. Colombia (559.582 ha), por su parte, es el quinto país productor, con una

participación de 2,1 % en el área total de producción (Fedepalma, 2020).

Dado que la demanda actual de alimentos y productos biológicos ejerce presión sobre la producción agrícola, el sector de la palma de aceite se convierte en un actor clave para satisfacer parte de estos requerimientos (Mesa, 2017). Sin embargo, este cultivo ha suscitado controversia debido a la deforestación de bosques tropicales ocasionada por su expansión en algunos países productores (Khasanah, 2019; Ramdani e Hino, 2013). El debate en torno a este cultivo se centra en los riesgos ambientales asociados con la deforestación, tales como la pérdida de biodiversidad, el detrimento en la calidad de los suelos, afectaciones

al suministro de agua, perjuicios a los paisajes naturales, cambios en el uso del suelo (LUC, en inglés) y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente por la remoción de reservas de carbono en el suelo (Khatun *et al.*, 2017; Thomas *et al.*, 2015).

De otro lado, el sistema de contabilización de las emisiones de GEI de esta agroindustria, especialmente la bioenergía, ha sido cuestionado al ser considerado como neutral en carbono. No obstante, para justificar el potencial de reducción de emisiones en este sector, un análisis de la bioenergía producida debe incluir la fuente de la biomasa, los efectos del cultivo sobre el uso del suelo, el proceso de producción y las emisiones del uso final de la mencionada bioenergía (Searchinger *et al.*, 2009). De esta manera, las emisiones de GEI a partir de bioenergía son representativas únicamente cuando el crecimiento y la recolección de biomasa capturan carbono por encima del nivel de secuestro de este compuesto (Searchinger *et al.*, 2009). Por lo tanto, es necesario considerar una fuerte relación entre el LUC y las emisiones de GEI, dado que el LUC en áreas que inicialmente contaban con reservas de carbono superiores a las de zonas con plantaciones de palma de aceite da como resultado un déficit de carbono en la superficie. Así, es posible que no se registre un déficit de este tipo si las plantaciones de palma de aceite son establecidas en áreas anteriormente ocupadas por arbustos o pasturas (Khasanah *et al.*, 2015), por ejemplo.

Si bien la expansión del cultivo de palma de aceite ha tenido una fuerte asociación con la deforestación de zonas naturales en los principales países productores (Khasanah, 2019), en Colombia se reporta una situación diferente, puesto que el crecimiento del área sembrada se ha dado a partir de la conversión de zonas antes ocupadas por matorrales, tierras de cultivo y pasturas para ganado (Castanheira *et al.*, 2014; Castiblanco *et al.*, 2013; Furumo y Aide, 2017; Henson *et al.*, 2012).

Diversos estudios han reportado las emisiones de GEI generadas por la producción de aceite de palma (Kusin *et al.*, 2017). No obstante, estas investigaciones emplearon varias suposiciones, límites del sistema productivo y unidades funcionales para calcular y reportar dichas emisiones. Teniendo en cuenta que las emisiones del sector agrícola deben armonizarse en torno al flujo del principal producto comercializado (Durlinger *et al.*, 2017), las emisiones de la industria

del aceite de palma deben reportarse en toneladas de APC. Como muestra de la tendencia opuesta, un estudio sobre dos sistemas de producción de APC en Malasia e Indonesia da cuenta de las emisiones generadas en toneladas de racimos de fruta fresca (RFF), en vez de utilizar toneladas de APC como punto de referencia (Stichnothe y Schuchardt, 2011). En contraste, un estudio realizado en Tailandia sobre emisiones únicamente para la fase de siembra expresa sus resultados en RFF, al ser estos el principal producto obtenido por esta agroindustria (Silalertruksa *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones señalan que las emisiones de GEI en la producción de APC de Malasia e Indonesia (Lam *et al.*, 2019; Stichnothe y Schuchardt, 2011; Wicke *et al.*, 2008) son considerablemente superiores a las emisiones generadas por esta actividad en Colombia (Castanheira *et al.*, 2014; Garcia-Nunez *et al.*, 2016; Henson *et al.*, 2012; Rivera-Méndez *et al.*, 2017; Yáñez *et al.*, 2011). Por ejemplo, un estudio realizado en Indonesia reportó una huella de GEI para la producción de APC en un rango entre 0,7 y 26 CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC (Lam *et al.*, 2019), mientras que, para Colombia, una investigación dio como resultado un rango entre 3,0 y 5,0 CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC (Castanheira *et al.*, 2014). No obstante, existe consenso sobre el potencial de reducción de las emisiones de esta industria en todo el mundo a partir de la implementación de buenas prácticas agroindustriales. Los fundamentos de esta propuesta se basan en la cero deforestación, el manejo adecuado de suelos y paisajes, la no intervención de suelos con altas reservas de carbono, el aumento del rendimiento de este cultivo de manera sostenible y el uso de biomasa para la elaboración de productos de origen biológico (Abdul-Manan, 2017; Afriyanti *et al.*, 2016; Garcia-Nunez *et al.*, 2016; Khasanah *et al.*, 2015; Lam *et al.*, 2019; RSPO, 2017; Woittiez, 2019).

En este contexto, Colombia tiene la capacidad de expandir su área sembrada de manera sostenible y sin generar deforestación, pasando de 0,5 (Fedepalma, 2018) a 23 Mha (UPRA, 2018). Sin embargo, para ello se requiere de directrices, políticas y criterios que permitan promover y regular los recursos naturales y el uso eficiente de los suelos aptos para este cultivo (Castanheira *et al.*, 2014; Khasanah, 2019; Woittiez, 2019). Como resultado, el Gobierno Nacional está trabajando en la zonificación del sector agrícola y forestal en aras de identificar las áreas geográficas

adecuadas para la producción agrícola y ganadera (UPRA, 2019), enfatizando que el uso de estas zonas estará condicionado a las características ambientales, socioeconómicas y de gestión de cada territorio y cadena productiva (UPRA, 2016).

Por lo anterior, y a partir de un creciente interés por los asuntos sociales y ambientales (Espinosa, 2016), el sector palmero colombiano se ha adherido a varias iniciativas para mejorar la sostenibilidad de la producción de APC (MADS, 2017a), lo cual se suma a la transición de esta industria hacia un modelo de desarrollo bajo en carbono que permita reducir las emisiones de GEI, expandir las áreas protegidas, promover el desarrollo sostenible y evitar la deforestación (García-Arbeláez *et al.*, 2016; MADS, 2017b; WWF Colombia, 2017).

Aunque en Colombia se han realizado varios estudios para cuantificar las emisiones de GEI en la producción de aceite de palma, estos se basan en un número limitado de plantas de beneficio o plantaciones, sin considerar la cadena de producción del país en su conjunto. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la cadena de producción de APC en Colombia a partir del análisis de su estado actual y dos escenarios futuros propuestos. Este análisis incluye el cálculo de (i) las emisiones de GEI, (ii) la relación de energía neta y (iii) el desempeño económico del sistema (valor actual neto, tasa interna de retorno, gasto de capital y gasto

operativo). La evaluación de los escenarios futuros incluye la producción de biodiésel (BD), la cogeneración de energía, la producción de compost/pélets y la captura de biogás.

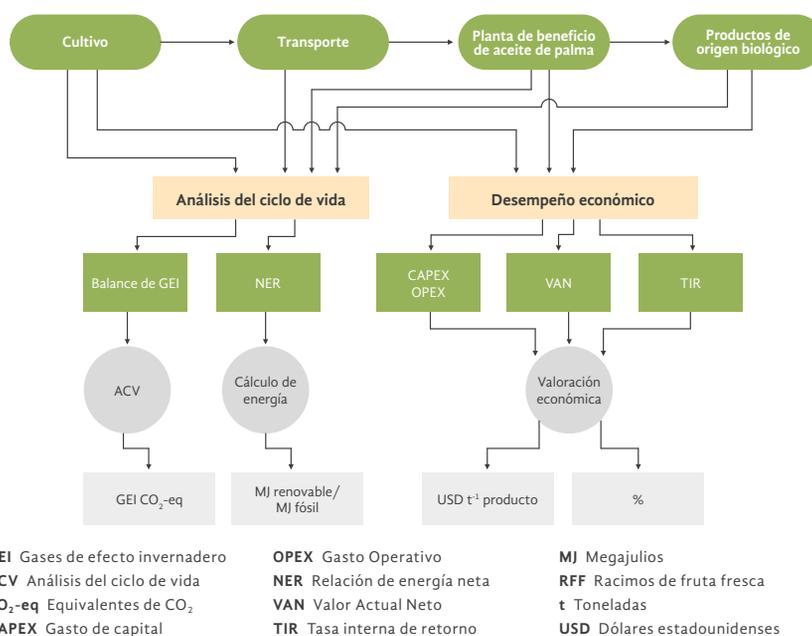
Luego de esta introducción, el apartado a continuación describe la metodología empleada, los escenarios considerados y las fuentes de recolección de datos. Posteriormente, se presentan los resultados del balance de masa y energía, el balance de GEI (a escala nacional y regional) y el desempeño económico del sistema. Seguido, se aborda la discusión de los hallazgos. Por último, se presentan las conclusiones de la investigación.

## Metodología

Este estudio analizó las emisiones de GEI y el desempeño económico del sector palmicultor colombiano frente al escenario actual (2017) y dos escenarios futuros. Adicionalmente, se evalúa el balance de energía de la cadena de producción mediante el indicador relación de energía neta (NER, en inglés). Para el desempeño económico, los indicadores evaluados son el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el gasto de capital (CAPEX) y el gasto operativo (OPEX). La Figura 1 muestra el flujo de la metodología empleada y el tipo de resultados obtenidos.

**Figura 1.** Diagrama del flujo de la metodología desarrollada para esta investigación

Fuente: elaboración propia con base en van der Hilst (2012)



Nota: los productos de origen biológico incluyen BD, biogás, compost, pélets y cogeneración de energía.

## Escenarios

### Escenario actual

Este escenario corresponde al estado actual de la cadena de producción del aceite de palma en Colombia (2017), donde se incluye el cultivo de palma de aceite, el transporte de RFF y las plantas de beneficio de aceite de palma (POM, en inglés). Las emisiones de este escenario se analizan a escala nacional y regional.

### Escenarios futuros

Se analiza una producción futura de APC optimizada que busca minimizar las emisiones de GEI y reducir los costos de producción. Los escenarios futuros incluyen la cogeneración de energía<sup>1</sup> y la producción de compostaje y pélets<sup>2</sup>, así como la captura de biogás para su uso como fuente de energía renovable. La producción de biodiésel es incluida dentro de estos escenarios dado que la legislación colombiana permite el uso de biocombustibles en la matriz de suministro de combustibles fósiles para el transporte terrestre (UPME, 2009). A continuación, se describen los dos escenarios futuros propuestos.

#### Escenario futuro A

Las mejoras propuestas dependen de un aumento en el rendimiento del cultivo de palma, una reducción en el uso de fertilizantes químicos, la mitigación del LUC y la producción de biomasa de valor agregado. Para mitigar las emisiones generadas por LUC, los cultivos de palma de aceite deben ser establecidos en suelos con bajas reservas de carbono, como suelos degradados o de uso agrícola (Castiblanco *et al.*, 2013; Wicke *et al.*, 2012). Sin embargo, cuando esto ocurre puede desplazarse la producción de alimentos y forrajes hacia otras áreas (Gerssen-Gondelach, 2015). Por lo tanto, es esencial que el uso del suelo sea complementado con un alto rendimiento de los cultivos establecidos en él, a fin de mitigar el LUC en términos de emisiones de

1 Ver figura 13, anexo A.2, en el documento de información complementaria de este artículo, disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>

2 Ver el trabajo de García-Núñez *et al.* (2016) para identificar otros usos de la biomasa.

GEI (Wicke *et al.*, 2012). Este escenario incluye el análisis de plantaciones de palma de aceite, el transporte de RFF, las POM, la planta de BD, la cogeneración de energía y el uso de racimos de fruta vacíos (RFV) para la producción de compost.

#### Escenario futuro B

Este escenario incluye todas las condiciones mencionadas en el escenario futuro A, sumadas al uso de RFV para la producción pélets, en lugar de compost.

## Emisiones de GEI

La reducción de las emisiones de GEI es un precursor de los productos sostenibles de origen biológico. Por ello, este indicador es incorporado al análisis con el fin de evaluar el estado actual y los escenarios futuros de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia; la Figura 2 muestra los límites del sistema para cada escenario. De otro lado, se realiza un inventario detallado del ciclo de vida (ICV) de la producción de APC a través del modelo BioPB<sup>3</sup>. En esta fase se utilizó una hoja de cálculo en Excel para multiplicar los insumos del ICV con el factor de emisión correspondiente para la producción de biodiésel (es decir, refinación física, transesterificación, esterificación de ácidos grasos libres (AGL), purificación de BD, purificación de glicerina y recuperación de metanol); este cálculo adopta la unidad funcional 1 t APC, al ser este producto la principal salida de la cadena de producción actual. Por su parte, el cálculo de emisiones<sup>4</sup> se llevó a cabo mediante la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) (ISO 14067), las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático<sup>5</sup> (IPCC, en

3 Modelo desarrollado por Cenipalma que contiene una base de datos de la cadena de producción del aceite de palma en Colombia y sus productos de origen biológico. Este permite calcular los flujos de masa y energía dentro de los límites del sistema para la producción de APC en cada uno de los escenarios considerados.

4 Los GEI analizados fueron CH<sub>4</sub> (producido durante la degradación orgánica del efluente de la planta de beneficio de aceite de palma [POME]), CO<sub>2</sub> (producido a lo largo de la cadena de producción de APC) y N<sub>2</sub>O (generado por el manejo del suelo y la fertilización química).

5 Se emplearon las ecuaciones 2.1 (calcular los cambios anuales en las reservas de carbono), 2.5 (emisiones de LUC), 11.1, 11.0 y 11.10 (emisiones de N<sub>2</sub>O).

inglés), información disponible en las bases de datos de Ecoinvent y el uso del *software* SimaPro 8.5. Por último, para determinar el impacto del LUC en las emisiones de GEI bajo el escenario actual, se analizaron los valores de las reservas de carbono en áreas convertidas al cultivo de palma de aceite en Colombia.

## Relación de energía neta (NER)

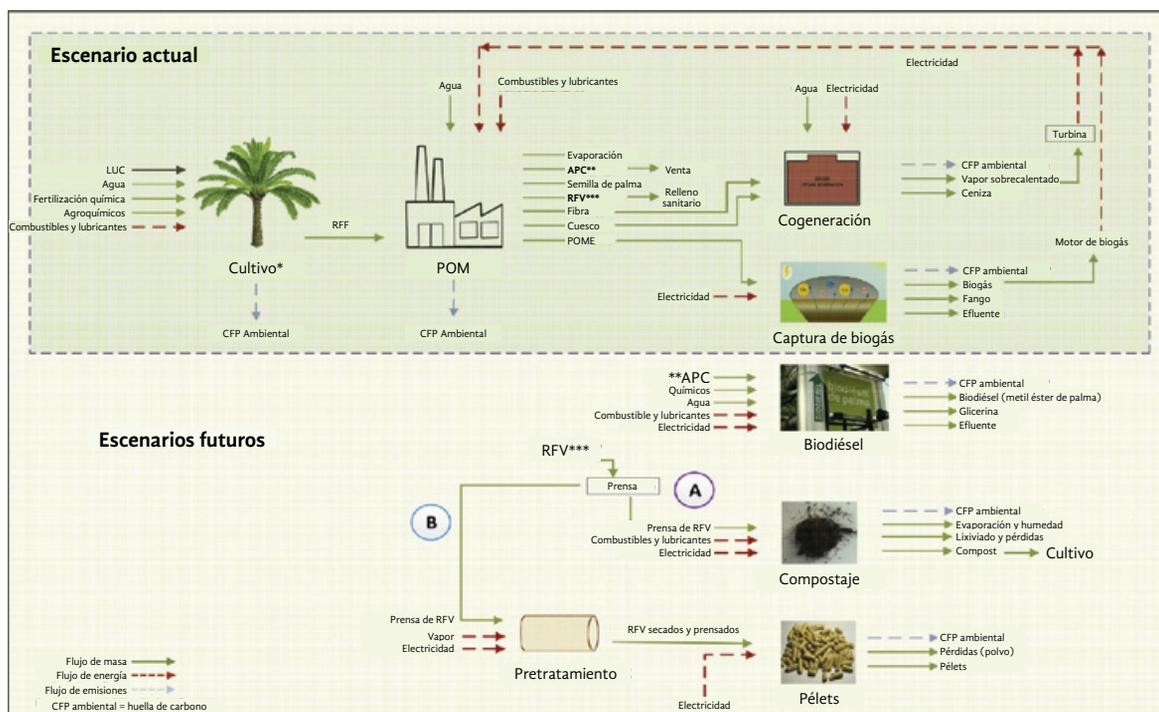
La NER es un indicador del balance de energía en el ciclo de vida de un producto que se expresa como la relación entre la energía renovable producida (productos) y la energía fósil consumida (insumos) (García-Núñez *et al.*, 2016; Yáñez *et al.*, 2009). Por lo anterior, este indicador fue seleccionado para efectuar la comparación de los distintos escenarios. En el escenario actual, la suma de los insumos de energía fósil incluye el diésel utilizado para el cultivo, el transporte de RFF y la operación de la POM. La suma de los productos de energía renovable incluye al APC y los excedentes de energía. En el escenario

futuro A, los insumos de energía fósil incluyen el diésel utilizado en el cultivo, el transporte de RFF, la operación de la POM, la producción de compost y la planta de BD. En el escenario futuro B, los insumos de energía fósil incluyen el diésel utilizado en el cultivo, el transporte de RFF, la operación de la POM, la planta de BD y la producción de pélets.

## Desempeño económico

Para evaluar el desempeño económico de la cadena del aceite de palma, se calcularon los indicadores VAN, TIR, CAPEX y OPEX para todos los escenarios, asumiendo que una plantación de palma de aceite tiene una vida útil de 30 años. Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta los datos recolectados durante la fase de trabajo de campo e información de estudios previos (Mosquera *et al.*, 2018). Se asume que la inversión CAPEX tiene lugar durante el primer año (costos de adquisición, compra de predios, maquinaria y equipos, etc.). El OPEX incluye todas

**Figura 2.** Límites del sistema para el escenario actual, el escenario futuro A (producción de compost) y el escenario futuro B (producción de pélets)



Fuente: elaboración propia.

las actividades relacionadas con la producción de RFF (cultivo), APC (planta de beneficio) y planta de BD. El VAN<sup>6</sup> y la TIR se utilizan para determinar la rentabilidad del negocio.

## Fuentes de los datos

Los datos<sup>7</sup> que sirvieron de insumo para esta investigación fueron recolectados durante visitas de campo a 28 POM en tres zonas palmeras de Colombia, las cuales representaron el 70 % de los RFF procesados durante 2017. Si bien en el país se distinguen cuatro zonas palmeras, este estudio se concentró en tres de ellas, a saber: la Zona Central (10 plantas de beneficio), la Zona Oriental (10 plantas de beneficio) y la Zona Norte (8 plantas de beneficio). La Zona Suroccidental no fue incluida debido a que su producción de aceite fue considerablemente inferior a la reportada en las otras zonas. Los datos sobre producción corresponden a información de 11 plantaciones que pertenecen a los propietarios de algunas de las 28 POM analizadas.

## Datos de emisiones en el escenario actual

Las emisiones del escenario actual de esta agroindustria fueron calculadas para cada una de las 28 POM. Con el objetivo de examinar las emisiones regionales y nacionales, se calculó el volumen de emisiones pro-

---

6 El VAN muestra la diferencia entre todos los ingresos y gastos, expresada en la moneda actual. La TIR considera los retornos de la inversión esperados a futuro. Un VAN igual o mayor a cero indica que el proyecto es viable. Cuando la TIR es igual a la tasa de descuento y el VAN es igual a cero, es necesario considerar la viabilidad de un proyecto (Sapag y Sapag, 2008).

7 Los datos primarios son fundamentales para evaluar cualquier escenario posible, puesto que permiten reducir la suposición presentada y reducir la incertidumbre de los resultados. No obstante, obtener información completa para un sector específico no es tarea fácil. Actualmente, Colombia cuenta aproximadamente con 65 POM en operación y más de 5.000 plantaciones de palma de aceite, por lo que recolectar información de todas ellas sería una tarea monumental que demandaría además una gran inversión de recursos humanos y económicos. A pesar de ello, este trabajo logró recolectar información primaria del 70 % de los RFF procesados en el país durante la vigencia 2017 (es decir, 28 POM), lo cual es representativo y permite formular recomendaciones específicas y estratégicas para el sector en su conjunto.

medio de las 28 POM, lo cual se explica con mayor detalle en las siguientes secciones. Adicionalmente, para analizar el impacto del LUC en las emisiones de GEI en el escenario actual, se realizó una evaluación de los valores de reservas de carbono en los suelos convertidos a palma de aceite.

## LUC en el escenario actual

La Tabla 1 muestra el porcentaje de áreas convertidas a cultivos de palma de aceite a escala regional y nacional. La escala regional se enfoca en un análisis de las tres zonas palmeras mencionadas anteriormente, las cuales tienen diferencias en términos de clima, tipo de suelo, cobertura terrestre y biodiversidad (WWF Colombia, 2017), así como distintos enfoques de manejo agroindustrial (Castiblanco *et al.*, 2015; Henson *et al.*, 2012). Debido a ciertas limitaciones para obtener información completa y actualizada sobre el LUC, se emplearon datos nacionales (Torres, 2018) y regionales (Castiblanco *et al.*, 2013) reportados por otros trabajos, asumiendo que estos son representativos del tipo de LUC y de los efectos de las reservas de carbono. No obstante, es pertinente mencionar que existe cierto grado de incertidumbre frente al tema. Nuestros cálculos están basados en una vida útil de 30 años para un cultivo, e incluyen biomasa subterránea y superficial (planta de palma de aceite, coberturas terrestres y materia orgánica). Además, se asume que la asimilación de CO<sub>2</sub> en el cultivo ocurre en el tronco y las frondas de la palma, por lo que los RFF (APC, almendra, RFV, fibra y cuesco) son considerados neutrales en términos de carbono (Wicke *et al.*, 2008).

## Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad para comparar el impacto de las emisiones generadas por LUC relacionadas con múltiples valores de reservas de carbono en varias categorías de uso del suelo para Colombia. La Tabla 2 muestra las categorías de uso del suelo que han sido convertidas a palma de aceite. Cada categoría tiene tres valores de reservas de carbono reportados en la literatura, los cuales se dividieron en valor máximos, valores mínimos y un valor definido como “nacional”, que corresponde a una estimación realizada para analizar el impacto de las emisiones por LUC en el escenario actual de la agroindustria palmera.

**Tabla 1.** Uso de los suelos convertidos a palma de aceite a escala nacional y regional (2000-2012)

Uso del suelo/cobertura	% cobertura terrestre convertida a palma de aceite			
	Nacional <sup>a</sup>	Regional <sup>b</sup>		
		Norte	Central	Oriental
Bosques	5,9	3,3	10,9	5,7
Cultivos estacionales	23,7	4,1	0,2	11,7
Cultivos perennes	1,4	40,6	6,4	4,3
Áreas agrícolas heterogéneas	-	23,6	20,0	5,5
Otras coberturas <sup>c</sup>	3,6	0	5,3	3

<sup>a</sup> Adaptado de Torres (2018), quien estudió datos oficiales del IDEAM y otras instituciones gubernamentales para el periodo 2000-2012.

<sup>b</sup> Adaptado de Castiblanco *et al.* (2013), quienes presentan datos del IDEAM, trabajo de campo y datos de satélite para el periodo 2002-2008.

<sup>c</sup> Incluye zonas urbanizadas, suelo con escasa vegetación y cuerpos de agua.

**Tabla 2.** Valores de reservas de carbono en las categorías de uso del suelo en Colombia

Categorías de uso del suelo	t C ha <sup>-1</sup>		
	Nacional <sup>a</sup>	Mín.	Máx.
Bosque	147,5	48,1 <sup>a</sup>	211 <sup>c</sup>
Vegetación herbácea	14,1	14,1 <sup>a</sup>	113 <sup>c</sup>
Pastos	6,4	6,4 <sup>a</sup>	7,4 <sup>b</sup>
Cultivos estacionales	4,2	4,2 <sup>a</sup>	33,1 <sup>c</sup>
Cultivos perennes	28,9	28,9 <sup>a</sup>	28,9 <sup>a</sup>
Áreas agrícolas heterogéneas	5,8	5,8 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>
Otras coberturas (suelo despejado, vegetación escasa y cuerpos de agua)	0	0 <sup>b</sup>	16,4 <sup>b</sup>
Plantaciones de palma de aceite	113 <sup>d</sup>	113 <sup>d</sup>	129 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Datos de Yepes *et al.* (2011). Los valores de reservas de carbono solo incluyen biomasa superficial. Debido a la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de GEI relacionadas con LUC, el IDEAM estimó las emisiones de carbono a partir de la conversión de bosques en el país. Los valores de referencia para algunos usos del suelo utilizados en este estudio fueron clasificados como "Nacional".

<sup>b</sup> Datos de Henson *et al.* (2012).

<sup>c</sup> Datos de Castanheira *et al.* (2014).

<sup>d</sup> Datos de Rivera-Méndez *et al.* (2017). El valor de reservas de carbono incluye a la planta de palma de aceite (tronco, fronda, raíces), la cobertura vegetal y la materia orgánica relacionada.

### Manejo de la plantación en el escenario actual

En esta dimensión se incluyen insumos tales como agroquímicos, agua y electricidad. No se incluye la etapa de vivero. Se considera la aplicación de ferti-

lizante químico y el consumo de combustible (por ejemplo, diésel para el transporte de RFF y la gasolina utilizada por los supervisores en campo). El rendimiento promedio de cultivo considerado es de 19,3 t RFF ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

## POM en el escenario actual

La fibra y el cuesco son utilizados como combustible para generar vapor. Sin embargo, este trabajo no tiene en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> de la quema de biomasa en caldera, dado que estas tienen una fuente biogénica. Así, se considera 30 t RFF h<sup>-1</sup> como la escala de producción de las POM. No se considera tampoco el proceso de extracción de aceite de palmiste ni la producción de torta de palmiste. Los datos recolectados durante la fase de trabajo de campo muestran que solo 8 de las 28 POM estudiadas realiza captura de biogás, y solo 4 de estas genera electricidad a partir de este compuesto<sup>8</sup>.

## Datos de emisiones en los escenarios futuros

Para ambos escenarios futuros (A y B) se calculó el volumen de emisiones teniendo en cuenta un sistema optimizado para la cadena de APC a partir de la generación de productos de origen biológico. En el escenario futuro A se analizó la producción de BD<sup>9</sup>, biogás, compost y la cogeneración de energía. En el escenario B se analizó la producción de BD, biogás, pélets y la cogeneración de energía.

## LUC en los escenarios futuros

Es necesario considerar las eventuales emisiones generadas por LUC como resultado de la expansión de las plantaciones de palma de aceite con el fin de evitar pérdidas de carbono asociadas a procesos de deforestación. La Figura 3 muestra un mapa de aptitud del suelo<sup>10</sup> para cultivos de palma de aceite en

Colombia, así como los límites de las plantaciones actuales (en púrpura). Esta figura también muestra las áreas con potencial para la expansión de este cultivo, que se estiman en aproximadamente 23 Mha y se ubican en las zonas palmeras Oriental, Central y Norte. Los puntos marcados en verde oscuro representan las áreas con alto potencial (5,2 Mha), mientras que el verde claro da cuenta de un potencial moderado (10,9 Mha) (UPRA, 2018).

De acuerdo con lo anterior, las áreas más favorables para la expansión del cultivo de palma de aceite corresponden a suelos de uso agrícola (cultivo) y ganadero (pastos) (Castiblanco *et al.*, 2013, UPRA, 2016), lo que significa que deben evitarse LUC indirectos mediante el uso de zonas aptas para este cultivo, con lo cual será posible incrementar el rendimiento de los cultivos y la producción ganadera (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017; Wicke *et al.*, 2012). La Tabla 3 muestra el LUC y las reservas de carbono para los escenarios futuros A y B. Nótese que las mismas condiciones de LUC y reservas de carbono aplican para los escenarios A y B. Como se mencionó anteriormente, la única diferencia entre los escenarios futuros A y B es el uso de RFV para la producción de pélets y compost.

8 Mas información en el anexo A.2 del documento de información complementaria (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>).

9 El proceso del BD implica la refinación física (refinación, blanqueado y desodorización), la transesterificación y esterificación de ácidos grasos libres (AGL), la purificación de BD, la purificación de glicerina (USP) y la recuperación de metanol.

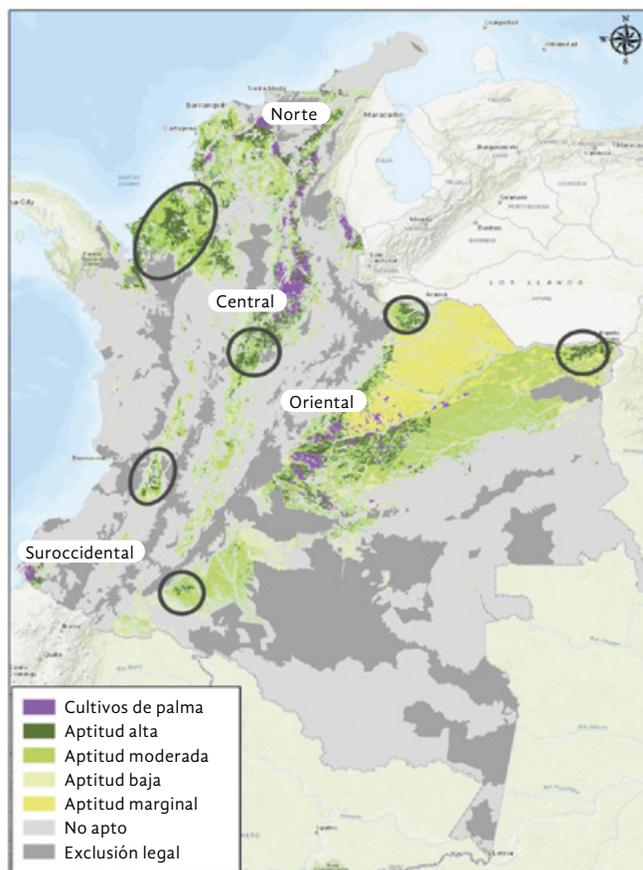
10 Mapa de aptitud del suelo (escala 1:100.000) desarrollado por la UPRA (2016) como herramienta para planear el uso eficiente del suelo desde un enfoque de desarrollo sostenible y competitivo. Para la elaboración este mapa, la UPRA llevó a cabo un análisis multi-

---

criterio de los componentes físicos, ambientales y socioeconómicos del país, los cuales fueron ponderados según las características de la cadena de producción del aceite de palma. Este instrumento permite identificar las zonas geográficas con condiciones adecuadas para establecer y desarrollar cultivos de palma de aceite. Sobre este, se aclara lo siguiente:

- Por “no apto” se hace referencia a zonas en las que el desarrollo de cultivos de palma de aceite no es viable debido a condiciones físicas o ambientales.
- No se permiten proyectos en áreas con restricciones legales.
- Los territorios colectivos requieren del abordaje de un enfoque diferente para garantizar la protección del patrimonio cultural y el derecho a la libre determinación de las comunidades residentes.
- Los cultivos de palma de aceite no pondrán en riesgo áreas naturales o la prestación de servicios ecosistémicos (por ejemplo, bosques, páramos, cuerpos de agua, zonas de recarga de acuíferos).

**Figura 3.** Mapa de aptitud del suelo para el cultivo de palma de aceite en Colombia vs. regiones palmeras actuales



Nota: Colombia tiene 114 Mha, de las cuales 74 Mha tienen restricciones de uso (por ejemplo, bosques naturales, páramos, rondas hídricas, cuerpos de agua, humedales, parques naturales, zonas urbanas y zonas de protección cultural). Esto significa que existen 40 Mha disponibles para el desarrollo agrícola en todo el país (alimentos, forraje, ganado y producción de biomasa), cuyo uso está condicionado a niveles bajos, moderados o altos de aptitud. De estas 40 Mha, actualmente se utilizan tan solo 7,6 Mha (UPRA, 2018). En 2018, el área sembrada con palma de aceite en Colombia fue de 0,54 Mha, de las cuales 41 % se encontraban en la Zona Oriental, 31 % en la Zona Central, 24 % en la Zona Norte y 4 % en la Zona Suroccidental (Fedepalma, 2019). Los círculos negros muestran un potencial interesante de nuevas áreas para la expansión de la palma de aceite (para la interpretación de las referencias a color en las convenciones de esta figura, el lector debe dirigirse a la versión web de este artículo).

Fuente: adaptado de UPRA (2018).

**Tabla 3.** Cambio en el uso del suelo y reservas de carbono en los escenarios futuros

Uso/cobertura del suelo	% convertido a palma de aceite <sup>a</sup>	Reservas de carbono (t C ha <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>
Pastos	60	6,4
Vegetación herbácea	10	14,1
Cultivos estacionales	5	4,2
Cultivos perennes	10	28,9
Áreas agrícolas heterogéneas	15	5,8

Nota: el cálculo de las reservas de carbono en plantaciones de palma de aceite corresponde a 113 t C/ha<sup>-1</sup> (Rivera-Méndez *et al.*, 2017).

<sup>a</sup> Datos recuperados del mapa de aptitud del suelo de la UPRA (2018). También se consideró el estudio realizado por Castiblanco *et al.* (2013) para determinar la expansión futura de este cultivo en Colombia.

<sup>b</sup> Datos oficiales del IDEAM (Yepes *et al.*, 2011).

La Tabla 4 muestra los datos primarios de entrada para los escenarios futuros A y B, junto con una comparación entre los datos de los escenarios futuros y el escenario actual. Es pertinente mencionar que los escenarios futuros no consideran el transporte de aceite de la planta de beneficio a la planta de BD dado que se asume que la zona industrial<sup>11</sup> se encuentra ubicada en una misma área.

En los escenarios propuestos, el POME tratado es utilizado en la plantación más cercana para riego, reduciendo así el consumo de agua limpia. En la etapa de cogeneración, el vapor de la caldera de biomasa<sup>12</sup> es enviado a la turbina de contrapresión<sup>13</sup> a fin de gene-

rar electricidad, mientras que el excedente de vapor de la turbina es utilizado en la POM y la planta de BD como combustible.

De otro lado, este trabajo considera el uso de biomasa con bajo poder calorífico (LHV, en inglés), equivalente a 13,8 MJ kg<sup>-1</sup>. Adicionalmente, se incorpora el uso de vapor con un valor de 140,6 kWh kg<sup>-1</sup> (Husain *et al.*, 2003) y de un motor de biogás para la generación de electricidad (2,2 kWh/m<sup>3</sup> biogás), por lo que las emisiones ocasionadas por el uso de biogás y el proceso de generación de energía son incluidas en este análisis. Finalmente, para el escenario futuro A se consideró la aplicación de compost con una tasa de aplicación de fertilizante químico de 10 %.

- 11 En el escenario futuro A, la zona industrial incluye el área donde se encuentran la POM, la planta de BD, la zona de cogeneración y la planta de compostaje. En el escenario futuro B, la zona industrial incluye el área donde se encuentran la POM, la planta de BD, la zona de cogeneración y la planta de producción de pélets.
- 12 Condiciones de la caldera: eficiencia de 79 %, 370 °C y 36 bar.
- 13 En Colombia, las turbinas de contrapresión se utilizan comúnmente para producir electricidad en las POM, generando vapor a partir de la combustión de biomasa en una caldera. Así, el vapor residual de la turbina es

empleado en el proceso de la planta de beneficio. En esta turbina la presión de entrada varía de 20 a 24 bar, produciendo hasta 50.000 libras de vapor por hora. La presión de salida de la turbina es de aproximadamente 8-10 bar. Según Arrieta *et al.* (2007), la tasa de calor en una POM es de 14-60 MJ kWh<sup>-1</sup>. Dependiendo del tamaño de la caldera, la energía generada por este sistema puede alcanzar una capacidad instalada de 1.200 kW, con un costo estimado de instalación de USD 690-850 kW<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.** Resumen de los datos de entrada claves para los escenarios futuros A y B en comparación con el escenario actual

Variable	Escenario actual	Ref.	Escenario futuro A y B (valor máximo de los datos)	Ref.
Producto principal	APC	*	BD	*
<b>Manejo de plantaciones de palma de aceite</b>				
LUC	Datos de la Tabla 1		Datos de la Tabla 3	
Vida útil del cultivo	30 años	*	30 años	*
Rendimiento del cultivo	19,3 t RFF ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>		30 t RFF ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	*
Etapas de vivero	No incluida		No incluida	
Fertilización química	Urea Nitrato de amonio	*	Nitrato de calcio	*
Fertilización orgánica/biomasa	No		Aplicación de compost	
<b>Planta de beneficio de aceite de palma</b>				
Capacidad instalada	30 t RFF h <sup>-1</sup>	*	70 t RFF h <sup>-1</sup>	*

Continúa

Variable	Escenario actual	Ref.	Escenario futuro A y B (valor máximo de los datos)		Ref.	
Producto principal	APC	*	BD		*	
<b>Tasa de extracción de aceite</b>	21,35 %	*	22,11 %		*	
<b>Captura de biogás</b>	32,2 % para electricidad 67,8 % liberado a la atmósfera	*	100 % como combustible para la caldera, el motor de biogás y la quema		*	
<b>Usos de la biomasa</b>	RFV	Sin uso específico	*	Compost (escenario A), pélets (escenario B)		*
	Fibra	Combustible para la caldera (vapor)	*	Combustible para la caldera (cogeneración)		*
	Cuesco	Combustible para la caldera (vapor)	*	Combustible de la caldera para cogeneración		*
	POME	Eliminación de (DQO) Descarga a fuentes de agua	*	Eliminación de DQO Biogás para la generación de vapor, compost y uso en riego		*
	AGL	No	*	Esterificación		*
<b>Pretratamiento de biomasa</b>	No	*	RFV triturados (A), RFV triturados y secados (B)		**	
<b>Fuente de electricidad</b>	Red nacional	47 %	*	Escenario A	Escenario B	*
				0 %	10,5 %	**
	Diésel	13 %	*	0 %	0 %	* **
	Cogeneración	30 %	*	68,6 %	89,5 %	* **
	Biogás	9 %	*	31,5 %	0 %	* **

\* Datos de producción de los datos recolectados durante el trabajo de campo

\*\* Datos del modelo BioPB (Cenipalma).

## Datos de la evaluación económica

Los costos de producción de RFF fueron calculados dividiendo el costo total anual de una hectárea sembrada con palma de aceite (incluyendo costos de establecimiento y mantenimiento) por el volumen de RFF producidos por ha. Para las POM y las plantas de BD, los costos de producción del producto principal (APC o BD, respectivamente) fueron estimados al dividir el costo total anual por la cantidad de producto/año. La Tabla 5 muestra los parámetros esenciales para

calcular los costos de la cadena de producción de APC. El CAPEX fue calculado con base en los costos reportados por las empresas participantes o a criterio de los expertos. En planta de beneficio, el CAPEX se obtiene al multiplicar el costo de cada unidad instalada (capacidad de producción de una POM) por el número final de unidades instaladas (t RFF h<sup>-1</sup>). Por lo tanto, el CAPEX depende del tamaño de la planta de beneficio. Así, este valor es de 30 t RFF h<sup>-1</sup> en el escenario actual y de 70 t RFF h<sup>-1</sup> en los escenarios futuros A y B.

**Tabla 5.** Parámetros para la evaluación económica de la cadena del aceite de palma en Colombia<sup>a</sup>

Tasa de descuento <sup>b</sup>	12 %
Vida útil del equipo	30 años
Gastos de inversión	100 % en el primer año
Carga anual de POM <sup>c</sup>	5.381 h (escenario actual); 6.000 h (escenarios futuros)
Materia prima <sup>d</sup> RFF	125 USD <sub>2017</sub> t <sup>-1</sup> (escenario actual); 110 USD <sub>2017</sub> t <sup>-1</sup> (escenarios futuros)
APC	735 USD <sub>2017</sub> t <sup>-1</sup> (escenario actual); 646 USD <sub>2017</sub> t <sup>-1</sup> (escenarios futuros)
<b>Costos operativos</b> <b>Costos de la plantación</b>	(% costos totales de la plantación)
Establecimiento del cultivo <sup>e</sup>	4 %
Manejo del cultivo Fertilización	29 %
Cosecha y transporte de RFF	25 %
Labores agrícolas, suministros y maquinaria	22 %
Costo de oportunidad del suelo	10 %
Costos de manejo	10 %
<b>Costos de la POM</b>	(% costos totales de la POM)
Costos fijos	42 %
Mano de obra	28 %
Mantenimiento de equipos e infraestructura	16 %
Electricidad	9 %
Costos de manejo	5 %
<b>Costos de la planta de BD<sup>f</sup></b>	(% costos totales de la planta de BD)
Materia prima	73 %
Suministros	21 %
Mano de obra	2 %
Análisis de calidad	1 %
Mantenimiento	1 %
Electricidad	2 %

<sup>a</sup> Los parámetros se obtuvieron de los datos recolectados durante la fase de trabajo de campo y del estudio de Mosquera *et al.* (2018). Los costos fueron convertidos de pesos colombianos (COP) a dólares de EE. UU. (USD) utilizando la tasa de cambio promedio de 2017 (COP 2.951/USD) (<http://www.banrep.gov.co/es/trm>).

<sup>b</sup> 8 % es la tasa real de descuento utilizada por Mosquera-Montoya *et al.* (2017), a la cual añadimos la inflación promedio para el periodo 2010-2017 (4 %), de allí la tasa de descuento nominal de 12 %.

<sup>c</sup> Horas de trabajo por año en el escenario actual, obtenidas de la mediana de los datos recolectados.

<sup>d</sup> Se estima una disminución en los precios de la materia a medida que los rendimientos de producción aumentan.

<sup>e</sup> Incluye costos de infraestructura del cultivo, viveros, siembra de palmas y coberturas, entre otros.

<sup>f</sup> Datos tomados de Acevedo *et al.* (2015). No se considera el transporte de APC desde la planta de beneficio puesto que se asume que tanto la POM como la planta de BD están ubicadas en una misma área.

## Resultados

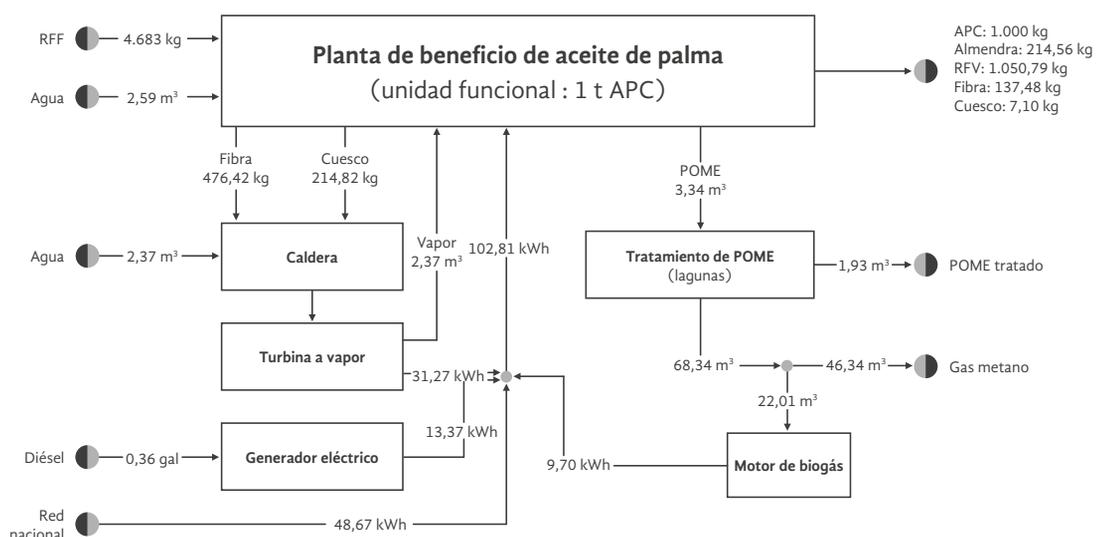
### Emisiones de GEI en el escenario actual

La Figura 4 muestra los flujos promedio de masa y energía de las 28 POM estudiadas, expresando los resultados en 1 t APC. Los hallazgos permiten determinar que en el proceso de extracción de APC se utiliza el 78 % de la fibra y el 96 % del cuesco para la generación de vapor y energía eléctrica. Además, nuestros resultados señalan que se requieren 130 kWh para operar una planta de beneficio, donde un 10 % proviene de motores de biogás, 30 % de turbinas de vapor, 13 % de generadores eléctricos (diésel) y 47 % de la red de suministro nacional. Se observa además que el 68 % del biogás es liberado a la atmósfera, es decir, más del 70 % de las plantas de beneficio no contaba con sistemas de captura de biogás al momento del levantamiento de datos.

De otro lado, no se reportó un uso específico para los RFV, y si bien algunas plantas de beneficio los utiliza como acondicionador del suelo, en la mayoría de los casos esta práctica no es viable, dado que transportar RFV grandes distancias resulta ser una actividad costosa. En consecuencia, los RFV suelen ser dispuestos en el relleno sanitario más cercano, lo cual contribuye a generar emisiones adicionales de CH<sub>4</sub>.

La Figura 5 muestra las emisiones de GEI en toda la cadena de producción de APC en el escenario actual. La huella de carbono promedio es de -689,8 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC, siendo el LUC, los POME (CH<sub>4</sub>) y la fertilización química los principales factores que contribuyen a la generación de emisiones de GEI. Según los datos obtenidos, 8 plantas de beneficio han eliminado las emisiones de CH<sub>4</sub> del POME mediante la captura de biogás y su posterior quema (cuatro de ellas generan electricidad con biogás). Las emisiones de CH<sub>4</sub> variaron entre 357,4 y 1.588,4 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC. Este amplio rango muestra las diferencias en la eficiencia de la remoción de la DQO dentro de los sistemas de tratamiento de POME, ocasionadas principalmente por el contenido de materia orgánica y la operación del sistema de lagunas (por ejemplo, tiempo de permanencia, presencia de bacterias y remoción de sedimentos). Este estudio mostró que la DQO inicial del POME varió entre 19.000 y 97.777 ppm (mg l<sup>-1</sup>), mientras que la DQO en el punto de descarga osciló entre 165 y 16.572 ppm. Frente al tema, la Resolución 631/2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia estableció los niveles permitidos para la concentración de contaminantes en la descarga de aguas servidas, regulación que debe ser adoptada por las POM (MADS, 2015). Dado que el punto máximo de DQO establecido por esta norma es de 1.500 ppm en el punto de descarga, es necesario considerar mejoras en la eficiencia de la eliminación de DQO.

Figura 4. Flujos de masa y energía en el escenario actual



**Figura 5.** Balance de GEI y emisiones en el escenario actual para cada POM estudiada



Nota: cada planta de beneficio se representa con la letra P y un número de 1 al 28. El promedio nacional de emisiones de GEI se muestra en la barra "escenario actual".

La Figura 6 muestra el aporte de cada zona palmera a las emisiones nacionales de GEI. La Zona Central reportó el mayor volumen de emisiones por LUC, mientras que la Oriental registró las menores cifras por esta variable. En la Zona Oriental los pastos y los cultivos estacionales muestran una transición hacia plantaciones de palma de aceite, mientras que en la Central la mayor proporción de LUC se dio sobre pastos (52,8 %) y zonas forestales (10,9 %). Al respecto, cabe mencionar que la conversión de bosques a suelos cultivables conduce a un aumento de las emisiones por LUC. Los resultados también permiten identificar que la Zona Oriental registra el mayor número de POM con captura de biogás en lagunas (5 de 28 plantas de beneficio estudiadas), contribuyendo así a reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> cerca de 35 %.

### Análisis de sensibilidad

En la Tabla 2 se observan los datos correspondientes a las reservas de carbono por uso del suelo, insumos utilizados para determinar las emisiones derivadas de LUC. Las emisiones generadas en el resto de la cadena

de producción de APC (fertilización, POM, consumo de diésel, agroquímicos y POME) fueron tomadas de los cálculos del promedio nacional o datos del escenario actual del sector.

La Figura 7 muestra que el valor de las reservas de carbono afecta directamente las emisiones por LUC, aportando entre 16 y 28 % de las emisiones totales. Esto señala la importancia de utilizar valores específicos de reservas de carbono de áreas convertidas a cultivos de aceite de palma para la realización de este tipo de investigaciones. Por ejemplo, al utilizar los valores mínimos y máximos de reservas de carbono asumidos para las plantaciones de palma de aceite, las emisiones por LUC variaron entre 327 y 695 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC (barra gris oscuro), con una reserva de carbono de -3 a -3,4 t CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC. El valor negativo indica la captura de carbono neta en este clase de cultivos.

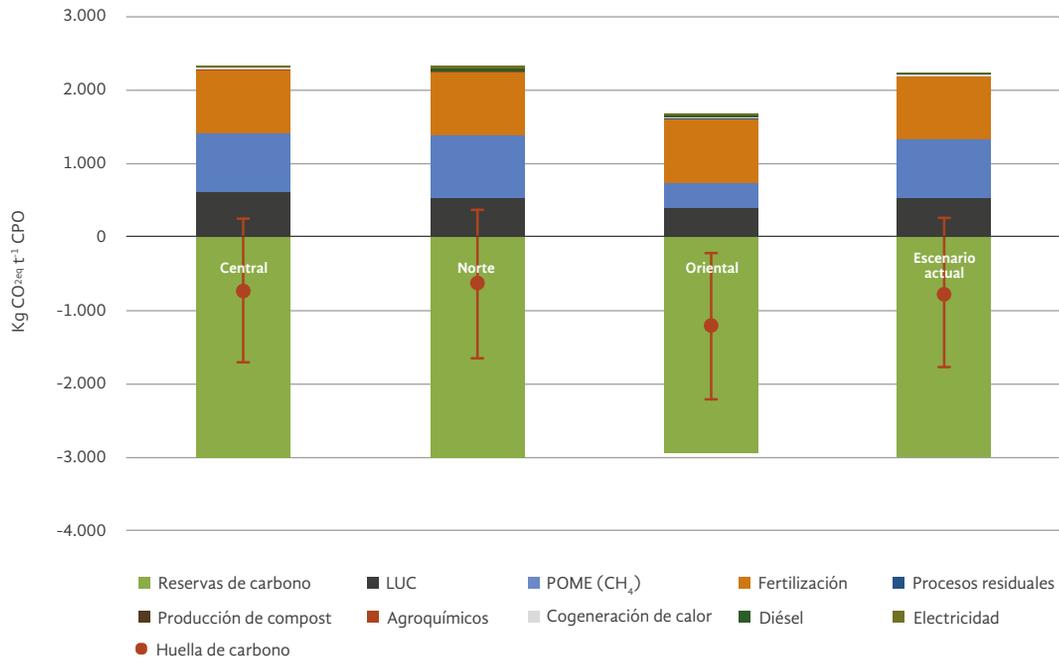
### Emisiones de GEI en los escenarios futuros

Para los escenarios futuros A y B se asumió un incremento de 3,5 % en el rendimiento del cultivo con respecto al escenario actual. Además, en ambos escenarios

futuros se consideró el uso de toda la biomasa producida durante el proceso de extracción de APC, así como la captura de biogás y la producción de BD. Las

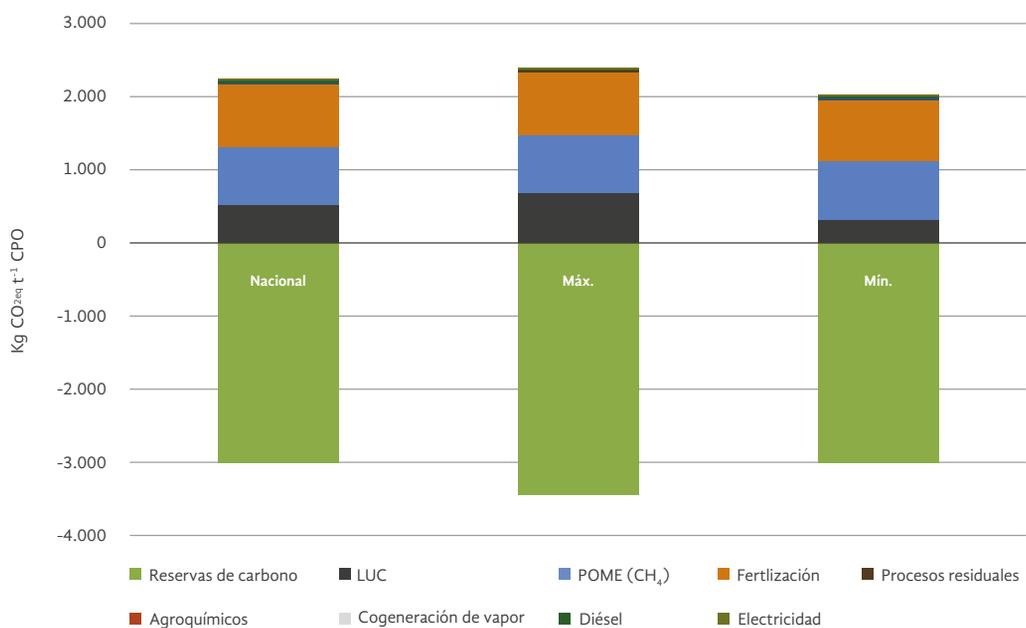
Figuras 8 y 9 muestran los flujos generales de masa y energía para los escenarios futuros A y B, respectivamente (los resultados se expresan en 1 t APC).

**Figura 6.** Emisiones de GEI en las zonas palmeras de Colombia



Nota: la barra naranja muestra la mediana, los datos mínimos y los datos máximos de huella de carbono.

**Figura 7.** Impacto del LUC en las emisiones de GEI para la producción de APC (análisis de sensibilidad)



En el escenario futuro A, la fibra, el cuesco y el biogás son utilizados para la generación de vapor (4.095 kg t<sup>-1</sup> APC) y electricidad (335 kWh t<sup>-1</sup> APC) a fin de satisfacer la demanda energética de todo el sistema. Bajo estas condiciones se genera un excedente de energía equivalente a 115 kWh t<sup>-1</sup> APC, el cual puede ser comercializado en la red nacional<sup>14</sup>. De otro lado, los RFV son pretratados mediante prensado y triturado, y compostados con el POME tratado y las tierras de blanqueo (SBE) resultantes del proceso de refinación de APC. El compost es utilizado en campo como fertilizante orgánico, siendo aplicado a una tasa de hasta 10 % con respecto a la fertilización química.

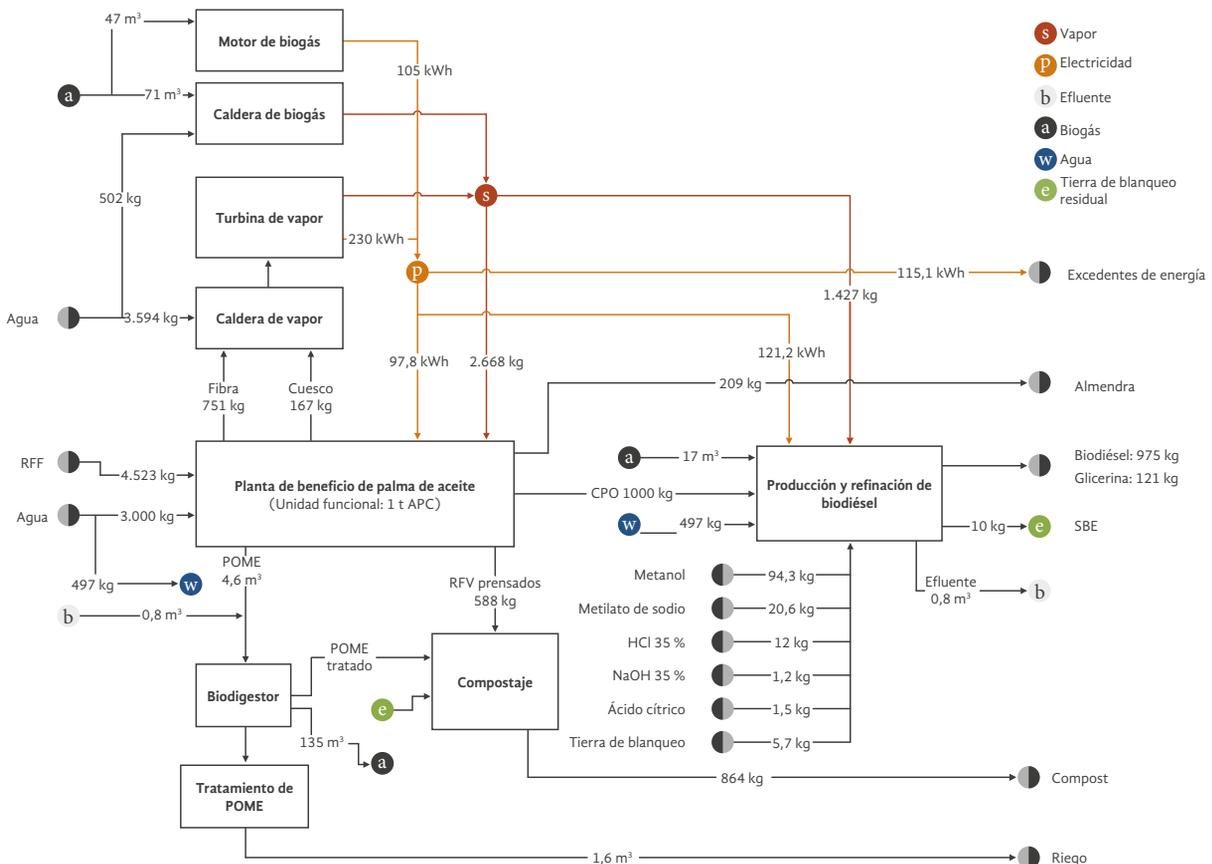
En el escenario futuro B (Figura 9), se identificó que el proceso de peletización requiere un mayor volumen

de vapor para el secado de biomasa a una tasa de 10 %. Además, se observa que 86 % del biogás producido es utilizado para la generación de vapor en la caldera, por lo cual no es posible generar electricidad únicamente a partir de biogás. Así, en este escenario se debe adquirir 27 kWh t<sup>-1</sup> APC de la red nacional para garantizar la energía requerida por el proceso. Por último, el volumen de biogás para generar electricidad a través de una turbina (140 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> APC) es mayor que el volumen de biogás disponible (118 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> APC). Por ende, no es posible obtener excedentes de energía bajo las condiciones planteadas para este escenario.

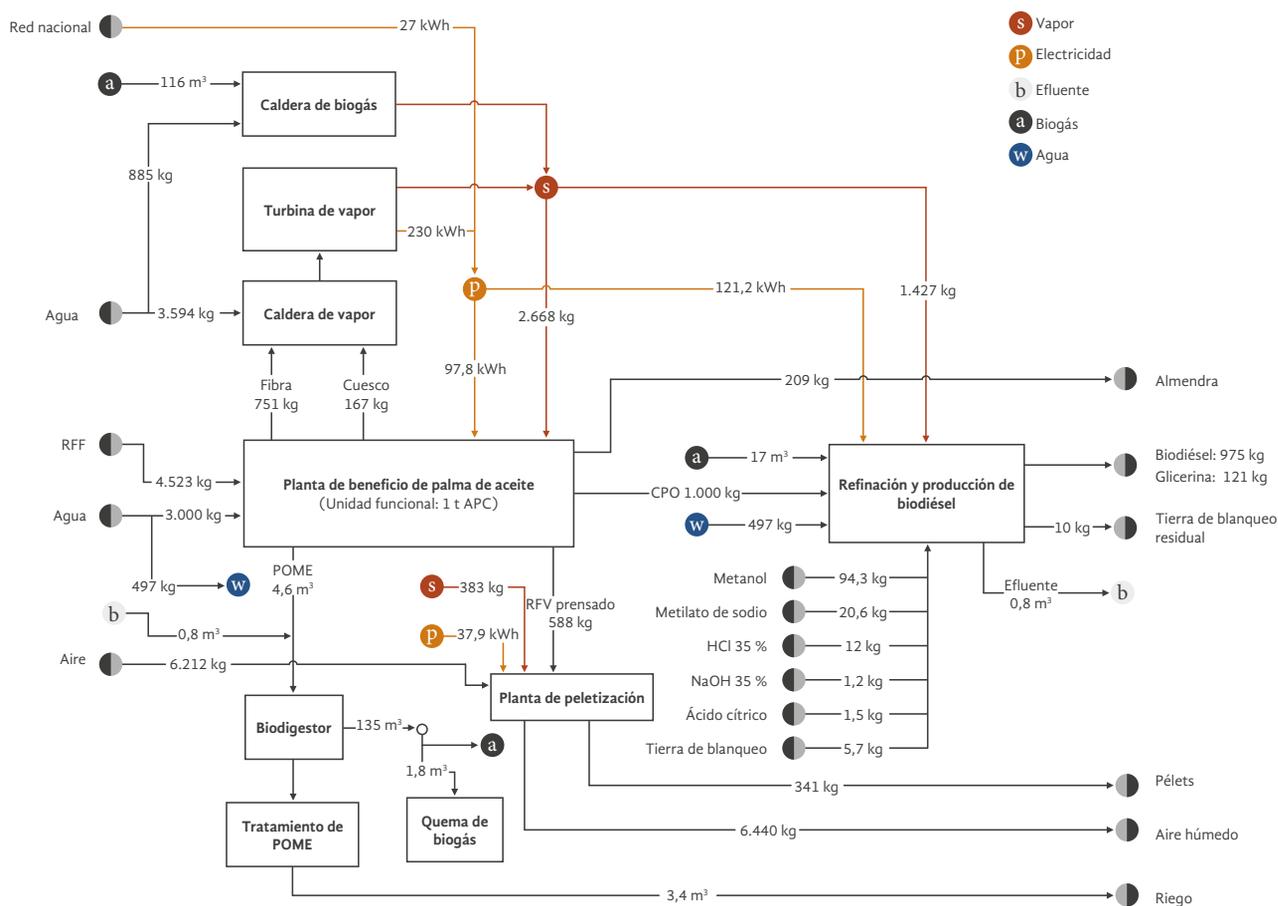
La Tabla 6 muestra el detalle de las emisiones de GEI a lo largo de la cadena de producción de APC en el escenario actual y los escenarios futuros A y B. Allí se observa que, gracias a las mejoras incorporadas, las emisiones totales en los escenarios futuros A y B son inferiores a las del escenario actual, puesto que no se registran emisiones de CH<sub>4</sub> y se logra una

14 Para más información sobre las condiciones de venta de excedentes de energía a la red nacional, consultar la Resolución 030/2018 (CREG, 2018).

Figura 8. Flujos de masa y energía en el escenario futuro A



**Figura 9.** Flujos de masa y energía en el escenario futuro B



disminución en las emisiones ocasionadas por LUC. Al respecto, la captura de gas metano es una práctica que contribuye a la reducción de emisiones de forma inmediata y además genera un beneficio económico para las POM, puesto que el biogás generado en este proceso puede ser empleado para la generación de energía o calor, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y sus costos asociados. En consecuencia, en los escenarios futuros, la fertilización de los cultivos será el principal factor generador de emisiones, pues los cultivos de palma de aceite demandan una gran cantidad de nutrientes (Galindo y Romero, 2012); las emisiones resultantes de la fertilización en el escenario futuro A incluyen las emisiones generadas por la aplicación de compost (3,7 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC), donde cada kilogramo de compost sustituye tan solo 0,1 kg de fertilizante químico. Es pertinente mencionar que el compost no es un sustituto total o radical de la fertilización química, dado que la liberación de nutrientes

por parte de esta materia orgánica es un proceso lento, que no logra satisfacer la alta demanda nutricional del cultivo de palma (Galindo y Romero, 2012).

Al analizar el límite del sistema hasta la planta de producción de biodiésel, la Tabla 7 muestra que la huella de carbono del escenario futuro A es ligeramente superior (679,6 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> BD) a la del escenario futuro B (771,2 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> BD), principalmente porque las emisiones asociadas a la fertilización son mayores en el primero. Tanto en el escenario futuro A como en el B, cerca de 13 % de las emisiones se deben a LUC, 68 % a la fertilización y el uso de productos agroquímicos y 11 % al proceso de refinación y transesterificación. Al comparar estos resultados con los hallazgos de Yáñez *et al.* (2011), quienes utilizaron información de las cinco empresas productoras de BD en Colombia para 2010, se observa que las mayores diferencias en las emisiones provienen de la fertilización, los POME (CH<sub>4</sub>), el uso de diésel y la producción de vapor.

**Tabla 6.** Comparación de las emisiones de GEI y la huella de carbono en la cadena de producción de APC para los escenarios analizados (cifras en kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup> APC)

Fuente	Escenario actual	Escenario A	Escenario B
<b>Reservas de carbono</b>			
Cultivo de palma de aceite	-3.014,1	-1.852,3	-1.852,3
<b>Emisiones</b>			
LUC	537,6	151,1	151,1
POME (CH <sub>4</sub> )	778,7	0,0	0,0
Fertilización	860,5	807,1	741,0
Producción de compost	0,0	3,7	0,0
Diésel	114,7	54,8	54,7
Cogeneración (energía)	14,7	0,4	0,5
Cogeneración (calor)	9,1	7,6	7,6
Agroquímicos	6,3	4,3	4,3
Procesos residuales	2,6	1,7	1,6
Emisiones totales	2.324,3	1.030,6	960,8
<b>Balance</b>			
Huella de carbono	-689,8	-821,7	-891,5

Nótese que para todos los escenarios el límite del sistema para el balance de GEI es la producción de APC.

Los procesos residuales contribuyen con menos del 1% del total de emisiones de GEI.

Las reservas de carbono en los cultivos de palma de aceite incluyen tanto a la planta (fronda, tronco y raíces) como a la cobertura vegetal y la materia orgánica asociadas. Este valor se estimó dividiendo los 30 años de vida útil de la plantación por el rendimiento promedio (t RFF ha<sup>-1</sup>). La variación en las reservas de carbono entre los escenarios se debe al rendimiento de los cultivos asignado, el cual es de 19,3 t RFF ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el escenario actual y de 30 t RFF ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para ambos escenarios futuros (Tabla 4).

La relación emisión/eliminación de reservas de carbono para el escenario actual es de 0,74 (es decir, por cada kg de CO<sub>2</sub> que se absorbe, se emiten 0,74 kg). En el escenario A esta relación es de 0,54, mientras que para el escenario B es de 0,50, lo que significa una menor emisión de CO<sub>2</sub> en ambos escenarios futuros. Nótese que en el escenario A la producción de compost genera emisiones tanto en su proceso de elaboración como en su aplicación al cultivo.

Las emisiones de fertilizante en los escenarios futuros serán menores. Sin embargo, el escenario A reporta un mayor número de emisiones debido al volumen de emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O ocasionadas por el uso de compost.

Las emisiones del compost (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) se originan por la degradación de biomasa.

Las emisiones de diésel corresponden al consumo de diésel para el transporte de RFF.

Las emisiones de cogeneración se dividen en energía (electricidad) y calor (vapor). Las emisiones de electricidad en el escenario actual corresponden a las emisiones de las cuatro fuentes (diésel, red nacional, cogeneración y biogás), mientras que las emisiones de electricidad en los escenarios futuros corresponden únicamente al uso de diésel y el proceso de cogeneración (biomasa). No se consideraron las emisiones de CO<sub>2</sub> biogénico de la biomasa. Nótese que la diferencia de calor entre el escenario actual y los escenarios futuros se debe al aumento del consumo de vapor en la planta de BD.

Las emisiones generadas por el proceso de producción de pélets representan aproximadamente 0,6 %. Estas se incluyen en las emisiones por cogeneración (energía y calor).

De acuerdo con nuestra propuesta, las emisiones de metano de los POME son inexistentes en los escenarios futuros A y B, puesto que se asume la captura de biogás para la generación de energía. Las emisiones del consu-

mo de diésel son también menores en los dos escenarios futuros planteados por este estudio, debido a que no se incluyó el transporte de APC al considerar que la POM y la planta de BD están ubicadas en una misma área.

**Tabla 7.** Balance de GEI según diversos estudios sobre la industria colombiana del aceite de palma

Proceso	Presente estudio					Estudios recientes sobre el sector <sup>a</sup>			
	Escenario actual	Escenario futuro A	Escenario futuro B	Escenario futuro A	Escenario futuro B	Estudio 1	Estudio 2	Estudio 3	Estudio 4
Área de estudio	28 POM	Estudio de caso representativo		Estudio de caso representativo		5 plantas de BD	11 escenarios	POM hipotética	Cultivo específico
Unidad <sup>b</sup>	kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> APC			kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> BD		kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> BD	kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> APC	kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> APC	kg CO <sub>2eq</sub> t <sup>-1</sup> APC
<b>Reservas de carbono</b>									
Cultivo de palma de aceite	-3.014,1	-1.852,3	-1.852,3	-1.883,9	-1.883,9	-6.080,8	-894	-5.372,6	-3.388,3
<b>Emisiones</b>									
LUC	537,6	151,1	151,1	153,6	153,6	34,4	343	49,1	74,9
Fertilización	860,5	807,1	741	820,9	753,7	450,5	61	224,2	351
Agroquímicos	6,3	4,3	4,3	4,4	4,3	5,3	-	6,6	-
POME (CH <sub>4</sub> )	778,7	0,0	0,0	0,0	0,0	945,6	179	1689,5	778,7 <sup>e</sup>
Producción compost	-	3,7	-	3,7	-	-	-	-	-
Vapor producido	-	-	-	-	-	332,4	-	879,8	-
Diésel	114,7	54,8	54,7	55,7	55,6	468,6	255	79,6	79,6
Electricidad	14,7	0,4	0,5	23,8	2,3	56,6	-	60,8	-
Cogeneración	9,1	7,6	7,6	10,9	10,9	-	-	355,7	-
RBD + BD <sup>c</sup>	-	-	-	130,7	130,7	40,3	-	-	-
Procesos residuales	2,6	1,7	1,6	0,6	1,6	374,2	-	0,2	46,8
Emisiones totales	2.324,3	1.030,6	960,8	1.204,3	1.112,7	2.707,9	838	3.345,5	1.331
<b>Balance</b>									
Huella de carbono	-689,8	-821,7	-891,5	-679,6	-771,2	-3.372,9	-56	-2.027,1	-2.057,3

<sup>a</sup> Datos del estudio 1 tomados de Yáñez *et al.* (2011); datos del estudio 2 basados en Henson *et al.* (2012); datos del estudio 3 basados en García-Núñez *et al.* (2016); datos del estudio 4 basados en Rivera-Méndez *et al.* (2017). Para comparar las emisiones de GEI, los resultados de los estudios de García-Núñez *et al.* (2016) y Rivera-Méndez *et al.* (2017) se expresan en toneladas de APC (se utilizó un valor de 4,68 t RFF t<sup>-1</sup> APC para los cálculos).

<sup>b</sup> APC = aceite de palma crudo; BD = biodiésel.

<sup>c</sup> El proceso RBD + BD incluye los insumos de los procesos de refinación y transesterificación (metanol, metóxido de sodio, ácido cítrico, ácido clorhídrico y SBE).

<sup>d</sup> Los procesos residuales son aquellos que contribuyen con menos de 1 % de las emisiones totales de GEI.

<sup>e</sup> Datos asumidos a partir de la situación actual con el fin de considerar el mayor volumen de emisiones posible en planta de beneficio.

## Relación de energía neta

La Figura 10 muestra un análisis comparativo de la NER para cada escenario. En todos los casos, la etapa de cultivo registró el mayor consumo de energía de origen fósil (2,8-6,7 GJ t<sup>-1</sup> BD). En el escenario actual, la NER es de 2,2 MJ renovable MJ<sup>-1</sup> fósil (C1, línea amarilla), empleando únicamente fibra y cuesco como fuentes de energía renovable. En contraste, esta variable aumenta a 8,5 MJ renovable MJ<sup>-1</sup> fósil (C8, línea amarilla), añadiendo el APC y toda la energía de los subproductos. En los escenarios futuros A y B (cadena de BD), la NER es mayor que en el escenario actual (cadena de APC) debido a un aumento en la energía renovable de los productos primarios. Por ejemplo, en el escenario futuro A, por cada unidad de energía fósil requerida para producir BD y compost se obtienen 13,72 unidades de energía renovable disponible (C1, línea verde).

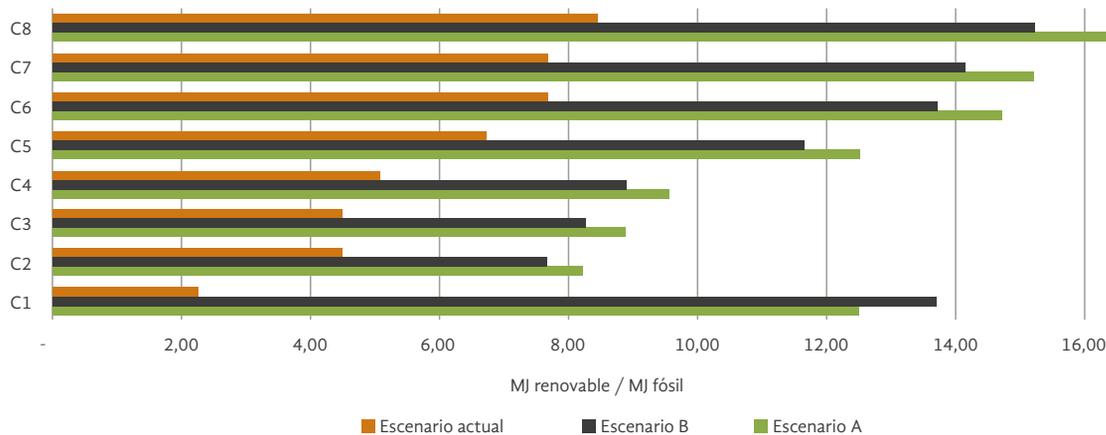
## Evaluación del desempeño económico

### Escenario actual

En el escenario actual, el CAPEX estimado es de USD 37,8 t<sup>-1</sup> APC (51 % costos de POM y 49 % costos del cultivo). El OPEX se estima en USD 519,2 t<sup>-1</sup> APC (86 % costos de producción del cultivo y 14 % costos de POM), como se muestra en la Figura 11a. Por su parte, los RFF procesados tienen un valor estimado de USD 125 t<sup>-1</sup> RFF. Además, se estima que el VAN es de USD 895 t<sup>-1</sup> APC, mientras que la rentabilidad<sup>15</sup> proyectada muestra una TIR de 34 %.

15 Las empresas deben cumplir con las regulaciones locales, regionales y nacionales para operar en territorio colombiano, incluyendo las normativas ambientales. De lo contrario, estas pueden ser objeto de cierres temporales o permanentes.

**Figura 10.** Análisis comparativo de NER para la escenario actual y los escenarios futuros



C1*	Cuesco + fibra (escenario actual)	BD + biogás + cuesco + fibra (escenario futuro A)	BD + biogás + cuesco + fibra + pélets (escenario futuro B)
C2	APC	BD	
C3	APC (sin biogás)	BD + biogás	
C4	APC + cuesco	BD + biogás + cuesco	
C5	APC + cuesco + fibra	BD + biogás + cuesco + fibra**	
C6	APC + cuesco + fibra + pélets	BD + biogás + cuesco + fibra + pélets***	
C7	APC + cuesco + fibra + pélets (sin glicerina)	BD + biogás + cuesco + fibra + pélets + glicerina	
C8	APC + cuesco + fibra + pélets + almendra	BD + biogás + cuesco + fibra + pélets + glicerina + almendra	

\* La comparación 1 (C1) corresponde a los valores de NER para los escenarios considerados en este estudio (actual, escenario futuro A y escenario futuro B). Este valor solo incluye productos que funcionen como combustibles renovables.

\*\* Escenario futuro A (los RFF prensados se utilizan para la producción de compost y no son considerados energía renovable).

\*\*\* Escenario futuro B (los pélets son producidos a partir de RFF).

Para cuantificar los posibles costos de incumplimientos en materia de normativa ambiental, asumimos que la planta de beneficio no cumplía con los máximos niveles de contaminantes permitidos en descarga y que esta realizaba un cierre que se prolongaba por una semana. Como resultado, el costo de esta semana de cierre es de USD 3,6 t<sup>-1</sup> APC, que corresponde al valor de procesar RFF en otra planta de beneficio. Esto puede implicar desventajas adicionales como gastos extra para el transporte de RFF y la reducción del precio de venta de APC al ofertar un producto de menor calidad y por debajo de las especificaciones del mercado (contenido de ácidos grasos, peróxidos y humedad).

La Figura 11a muestra que los costos de producción de APC son menores en los escenarios futuros A y B, lo cual se debe a un mayor rendimiento del cultivo, una mayor escala de producción en planta de beneficio y un menor costo de la materia prima (RFF). El ingreso estimado de USD 800 t<sup>-1</sup> APC se basa en la venta proyectada de APC (92 %) excedentes de energía (5 %) y pélets (2 %).

### Escenarios futuros A y B

El CAPEX y el OPEX son similares para los escenarios futuros A y B. El CAPEX estimado es de aproximadamente USD 49 t<sup>-1</sup> BD (cultivo 32 %, POM 29 %, biogás/cogeneración 8 %, planta de BD 30 % y producción de compost o pélets 1 %), mientras que el OPEX es de aproximadamente USD 680 t<sup>-1</sup> BD (cultivo 55 %, POM 8 %, biogás/cogeneración 2 %, planta de BD 34 % y compost o pélets 1 %). En ambos escenarios futuros, el VAN estimado está entre USD 1.825 y 2.178 t<sup>-1</sup> BD, mientras que la rentabilidad del proyecto mostró una TIR entre 38 y 43 %. Se esperan ingresos estimados de USD 1.075 t<sup>-1</sup> BD con base en las ventas esperadas de BD (95 %), excedentes de energía (4 %) y pélets (1 %).

La Figura 11b muestra que la cadena de producción de BD puede registrar menores costos en los escenarios futuros A y B para todas las etapas de la cadena de producción (cultivo, planta de beneficio y planta de BD). Esta figura también muestra los precios del BD y del diésel en Colombia. Cabe mencionar que desde 2008 el BD de aceite de palma es mezclado con diésel para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, debido a los altos costos de producción

de BD, el precio de este biocombustible es mayor que el precio del diésel. Por ejemplo, en Colombia, el precio histórico del BD<sup>16</sup> ha estado alrededor de USD 30 GJ<sup>-1</sup>, mientras que en 2017 el precio del diésel se ubicó en USD 10 GJ<sup>-1</sup>. Además, se estima que los costos de refinación de BD son 30 % superiores a los del petróleo crudo. No obstante, teniendo en cuenta que el precio del petróleo varía en el mediano y largo plazo, con fluctuaciones entre USD 30 y 119 por barril proyectadas para el periodo 2020-2030 (Hernández *et al.*, 2018a; van Vliet *et al.*, 2009), así como la imperiosa necesidad de reducir los niveles de contaminación ambiental, el Gobierno de Colombia ha creado una serie de incentivos<sup>17</sup> para reducir los costos de producción de BD.

La Figura 12 muestra el análisis de sensibilidad de los costos de producción de APC en los tres escenarios examinados. Se observa que el incremento en el rendimiento del cultivo (izquierda) genera una reducción de los costos de producción de RFF de 55 % en los escenarios futuros. Así mismo, el incremento en la producción de la POM (derecha) hace que los costos de producción muestren una contracción de 25 %.

### Discusión

La Tabla 7 presenta una comparación de algunos estudios recientes sobre el balance de GEI de la industria de aceite de palma en Colombia, incluyendo el presente estudio. Se observa que el balance de GEI

16 Según Hernández *et al.* (2018b), el precio del diésel por barril es cercano a USD 54 y el costo operativo promedio de producción es USD 16,3 por barril (47 % costos de extracción y 53 % costos de transporte).

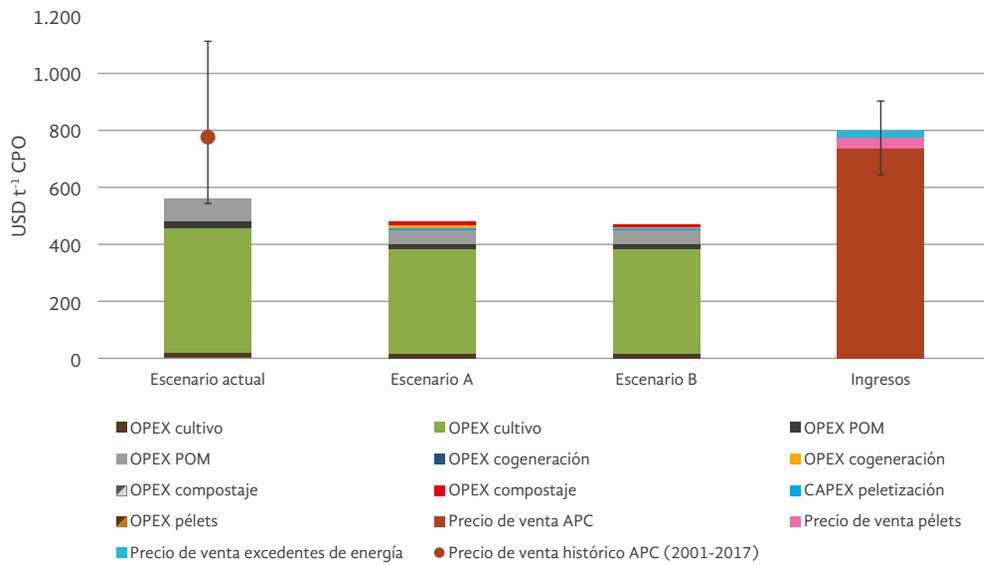
17 Eliminación de impuestos a la compra de maquinaria y equipos, reducción del impuesto sobre la renta para compañías en zonas francas, eliminación del impuesto nacional sobre la gasolina y el diésel (Ley 939/2004). Se contemplan otros beneficios, como (i) la reducción de costos logísticos debido a la disponibilidad local de biocombustible; (ii) menores costos asociados a la no utilización de aditivos para el diésel; (iii) reducción de costos asociados a la mortalidad prematura (principalmente en niños y adultos mayores) y la morbilidad (enfermedades respiratorias crónicas), generados por la reducción de la toxicidad de emisiones (PM10/PM2.5); (iv) beneficios para las poblaciones de las zonas rurales donde se cultiva palma de aceite, como, por ejemplo, empleo formal (Torres, 2014).

varía según las suposiciones hechas (por ejemplo, fuente de los datos, representatividad de los datos, parámetros incluidos). A pesar de esto, al comparar la huella de carbono de Colombia con el análisis más reciente reportado para Indonesia ( $0,7$  y  $26 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ t}^{-1} \text{ APC}$ ), según Lam *et al.* (2019), los resultados del país suramericano siguen siendo mucho

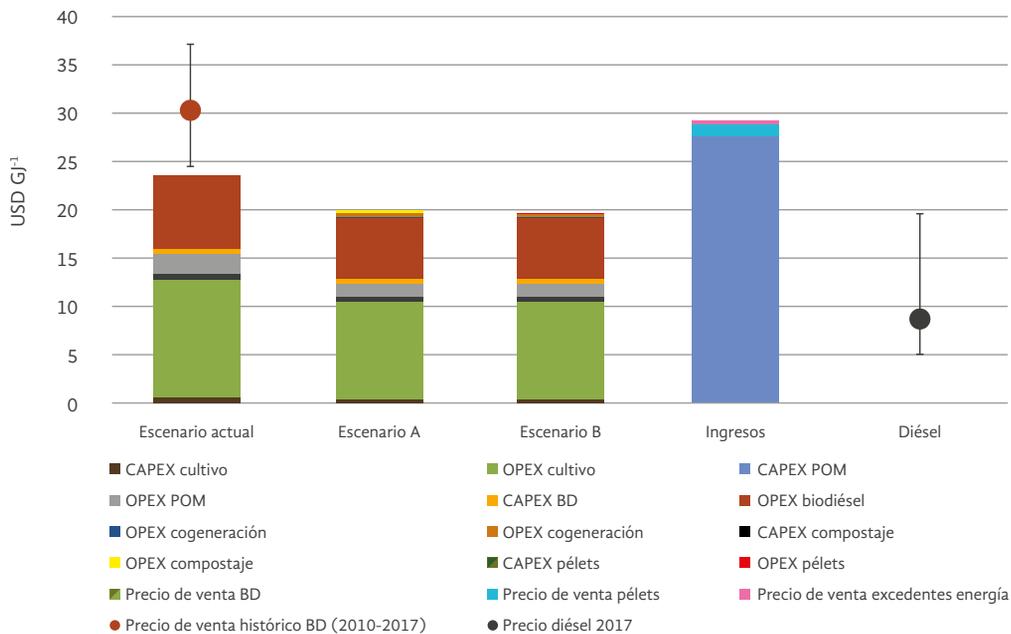
menores. Se evidencia entonces que la producción mundial de APC, el LUC, las emisiones de  $\text{CH}_4$  y la fertilización química han sido los factores con mayor aporte a la generación de emisiones de GEI (Castanheira *et al.*, 2014; Garcia-Nunez *et al.*, 2016; Henson *et al.*, 2012; Lam *et al.*, 2019; Wicke *et al.*, 2008; Yáñez *et al.*, 2011).

**Figura 11.** Costos de producción de APC (a) y BD (b) en el escenario actual y los escenarios futuros

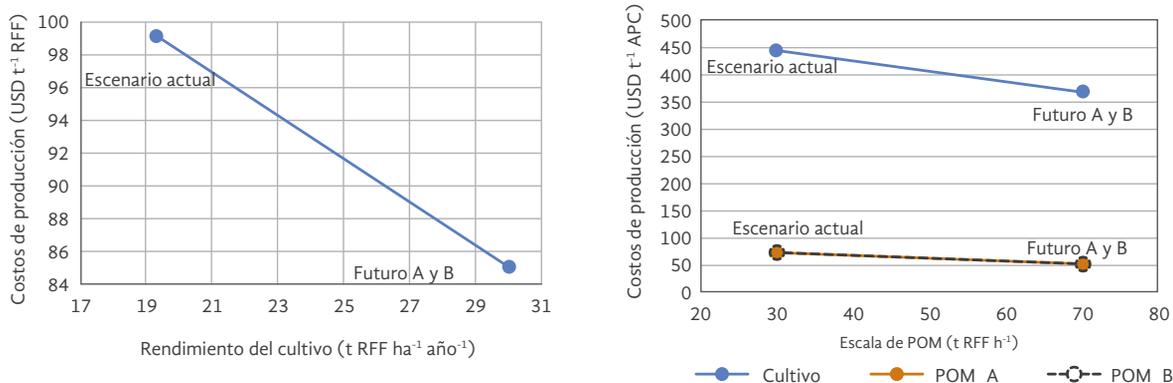
a. Análisis de costos de la cadena de producción de APC (CAPEX, OPEX e ingresos)



b. Análisis de costos de la cadena de producción de BD (CAPEX, OPEX e ingresos)



**Figura 12.** Costos de producción en relación con el rendimiento del cultivo (izquierda) y la escala de producción de la planta de beneficio (derecha)



Considerando que el LUC afecta fuertemente el balance de GEI (Wicke *et al.*, 2008), la expansión futura de los cultivos de palma de aceite en Colombia debe realizarse en áreas de vocación agrícola y ganadera con bajas reservas de carbono, evitando la deforestación de áreas naturales y la generación de emisiones asociadas a LUC (Castiblanco *et al.*, 2013; Pirker *et al.*, 2016). Sobre el asunto, es de resaltar que varios estudios han reportado que la asociación del cultivo de palma de aceite con la deforestación en Colombia ha sido mucho menor que en otros países productores, pues la expansión de este cultivo se ha dado principalmente en áreas de pastos, vegetación herbácea y cultivos estacionales (Castanheira *et al.*, 2014; Castiblanco *et al.*, 2013; Furumo y Aide, 2017; Henson *et al.*, 2012). No obstante, para prevenir la deforestación generada por el crecimiento de los suelos agrícolas, se requiere de directrices, políticas y criterios contundentes que promuevan y regulen el uso de los recursos naturales (Castanheira *et al.*, 2014; Khasanah, 2019; Woittiez, 2019). Por ello, en el mapa de aptitud de suelos se consideró que las restricciones a los cultivos de palma de aceite no pondrán en peligro las condiciones propias de áreas naturales o la prestación de servicios ecosistémicos (UPRA, 2016).

Continuando con el tema ambiental, el sector palmero y el Gobierno colombiano firmaron un acuerdo voluntario de “Cero Deforestación” en el que el sector se comprometió a eliminar la huella de deforestación en su cadena de suministro (MADS, 2019). Además, el Gobierno Nacional ha emitido varias leyes y

políticas<sup>18</sup> para el uso adecuado del suelo (MADR, 2018), lo que se convierte en parte de la estrategia hacia un crecimiento sostenible con bajas emisiones de carbono, la protección de la biodiversidad, mejores condiciones medioambientales y de gobernanza y la mitigación de riesgos frente a desastres naturales y el cambio climático (DNP, 2018).

Dado que el impacto de las emisiones por LUC se relaciona con cambios en las reservas de carbono, Colombia requiere de datos y mecanismos más precisos para monitorear la deforestación y calcular el volumen de emisiones. Lo anterior, teniendo en cuenta la diversidad e importancia de los bosques naturales del país (IDEAM, *et al.*, 2015), donde las reservas de carbón promedio pueden variar entre 48,1 y 147,5 t C ha<sup>-1</sup> (biomasa superficial) (Phillips *et al.*, 2011). Por ello, la implementación de buenas prácticas de manejo agronómico e incrementos en el rendimiento de los cultivos son factores determinantes para lograr una reducción de las emisiones por el uso del suelo (Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017), además de permitir una disminución en los costos de producción de APC (Beltrán *et al.*, 2015; Fontanilla *et al.*, 2015; Mosquera-Montoya *et al.*, 2017).

Las emisiones de CH<sub>4</sub> del sistema de tratamiento de POME en el escenario actual requieren de atención, puesto que solo 8 de las 28 POM estudiadas afirmaron llevar a cabo la captura de CH<sub>4</sub> (biogás). El tratamiento

18 Por ejemplo, la Política del uso del suelo (MADS, 2013) y la definición de la frontera agrícola (MADR, 2018), entre otros.

anaeróbico de POME produce biogás, que es una mezcla de gases cuyo componente principal es metano (50-70 %) (Ohimain e Izah, 2017). Dado que el potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub> es superior al del CO<sub>2</sub> (IPCC, 2013), su captura y manejo como fuente de energía renovable son esenciales. En el escenario actual, las emisiones del tratamiento de POME corresponden a 35 % de las emisiones totales dentro de la producción de APC, por lo que en un escenario futuro se considera una reducción considerable de este tipo de emisiones gracias a la captura de biogás.

Como se observa en los escenarios futuros A y B, la generación de energía a partir de biogás contribuye a reducir el impacto ambiental de la industria del aceite de palma, además de dar lugar a importantes beneficios económicos para el sector. Junto con la captura de biogás, se hace énfasis en el concepto de “cero residuos” a la salida del sistema de lagunas de los POME como mecanismo para reducir la contaminación de las fuentes de agua (Espinosa *et al.*, 2016); especialmente cuando en Colombia los parámetros máximos permisibles de contaminación se han hecho más exigentes durante los últimos años (MADS, 2015). Por ejemplo, el POME tratado puede ser utilizado para la producción de compost o como agua de riego gracias a su alto contenido de nutrientes (nitrógeno, potasio, magnesio y calcio), como señalan Ohimain e Izah (2017) y Ramírez *et al.* (2011). Sumado a lo anterior, el Gobierno colombiano ha fomentado el uso de biomasa y biogás para la generación de energía renovable, tanto para la demanda interna de las plantas de beneficio como para la venta de excedentes de electricidad a la red nacional, a través de incentivos fiscales que promueven el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales (Fedepalma, 2017b; MADR, 2016; UPME, 2019).

El futuro de la cadena de producción de APC debe centrarse en reducir el volumen de emisiones, dando cumplimiento a las normas internacionales de sostenibilidad mediante la optimización de prácticas agroindustriales que contemplan los siguientes aspectos:

- i. Aumentar el rendimiento de los cultivos a través de la adopción de prácticas y tecnologías agrícolas sostenibles, como se ha evidenciado en el sector palmero colombiano (Cooman, 2018). El objetivo de estas prácticas es llegar a un promedio nacional de 24 t RFF ha<sup>-1</sup> y una producción de 5 t APC ha<sup>-1</sup> para 2023

(Cooman, 2018). Sin embargo, los escenarios futuros planteados en este trabajo proponen un rendimiento de 30 t RFF ha<sup>-1</sup> en los cultivos, el cual equivale a cerca de 6,6 t APC ha<sup>-1</sup> (tasa de extracción de APC de 22,11 %). En ese orden de ideas, se estima que el sector palmero colombiano debe hacer un gran esfuerzo en materia de productividad.

- ii. Reducir el consumo de diésel, principalmente en la etapa de transporte de RFF desde el cultivo a la planta de beneficio, donde el uso de vehículos más eficientes podría contribuir a reducir el volumen de emisiones.
- iii. Agregar valor a la biomasa contribuiría a mitigar los impactos ambientales adversos e incrementar los ingresos del sector. Dado que la biomasa residual del sector agrícola no requiere uso de suelo adicional ni es apta para el consumo humano, este compuesto contribuye a combatir la deforestación y la competencia por la producción de alimentos (IEA Bioenergy, 2015). En Colombia, el sector palmero tiene el potencial de producir cerca de un millón de toneladas de biomasa lignocelulósica (peso seco). Sin embargo, el uso de esta biomasa dependerá de factores como su disponibilidad y costos (Ramírez *et al.*, 2015). Al respecto, según los datos recolectados durante el trabajo de campo, la mayor parte de los RFFV no tiene un uso específico debido a los altos costos de transporte. En consecuencia, estos son dispuestos en vertederos cercanos a las POM, lo cual genera problemas ambientales como la fuga de lixiviados y mayores emisiones de CH<sub>4</sub>. Por ello, la cogeneración de energía (calor y electricidad) y la producción de compost y pélets son algunas de las propuestas de los escenarios futuros planteados por este estudio.

El análisis de la NER durante el ciclo de vida de la producción de BD muestra que la energía fósil consumida es inferior a la energía renovable producida. Los valores de NER reportados en la literatura para la cadena de BD en Brasil y Colombia varían entre 3,8 y 5,7 (de Souza *et al.*, 2010; Yáñez *et al.*, 2009). Sin embargo, una comparación del balance energético a partir de la inclusión de todos los productos y subproductos del proceso, muestra que el valor potencial de

la NER es mayor. En un análisis de diversos productos de origen biológico a base de aceite de palma, la NER oscila entre 17,7 y 22,9 (García-Núñez *et al.*, 2016). En el presente estudio, el escenario futuro B reporta una NER superior a la del escenario futuro A (13,7 y 12,5, respectivamente). Esto se debe a la producción de pélets en el escenario futuro B, la cual hace posible que aumente la energía renovable producida. En contraste, la producción de compost en el escenario futuro A ocasiona un mayor consumo de combustibles fósiles. Así, se observan valores más altos de NER cuando incrementa el uso de biomasa como fuente de energía renovable (es decir, electricidad, pélets y BD).

Con respecto al desempeño económico, el VAN y la TIR son empleados como indicadores de la viabilidad económica del negocio palmero, y varían según los precios del APC en el mercado. Por su parte, el CAPEX depende de la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio y de la vida útil de la maquinaria. En la dimensión económica, es necesario tener presente que el establecimiento de una plantación de palma de aceite, además de una inversión inicial, involucra un periodo de desarrollo vegetativo previo al inicio del ciclo productivo (tercer año). Una vez que la planta alcanza su madurez (año 7), la producción de RFF tiende a estabilizarse, generando ingresos por las ventas de fruto.

El análisis de costos de este negocio está directamente relacionado con las prácticas de manejo agronómico y el procesamiento a escala industrial, por lo que el rendimiento y los costos de cada etapa de la cadena deben ser optimizados para obtener un mayor margen de beneficio (Mosquera *et al.*, 2014). El uso de biomasa y la realización de mejoras en las condiciones de producción —que aumentan los rendimientos en la cadena de suministro— generan beneficios económicos y ambientales. Por ejemplo, en el escenario actual, el rendimiento de los cultivos es de 19,3 t RFF ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que la planta de beneficio opera durante 5.381 h año<sup>-1</sup>, lo que supone la siembra de 8.400 ha. Sin embargo, al aumentar el rendimiento de los cultivos (30 t RFF ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y contar con una mayor capacidad y tiempo de procesamiento en planta de beneficio (70 t RF h<sup>-1</sup> y 6.000 h año<sup>-1</sup>, respectivamente), se necesitarán solo 14.000 ha para producir un cantidad de racimos 55 % superior a la generada en el escenario actual. Esto significa una mayor producción de RFF por año en un área menor.

## Conclusiones

Esta investigación evaluó el panorama actual del sector palmicultor colombiano en cuanto a emisiones de GEI y desempeño económico. Además, se analizaron dos escenarios futuros en los que las emisiones de GEI pueden reducirse mediante el desarrollo de buenas prácticas, tales como (i) la expansión del cultivo en zonas aptas y disponibles, (ii) un menor uso de fertilizantes químicos con alta huella de carbono (por ejemplo, nitrato de amonio), (iii) la aplicación de acondicionadores de suelos como el compost, (iv) mejores cifras de productividad del cultivo y de rendimiento de APC por hectárea, (v) la reducción del consumo de diésel y (vi) la captura de biogás. Sumado a lo anterior, se recomienda el uso de las descargas del sistema POME como agua de riego en las plantaciones cercanas, siempre que esto sea posible.

Las mejoras en la cadena de producción de APC en los escenarios futuros A y B permiten una disminución de 55 % en las emisiones de GEI con respecto a las cifras del escenario actual. El análisis de la NER durante el ciclo de vida de la producción de BD mostró un aumento de la energía renovable en comparación con el aporte de energía fósil. De otro lado, en estos escenarios futuros se observa que el impacto del LUC en las emisiones totales depende no solo del cambio de la cubierta terrestre, sino también de la precisa asignación de valores para las reservas de carbono transformadas.

Para todos los escenarios, los costos operativos de los cultivos representaron la mayor inversión. Sin embargo, se estima que el CAPEX y el OPEX disminuirán cerca de 20 % en los escenarios futuros y que la venta de excedentes de energía y pélets puede aportar entre 5 y 10 % de los ingresos totales. En futuras evaluaciones económicas se podría considerar el hecho de que las inversiones serán escalonadas en el tiempo (por ejemplo, primero la fase de plantación, luego el establecimiento de la POM y la planta de BD, etc.). También podrían evaluarse escenarios en los que inversionistas adquieren la POM y compran RFF a proveedores, o aquellos que incluyen los ingresos procedentes de la venta de bonos de carbono o productos etiquetados como sostenibles respaldados por sistemas de certificación reconocidos internacionalmente.

Un punto clave de este estudio es dar cuenta del potencial de mejora en el equilibrio de los GEI generados por la cadena de producción de BD, cuya viabilidad económica puede mejorar a través de la obtención de mayores rendimientos, el uso de suelos con bajas reservas de carbono, una mayor escala de producción, la cogeneración de energía y la producción de biogás, pélets y compost. Un segundo punto clave apunta al cumplimiento de las políticas nacionales sobre el uso de tierras disponibles y la prevención de la deforestación, elementos esenciales para garantizar la sostenibilidad del sector palmero.

## Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses ni sostienen relaciones personales que pudieran influir en el desarrollo de la investigación abordada en este documento.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del programa bilateral “Towards a long-term science and innovation collaboration between Colombia and the Netherlands in Biomass Valorization” (RVO-TF-13COPP7B), suscrito entre Colombia y los Países Bajos. Así mismo, agradecen al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la cofinanciación de este estudio. Por último, agradecemos a las plantas de beneficio y plantaciones de palma de aceite de Colombia que suministraron los datos primarios para este estudio.

## Datos complementarios

Los datos complementarios de este artículo se encuentran disponibles en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>.

---

## Referencias

- Abdul-Manan, A. F. N. (2017). Lifecycle GHG emissions of palm biodiesel: Unintended market effects negate direct benefits of the Malaysian Economic Transformation Plan (ETP). *Energy Pol.*, 104, 56-65.
- Acevedo, J. C., Hernández, J. A., Valdés, F. & Kumar, S., 2015. Bioresource technology analysis of operating costs for producing biodiesel from palm oil at pilot-scale in Colombia. *Bioresour. Technol.*, 188, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.071>
- Afriyanti, D., Kroeze, C. & Saad, A. (2016). Indonesian palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050. *Sci. Total. Environ.*, 557-558, 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.032>
- Arrieta, F., Teixeira, F., Yáñez, E., Lora, E. & Castillo, E. (2007). Cogeneration potential in the Colombian palm oil industry: Three case studies. *Biomass Bioenergy*, 31, 503-511. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.016>
- Beltrán, J. A., Pulver, E., Guerrero, J. & Mosquera, M. (2015). Cerrando brechas de productividad con la estrategia de transferencia de tecnología productor a productor. *Palmas*, 36(2), 39-53.

- Castanheira, E. G., Acevedo, H. & Freire, F. (2014). Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. *Appl. Energy*, 114, 958-967. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.010>
- Castiblanco, C., Etter, A. & Aide, T. M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: A model of future expansion. *Environ. Sci. Pol.*, 27, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.003>
- Castiblanco, C., Etter, A. & Ramírez, A. (2015). Land use policy impacts of oil palm expansion in Colombia: What do socioeconomic indicators show? *Land Use Pol.* 44, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.10.007>
- Cooman, A. (2018). *Oportunidades y retos Cenipalma*. Bogotá: Cenipalma.
- CREG. (2018). *Resolución CREG 030 de 2018, Ministerio de Minas y Energía. Comisión de Regulación de Energía y Gas*. Bogotá: CREG.
- DNP. (2018). *Estudio de Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia-Fase II*. Bogotá: DNP.
- de Souza, S. P., Pacca, S., de Ávila, M. T. & Borges, J. L. B. (2010). Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. *Renew. Energy*, 35, 2552-2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.028>
- Durlinger, B., Koukouna, E., Broekema, R., van Paasen, M. & Scholten, J. (2017). *Agrifootprint 4.0. Part 1: Methodology and Basic Principles*. Gouda: Países Bajos.
- EPOA. (2016). *Producción de aceite de palma. Palm Oil food*. Recuperado de <http://www.palmoilandfood.eu/es/produccion-de-aceite-de-palma>
- Espinosa, J. C. (2016). *Sostenibilidad ambiental en Colombia*. Bogotá: Colombia.
- Espinosa, J. C., Martínez, M. C., Oberlaender, J., Sanín, M. C., Peñaloza, L., Ortiz, J. D. & Lozano, M. (2016). *Lineamientos para la adopción del Estándar de Sostenibilidad de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible -RSPO- en Colombia*. Bogotá: Colombia.
- Fedepalma. (2017a). *Desempeño del sector palmero colombiano*. Bogotá: Colombia.
- Fedepalma. (2017b). *Procedimientos e incentivos para la generación y venta de energía eléctrica renovable de la agroindustria de palma de aceite en Colombia*. Bogotá: Colombia.
- Fedepalma. (2018). *Minianuario Estadístico 2018. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Bogotá: Colombia.
- Fedepalma. (2019). *Sispa: Sistema de información estadística del sector palmero de Colombia*. Recuperado de <http://sispa.fedepalma.org/login.aspx>
- Fedepalma. (2020). *Anuario Estadístico 2020. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Bogotá: Colombia.

- Fontanilla, C., Mosquera-Montoya, M., Ruíz, E., Beltrán, J. A. & Guerrero, J. (2015). Beneficio económico de la implementación de buenas prácticas en cultivos de palma de aceite de productores de pequeña escala en Colombia. *Palmas*, 36(2), 27-38.
- Fry, J. (2017). *Oil palm and the world market for oil crops*. Oxford: LMC International.
- Furumo, P. R. & Aide, T. M. (2017). Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: Land use change and trade. *Environ. Res. Lett.*, 12, 024008.
- Galindo, T. & Romero, H. M. (2012). *Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación*. Bol. Técnico 31. Bogotá: Cenipalma.
- García-Arbeláez, C., Vallejo, G., Higgings, M. L. & Escobar, E. (2016). *El acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. Bogotá: Fundación Natura, MADS & WWF-Colombia.
- García-Núñez, J. A., Rodríguez, D. T., Fontanilla, C. A., Ramírez-Contreras, N. E., Silva-Lora, E. E., Frear, C. S., Stockle, C., Amonette, J. & García-Pérez, M. (2016). Evaluation of alternatives for the evolution of palm oil mills into biorefineries. *Biomass Bioenergy*, 95, 310-329. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.020>
- Gerssen-Gondelach, S. J. (2015). *Yielding a fruitful harvest. Advanced methods and analysis of regional potentials for sustainable biomass value chains interlinked with environmental and land use impacts of agricultural intensification*. Utrecht: Utrecht University.
- Gerssen-Gondelach, S. J., Wicke, B. & Faaij, A. P. C. (2017). GHG emissions and other environmental impacts of indirect land use change mitigation. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy*, 9, 725-742. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12394>
- Henson, I. E., Ruíz-Romero, R. & Romero, H. M. (2012). The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: A preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agron. Colomb.*, 30, 370-378.
- Hernández, A., López, A. & Frysz, J. (2018a). *Análisis pronósticos precios internacionales del petróleo*. Bogotá: Asociación Colombiana del Petróleo.
- Hernández, A., Romero, J. & Frysz, J. (2018b). *Costos de operación del sector petrolero en Colombia en 2017*. Bogotá: Asociación Colombiana del Petróleo.
- Husain, Z., Zainal, Z. A. & Abdullah, M. Z. (2003). Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills. *Biomass Bioenergy*, 24, 117-124.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP & MinRelaciones (2015). *Primer informe bienal de actualización de Colombia ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Bogotá: IDEAM, PNUD, MADS, DNP & MinRelaciones.
- IEA Bioenergy (2015). *Mobilizing sustainable bioenergy supply chains. Inter-task project synthesis report*. IEA Bioenergy.

- IPCC. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. En *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Khasanah, N. (2019). *Oil Palm (Elaeis guineensis) production in Indonesia: Carbon footprint and diversification options*. Amsterdam: Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/467425>
- Khasanah, N., van Noordwijk, M. & Ningsih, H. (2015). Aboveground carbon stocks in oil palm plantations and the threshold for carbon-neutral vegetation conversion on mineral soils. *Cogent Environ. Sci.*, 8, 19.
- Khatun, R., Iman, M., Moniruzzaman, M. & Yaakob, Z. (2017). Sustainable oil palm industry: The possibilities. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 76, 608-619. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.077>
- Kusin, F. M., Izzati, N. & Mohamat-Yusuff, F. (2017). Greenhouse gas emissions during plantation stage of palm oil-based biofuel production addressing different land conversion scenarios in Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24, 5293-5304. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8270-0>
- Lam, W. Y., Kulak, M., Sim, S., King, H., Huijbregts, M. A. J. & Chaplin-Kramer, R. (2019). Greenhouse gas footprints of palm oil production in Indonesia over space and time. *Sci. Total Environ.*, 688, 827837. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.377>.
- MADR. (2016). *Hoja de ruta para la definición de políticas de caracterización y valorización de biomasa en Colombia*. Bogotá: MADR.
- MADR. (2018). *Resolución No 261 de 2018*. Bogotá: MADR.
- MADS. (2013). *Política Nacional para la gestión integral ambiental del suelo (GIAS)*. Bogotá: MADS.
- MADS. (2017a). *Acuerdo de voluntades para la deforestación cero en la cadena de aceite de palma en Colombia*. Bogotá: MADS.
- MADS. (2017b). *Política Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá: MADS.
- MADS. (2019). *Acuerdos Cero Deforestación*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/acuerdos-cero-deforestacion>
- MADS. (2015). *Resolución 0631 de 2015 - Calidad de vertimientos*. Bogotá: MADS.
- Mesa, J. (2017). Elementos para una nueva visión de la palmicultura colombiana. *Palmas*, 38(3), 55-62.
- Mosquera-Montoya, M., Ruíz-Álvarez, E., Fontanilla, C. A., Beltrán, J. A. & Arias, N. (2014). *Manual para el registro de costos en plantaciones de palma de aceite de pequeños productores*. Cenipalma & FLIPA.

- Mosquera-Montoya, M., Ruíz-Álvarez, E. & Mesa-Fuquen, E. (2017). Economic assessment of technology adoption in oil palm plantations from Colombia. *Int. J. Financ. Res.*, 8, 74-84. <https://doi.org/10.5430/ijfr.v8n3p74>
- Mosquera-Montoya, M., Valderrama, M., Ruíz-Álvarez, E., López, D., Castro, L. & González, M. A. (2018). *Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos*. Bogotá: Fedepalma.
- Ohimain, E. I. & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 70, 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221>
- Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., García, M. C., Álvarez, E., Cabrera, E., Cárdenas, D., Galindo, G., Ordoñez, M. F., Rodríguez, M. L. & Vargas, D. M. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlík, P. & Obersteiner, M. (2016). What are the limits to oil palm expansion? *Global Environ. Change*, 40, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.007>
- Ramdani, F. & Hino, M. (2013). Land use changes and GHG emissions from tropical forest conversion by oil palm plantations in Riau province, Indonesia. *PloS One*, 8, 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070323>
- Ramírez-Contreras, N. E., Arévalo, A. & Garcia-Nunez, J. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. *Palmas*, 36(4), 41-54.
- Ramírez-Contreras, N. E., Silva, A. S., Garzón, E. & Yáñez, E. E. (2011). *Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite*. Bol. Técnico. Bogotá: Cenipalma.
- Rivera-Méndez, Y. D., Rodríguez, D. T. & Romero, H. M. (2017). Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia. *J. Clean. Prod.*, 149, 743-750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.149>
- RSPO. (2017). *Sustainable palm oil*. Recuperado de <http://www.rspo.org/about/sustainable-palm-oil>
- Sapag, N. & Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Searchinger, T. D., Hamburg, S. P., Melillo, J., Chameides, W., Havlik, P., Kammen, D. M., Likens, G. E., Lubowski, R. N., Obersteiner, M., Oppenheimer, M., Robertson, P., Schlesinger, W. H. & Tilman, D. (2009). Fixing a critical climate accounting error. *Science*, 326(5952), 527-258. <https://doi.org/10.1126/science.1178797>

- Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., Pongpat, P., Kaenchan, P., Permpool, N., Lecksiwilai, N. & Mungkung, R. (2017). Environmental sustainability of oil palm cultivation in different regions of Thailand: greenhouse gases and water use impact. *J. Clean. Prod.*, 167, 1009-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.069>
- Stichnothe, H. & Schuchardt, F. (2011). Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass Bioenergy*, 35, 3976-3984. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.001>
- Thomas, M., Buchanan, J., McLaughlin, D. & Grubba, D. (2015). *Sustainable sourcing guide for palm oil users*. Washington D. C.: WWF.
- Torres, J. (2014). Beneficio-costo del biodiésel como componente en la formulación del diésel distribuido en Colombia. *Palmas*, 35(3), 41-54.
- Torres, J. (2018). *Assessing land use change dynamics over years 2000 and 2012 for oil palm and other bioenergy crops in Colombia*. Groninga: Universidad de Groninga.
- UPME. (2009). *Biocombustibles en Colombia*. Bogotá: UPME.
- UPME. (2019). *Incentivos tributarios para FNCE y eficiencia energética*. Bogotá: UPME.
- UPRA. (2016). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de palma de aceite en Colombia, a escala 1:100.000*. Bogotá: UPRA.
- UPRA. (2018). *Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de palma de aceite 1:100.000*. Recuperado de <https://sipra.upra.gov.co/>
- UPRA. (2019). *Zonificaciones de aptitud para 25 sistemas productivos: mapas de aptitud a escala 1:100.000*. Recuperado de <https://sipra.upra.gov.co/>
- van der Hilst, F. (2012). Spatial variation of environmental impacts of regional biomass chains. En *Shades of Green. Spatial and Temporal Variability of Potentials, Cost and Environmental Impacts of Bioenergy Production* (pp. 74-118). Utrecht: Universidad de Utrecht.
- van Vliet, O. P. R., Faaij, A. P. C. & Turkenburg, W. C. (2009). Fischere-Tropsch diesel production in a well-to-wheel perspective: A carbon, energy flow and cost analysis. *Energy Convers. Manag.*, 50, 855-876. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.01.008>
- Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, M. & Faaij, A. (2008). Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass Bioenergy*, 32, 1322-1337. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.001>
- Wicke, B., Verweij, P., van Meijl, H., van Vuuren, D. P. & Faaij, A. P. (2012). Indirect land use change: Review of existing models and strategies for mitigation. *Biofuels*, 3, 87-100. <https://doi.org/10.4155/bfs.11.154>
- Woittiez, L. S. (2019). *On yield gaps and better management practices in Indonesia smallholders oil palm plantations*. Wageningen: Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/470340>

- WWF-Colombia. (2017). *Colombia viva: Un país megadiverso de cara al futuro*. Bogotá: WWF-Colombia.
- Yacob, S., Ali-Hassan, M., Shirai, Y., Wakisaka, M. & Subash, S. (2006). Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Sci. Total Environ.*, 366, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.07.003>
- Yáñez, E., Silva-Lora, E. E., da Costa, R. E. & Torres, E. A. (2009). The energy balance in the palm oil-derived methyl ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. *Renew. Energy*, 34, 2905-2913. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.007>
- Yáñez, E., Martínez, L. & Gualdrón, M. (2011). *Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de biodiesel a partir de aceite de palma utilizando como herramienta el análisis de ciclo de vida (ACV)*. Bogotá: Cenipalma.
- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, E., Galindo, G., Vargas, D. M., García, M. C. & Ordoñez, M. F. (2011). *Estimación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por deforestación durante el periodo 2005-2010*. Bogotá: IDEAM.

# Emisiones de gases de efecto invernadero para diferentes métodos de cosecha, alce y transporte de racimos de fruta fresca de palma de aceite\*

Greenhouse Gas Emissions for Different Harvesting, Rising, and Transportation Methods of Oil Palm Fresh Fruit Bunches

**CITACIÓN:** Munar-F., D. A., Chaparro-T., D. C., Ramírez-C., N. E. & García-Núñez, J. A. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero para diferentes métodos de cosecha, alce y transporte de racimos de fruta fresca de palma de aceite. *Palmas*, 42(2), 49-61.

**PALABRAS CLAVE:** Tracción animal, Mecanización, Gases de efecto invernadero, Análisis de ciclo de vida, Palma de aceite.

**KEYWORDS:** Draught animal power, Mechanization, Greenhouse gases, Life cycle analysis, Oil palm.

\* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**RECIBIDO:** noviembre de 2020.

**APROBADO:** marzo de 2021.

**MUNAR F. DAVID A.**

Auxiliar de investigación, Programa de Procesamiento, Cenipalma  
dmunar@cenipalma.org

**CHAPARRO TRIANA DIANA C.**

Auxiliar de investigación, Programa de Procesamiento, Cenipalma

**RAMÍREZ CONTRERAS NIDIA E.**

Asistente de investigación, Programa de Procesamiento, Cenipalma

**GARCÍA NÚÑEZ JESÚS A.**

Coordinador del Programa de Procesamiento, Cenipalma

## Resumen

La transición de métodos de tracción animal a sistemas mecanizados se ha realizado con el fin de incrementar la productividad de los cultivos de palma de aceite. Sin embargo, el impacto ambiental con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que generan este tipo de transiciones aún es desconocido. Por ello, esta investigación estimó las emisiones de GEI reportadas por cinco estudios de caso que emplearon diferentes métodos de recolección, transporte al acopio, alce y transporte de racimos de fruta fresca (RFF) hasta la planta de beneficio. Los casos analizados contemplaron métodos parcialmente mecanizados (cable vía y tractores),

el uso de búfalos y el sistema mecanizado conocido como método *grabber*. Se siguieron los lineamientos establecidos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en inglés) y la norma ISO 14067. Las emisiones más bajas fueron reportadas para el método *grabber* (3,2 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF). Las emisiones de los sistemas de cable vía mostraron variaciones entre 5,7 y 7,9 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF, dependiendo del tamaño de la plantación, el uso de combustibles fósiles y la cantidad de búfalos asociados al sistema. Los procesos que generan más GEI son la fermentación entérica, el manejo del estiércol de búfalo y el uso de combustibles fósiles. Este trabajo resalta la importancia de cuantificar las emisiones de GEI en las diferentes actividades del cultivo para tomar acciones encaminadas a disminuir el impacto negativo de las labores relacionadas con la producción de la materia prima de la cadena de producción de aceite de palma crudo en Colombia.

## Abstract

Oil palm plantations have made the transition from animal traction methods to mechanized systems in order to increase crop productivity. However, the environmental impact related to the greenhouse gas (GHG) emissions generated by this type of energy-source transition is not yet known. Therefore, this study estimated the GHG emissions reported in five case studies using different methods for fresh fruit bunches (FFBs) collection, transport to the stockpile area, rising, and transport to the palm oil mill. The cases examined considered partially mechanized methods (cableway and tractors), the use of buffalos, and the mechanized system known as grabber method. The guidelines established by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the ISO 14067 standard were followed. The lowest emissions were reported by the grabber method (3.2 kg CO<sub>2eq</sub>/t FFB). The emissions generated by cableway systems showed variations between 5.7 and 7.9 kg CO<sub>2eq</sub>/t FFB, according to plantation size, the use of fossil fuels, and the number of buffalos associated with this system. The processes that generate the most GHG are enteric fermentation, buffalo manure management, and the use of fossil fuels. The importance of quantifying GHG emissions for different crop activities is necessary to reduce the negative effects of the tasks involved in the production of raw material within the Colombian crude palm oil supply chain.

## Introducción

Con el aumento de la población mundial y la demanda de alimentos, es necesario incrementar la producción agrícola de manera sostenible a través del uso de tecnologías eficientes y hacer uso de recursos que permitan disminuir la dependencia existente hacia los combustibles fósiles. A nivel agrícola, el incremento de la producción de alimentos se ha apoyado en un mayor uso de fertilizantes, agroquímicos, semillas genéticamente modificadas, animales con elevado potencial genético y sistemas de producción intensiva basados en la mecanización y el uso de productos industriales (Chirgwin, 1997). Sin embargo, este tipo de producción también ha causado un incremento en la demanda y dependencia de combustibles fósiles, lo

que podría aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El uso de combustibles fósiles es una de las principales causas de impactos sobre las emisiones de GEI en la cadena de producción de alimentos. Al respecto, un estudio realizado por el University College de Londres, Reino Unido, menciona que “las emisiones de GEI que produciría explotar las reservas estimadas de combustibles fósiles son tres veces superiores a lo que el mundo se puede permitir, si es que se quiere evitar los peores efectos del cambio climático” (McGlade y Ekins, 2015).

El uso de maquinaria agrícola para las labores de cultivo ha incrementado en los últimos años, desplazando al uso de animales de tracción debido a la necesidad de aumentar la productividad, disminuir costos, mantener una oferta rápida de materias primas

y suplir la escasez de mano de obra en áreas rurales (Aguilera *et al.*, 2019; Subramaniam, 2019). En este escenario, un estudio muestra que la transición de la agricultura a sistemas mecanizados ha generado un importante incremento en las emisiones de GEI. Por ejemplo, en España, hacia 1990 se tenían emisiones entre 185 y 242 kg CO<sub>2eq</sub>/ha (mayor uso de animales de tracción), las cuales incrementaron a un rango entre 503 y 540 kg CO<sub>2eq</sub>/ha para la década de los años 2000 (Aguilera *et al.*, 2019).

La tracción animal es una de las principales fuentes de energía para los agricultores de pequeña escala y juega un papel importante dentro del contexto de la agricultura sostenible y orgánica debido a su asequibilidad, adaptabilidad a diferentes tipos de terreno y las costumbres presentes en algunos territorios (Okello *et al.*, 2015). Esta fuente de energía puede ser empleada a mayor escala mediante su asociación a métodos mecanizados dentro de sistemas de producción alternativos o en terrenos donde la mecanización no sea posible. Comúnmente, se tiene la percepción de baja tecnificación e ineficiencia frente al uso de animales de tracción, lo que conlleva a la desinformación y a minimizar los beneficios adicionales del empleo de animales en actividades agrícolas (Okello *et al.*, 2015).

Los estudios de emisiones de GEI con un enfoque de análisis de ciclo de vida (ACV) son necesarios para realizar comparaciones con respecto al desempeño ambiental de diferentes fuentes de energía. Sin embargo, realizar estudios de comparación de sistemas de producción que emplean energía animal y energía mecánica es difícil (Chirgwin, 1997) debido a que algunas especies empleadas para los sistemas de tracción animal, además de producir fuerza de tiro, pueden ser consideradas como generadoras de alimento para el ser humano y proveedoras de servicios ecosistémicos, como sucede con el aporte de materia orgánica al suelo a través de su estiércol y orina.

En el caso del uso de animales de tracción, las fases de ACV que deben ser contempladas para la estimación de las emisiones de GEI son: periodo de gestación, crecimiento, mantenimiento y trabajo del animal. Un estudio sobre el tema encontró que se generan menos emisiones de GEI mediante tracción animal con mulas o burros, luego de comparar todas las fases del ciclo de vida del uso de animales de tracción con las etapas del ciclo de tracción mecánica (Cerutti *et al.*, 2014). Por su

parte, los sistemas mecanizados generan el 95 % de sus emisiones de GEI en la fase de ciclo de vida de operación, seguida por la fabricación de maquinaria y la obtención de combustible fósil (5 %) (Engel *et al.*, 2012).

Otros estudios comparan ambas tecnologías, encontrando variaciones en las emisiones de GEI a partir del sistema evaluado. Los resultados pueden cambiar según la especie animal y los límites del sistema del ACV. Para el caso de sistemas de tracción animal con bovinos, se han encontrado emisiones similares o superiores al uso de sistemas mecanizados, lo cual se debe principalmente a la fermentación entérica<sup>1</sup> y al manejo del estiércol producido por esta especie (Aguilera *et al.*, 2019; Gathorne-Hardy, 2016). No obstante, este tipo de investigaciones debe considerar los subproductos (además de la energía) que podrían obtenerse de un sistema basado en tracción animal (carne y leche), como señalan Okello *et al.* (2015) y Spugnoli y Dainelli (2013); sin mencionar el aporte de los animales a la transformación de los residuos agrícolas y la generación de abono orgánico en forma de estiércol (FAO, 2016).

Dentro de las principales actividades que demandan energía mecánica en el cultivo de palma de aceite se encuentran la preparación del suelo, la aplicación de fertilizantes, el control de malezas y la cosecha y el transporte de racimos de fruta fresca (RFF) (Alfonso *et al.*, 2009). Este último (el transporte de RFF) es una actividad importante debido a la cantidad de fruto que se maneja diariamente, y aunque actualmente se emplean varios métodos de recolección y transporte, su eficiencia depende de la escala de operación y de la topografía del terreno (Alfonso *et al.*, 2009; Shuib *et al.*, 2020). Usualmente, la recolección de RFF se lleva a cabo con métodos mecánicos o el uso de vehículos de tracción animal. Algunas plantaciones también han implementado el uso de cable vía para el transporte del fruto desde los lotes a los puntos de acopio (Fontanilla y Castiblanco, 2009).

En cuanto a los sistemas basados en tracción animal, los búfalos son utilizados con frecuencia para labores agrícolas en los cultivos de palma de aceite, aprovechando su fuerza de tiro. Así mismo, el uso

1 Proceso digestivo realizado por microorganismos para la descomposición de carbohidratos a moléculas más simples.

de esta especie es asequible para los agricultores de pequeña escala gracias a su viabilidad técnica y económica. Según la FAO, el uso de animales de tracción es una fuente importante de energía en los países en vía de desarrollo, proyectando que para 2030 el 45 % de la demanda de energía de los sistemas agrícolas será suministrada por animales y humanos (Spugnoli y Dainelli, 2013). Así, el futuro de la mecanización en los cultivos de palma de aceite debe ir de la mano de la descarbonización de la economía y la búsqueda de tecnologías que mejoren la producción y la rentabilidad de sus operaciones (Subramaniam, 2019).

Teniendo en cuenta el reto que plantean las dinámicas de disminución de la población rural y la búsqueda de nuevas oportunidades laborales por parte de los jóvenes rurales, el desarrollo de una mecanización sostenible, descarbonizada, eficiente en el uso de recursos y con baja huella ecológica juega un papel importante para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. En ese escenario, la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas favorecerá la rentabilidad del negocio palmero, la disminución de su impacto ambiental y la atracción de mano de obra joven al sector rural.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar las emisiones de GEI generadas por las actividades de recolección, transporte al punto de acopio, alce y transporte de racimos de fruta fresca de palma de aceite a la planta de beneficio a partir de cinco estudios de caso, los cuales involucran métodos de cosecha a través de cable vía con búfalos, el sistema *grabber* y el sistema únicamente con búfalos. Los datos fueron recolectados de plantaciones ubicadas en las zonas palmeras Oriental y Central de Colombia.

## Metodología y especificaciones de los estudios de caso

### Estudios de caso

Las emisiones de GEI de cinco estudios de caso con diferentes métodos de recolección, transporte al punto de acopio y alce y transporte de RFF de palma de aceite a tolva fueron evaluadas. Los estudios de caso analizados contemplaron sistemas con métodos parcialmente mecanizados, como el cable vía, que

combina maquinaria agrícola y búfalos (casos 1, 2 y 3), sistemas mecanizados, como el *grabber* (caso 4), y sistemas con solo búfalos (caso 5), como se detalla en la Tabla 1. Se evaluó la categoría de impacto de calentamiento global a través de la estimación de las emisiones de GEI de una de las etapas productivas de aceite de palma crudo (APC). Este impacto se expresa en unidades de dióxido de carbono equivalentes por tonelada de RFF ( $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{t RFF}$ ), con base en los lineamientos de la norma ISO 14067 para la estimación de la huella de carbono de producto mediante la metodología ACV y los lineamientos del IPCC para la estimación de emisiones de GEI, que en este trabajo corresponden a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

### Alcance

En el ACV la unidad funcional corresponde al rendimiento cuantificado de un sistema de producto para su uso como unidad de referencia, donde el flujo de referencia corresponde a la medida de las salidas de los procesos en un sistema de producto para cumplir la función expresada por la unidad funcional (ISO, 2015). En este estudio, la unidad funcional son los racimos de fruta fresca de palma de aceite (RFF), materia prima para la producción de aceite de palma crudo, cuyo flujo de referencia es una tonelada (1 t RFF).

### Límites del sistema

Para estimar las emisiones de GEI se definieron los límites del sistema teniendo en cuenta todas las actividades que hacen parte de cada uno de los métodos evaluados en los estudios de caso, desde la recolección, pasando por el desplazamiento hasta el punto de acopio, el alce de fruto y su descargue en la caja contenedora, hasta el transporte de RFF a la tolva en la planta de beneficio (Figura 1). En los casos donde se reporta el uso de búfalos, se tuvieron en cuenta las emisiones de metano asociadas a la fermentación entérica y la deposición de estiércol (sólido y líquido). Respecto a las emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), se tuvieron en cuenta las emisiones directas e indirectas generadas por el manejo del estiércol de los búfalos, las cuales fueron estimadas con base en los lineamientos del IPCC.

**Tabla 1.** Descripción de los estudios de caso y definición del alcance del análisis de ciclo de vida para la estimación de las emisiones de GEI de las etapas de cosecha y transporte de RFF

Caso	Área de plantación (ha)	Alcance del sistema	Descripción del sistema
1	5.000		Un zorrillo acoplado a un búfalo se desplaza por los lotes en una trayectoria en forma de "U" por las calles de cosecha, recogiendo los RFF a su paso. Cuando se completa la capacidad de arrastre del búfalo, este va hasta la línea más cercana del sistema de cable vía, donde los RFF son cargados en mallas de 200 kg de capacidad. Una vez en el sistema de cable vía, los RFF son transportados hasta los puntos de acopio, donde por medio de un transportador de cadenas ( <i>redler</i> ) son cargados en un camión (tipo volqueta) para ser llevados a la planta de beneficio.
2	2.000	Sistema de cable vía en la cadena productiva de APC hasta la planta de beneficio.	
3	120		
4	170	Sistema con <i>grabber</i> en la cadena productiva de APC hasta la planta de beneficio.	Un remolque acoplado a un tractor se desplaza por los lotes en una trayectoria en forma de "U" por las calles de cosecha, recogiendo los RFF a su paso. Cuando se completa la capacidad de carga del remolque, el sistema va hasta el punto de acopio y descarga los RFF en una caja contenedora de 10-20 toneladas de capacidad. Luego, un camión tipo volqueta recoge dicha caja y esta es transportada hasta la planta de beneficio.
5	170	Sistemas tradicionales en la cadena productiva de APC hasta la planta de beneficio.	Un zorrillo acoplado a un búfalo se desplaza por el lote en una trayectoria en forma de "U" por las calles de cosecha, recogiendo los RFF a su paso. Cuando se completa la capacidad de arrastre del búfalo, este se dirige hasta los puntos de acopio, donde los RFF son cargados por el personal a un camión tipo volqueta para ser llevados a la planta de beneficio.

## Fuentes de información

La información utilizada para este estudio fue recolectada en 2018 en algunas plantaciones de palma de aceite ubicadas en las zonas palmeras Oriental y Central de Colombia. Debido a la falta de información con respecto a ciertas variables, algunos datos fueron estimados con base en los lineamientos del IPCC y bibliografía científica. La información fue recopilada en formularios durante visitas realizadas a cada una de las plantaciones, generando un inventario de ACV para cada estudio de caso. Además de lo anterior, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El consumo de aceites hidráulicos y lubricantes se estimó como insignificante debido a su bajo consumo y bajo porcentaje de participación en las emisiones.
- Se asume que las emisiones asociadas a la alimentación de los búfalos equivalen a 16 %, como resultado de la fermentación entérica,

según estudios realizados por la FAO (Opio *et al.*, 2013).

- Las emisiones generadas por las materias primas para la producción de maquinaria agrícola no fueron consideradas en este estudio, puesto que su participación es marginal comparada con el volumen de emisiones durante la fase de ciclo de vida de operación (Alam *et al.*, 2019).
- El CO<sub>2</sub> biogénico emitido no es considerado en el balance de emisiones debido a que parte de las emisiones relacionadas con el ciclo natural de carbono, aplicando así el criterio de neutralidad (Singh *et al.*, 2013).
- Se considera que las plantas de beneficio en cada estudio de caso se encuentran a 10 km de distancia. Cabe recordar que si los proveedores de RFF se encuentran ubicados a mayor distancia de la planta de beneficio, mayor será el volumen de emisiones asociadas al transporte de RFF.

**Figura 1.** Descripción gráfica de cada uno de los métodos de cosecha analizados para los estudios de caso

Casos parcialmente mecanizados (1, 2 y 3)		
Recolección	Desplazamiento a acopio	Descarga de RFF a caja contendor
		
Caso mecanizado (4)		
Recolección	Desplazamiento a acopio	Descarga de RFF a caja contendor
		
Uso de búfalos como animales de tracción (5)		
Recolección	Desplazamiento a acopio	Descarga de RFF a caja contendor
		

Fotografías: archivo Fedepalma.

### Inventario de análisis de ciclo de vida (ACV) para cada estudio de caso

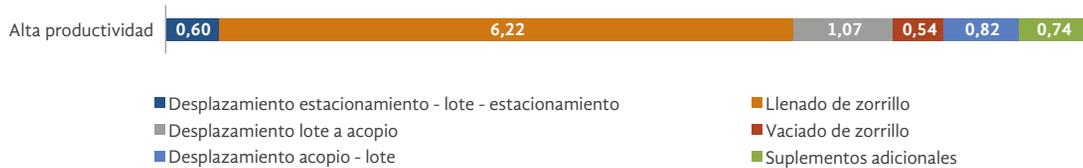
En la Tabla 2 se encuentran los inventarios ACV para los cinco estudios de caso. Los estudios de caso 1 y 2 corresponden a plantaciones de palma de aceite de 5.000 y 2.000 hectáreas, respectivamente. Los casos 3

y 5, por su parte, son plantaciones de 120 y 170 ha, respectivamente. El caso 4 corresponde a una plantación que usa el método *grabber*. Dentro de los estudios de caso están contempladas las fases de ACV de mecanización y uso de búfalos para tracción, siendo el caso 4 el único que no contempla el uso de búfalos, pues en esta plantación se aplica el método *grabber*, donde las

labores de recolección, desplazamiento a punto de acopio y descarga en cajas contenedoras se hace a través de este equipo. En el caso 1, el sistema de transporte de fruto está diseñado para una plantación de 5.000 ha, mientras que los casos 2 y 3 el sistema de cable vía tiene la capacidad de transportar la cosecha de una planta-

ción de 2.000 y 120 ha, respectivamente. Los datos del sistema *grabber* fueron tomados del trabajo de Munévar *et al.* (2020), quienes estimaron el consumo de diésel, el tiempo y la capacidad de recolección de fruto a través del uso de este método. La Figura 2 presenta el tiempo (en horas) dispuesto para realizar la labor.

**Figura 2.** Resultados de tiempos y movimientos para el método de cosecha con *grabber* (horas)



Fuente: Munévar *et al.* (2020).

**Tabla 2.** Inventario ACV de los parámetros claves para las labores de cosecha, alce y transporte de RFF en cada estudio de caso

Estudios de caso	Unidad	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4*	Caso 5
<b>Descripción</b>	-	Búfalo y cable vía	Búfalo y cable vía	Búfalo y cable vía	Cosecha tradicional ( <i>grabber</i> )	Búfalo, mallas y tractor con brazo hidráulico
<b>Área productiva</b>	ha	5.000	2.000	120	170	170
<b>Área cosechada con cable vía</b>	ha	5.000	2.000	120	N/a	N/a
<b>Búfalos</b>	Cabezas	210	70	5	0	6
<b>Producción de RFF</b>	t RFF/año	136.940	28.656	3.004	2.916	2.916
<b>Distancia puntos de acopio-planta</b>	km	10	10	10	10	10
<b>Fuente energía primaria <i>redler</i></b>	Electricidad o diésel	Diésel	Electricidad	Electricidad	N/a	N/a
<b>Consumo electricidad <i>redler</i></b>	kWh/año	N/a	67.341	720	N/a	N/a
<b>Consumo diésel <i>redler</i></b>	Galones/año	4.387	N/a	N/a	N/a	N/a
<b>Potencia <i>redler</i></b>	kW	13,5	13,5	13,5	N/a	N/a
<b>Longitud cable vía</b>	km	149	100	9	N/a	N/a
<b>Potencia motores aéreos</b>	hp	9	9	9	N/a	N/a
<b>Número de tractores aéreos</b>	Cantidad	18	8	1	N/a	N/a
<b>Número tractores terrestres</b>	Cantidad	7	8	2	1	1
<b>Consumo diésel transporte tractores aéreos</b>	Galones/año	9.376	3.006	306	Estimación por horas de trabajo productivo	N/a

\* Los datos del sistema *grabber* fueron tomados de Munévar *et al.* (2020).

Los estudios de caso 1, 2 y 3 realizan la labor de desplazamiento a puntos de acopio por medio de cable vía y el descargue de RFF a cajas contenedoras mediante transportador de cadena tipo *redler*. La principal diferencia de los sistemas *redler* entre estos tres casos radica en el uso de electricidad proveniente de la red eléctrica nacional o generada a partir de diésel para el funcionamiento del equipo.

## Resultados y discusión

### Emisiones de GEI

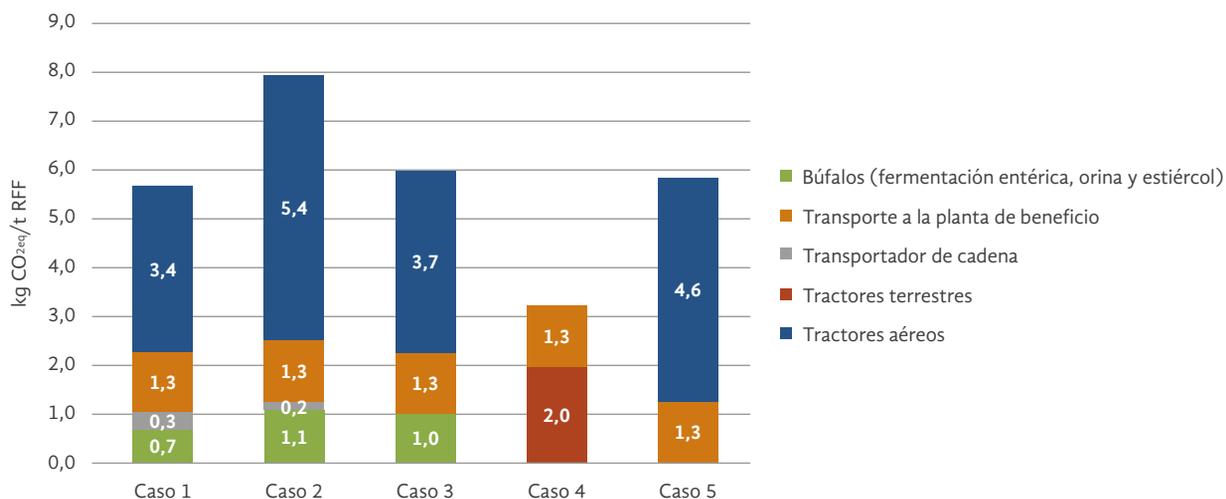
El volumen de emisiones más bajo corresponde al estudio de caso 4, con un valor de 3,2 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF (Figura 3). En este caso, toda la labor de recolección, desplazamiento a punto acopio y descarga de RFF en cajas contenedoras fue realizada por un tractor con sistema *grabber*. Le sigue en menor volumen de emisiones el caso 1, donde se usan búfalos y sistemas mecanizados (5,8 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF). Por su parte, el caso 3 reporta emisiones de GEI de 6,0 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF, mientras que en el caso 5 las emisiones alcanzaron 5,8 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF. En este último no se usaron tractores para la recolección y el desplazamiento de los racimos. Las emisiones de GEI más altas registradas por nuestro estudio corresponden al caso 2 (7,9 kg CO<sub>2eq</sub>/t RFF), en el que las emisiones generadas por el uso de búfalos equivalen a 68 % del

total de emisiones, mientras que el uso de equipo con tractores aéreos representa el 14 % (Figura 3). Las emisiones asociadas al consumo de lubricantes son imperceptibles.

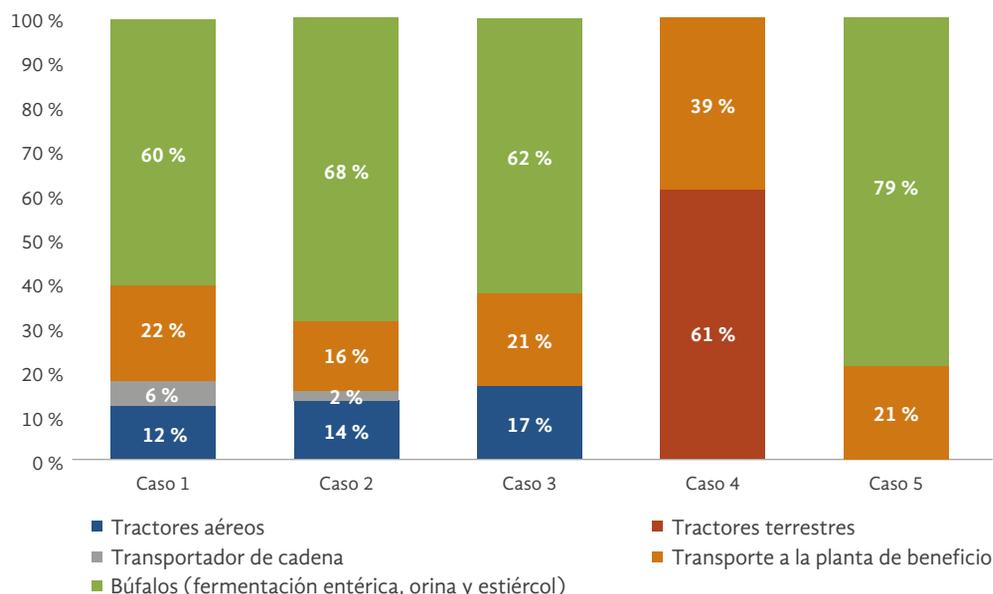
En la Figura 4 se detalla la contribución a la generación de emisiones de GEI de los procesos involucrados en cada uno de los casos analizados. Los procesos con mayor contribución son el uso de diésel en tractores, el transporte de RFF a planta de beneficio en camiones tipo volqueta y las emisiones generadas por búfalos. Las emisiones asociadas a la operación de los tractores aéreos en los sistemas con cable vía se ubican en el rango de 12 a 17 %. En cuanto al transportador de cadenas tipo *redler*, se encuentra que su proporción es mayor en el caso 1 con respecto al caso 2, debido a que en el primero se usa diésel para generar la energía eléctrica de operación, mientras que el transportador de cadenas del caso 2 opera directamente con electricidad proveniente de la red nacional.

Las mayores emisiones de GEI se dan en los estudios de caso donde se involucra el uso de búfalos. Realizando un análisis más detallado de las emisiones, y comparando nuestros hallazgos con resultados de la FAO, se encontró que las emisiones de metano del proceso de fermentación entérica contribuyen con 56 % del total de emisiones en este escenario, mientras que la producción de estiércol aporta 27 %, la disposición del estiércol un 6 % y el alimento de los búfalos 9 % (Opie *et al.*, 2013), como se observa en la Figura 5.

**Figura 3.** Emisiones de GEI asociadas a las labores de cosecha, alce y transporte de RFF para cinco estudios de caso

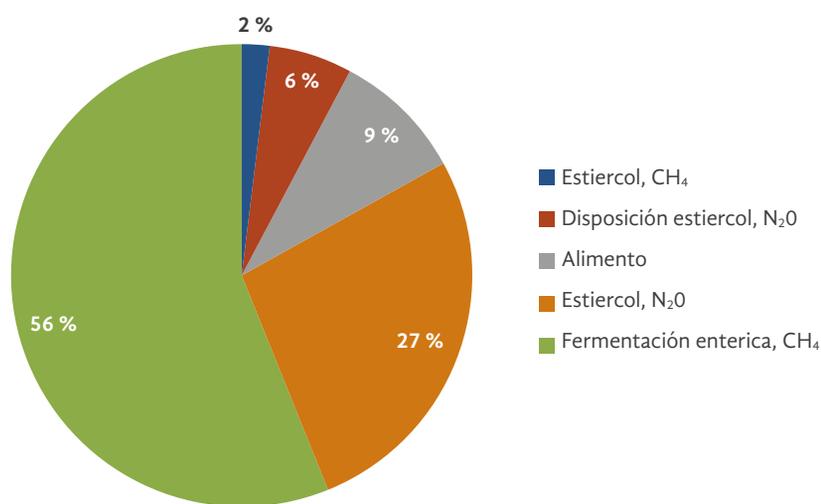


**Figura 4.** Contribución relativa de los diferentes procesos en cada estudio de caso a las emisiones de GEI



**Figura 5.** Contribución relativa de los diferentes procesos que involucran el uso de búfalos a las emisiones de GEI

Fuente: elaboración propia con base en Opio *et al.* (2013)



Con relación a la cantidad de búfalos y el área de la plantación, se encuentra que el caso 1 (menores emisiones de GEI) cuenta con la menor cantidad de búfalos por hectárea, lo que se traduce en menores emisiones de GEI por efecto de la fermentación entérica y el manejo de estiércol. Cabe señalar que es necesario considerar la capacidad que tiene el búfalo para trabajar, pues algunos estudios señalan que un búfalo podría cubrir 4 hectáreas por día (Muhamad y Aziz, 2018). Por ejemplo, en sistemas como el cable vía

la productividad del búfalo es mayor a la de sistemas con solo tracción animal, gracias a la disminución de las distancias a recorrer. Estos sistemas parcialmente mecanizados contribuyen a la recolección de RFF y disminuyen el esfuerzo de los búfalos, por lo que facilitan el trabajo y disminuyen el tiempo de recolección y acopio de RFF.

Considerando que en los cinco estudios de caso el cultivo se encuentra a una distancia de 10 km de la planta de beneficio, es posible realizar una comparación de

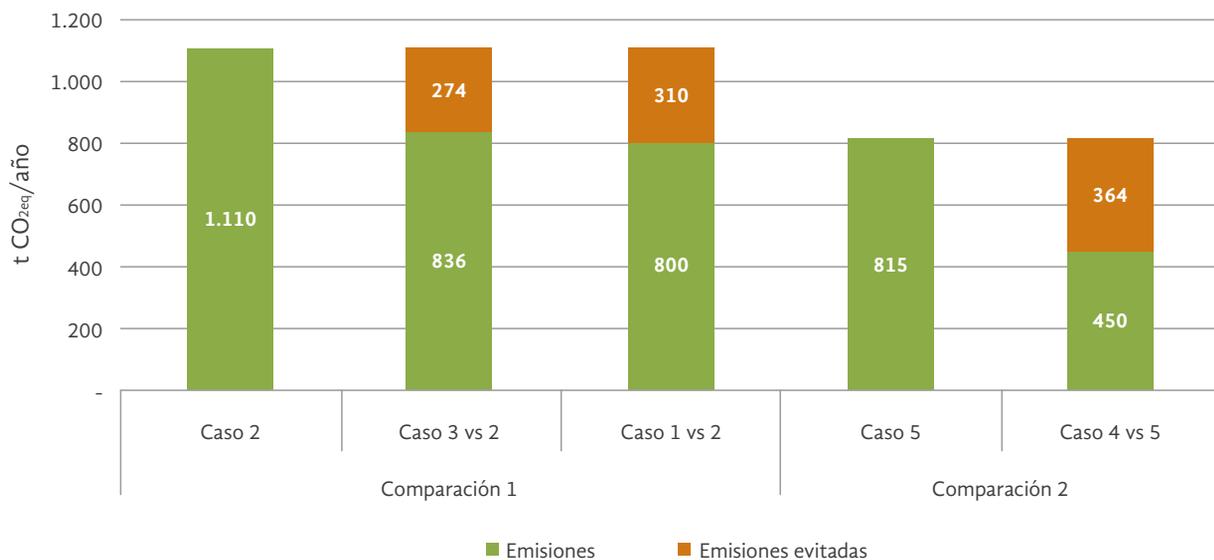
las emisiones de GEI bajo el mismo alcance y los mismos límites del sistema. Así, se encuentra que el uso de sistemas totalmente mecanizados puede llegar a ser una práctica con menores emisiones de GEI que los sistemas de tracción animal con rumiantes. Sin embargo, es pertinente destacar que el sistema de cable vía combinado con búfalos no solo permite realizar labores de cosecha, sino que adicionalmente funciona para labores como el transporte de fertilizantes, entre otras. En contraste, el uso de *grabber* solo permite la recolección de RFF y su posterior desplazamiento al punto de acopio y descarga en cajas contenedoras.

Con el fin de analizar escenarios de reducción de emisiones de GEI, se realizan dos comparaciones con un límite temporal de un año. La primera busca cuantificar la reducción de GEI del caso 2 mediante la comparación de sistemas con cable vía. La segunda pretende cuantificar la reducción de las emisiones de GEI con la transición de búfalos a *grabber*. Haciendo un análisis comparativo en una plantación hipotética con cable vía y una producción de 140.000 t RFF/año (plantación de 5.000 ha, área similar a la del caso 1), se encuentra que ante condiciones similares a las del estudio de caso 2 y una logística apropiada (programación adecuada de la cosecha, menores tiempos de desplazamiento del tractor, prevenir desprendimientos de fruto, mantenimientos programados y personal

capacitado), como sugieren Adarme-Jaimes *et al.* (2011) y Fontanilla y Castiblanco (2009), junto con un manejo eficiente de los recursos, se lograría un comportamiento similar al reportado por el estudio de caso 1, el cual registró el menor volumen de emisiones. De esta manera, se evitarían 310 t CO<sub>2eq</sub>/año, lo que equivale a una reducción de 28 % en las emisiones de GEI. Una segunda comparación, esta vez entre los casos 5 y 4, en la que se asume la posibilidad de mecanización gracias a las características del terreno, da como resultado una disminución de 364 t CO<sub>2eq</sub>/año, lo que representa 45 % menos emisiones (Figura 6).

Dado que el método *grabber* presentó las menores emisiones de GEI, en el caso de los sistemas con búfalos como animales de tracción surge la pregunta sobre cómo disminuir las emisiones de GEI sin necesidad de implementar un cambio tecnológico. A partir del análisis comparativo realizado, se pudo evidenciar que es posible disminuir las emisiones hasta en 28 % (310 t CO<sub>2eq</sub>/año evitadas) a través de mejoras en la logística y el uso de recursos. Sin embargo, existen otras formas de reducir las emisiones de GEI asociadas al uso de búfalos, como el suministro de alimentos de buena calidad (mayor contenido de proteína), lo cual permite disminuir las emisiones de metano gracias a una mejor digestibilidad (Opio *et al.*, 2013).

**Figura 6.** Emisiones de GEI evitadas gracias a la aplicación de buenas prácticas en los casos 2 y 5



El desempeño ambiental de los sistemas de tracción animal frente a los sistemas de tipo mecanizado no es un tema frecuente de investigación. Algunos estudios energéticos sobre este tipo de tecnologías muestran que el consumo de insumos procedentes de fuentes no renovables es mayor en los sistemas mecanizados, en comparación con los de tracción animal (Aguilera *et al.*, 2019; Rydberg y Jansén, 2002; Spugnoli y Dainelli, 2013). Por lo anterior, la inclusión de sistemas de tracción animal dentro de un estudio de ACV debe incorporar factores adicionales para el balance de emisiones de GEI, pues los animales de tracción no solo producen potencia de trabajo, sino que también transforman alimentos no aptos para los seres humanos en alimentos nutritivos y productos útiles; por ejemplo, convierten el pasto en carne o leche y aportan materia orgánica al suelo (estiércol y orina) (FAO, 2016). No obstante, los sistemas con uso de animales consumen recursos aun cuando no se encuentran en operación, contrario a lo que sucede con los sistemas mecanizados, donde los recursos empleados están directamente relacionados con las labores a realizar.

Al analizar el consumo de energía y las emisiones de GEI por unidad de producto o hectárea, Engel *et al.* (2012) encontraron que las emisiones pueden ser 45 % menores para los sistemas con animales que no sean rumiantes, en comparación con sistemas completamente mecanizados. Sin embargo, el presente análisis se llevó a cabo con búfalos, una especie de rumiantes, los cuales, en efecto, aportaron una proporción de emisiones de GEI dentro del balance de emisiones. A partir de los resultados, se encontró que en los sistemas parcialmente mecanizados (cable vía) el porcentaje de emisiones puede llegar a ser 86 % mayor al de un sistema completamente mecanizado. En el caso de sistemas sin mecanización (plantaciones de baja escala), las emisiones pueden llegar a ser 81 % más altas que con el método *grabber*.

Bajo el alcance y los límites del sistema considerados en este estudio, se pudo evidenciar que en ciertos casos la mecanización agrícola puede tener un mejor desempeño ambiental que las labores con uso de animales de tracción. Además, se observó que la combinación de animales y sistemas mecanizados, como el cable vía, mejoran el desempeño de la labor cuando, al mismo tiempo, se despliega una logística adecuada y se hace uso eficiente de los recursos.

La decisión sobre el uso de equipos mecanizados o de animales de tracción para las labores de cosecha, alce y transporte de RFF implica analizar factores como las emisiones de GEI, el uso de combustibles fósiles, la topografía de terreno y la calidad del suelo, entre otros. Además, se debe considerar que el uso de animales de tracción es un proceso que supone años de entrenamiento y domesticación, por lo que se debe promover el bienestar, la salud y la protección de los animales involucrados en las labores agrícolas (UNCAHP, 2018). Por lo anterior, la realización de estudios como la presente investigación visibiliza el papel de los animales de trabajo en la agroindustria del aceite de palma en Colombia, proporcionando así mismo información técnica para disminuir las brechas entre la práctica y la investigación.

## Conclusiones

El uso de búfalos y tractores para las labores evaluadas genera mayores emisiones de GEI en comparación con el sistema *grabber*. Este desempeño inferior se debe a que la fermentación entérica y el manejo de estiércol contribuyen a la generación de mayores emisiones de GEI. Bajo las condiciones estudiadas, una plantación de gran escala (5.000 ha) puede producir fruto con emisiones por tonelada de RFF similares a las de una plantación de pequeña escala (120 ha) para las etapas de ACV analizadas.

El uso de tecnologías que involucran la combinación de energía animal y fósil puede ser una estrategia de descarbonización debido a que el consumo de combustibles fósiles es menor. Para agricultores de pequeña escala en países en vía de desarrollo, como Colombia, el uso de búfalos es una tecnología asequible gracias a su viabilidad técnica y económica. Sumado a ello, como se observa en los resultados, las emisiones de GEI por unidad de producto en los cultivos de pequeña escala son de la misma magnitud que en las plantaciones de gran escala.

El sistema *grabber* reportó las menores emisiones de GEI, mostrando que es posible implementar sistemas completamente mecanizados que generen bajas emisiones de GEI. No obstante, la aplicabilidad de esta tecnología dependerá de la extensión del cultivo y las características del terreno.

La evaluación de la sostenibilidad de las tecnologías abordadas en este trabajo muestra la dinámica del uso de energía fósil y energía renovable en el sector palmero colombiano. Los análisis comparativos efectuados permiten identificar acciones encaminadas a disminuir las emisiones de GEI relacionadas con la producción de materia prima en la cadena de suministro de aceite de palma nacional.

## Agradecimientos

Este estudio recibió apoyo del Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el Ministerio de Ambiente de Alemania, en el marco del proyecto SuLu (Planificación climáticamente inteligente en sabanas, a través de la incidencia política, el ordenamiento y las buenas prácticas).

---

## Referencias

- Adarme-Jaimes, W., Fontanilla, C. & Arango-Serna, M. D. (2011). Modelos logísticos para la optimización del transporte de racimos de fruto fresco de palma de aceite en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(1), 89-114. <https://doi.org/10.18359/rcin.272>
- Aguilera, E., Guzmán, G. I., González de Molina, M., Soto, D. & Infante-Amate, J. (2019). From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900–2014. *Journal of Cleaner Production*, 221, 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.247>
- Alam, M. K., Bell, R. W. & Biswas, W. K. (2019). Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 224, 72-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215>
- Alfonso, O., Romero, H. M. & Botero, R. (2009). La mecanización del cultivo de palma de aceite. *Palmas*, 30(4), 21-29.
- Cerutti, A. K., Calvo, A. & Bruun, S. (2014). Comparison of the environmental performance of light mechanization and animal traction using a modular LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 64, 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.027>
- Chirgwin, J. C. (1997). Los animales de trabajo y el desarrollo sostenible. *Revista Mundial de Animales*, 1(88), 1-12. <http://www.fao.org/AG/agA/AGAP/FRG/FEEDback/War/V8180b/v8180b0p.htm>
- Engel, A., Wegener, J. & Lange, M. (2012). Greenhouse gas emissions of two mechanised wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. *European Journal of Forest Research*, 131, 1139-1149. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0585-2>
- FAO. (2016). *The contributions of livestock species and breeds to ecosystem services*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-i6482e.pdf>

- Fontanilla, C. & Castiblanco, J. (2009). Cable vía en la cosecha de palma de aceite. *Palmas*, 30(4), 53-64.
- Gathorne-Hardy, A. (2016). The sustainability of changes in agricultural technology: The carbon, economic and labour implications of mechanisation and synthetic fertiliser use. *Ambio*, 45(8), 885-894. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0786-5>
- ISO. (2015). *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación (UNE-CEN ISO/TS 14067)*. Ginebra: ISO.
- McGlade, C. & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C. *Nature*, 517(7533), 187-190. <https://doi.org/10.1038/nature14016>
- Muhamad, Z. M. & Aziz, M. F. A. (2018). Mechanization in Oil palm harvesting. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(5), 247-256. <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v8-i5/4098>
- Munévar, D. E., Ruíz-Álvarez, E., Díaz, W., Báez, D., Hernández, J., Samalanca, Ó. & Mosquera-Montoya, M. (2020). Cosecha en cultivos de palma de aceite mediante el uso del *grabber*: caso de estudio en una plantación de Colombia. *Palmas*, 41(2), 13-26.
- Okello, W. O., Muhanguzi, D., MacLeod, E. T., Welburn, S. C., Waiswa, C. & Shaw, A. P. (2015). Contribution of draft cattle to rural livelihoods in a district of southeastern Uganda endemic for bovine parasitic diseases: An economic evaluation. *Parasites and Vectors*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1191-9>
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M. ... & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains - A global life cycle*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/docrep/018/i3461e/i3461e00.htm>
- Rydberg, T. & Jansén, J. (2002). Comparison of horse and tractor traction using emergy analysis. *Ecological Engineering*, 19(1), 13-28. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00015-0)
- Shuib, A. R., Radzi, M. K. F. M., Bakri, M. A. M. & Khalid, M. R. M. (2020). Development of a harvesting and transportation machine for oil palm plantations. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(5), 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.05.001>
- Singh, A., Pant, D. & Olsen, S. I. (2013). *Life cycle assessment of renewable energy sources* (Vol. 36). Londres: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5364-1>
- Spugnoli, P. & Dainelli, R. (2013). Environmental comparison of draught animal and tractor power. *Sustainability Science*, 8(1), 61-72. <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0171-7>
- Subramaniam, K. (2019). El futuro de la mecanización en las plantaciones de palma de aceite (Experiencia en Malasia). *Palmas*, 40(Especial, Tomo I), 231-236.
- UNCAPH. (2018). *UN Convention on Animal Health and Protection (UNCAHP)*. Recuperado de <https://www.globalanimallaw.org/downloads/Folder-UNCAHP.pdf>

# Estimación del dividendo palmero en Colombia. Efectos de la producción de palma en las condiciones socioeconómicas de los municipios productores, II parte\*

Estimation of the Palm Dividend in Colombia. Effects of Oil Palm Production on the Socio-economic Conditions of Producers Municipalities, II Part

**CITACIÓN:** Gutiérrez, P. E. & Rico, D. M. (2021). Estimación del dividendo palmero en Colombia. Efectos de la producción de palma en las condiciones socioeconómicas de los municipios productores, parte II. *Palmas*, 42(2), 62-81.

**PALABRAS CLAVE:** Dividendo palmero, Municipios productores, Palma de aceite, Resultados cualitativos, Salud en la palma, Educación en la palma, Cultivos ilícitos.

**KEYWORDS:** Oil palm dividend, Producer municipalities, Palm oil, Qualitative results, Human health and oil palm, Education and oil palm, Illicit crops.

\* Artículo de reseña

**RECIBIDO:** marzo de 2020.

**APROBADO:** mayo de 2021.

**GUTIÉRREZ PABLO E.**  
Consultor de C-Análisis para Fedepalma

**RICO DANIEL M.**  
Consultor de C-Análisis para Fedepalma

La segunda entrega de los artículos sobre los resultados del proyecto de *Estimación del Dividendo Palmero* abarca cuatro secciones principales. Esta primera, que contextualiza la información que se entregó en el artículo presentado anteriormente *Estimación del dividendo palmero en Colombia. Efectos de la producción de palma en las condiciones socioeconómicas de los municipios productores, I parte* (Dividendo palmero I), publicado en la revista *Palmas* volumen 40,

número 3. Luego, se hace una comparación entre los resultados cuantitativos (divulgados en la I parte) y los cualitativos del proyecto, en cuanto a salud, cultivos ilícitos, educación, generación de ingresos y formalización laboral. Después se exponen los elementos emergentes, es decir, anotaciones del trabajo de campo sobre variables que no habían sido previamente analizadas (como vías e infraestructura, proyecto de vida, etc.). Y por último se exponen las conclusiones.

Es importante destacar que este documento incluye la sistematización de las observaciones en terreno en cuatro municipios: Mutatá (subregión Urabá), Mapi-ripán (departamento del Meta), Tibú (región del Catatumbo) y Tumaco (departamento Nariño), en donde se realizaron las jornadas de entrevistas a asociaciones de productores, plantas de beneficio, representantes del Banco Agrario, funcionarios locales y líderes sociales.

## Contextualización sobre la I parte

La identificación de los dividendos sociales y económicos de la agroindustria de la palma de aceite ha pasado comúnmente por debates con baja calidad analítica, que difunden cifras o tesis mal fundadas sobre su impacto. Es así como se hace necesaria una caracterización y una revisión de la contribución de esta a los principales indicadores socioeconómicos de las regiones.

En el primer artículo de este estudio, *Estimación del dividendo palmero en Colombia. Efectos de la producción de palma en las condiciones socioeconómicas de los municipios productores, I parte*, (Dividendo palmero I parte), se presentó una descripción general de la evolución de la actividad palmera en Colombia, la metodología utilizada para estimar los efectos de la agroindustria en las condiciones socioeconómicas de los municipios y los datos utilizados para el análisis.

Entre los resultados más destacados se encontró que durante la última década, la expansión de la actividad agroindustrial de palma de aceite ha tenido efectos visibles y positivos. Es innegable la existencia de un dividendo palmero que se observa de manera diferenciada, según los niveles de concentración del cultivo: en zonas donde la palma surgió o se incrementó, el dividendo fue mucho mayor que en aquellas donde ya estaban establecidas grandes áreas cultivadas. Frente a los efectos positivos se cuenta la educación en todos los niveles, el aseguramiento en salud, la tasa de empleo formal y los salarios, así como la calidad del agua. Entre los negativos que se vieron en un principio estuvieron las bajas coberturas de vacunación en DPT (difteria, tétano y tosferina) y en TV (triple viral). Sin embargo, pasado el tiempo del estudio se descubrió que esta disminución se dio por el cambio en el sistema de vacunación y no

por el cultivo de palma. Así mismo, se determinó que la expansión de cultivos de palma de aceite redujo los de coca, pero solo en aquellas zonas que contaban con baja presencia palmera.

Esta fase cualitativa comprende la narrativa que soporta los hallazgos estadísticos, y que amplía el análisis de la relación entre la palma de aceite y los elementos de interés. Esta resulta fundamental para visualizar impactos de la agroindustria, que no son cuantificables ni observables en el plano netamente estadístico.

## Método de investigación

En el estudio sobre dividendo palmero se planteó una metodología de investigación cualitativa para comprender la manera como diferentes actores perciben, interpretan y evalúan los efectos económicos y sociales del cultivo de palma en pequeños productores y en sus zonas de influencia. El trabajo de campo se realizó en cuatro regiones: Catatumbo, Tumaco, Urabá y Mapi-ripán.

Para recolectar la información se utilizaron dos instrumentos: entrevistas semiestructuradas y observaciones etnográficas de campo. Se realizaron 20 entrevistas a diferentes actores sociales: asociaciones de productores, empresas extractoras, funcionarios locales, cámaras de comercio, representantes del Banco Agrario y líderes sociales de las regiones. Con la información obtenida se hicieron recorridos etnográficos para observar de primera mano los cultivos, las plantas de beneficio y las vías.

Las entrevistas se transcribieron y codificaron con el *software* Atlas.ti. En el proceso se utilizaron seis códigos de contraste que podían ser triangulados con los datos cuantitativos previos, los cuales fueron: cultivos ilícitos, educación, formalización, generación de ingresos, proyecto de vida, salud y estado de las vías. Igualmente, se encontraron ocho códigos emergentes que surgieron de las entrevistas: asociatividad, bancarización, buenas prácticas agrícolas, comercialización, efectos en la comunidad, proyecto de vida, responsabilidad social empresarial y tierras. Los datos fueron codificados, segmentados y analizados. A partir de la teoría de análisis de dominios surgieron los resultados que se presentan a continuación.

## Contraste cualitativo y cuantitativo

### Cultivos ilícitos

En el estudio cuantitativo presentado en el artículo *Dividendo palmero I* (Figura 1) no se observan efectos positivos de la densidad de área sembrada con palma de aceite en la cultivada con coca. Sin embargo, los resultados cambian si se diferencian los municipios según su nivel de actividad palmera. Así, un aumento del 1 % en la proporción del territorio destinada a siembra de palma estuvo asociado con una disminución de 14 % en las hectáreas cultivadas de coca, para aquellos municipios con baja labor palmera (quintiles uno al cuatro de densidad de área sembrada con palma). Para los de quintil más alto, el efecto no fue estadísticamente significativo.

Los municipios visitados, Mutatá, Mapiripán, Tibú y Tumaco, entraron en el quintil más alto, por lo tanto, su impacto como efecto disuasivo de la producción ilegal de coca debió ser nulo. Los resultados positivos, según las tablas estadísticas, se encontraron en lugares que como Mapiripán tenían una baja producción palmera antes del 2007.

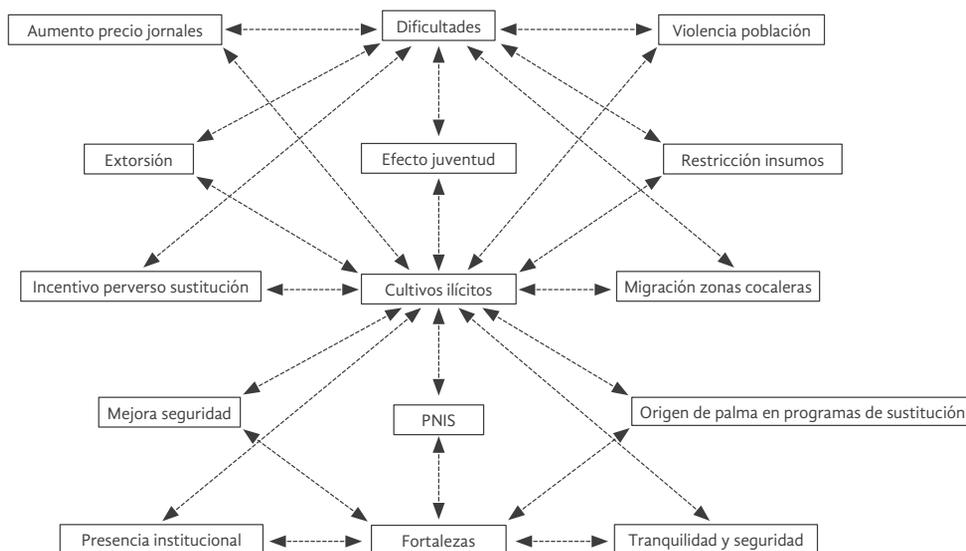
En cuanto a lo observado en campo, una característica de los municipios escogidos para la parte

cualitativa fue la fuerte presencia de cultivos ilícitos y de grupos armados ilegales, situación diferente y más agudizada que en otras zonas del país. Su selección fue intencional, pues se pretendía profundizar en cómo la palma de aceite podía ser una opción viable a los cultivos de coca y a las economías ilícitas.

El tema de las experiencias de la sustitución se tocó en todos los grupos de entrevistados. La coca (cercana a zonas palmeras) es vista en su gran mayoría como una dificultad que enfrentan las regiones, y la palma ha sido una alternativa positiva para reemplazar los cultivos ilícitos.

En cuanto a regiones, la mayoría de las opiniones negativas se dieron en Tumaco, mientras que en el Catatumbo, las fortalezas (presencia institucional, tranquilidad y seguridad, y origen de la palma en programas de sustitución) fueron superiores. En Mutatá se registró un mayor equilibrio entre dificultades y fortalezas, y en Mapiripán se evidenció menos asociación entre ambas dinámicas (Tabla 1). Esto refleja las enormes diferencias, no solo de la naturaleza de los programas de sustitución en ambos municipios (Tumaco, primer productor de hoja de coca en el mundo y Tibú como el segundo), sino también sus desenlaces y efectos diferentes en las economías locales.

**Figura 1.** Red de relacionamiento cualitativo entre la palma y los cultivos ilícitos



**Tabla 1.** Comparativo de narrativa de cultivos ilícitos por región

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	9	11	20
Mutatá	11	10	21
Mapiripán	14	1	15
Tumaco	17	4	21
Total	51	26	77

En términos generales, los argumentos evidenciaron una gran preocupación por la violencia asociada a los cultivos ilícitos que afecta de manera indiscriminada a toda la población (incluidas las veredas palmeras que no son y no han sido cocaleras), la presencia de grupos armados, la extorsión y el contrabando.

*Aumento del precio de jornales.* Las regiones con economías cocaleras tienen un mayor costo de vida, que se puede observar en todos los aspectos de la cotidianidad, pero de manera directa en el precio de los jornales y del transporte, que no se compara con lo que se puede pagar en un cultivo legal como la palma de aceite.

*Migración.* Los cultivos ilícitos trajeron migración de cultivadores y raspachines provenientes de otras regiones, que tras la implementación de los programas de erradicación se trasladaron hacia zonas consolidadas y más seguras, como son los territorios palmeros. Siendo esta una población sin arraigo por el territorio y con costumbres que afectan el tejido social de la región.

En Tumaco, los participantes manifestaron que la llegada de la coca se dio de manera tardía, precisamente en 2005 a partir del Plan Colombia, con el arribo de población migrante del Caquetá y Putumayo que establecieron allí los cultivos. A esto se le sumó la aparición de la Pudrición del cogollo (PC) que afectó la palma de aceite, por lo que una parte de los habitantes, al quedar sin trabajo, pasó al cultivo de la coca.

De manera similar ocurrió en el corredor del Urbá con las dos rachas de pérdida de cultivos por la PC (en los ochenta y a principios de este siglo). En algunos casos, esto llevó a los trabajadores que quedaron

cesantes, a colonizar y sembrar coca en las riberas de los ríos del Chocó o del Nudo de Paramillo. La PC (al igual que las plagas del banano) ha tenido un efecto de péndulo, que acelera la migración a las zonas de frontera agrícola o recaptura y urbaniza una parte de esta migración durante los años de bonanza (como los actuales).

En Mapiripán la densidad de la población es muy baja en las áreas rurales, y la palma de aceite llegó a zonas de sabana donde no había coca sino lotes con poco ganado. La actividad palmera modificó la ubicación veredal de los pobladores, intensificando la urbanización de quienes años atrás se habían asentado en núcleos cocaleros.

*Restricción de insumos.* Un efecto colateral sobre los cultivos legales ha sido la restricción en la venta de insumos y fertilizantes, mecanismo que las autoridades utilizan para evitar que lleguen a los cultivos de coca, pero que termina afectando a pequeños productores legales, especialmente en Tumaco, Mapiripán y Catatumbo.

*Efecto en la población joven.* Los cultivos ilícitos han tenido un efecto nefasto en la juventud. Los entrevistados aseguraron que muchos se acostumbraron al “dinero fácil y rápido” del narcotráfico; no les interesan los cultivos a largo plazo, que requieren trabajo y dedicación, afectando así el relevo generacional que precisa la palma de aceite. Tampoco sienten inclinación por seguir carreras técnicas para realizar tareas mejor remuneradas. Aunque hay excepciones en las expectativas laborales y profesionales de estos jóvenes, resulta más general la permanencia en la economía ilícita que en la capitalización personal y la transición a una economía legal.

*Incentivo perverso de la sustitución.* Las comunidades consideraron que los planes de sustitución han generado un efecto perverso, pues los subsidios y apoyos del Estado van a las personas que han permanecido en la ilegalidad o que no tienen vocación agrícola (oportunistas con conexiones políticas); mientras que quienes han hecho el esfuerzo de trabajar honradamente no los reciben.

En Urabá, donde no hay cultivos de coca, pero está el resto de la cadena del narcotráfico, no ha habido programas reales de sustitución, solo inversiones más simbólicas (16 beneficiarios) que transformadoras. Paradójicamente, estos cultivos han mostrado altas tasas de productividad e ingresos, y lo han logrado sin seguir un modelo asociativo, lo que genera reflexiones sobre cómo debe apoyarse a los pequeños cultivadores en el desarrollo de actividades productivas en algunas regiones del país.

*Origen de la palma de aceite en programas de sustitución.* En Tibú, los primeros proyectos de sustitución se realizaron con fondos de cooperación internacional, ADAM y MIDAS de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en el marco del Plan Colombia. En Tumaco, estos mismos programas lograron expandir (duplicar) con pequeños cultivadores, las áreas de palma de aceite; mientras que en Mapiripán y Mutatá no hubo ninguna incidencia en la consolidación de la agroindustria palmera.

El caso de Tibú fue sin duda el de mejores efectos sociales, ambientales y económicos. Lo definieron como un proyecto a largo plazo, sostenible económicamente y que generaba arraigo a la tierra. Señalaron que en las zonas palmeras existe una mejora en las condiciones de seguridad, y se da una mayor presencia institucional. Consideraron importante que el cultivo de palma esté contemplado dentro del Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícitos (PNIS), por las posibilidades de desarrollo y la experiencia adquirida durante las últimas décadas, lo que permitiría una ampliación relativamente rápida del área cultivada (Sardinata en Catatumbo, las veredas de Alto Mira y Frontera en Tumaco, la región del golfo de Urabá (hoy sembrada con banano) y las extensas sabanas del Meta).

Sin embargo, esto no significa que el modelo pueda replicarse de manera idéntica en otras regiones.

El contexto generado por un empresariado comprometido con la región, un liderazgo privado y comunitario sólido, y la vocación productiva de los cultivadores palmeros que han superado muchas dificultades (carreteras, seguridad, extorsiones, contrabando, etc.) son factores particulares (y también del Urabá) pero no el estándar nacional de zonas con potencial para la sustitución de coca con palma de aceite.

*Obstáculos de los PNIS.* Actualmente el cultivo de palma de aceite hace parte de los proyectos productivos a largo plazo apoyados por el PNIS. En este momento son expectativas, pues aún no se han desarrollado. Sin embargo, la experiencia con los operadores de recursos no ha sido buena, y no se ha logrado la capacidad de gestión y soporte de la asistencia técnica. Así, en el mediano plazo, no se observa en ninguno de los territorios el inicio de proyectos de escala o con una capacidad real de transformación productiva. En síntesis, las oportunidades que ofrece la palma de aceite como canal de formalización y sustitución de economías ilegales, no están siendo utilizadas.

Un factor determinante es el rol de la cooperación internacional. Si USAID y otras agencias mantienen las restricciones a la financiación de proyectos productivos en la agroindustria de la palma de aceite, será muy difícil que el Gobierno pueda por sus propios medios, organizar asociaciones y cadenas que sean sostenibles.

## Educación

En la fase I del estudio (cuantitativa) se analizaron siete indicadores en educación, que reflejaban un impacto causal del cultivo en el mejoramiento de los indicadores de cobertura en educación primaria y secundaria. Se estimó que por cada 1 % de ampliación del área del municipio sembrada con palma de aceite, la cobertura aumentó en un 2,69 % y 2,08 %, respectivamente.

En la medida en que se elevó el nivel educativo, se disminuyó el dividendo palmero. Esto tiene que ver con la oferta local, donde los jóvenes deben migrar para adelantar los últimos grados de bachillerato o estudio técnico o profesional. Por lo tanto, no se reflejaron las variaciones en las estadísticas municipales de los Núcleos Palmeros.

En el trabajo de campo se observó que los participantes que más opinaron sobre el tema de educación fueron los funcionarios locales, seguidos de las plantas de beneficio (Tabla 2).

En términos regionales las opiniones estuvieron parejas, registrando más positivas que negativas, excepto en Tibú. Esto se interpretó como un deterioro de las capacidades educativas del municipio, infraestructura y tasas de cobertura, por lo que las empresas palmeras solo lograron aportes marginales (Tabla 3).

El mecanismo de transmisión del dividendo palmero para unos mejores indicadores educativos se observó de manera indirecta, es decir, a través del efecto que tiene la formalización laboral en los ingresos familiares y la mayor propensión a mantener a los hijos en el sistema educativo. En menor medida, a inversiones directas de las empresas en mejorar la oferta educativa (transporte o infraestructura). En la Figura 2 se puede ver el diagrama narrativo de la educación y el cultivo de palma, el cual expone los siguientes aspectos:

*Aumento de la cobertura educativa.* En los últimos años se incrementó la cobertura en educación básica y media en las zonas rurales, como resultado de más docentes y cursos más grandes de estudiantes. Prácticamente todas las veredas palmeras visitadas cuentan con un colegio. Es importante resaltar que durante la investigación no se encontraron inversiones significativas de las empresas palmeras en escuelas rurales. Sus iniciativas de responsabilidad social son cortas en presupuesto, y por lo general se limitan a brindar recreación, algo de capacitación y materiales para construcción como ladrillos y cemento. Resultan deplorables las instalaciones de las escuelas visitadas en las veredas donde se ubican las plantas de beneficio y los principales Núcleos Palmeros. Este es un factor sobre el que las fundaciones y áreas de responsabilidad social empresarial (RSE) pueden hacer una transformación de fondo. Más si se tiene en cuenta que la mayoría de estas escuelas no cuentan con títulos de propiedad, por lo que la inversión pública en infraestructura está frenada.

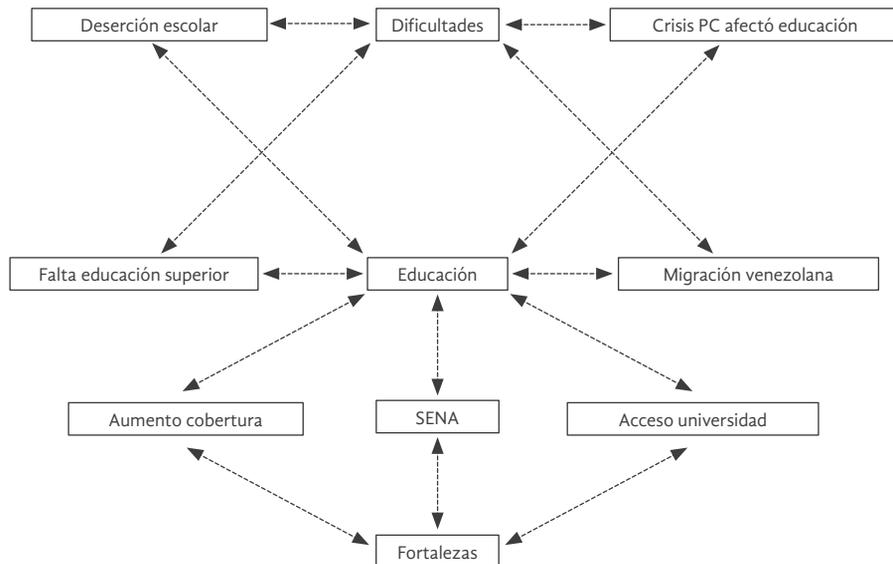
**Tabla 2.** Narrativas de impactos en educación asociados a la palma de aceite

Participantes	Dificultades	Fortalezas	Total
Asociaciones de productores	1	13	14
Banco Agrario	0	2	2
Cámara de Comercio	0	1	1
Plantas de beneficio	2	15	17
Funcionarios locales	18	11	29
Líderes sociales	2	3	5
Total	23	45	68

**Tabla 3.** Narrativas regionales de impactos en educación asociados a la palma de aceite

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	12	7	19
Mapiripán	2	16	18
Mutatá	3	12	15
Tumaco	6	10	16
Total	23	45	68

**Figura 2.** Diagrama narrativo de la educación y el cultivo de palma



El contraste entre las narrativas de las empresas y las comunidades fue una de las principales brechas. Mientras que las primeras resaltaron que hacen importantes inversiones educativas a nivel local, para las segundas fueron inexistentes o insuficientes. La evidencia fotográfica recopilada, valida la versión de la comunidad: las escuelas en estas zonas palmeras están lejos de cumplir las condiciones mínimas de dotación y adecuación. En la mayoría no hay ni siquiera servicio de agua potable. Vale la pena anotar que estos resultados son de los municipios visitados, pues hay zonas donde es evidente el aporte en educación que han hecho los palmeros.

**Falta de instituciones de educación superior.** En los municipios estudiados existe una dificultad de acceso a educación superior. Los jóvenes tienen que migrar a ciudades con universidad lo que genera costos difíciles de asumir para la mayoría, como es el caso de Tibú y Mapiripán. En contraste, en el Urabá hay una amplia oferta de educación técnica y profesional, ya que Apartadó cuenta con más de seis universidades, la mayoría de alta calidad y bajo costo. En Tumaco se ofrecen varias opciones educativas, pero la demanda supera en amplio número la oferta. Además, los participantes relataron cómo la PC afectó de manera directa los proyectos de formación; muchos tuvieron que posponer sus planes de estudio o dedicarse a otras actividades que les diera un sustento.

**Migración venezolana.** En la zona de frontera del Catatumbo, las instituciones de educación básica se

han visto desbordadas por la masiva migración de ciudadanos venezolanos. Este es un derecho que no se les puede negar, sin embargo, los recursos son los mismos y se ha afectado la cobertura.

**Acceso a la universidad gracias a la palma.** Para los hijos de los pequeños productores de palma de aceite es posible acceder a educación universitaria, ya que tienen los ingresos constantes que se lo permiten. No obstante, los costos siguen siendo muy altos y en periodos de bajos precios deben suspender el estudio. En Mapiripán se observó un cambio importante por cuenta de las becas de la empresa palmera, que han tenido un impacto en cadena frente a la motivación de otros estudiantes a formarse profesionalmente.

**Importancia del SENA.** Un aspecto que resaltaron fue la labor que cumple el SENA en las comunidades: ha aumentado la cobertura, llega directamente a las veredas y ofrece educación técnica que es útil para los pequeños productores. Sin embargo, consideraron que aún falta un mayor alcance y oferta de programas.

**Promover carreras relacionadas con el agro.** Los entrevistados manifestaron que es necesario impulsar las carreras agrícolas en las regiones. La mayoría de los estudios que eligen los jóvenes no tienen que ver con el campo ni con las opciones laborales locales, de ahí su preocupación por el recambio generacional en la agroindustria.

## Formalización laboral

A partir del registro de pagos de planillas, en la fase cuantitativa, se estudiaron las dinámicas de creación de empleos en las zonas palmeras. Estos indicaron un efecto positivo y significativo en ambas variables: por cada 10 % de incremento del área sembrada con palma de aceite en un municipio, se aumentó en un 3,3 % la tasa de formalidad laboral.

En el trabajo de campo, este fue un tema presente y espontáneo en la mayoría de los participantes, visto como un aspecto positivo que ha traído el sector palmero a las regiones.

Por regiones, las principales fortalezas se registraron en Tibú, Tumaco y Mapiroipán donde la empresa palmera es la única fuente de empleo formal privada. En Mutatá, las dificultades radicaron en las que tienen los pequeños cultivadores para cumplir los estándares

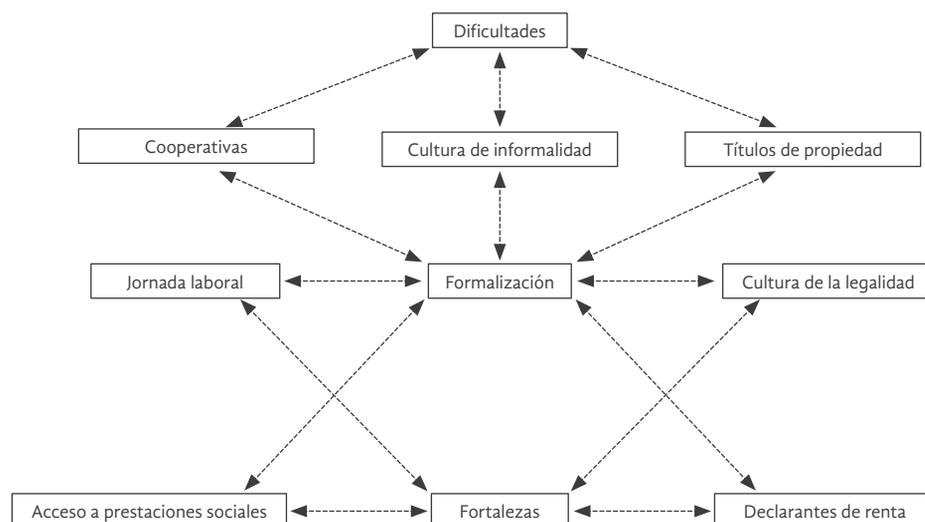
de formalización laboral (Tabla 4). En la Figura 3 se observa el diagrama de la narrativa de formalización laboral el cual abarca las dificultades y las fortalezas.

*La palma viene transformando la cultura de la informalidad.* En general, en el sector rural se presenta una alta informalidad: los contratos se pagan por jornales, no se llevan registros de ventas o ingresos, los negocios se manejan en efectivo y no pasan por el sistema bancario, y la mayoría de los compromisos se hacen de forma verbal. La agroindustria palmera y algunos productores han generado varios cambios en estas dinámicas, motivados, entre otros, por los procesos de certificaciones internacionales. Pero como toda transformación social, requiere tiempo e impulso que cubra los eslabones de la cadena y no solo las plantas de beneficio. En el caso del transporte o la demanda de jornales de pequeños cultivadores la informalidad sigue siendo importante.

**Tabla 4.** Impactos regionales de la formalización laboral en zonas palmeras

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	5	11	16
Tumaco	4	8	12
Mutatá	3	5	8
Mapiroipán	2	14	16
Total	14	38	52

**Figura 3.** Diagrama de la narrativa de formalización laboral



Un aspecto presente en las observaciones de campo y en las narrativas fue la profunda afectación a la comunidad de Tumaco del modelo de las cooperativas de trabajo asociado, que precarizó la contratación laboral y generó la desconfianza de la población con las empresas palmeras. Aunque reconocieron que esto se desmontó y retornó la formalización con contratos directos, es una lección clara de las diferencias de modelos de trabajo.

*Jornadas, prestaciones y declaraciones de renta.* Las principales fortalezas de la formalización laboral ligada al cultivo de palma de aceite se relacionaron con que los trabajadores de las empresas palmeras tienen jornadas acordes con la legislación y acceso a prestaciones sociales; la mayoría de los pequeños productores declaran renta y sus transacciones están registradas en el sistema bancario. Los cambios en las zonas palmeras han generado una cultura de la legalidad que involucra a otras actividades económicas asociadas con el sector.

*Limitantes a la formalización.* Entre las debilidades están las limitantes del pequeño cultivador, cuya escala de producción no le permite cubrir los gastos de una mano de obra formalizada, lo que implica que dependa de su propio trabajo (sin formalizarse él mismo) y asumiendo los riesgos de accidentes laborales u otras contingencias.

En el caso del Urabá resulta de especial interés el rol de los sindicatos, y la larga historia de tensiones entre estos y las empresas agroindustriales. Sin embargo, la formalización laboral se ha dado en los últimos años de la mano de los sindicatos, que mantienen una relación mucho más progresista del desarrollo económico y el cumplimiento de los derechos laborales.

*Ausencia de títulos de propiedad.* En las zonas estudiadas existe un gran vacío frente a la propiedad de la tierra, lo que limita la expansión de esta actividad productiva, y por ende la generación y formalización laboral. En Tibú, por ser un territorio de colonización tardía, la mayoría de los pequeños productores tienen títulos de compraventa y muy pocos cuentan con escrituras formales. En Tumaco los límites con los territorios colectivos son poco claros, como es el caso del Consejo Comunitario del Bajo Mira. Lo mismo ocurre en la mayor parte del Urabá y las sabanas del Meta. En Mapiripán, las medidas cautelares so-

bre la compra y venta de tierras tienen paralizadas las inversiones agroindustriales hasta tanto se resuelva la informalidad en la tenencia y la incertidumbre legal. La experiencia de Belén de Bajirá ha marcado el freno de otras inversiones en Urabá, las zonas grises de la Ley 70 y las demoras en los fallos judiciales, no han permitido resolver la inseguridad jurídica frente a la propiedad de la tierra.

*Mano de obra femenina.* Un aspecto que resalta, principalmente en la región de Urabá, Mapiripán y Tumaco, donde se cultiva palma de aceite híbrida, fue la incorporación de la mano de obra femenina como polinizadoras.

## Generación de ingresos

El estudio anterior indicó que por cada 1 % de incremento del área sembrada, los ingresos promedios aumentaban un 0,9 % en términos de salarios mínimos. Siendo esta una relación causal y estadísticamente significativa para municipios palmeros sobre los no palmeros.

Sin observar incrementos relevantes en los ingresos de quienes entraron al mercado formal laboral, se generó una doble lectura: por un lado, los nuevos “formalizados” no ganaban más que los que ya lo estaban, y no fue posible estimar el aumento en quienes pasaron de “informales” a “formales”, pues no existen registros de los ingresos antes de su vinculación laboral. Así, es necesario con el análisis cualitativo identificar todos los impactos sociales y económicos de la formalización en materia de mejoras en el ingreso.

El tema de generación de ingresos por parte de los pequeños productores surgió durante las entrevistas de trabajo de campo y fue tratado principalmente por las plantas de beneficio.

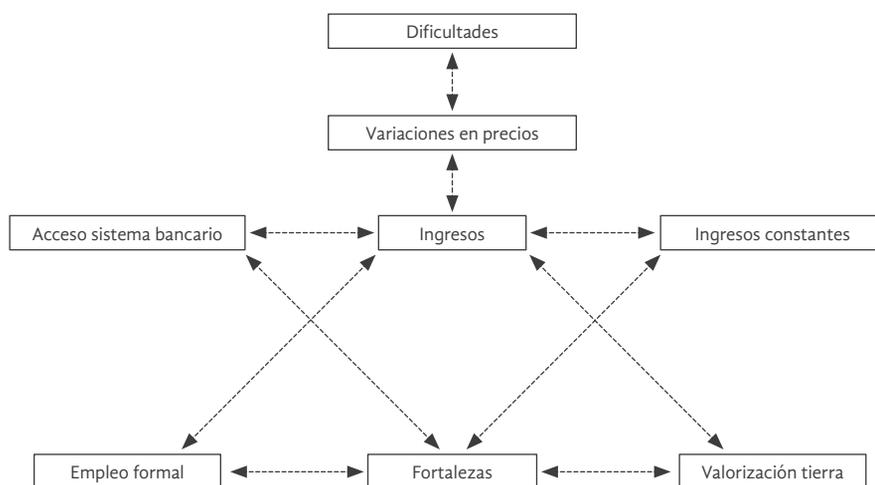
Urabá, Mapiripán y Tibú tuvieron niveles superiores de respuestas frente a Tumaco. La mayor parte de los participantes destacaron aspectos positivos (Tabla 5). En la Figura 4 se puede observar la asociación en la generación de ingresos y el cultivo de palma.

*Variaciones en precios.* Una de las principales dificultades que manifestaron los pequeños productores de Tibú y Tumaco fue la inestabilidad en los precios del fruto (aunque aclararon que en los últimos años ha mejorado), pues impacta directamente

**Tabla 5.** Narrativa de ingresos y actividad palmera según municipios

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Mutató	2	19	21
Mapiripán	1	11	12
Tibú	3	8	11
Tumaco	2	4	6
Total	8	42	50

**Figura 4.** Diagrama de asociación en la generación de ingresos y cultivos de palma



sus finanzas al no contar con un ahorro o cultivos alternativos que mitiguen el impacto. Sin embargo, consideraron que el encadenamiento productivo de la industria palmera y el hecho de ser un cultivo de tardío rendimiento, permiten que puedan tener un ingreso predecible y relativamente seguro a largo plazo. En Urabá no evidenciaron preocupación por el precio, porque las altas tasas de productividad por hectárea les compensan ampliamente esta dificultad. En Mapiripán no hay pequeños cultivadores.

**Trabajo formal.** En cuanto a las fortalezas, resaltaron el trabajo formal, no solamente en las plantas de beneficio sino por parte de los pequeños productores, como una gran diferencia frente a otros cultivos. Por tener unos ingresos constantes ha sido posible que accedan al sistema financiero, tengan una historia crediticia y puedan contar con productos bancarios. En el caso de Tibú, el 80 % de los clientes del Banco Agrario son palmicultores o empleados de la agroindustria y,

en Mapiripán, el 90 %. Las experiencias de estos modelos asociativos en sus relaciones bancarias han sido muy disímiles en Tumaco.

**Valorización de la tierra.** Señalaron que en las zonas palmeras el precio de la tierra aumentó, en algunos casos se multiplicó por 100, a lo que se sumó una mejora en la infraestructura vial (excepto Mapiripán) y de servicios públicos. Esta valorización hace que los pequeños productores cuenten con un capital que les sirve como respaldo para asumir créditos bancarios.

## Salud

Son varios los indicadores a los que se les hizo seguimiento con los datos del panel municipal para la última década. Los resultados, en algunos casos, fueron sorprendentes y contrafactuales: i) no hay discrepancias entre el número de afiliados al régimen subsidiado en

municipios con o sin palma de aceite; ii) las diferencias se notan al analizar el régimen contributivo, donde la palma de aceite logró mejorar las tasas de afiliación un 2 % más por cada 1 % de incremento en el área sembrada; iii) para indicadores como mortalidad infantil y materna no se encontraron datos significativos relacionados con la palma de aceite; y iv) se halló un impacto negativo en materia de coberturas en vacunación: en las zonas donde se expande el cultivo hay un efecto causal que redujo sus índices.

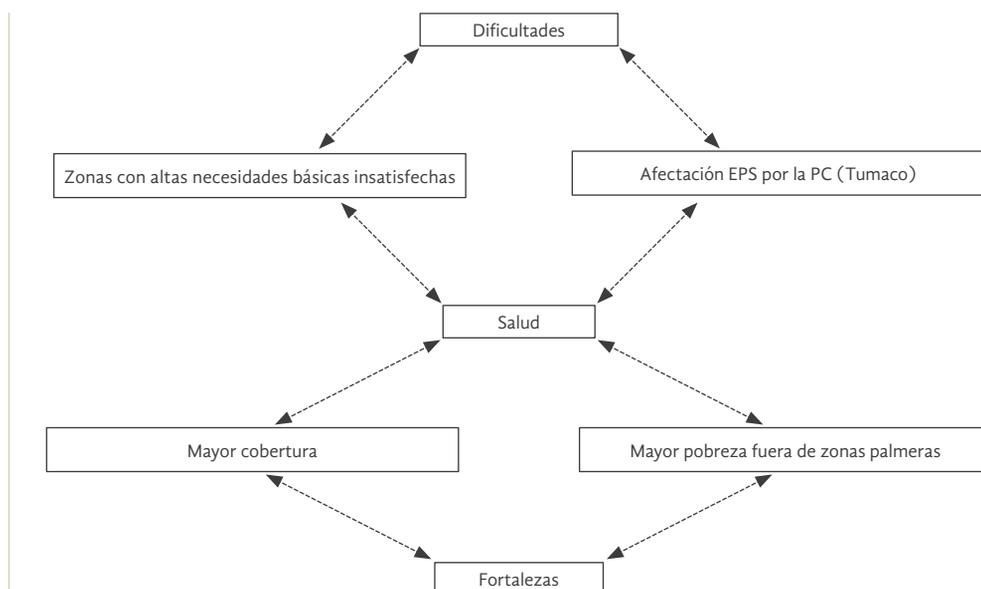
Frente a la caída en las tasas de vacunación por DPT, se generaron varias hipótesis para explicar por qué disminuyó un 2,03 % cuando el área cultivada aumentó un 1 %. Este hallazgo fue uno de los temas de mayor interés y profundización en las entrevistas de campo.

En el estudio cuantitativo, con algunas pocas excepciones, se observó que no hay mayores esfuerzos de las empresas o las asociaciones palmeras para intervenir las condiciones locales de salud. Las inversiones en este sector no fueron un tema común en la narrativa, y no existen lineamientos específicos que puedan asociarse con transformaciones de manera directa. Indirectamente, la formalización laboral genera una masa crítica de afiliados que requieren servicios de salud, lo que obliga a las IPS y EPS a abrir puestos de atención más próximos a su demanda rural. Por regiones, el tema se trató principalmente en Tumaco. La mayoría identificó aspectos positivos o de mejora en la atención y acceso a la salud (Tabla 6). En la Figura 5 se observa la narrativa de los impactos en salud de la actividad palmera.

**Tabla 6.** Referencias por regiones a los impactos en salud de la actividad palmera

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Mapiripán	2	2	4
Mutatá	1	6	7
Tibú	0	2	2
Tumaco	4	8	12
Total	7	18	25

**Figura 5.** Narrativa de los impactos en salud de la actividad palmera



Las regiones rurales de los municipios en cuestión, según las observaciones de campo y el desarrollo de las narrativas, han sufrido un abandono endémico por parte del Estado. Las necesidades básicas insatisfechas son inmensas, lo que se expresa en falta de cobertura en atención básica en salud que viene de tiempo atrás. En Tumaco, la afectación por la PC tuvo un efecto en cadena sobre los empleos y por tanto sobre las cotizaciones en salud, generando la quiebra de algunas EPS presentes en la zona.

*Mayor cobertura derivada de la formalización.* Los participantes reconocieron que en los últimos años se ha dado una mayor cobertura. Los empleados de las plantas de beneficio del Urabá afirmaron que contar con el acompañamiento de la empresa mejoró la calidad y tiempo de respuesta de la atención médica. Actualmente existen centros de salud en las veredas para atender emergencias o problemas menores, pero en casos especializados tienen que desplazarse al casco urbano. Los responsables del tema aseguraron que existe una mayor pobreza fuera de las zonas de influencia palmera, lo que puede ser una causa de la mejora de este indicador.

*Deterioro en los índices de vacunación.* La palma moviliza población que estaba dispersa en territorios y la concentra en menos veredas (principalmente de territorios que eran de ganadería). Este aumento de la demanda en servicios del Estado se demora en ser suplida. Una de las consecuencias es que la cobertura en vacunación se afecta negativamente, sin que se tenga una explicación completa de las razones para esta tendencia. Al parecer, los cambios institucionales en el sistema de atención en vacunación han impactado la efectividad del proceso.

## Temas emergentes en los registros cualitativos

El análisis estadístico tiene unas restricciones importantes, pues no todos los fenómenos sociales y económicos pueden ser cuantificados. Por lo tanto, la fase de campo es fundamental para visualizar impactos de la actividad palmera que no son observables en el plano netamente estadístico.

Para cubrirlo, se desarrolló a partir de los relatos, un estudio de temas que no quedaron ponderados en la primera parte del Dividendo palmero, como el ambiental, la infraestructura rural, asociatividad, bancarización y acceso a crédito, entre otros.

### Vías e infraestructura

El tema surgió ligado generalmente con las actividades productivas de la región, y al no ser un asunto central tuvo pocas referencias. Quienes más lo trataron fueron las plantas de beneficio.

Las vías determinan precios, tiempos y acceso de bienes y servicios, y en el caso de los municipios palmeros requieren de altos volúmenes de carga.

En términos regionales los principales avances se encontraron en Tumaco y Mutatá, en contraste con Tibú, donde la mayoría de las opiniones apuntaron a dificultades y, en Mapiripán, donde todos los argumentos fueron negativos (Tabla 7). En la Figura 6 se observan los argumentos narrativos en vías e infraestructura, a nivel general.

*Vías en mal estado.* Por ser territorios lejanos, las vías de acceso principales son precarias como en Tibú,

**Tabla 7.** Registro por municipio de la narrativa de vías e infraestructura

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	5	2	7
Mapiripán	15	0	15
Mutatá	3	4	7
Tumaco	2	6	8
Total	25	12	37

en la carretera que comunica con Cúcuta y la variante a Sardinata; o en Mapiripán con las dos que la conectan con la capital del Meta o del Guaviare. Los puentes están en mal estado, en algunos casos se debe utilizar un ferry, las carreteras terciarias son destapadas y en épocas de invierno los recorridos se hacen aún peores. La lectura sobre su relación con la palmicultura fue más profunda en Mapiripán, donde tanto empresarios como pobladores, esperaban que el Gobierno cumpliera su promesa de invertir los recursos en la pavimentación.

**Apoyo de empresas.** En algunos casos las empresas palmeras facilitan maquinaria para el mejoramiento de vías en las comunidades cercanas. Es un proceso en el que se beneficia la empresa, pues los pequeños productores pueden llevar el fruto, y también la comunidad con el mejoramiento del transporte, y por tanto las condiciones de vida.

En Tumaco, reconocieron el apoyo de las empresas palmeras para el mantenimiento de vías terciarias, en colaboración con las Juntas de Acción Comunal (JAC) de las comunidades vecinas. Igualmente, valoraron las nuevas carreteras que ha construido el Gobierno, como la que comunica con la provincia de Esmeraldas en el Ecuador, y el puente sobre el río Mira a la altura de Candelillas, que ya fue concluido y se espera que la carretera se abra en un año. Su puesta en funcionamiento puede modificar toda la dinámica económica y social de la región.

Urabá cuenta con unas condiciones de vías privilegiadas y el flujo de camiones de la industria de la palma de aceite es bajo, por lo que no se asoció con el deterioro de estas.

**Mejoras en el servicio eléctrico.** La empresa palmera de Mapiripán asumió por encargo del Consejo Municipal la administración de la planta eléctrica, que funciona con diésel por no estar conectada a la red nacional. Esto significó un cambio importante en la vida de todos sus habitantes.

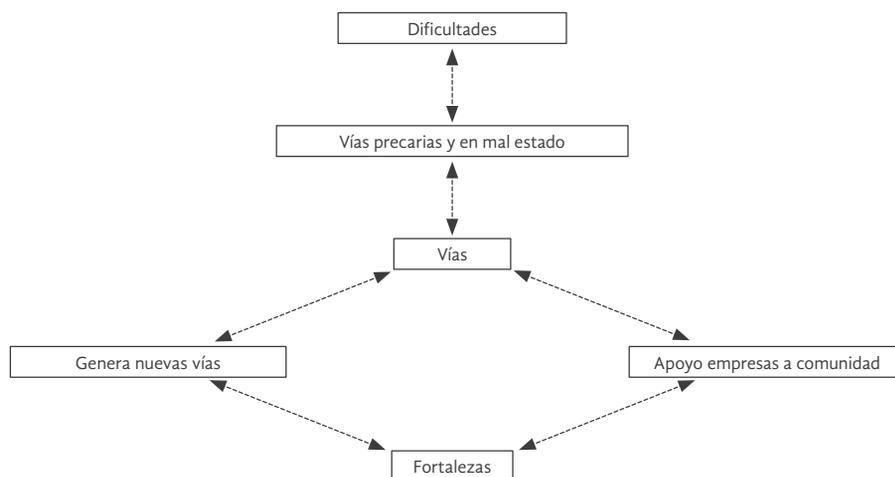
## Asociatividad

Este tema fue fundamental para comprender la dinámica palmera de los pequeños productores, su origen y encadenamiento con las plantas de beneficio. Las asociaciones de productores y los funcionarios locales reconocieron más aspectos positivos, en oposición al Banco Agrario que tuvo un concepto crítico. En la Figura 7 se observan los argumentos de asociatividad.

Por regiones, la mayoría de los aspectos negativos se evidenciaron en Tumaco, mientras que en Tibú fueron positivos. En Urabá la asociatividad no existe como parte del proceso productivo y Mapiripán ha tenido varios intentos sin que haya despegado ninguno (Tabla 8). Las experiencias fueron muy diferentes en cada región, especialmente en el plano de la sostenibilidad financiera.

En Tumaco, las principales dificultades que presentaron las asociaciones tuvieron que ver con la poca formación administrativa de sus dirigentes, la demora en los desembolsos por parte de las plantas de beneficio y, en algunos casos, la corrupción. Igualmente, se señaló un fenómeno llamado “la guerra del centavo” que consiste en que algunos pequeños

**Figura 6.** Argumentos narrativos en vías e infraestructura



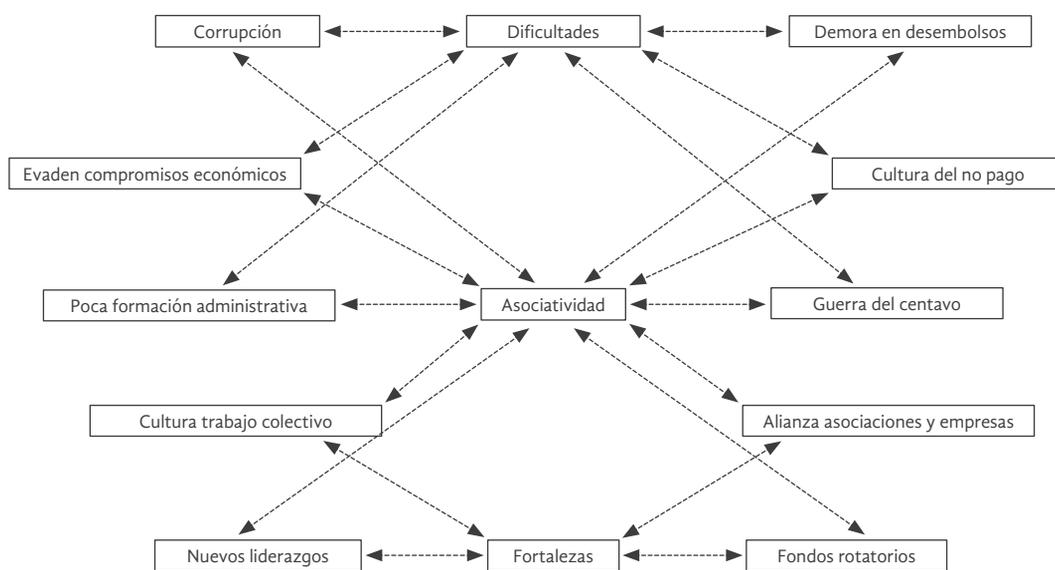
productores venden el fruto directamente a las plantas de beneficio, usando códigos de familiares o intermediarios. Así, no pagan el porcentaje a las asociaciones que les financiaron las etapas de cultivo, y que le sería descontado al vender el fruto.

Otra situación que generó problemas en este municipio consistió en la evasión de los compromisos financieros. Al no asumir individualmente las deudas, dejaron a la asociación las obligaciones adquiridas, llevando a su liquidación y a los siniestros de los créditos colectivos, que terminaron pagándose a los bancos con las pólizas de los fondos de garantías (recursos públicos).

*Alianza entre asociaciones y empresas palmeras.*  
Las fortalezas de la consolidación de las asociaciones

se debieron a la relación establecida con empresas palmeras, la creación de fondos rotatorios, la cultura del trabajo colectivo y el surgimiento de nuevos liderazgos. Para el caso de Tibú y, parcialmente para Tumaco, se planteó una alianza de largo plazo permitiendo su sostenibilidad en el tiempo. En la medida en que otros productores vieron los beneficios del modelo, crearon nuevas asociaciones para replicarlo. En Urabá no se evidenció interés en asociarse, dado que los subsidios se entregaron de manera individual y no por medio de la asociación. En Mapiripán, el proceso ha sido importante para otros productos, pero apoyados por la industria palmera. Sin embargo, no ha logrado consolidarse como una fuente estable de generación de ingresos.

**Figura 7.** Diagrama de argumentos de asociatividad



**Tabla 8.** Narrativa por regiones de los procesos de asociatividad

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	3	13	16
Mapiripán	1	4	5
Mutatá	4	1	5
Tumaco	10	4	14
Total	18	22	40

## Bancarización y acceso a créditos

El tema se trató en todos los segmentos, aunque principalmente, como es lógico, en el Banco Agrario y las asociaciones.

Las diferencias fueron marcadas a nivel regional. En Tumaco, la mayoría identificó dificultades, en contraste con Tibú y Mapiripán donde primaron los logros (Tabla 9).

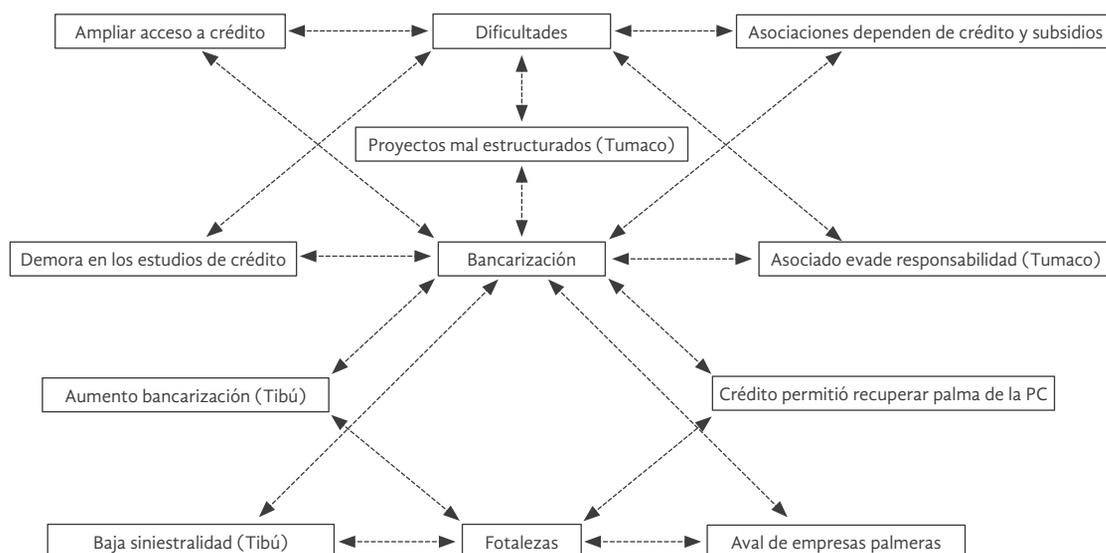
Las principales dificultades se relacionaron con el tiempo, los requisitos y restricciones del acceso al crédito, y la dependencia de las asociaciones a ese mecanismo. La Figura 8 muestra los aspectos positivos y negativos respecto a la bancarización.

*Diferentes condiciones de siniestralidad.* En Tumaco se presentó una situación particular, pues existe una alta siniestralidad de los créditos (tres asociaciones en 2018 y 2019 sumaron más de \$ 20.000 millones). Los bancos consideraron que los asociados evaden sus obligaciones de pago, y las asociaciones argumentaron que los créditos y planes financieros estuvieron mal estructurados, por lo que la responsabilidad es compartida. Otro es el caso en Tibú, donde el no pago fue bajo. Una diferencia importante entre ambos radicó en la estructura de gobierno de las asociaciones, pues en el Catatumbo las empresas entraron directamente como avaladores y coadministradores. Frente a pequeños productores de otros cultivos, se afirmó que la palma hace un seguimiento asistencial técnico importante.

**Tabla 9.** Percepciones de la bancarización por municipio

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	3	14	17
Tumaco	18	1	19
Mapiripán	6	9	15
Mutatá	6	6	12
Total	33	30	63

**Figura 8.** Argumentación de la bancarización asociada a la palma



*Demora en los estudios de crédito.* En algunos casos, las empresas palmeras avalaron los créditos de las asociaciones para ampliar la producción. Sin embargo, manifestaron que los requisitos que piden el Banco Agrario y el Gobierno hacen demasiado lentos los procesos y no se puede avanzar según lo previsto. Además, los préstamos colectivos no se tramitan en el municipio sino a nivel de jefe regional.

*Ampliar líneas de acceso a crédito.* La mayoría de los créditos que asumen los pequeños productores palmeros tienen que ver con financiación de proyectos productivos, pero muy pocos o casi ninguno con educación o vivienda. Consideraron que las líneas de crédito se podrían ampliar.

*Apoyo e impulso.* Los participantes admitieron que gracias a los préstamos fue posible recuperar el sector palmero de la PC, y resaltaron la importancia que han tenido las empresas palmeras en el aval que dan a las asociaciones para acceder al crédito. En Tibú, recalcaron el aumento de la bancarización impulsado por la agroindustria palmera.

### Buenas prácticas agrícolas

Todas las narraciones hicieron referencia a aspectos positivos, aunque expresaron recomendaciones. Las plantas de beneficio y las asociaciones de productores, ubicadas en Tumaco y Tibú, fueron las que más aportaron, ya que muchas están llevando a cabo procesos de certificación. En la Figura 9 se puede observar los argumentos de las buenas prácticas agrícolas.

En el trabajo de campo se pudo observar que las empresas palmeras han logrado construir, en algunas regiones, una relación de colaboración con los pequeños palmicultores a través de las asociaciones.

Los ingenieros y técnicos realizan visitas de campo en las que brindan recomendaciones y asistencia técnica en buenas prácticas agrícolas (BPA), para que mejoren la calidad del fruto y por tanto su rentabilidad. El manejo de residuos sólidos y líquidos fue otro punto donde han convergido los intereses de ambos, lo mismo que el control biológico de plagas. Una experiencia exitosa, que debería ser replicada a mayor escala, son las parcelas demostrativas donde se da una comunicación horizontal del conocimiento entre productores. Los entrevistados resaltaron el papel creciente de la mano de obra femenina en los cultivos, que al inicio se consideraba como una actividad en esencia masculina.

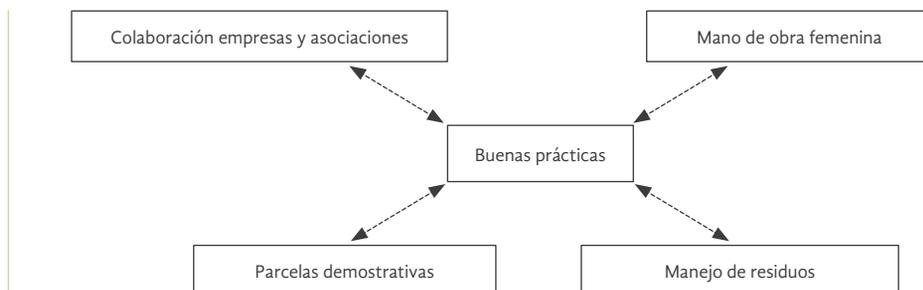
En Urabá, las BPA fueron parte de la experiencia de empresarios y trabajadores en los procesos que exigía el banano. En este sentido la palma de aceite no fue una transformación sino una continuación del proceso.

### Medioambiente

En el estudio cuantitativo fueron pocos los impactos ambientales hallados debido a la ausencia de estadísticas anualizadas a nivel municipal, que sirvieran de referencia para la estimación del dividendo palmero. Únicamente el indicador de índice de calidad del agua logró ser cuantificado, y su resultado fue positivo. Así, este tema solo puede ser abordado desde las percepciones que da el análisis cualitativo en las entrevistas. En su mayoría, las opiniones fueron favorables, relacionadas con buenas prácticas agrícolas y procesos de certificación.

A nivel regional, en Tibú se registró un equilibrio entre fortalezas y dificultades. En los demás, las opiniones fueron mayoritariamente positivas (Tabla 10).

**Figura 9.** Diagrama argumentos buenas prácticas agrícolas



Los participantes reconocieron que las dificultades vienen de tiempo atrás por la falta de conciencia ambiental, notable en los procesos de deforestación dados por los cultivos de coca y la ganadería extensiva, así como el poco cuidado con las fuentes hídricas. Sin embargo, resaltaron que esta situación ha ido cambiando, gracias a que hay mayor compromiso de preservar los recursos naturales. La Figura 10 muestra las dificultades y fortalezas en cuanto al medioambiente y la palma de aceite.

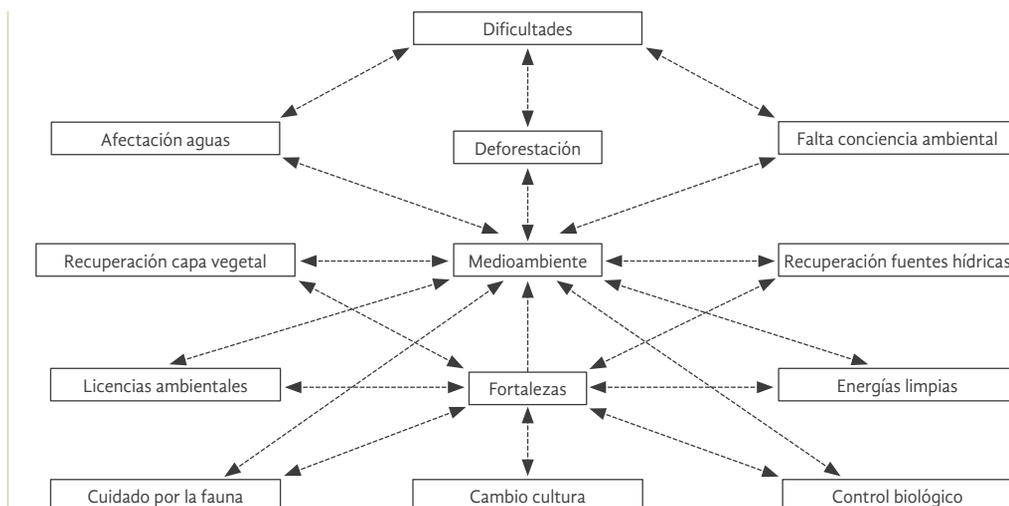
**Afectación del agua y deforestación.** Algunas comunidades presentan conflictos con las empresas palmeras, principalmente por el manejo de residuos líquidos y vertimientos a las fuentes de agua. Igualmente, se les acusa de contribuir a la deforestación con la tala indiscriminada de bosques nativos y que no tienen áreas para la protección de fuentes hídricas. Por el hecho de ser un monocultivo, se tiene la percepción de que ha afectado gravemente la fauna de las regiones.

**Cambio cultural ambiental.** Los palmicultores aceptaron que al inicio de los cultivos se cometieron muchos errores en cuanto al manejo ambiental. Sin embargo, se ha dado un cambio, ya que actualmente pequeños productores buscan restaurar los ecosistemas y tener el menor impacto posible. La certificación RSPO en buenas prácticas agrícolas ha permitido que se capaciten en el cuidado del medioambiente, reemplazando los agroquímicos por el control biológico con insectos y especies nativas. Algunas plantas de beneficio están generando energía, a través del agua en movimiento o por luz solar, disminuyendo considerablemente el uso de combustibles contaminantes. Las comunidades y las empresas palmeras, en ciertas zonas, han creado programas conjuntos para la recuperación de las fuentes hídricas. La palma, al no dar un uso intensivo al suelo, ha permitido que se restaure la capa vegetal en regiones como el Catatumbo o Urabá, donde la ganadería o los cultivos transitorios de arroz la habían impactado.

**Tabla 10.** Manejo de los recursos naturales y medioambiente

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Mutatá	0	8	8
Mapiripán	2	7	9
Tibú	4	4	8
Tumaco	2	6	8
Total	8	25	33

**Figura 10.** Diagrama argumentos medioambiente



Hoy los proyectos palmeros tienen que contar con licencias ambientales expedidas por las CAR. Esto hace que el uso del agua, del suelo y las emisiones estén reglamentados y tengan seguimiento por parte de las autoridades.

## Comercialización

El tema fue tratado por todos los participantes, principalmente por las plantas de beneficio. En el cuestionario no se incluyeron Mutatá y Mapiripán, dado que no tienen comercialización significativa. La Figura 11 muestra las dificultades y fortalezas que se han tenido en la comercialización.

En cuanto a la segmentación, en Tibú señalaron la mayoría de las dificultades, mientras que en Tumaco las opiniones fueron más positivas (Tabla 11).

**Contrabando de fruto.** En la región del Catatumbo destacaron el fenómeno del contrabando de fruto desde Venezuela, que se vende a las plantas de beneficio a un menor precio, impactando la producción local. Igualmente, se destaca la inestabilidad social por la presencia de cultivos ilícitos y grupos armados como el ELN, que ha generado paros que

paralizan la producción de aceite y afectan toda la cadena productiva.

Otra de las dificultades se relacionó con el bajo precio que pagan las plantas por el fruto, principalmente en Tumaco. También los altos costos de los insumos y del proceso de fertilización.

**Alianza productores y empresas.** Los participantes resaltaron la importancia de las alianzas para la comercialización entre empresas y pequeños productores, lo que les asegura la venta de la cosecha y les permite tener unos ingresos constantes. Así mismo, valoraron que la industria de la palma de aceite genera toda una secuencia que abarca la producción, el transporte y la transformación, influyendo en diferentes sectores de las economías locales.

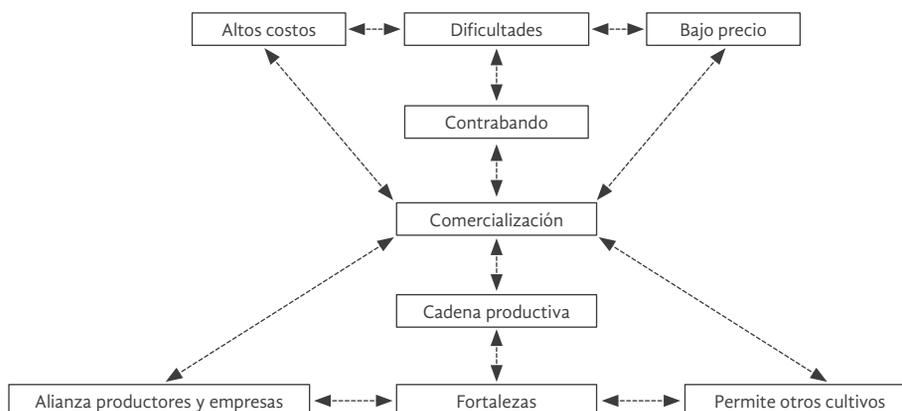
## Proyecto de vida

Un código emergente que surgió en el trabajo de campo fue la posibilidad que da el cultivo para construir un proyecto de vida. Todas las opiniones fueron positivas, principalmente en miembros de asociaciones de productores y en Tibú (Tabla 12). Los argumentos en este aspecto se señalan en la Figura 12.

**Tabla 11.** Comercialización por región

Municipio	Dificultades	Fortalezas	Total
Tibú	9	2	11
Tumaco	2	6	8
Total	11	8	19

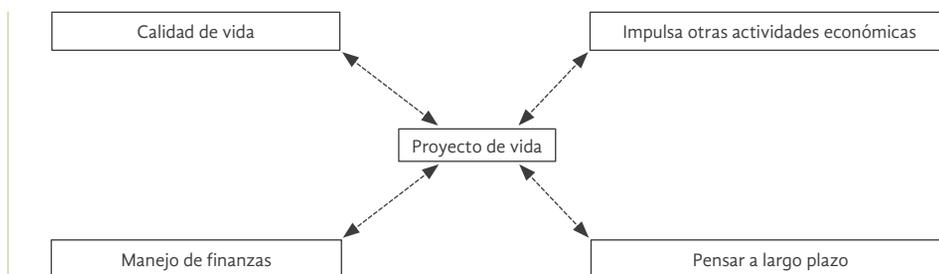
**Figura 11.** Diagrama de argumentos de comercialización



**Tabla 12:** Proyecto de vida por región

Municipio	Proyecto de vida
Tibú	7
Mapiripán	3
Mutatá	3
Tumaco	5
Total	18

**Figura 12.** Diagrama de argumentos de proyecto de vida



En esta segunda fase del estudio, se pudo observar que los ingresos constantes que genera la palma de aceite le dan a un pequeño productor la seguridad de recibir un pago estable a largo plazo. Esto ha hecho que muchas familias inviertan en el mejoramiento de sus hogares y en su dieta alimentaria, envíen a sus hijos a estudiar y transformen sus condiciones de vida.

Los hogares palmeros se reconocen por ser más ordenados en el manejo de sus finanzas que otro tipo de cultivadores, debido a que están formalizados y declaran renta en la mayoría de los casos.

### Responsabilidad social empresarial

La responsabilidad social empresarial (RSE) fue tratada principalmente por las plantas de beneficio. En términos generales, la valoración no fue tan positiva por parte de las comunidades, mostrando un contraste entre la percepción de estas y la lectura que hacen las empresas de su política de RSE. En la Figura 13 se pueden observar los argumentos de responsabilidad empresarial en un entorno de palma de aceite.

*Falta de capacidad técnica en RSE.* Los participantes argumentaron que las necesidades de las re-

giones son inmensas, y aunque las empresas intentan ayudar a solucionarlas, carecen de un conocimiento técnico sobre RSE que les permita estructurar sus proyectos de una mejor manera. Son muy informales y empíricas, por lo que en ocasiones se quedan en buenas intenciones o en obras de caridad, sin un efecto significativo ni la escala suficiente sobre las comunidades palmeras o sus zonas de influencia de los municipios estudiados.

*Apoyo en educación y a las JAC.* La educación en las regiones puede ser el principal campo donde las empresas centren sus programas de RSE. Algunas han creado colegios dentro de las instalaciones con profesores y materiales pagados por ellas, que capacitan a toda la comunidad aledaña (Palmas de Tumaco). Otras han colaborado con enseñanza en cultivos de palma de aceite a escuelas cercanas, para que los estudiantes tengan una formación como técnicos agropecuarios, y posibilidades de empleo futuro en la agroindustria. En algunos casos, han respaldado los programas de refrigerios escolares y establecido convenios para brindar alimentación a adultos mayores.

Un aspecto para resaltar es que se ha creado un canal de comunicación entre las JAC y las empresas

palmeras, donde los primeros les manifiestan sus necesidades en temas que tienen que ver con educación, atención a población vulnerable o medioambiente, y las empresas apoyan las iniciativas. Sin embargo, no son relaciones sólidas para el desarrollo comunitario sino de asistencia puntual.

**Construir confianza.** Los programas de RSE han sido fundamentales para crear confianza con las comunidades. Años atrás la relación era tensa, se notaba prevención y a veces hostilidad; ahora buscan que los vean como aliados en el desarrollo de la región.

## Conclusiones

El cultivo de palma de aceite permite que los pequeños productores tengan una mentalidad a largo plazo, puedan planificar su futuro y generar arraigo hacia el territorio. Situación opuesta a otros cultivos donde no está asegurada la comercialización o, a los cultivos ilícitos, en los que prima una visión inmediata del tiempo y nómada en el territorio.

Entre los aspectos más significativos de los programas de sustitución en las regiones estudiadas están las enormes diferencias en escala, organización administrativa, entidades involucradas y acompañamiento.

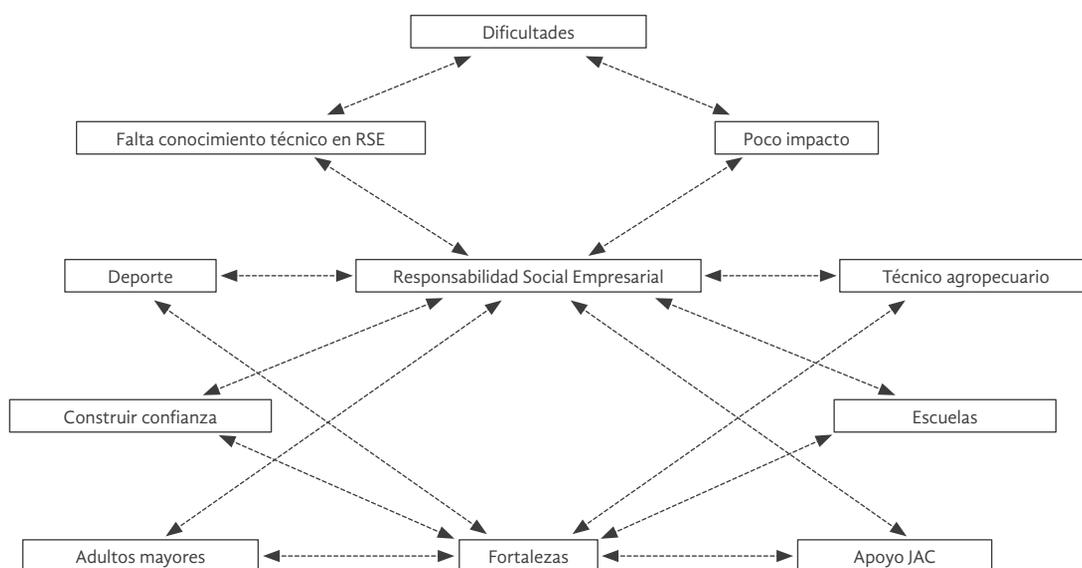
De allí los resultados tan disímiles entre ellas. Futuros proyectos de alianzas productivas con pequeños cultivadores tienen una gran base de lecciones aprendidas en los programas implementados desde hace casi 20 años en estas regiones.

La formalización laboral es el mayor catalizador de los impactos sociales y económicos asociados a la producción palmera. No existen capacidades institucionales educativas ni de salud, que puedan atribuirse como parte de la responsabilidad social de las empresas ni las alianzas público privadas con el Gobierno. Es por la vía de la proyección de largo plazo, que las comunidades logran vincularse de manera más efectiva a la oferta de bienes y servicios esenciales para su desarrollo. Incluso se valora mucho más la formalización y la estabilidad en el trabajo, que los incrementos en los ingresos.

El principal obstáculo para lograr dicha formalización es la incertidumbre jurídica sobre los títulos de propiedad. Este trabajo confirma el enorme costo económico y social de no tener fallos judiciales oportunos y normatividad clara frente a este problema ancestral.

Las buenas prácticas agrícolas son una de las grandes transferencias de desarrollo de la agroindustria palmera a los territorios.

**Figura 13.** Diagrama de argumentos de responsabilidad social empresarial



## Reducción del malogro en racimos de cultivares híbrido OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) mediante el uso de buenas prácticas\*

Reduction of Oil Palm Bunch Failure in OxG Hybrid Cultivars (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) through the Deployment of Good Practices

**CITACIÓN:** Pérez, W. A. & Arias-A., N. A. (2021). Reducción del malogro en racimos de cultivares híbrido OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) mediante el uso de buenas prácticas. *Palmas*, 42(2), 82-92.

**PALABRAS CLAVE:** prácticas agronómicas, polinización asistida, rendimiento.

**KEYWORDS:** Agronomic practices, assisted pollination, yield.

\* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**RECIBIDO:** octubre de 2020.

**APROBADO:** marzo de 2021.

**PÉREZ WILSON A.**  
Asistente de investigación, Programa de  
Agronomía, Cenipalma  
wperez@cenipalma.org

**ARIAS-A. NOLVER A.**  
Coordinador del Programa de  
Agronomía, Cenipalma

### Resumen

Para 2019 la Zona Suroccidental palmera de Colombia (Tumaco, Nariño) contaba con 22.243 hectáreas sembradas con cultivares híbridos interespecíficos OxG, con una productividad promedio de fruto de 12,3 t/ha/año, la cual es considerada baja si se tiene en cuenta que otras zonas superan 20 t/ha/año. Por tal razón, se consideró prioritario identificar las causas de este bajo rendimiento y diseñar estrategias para alcanzar cifras superiores. Dentro de las posibles causas se identifica el “malogro de racimos”, anomalía que, de acuerdo con lo registrado en el Comité Agronómico de la Zona Suroccidental del año 2017, reporta valores superiores al 30 % de los racimos afectados, motivo por el cual se realiza un estudio con el propósito de cuantificar la incidencia de esta afectación e identificar posibles factores asociados. Para ello, en una plantación de la zona se establecieron dos hectáreas de seguimiento en un cultivar híbrido OxG durante un periodo de un año, llevando a cabo el control de prácticas de manejo del cultivo. Se

consideraron dos paisajes representativos de la zona, como son la planicie y el lomerío. La línea base reveló que las pérdidas en producción para los dos paisajes a causa del malogro fueron de 36,9 y 38,7 % para planicie y lomerío, respectivamente. Además, se observó que 80 % de los racimos malogrados no presentaron evidencias de haber recibido polinización asistida, por lo cual se optó por mejorar esta práctica, partiendo de un 9,7 % de eficiencia en polinización y alcanzando una eficiencia superior a 90 %. Los resultados obtenidos muestran que el aumento en la eficiencia de la labor de polinización, acompañada de prácticas adecuadas de cultivo, como labores de mantenimiento, podas, aplicación de tusa y fertilización, tuvieron un efecto sobre el porcentaje de malogro de racimos, reduciendo su incidencia a valores inferiores a 10 %.

## Abstract

The Colombian Southwestern Oil Palm Zone (Tumaco, Nariño) had a total of 22,243 hectares planted with interspecific hybrid OxG cultivars by 2019, with an average fruit yield of 12.3 t/ha/year, number that is considered low when taking into account that other oil-palm-growing regions exceed 20 t/ha/year. For this reason, it was considered a priority to identify the causes behind such a low production and, based on that, design strategies to achieve higher yields. General findings identified “bunch failure” as one of the possible causes. According to the 2017 Agronomic Committee of the Southwestern Zone, this anomaly was present in more than 30% of the affected fruit bunches, therefore the interest in carrying out a study for quantifying the incidence of bunch failure and identifying possible associated factors. For this purpose, two monitoring hectares were established in a hybrid OxG cultivar for a period of one year at a local plantation, establishing controls for crop management practices. Two representative landscapes of the area were considered: plain terrain and hillock. The baseline revealed that the losses in production due to bunch failure in the two types of landscape were 36.9% for the plain terrain and 38.7% for hillock areas. In addition, it was observed that 80% of these spoiled clusters did not present evidence of having received assisted pollination. Hence, it was decided to improve this practice, obtaining improvements starting from a 9.7% efficiency in pollination and reaching an efficiency over 90%. The results achieved showed that the increase in the efficiency of assisted pollination, along with adequate crop management practices —such as maintenance, pruning, application of empty fruit bunches and fertilization—, had a positive effect on the percentage of bunch failure, reaching values below 10%.

## Introducción

La Zona Suroccidental palmera de Colombia se encuentra conformada particularmente por el municipio de San Andrés de Tumaco (departamento de Nariño). Esta zona fue sembrada en el siglo pasado con cultivares *Elaeis guineensis*, especie susceptible a la enfermedad conocida como la Pudrición del cogollo (PC), la cual arrasó hacia 2007 con cerca de 35.000 ha sembradas en la región. Para compensar esta situación y continuar con la agroindustria de la palma de aceite, los palmicultores locales vieron la oportunidad de sembrar híbridos interespecíficos,

teniendo en cuenta la resistencia parcial de estos frente a la PC (Romero, 2018). A partir de lo anterior, los híbridos OxG se convirtieron en una alternativa de siembra.

Para 2019, según cifras del Sistema de Información Estadística del Sector Palmero (Sispa), en Tumaco se encontraban establecidas 22.243 ha de cultivares híbridos, de las cuales 17.984 ha se encontraban en producción. Esta agroindustria, según Fedepalma (2016), genera alrededor de 5.733 empleos, distribuidos entre 2.293 empleos directos y más de 3.000 indirectos, convirtiéndose en fuente de empleo y sostenibilidad para la zona.

Con respecto a la producción de racimos de fruta fresca (RFF), en 2019 la Zona Suroccidental reportó un rendimiento promedio de 12,30 t/ha/año, siendo la menor de las cuatro zonas palmeras, con una reducción promedio de 2,2 t/ha/año frente a las cifras reportadas por las demás zonas productoras (Sispa, 2019). Teniendo en cuenta la importancia de la palma híbrida OxG en la Zona Suroccidental, se consideró necesario identificar y diseñar estrategias para mitigar la baja productividad.

En ese contexto, la implementación de las mejores prácticas busca reducir brechas de rendimiento, lo que para el cultivo de palma de aceite se logra mediante el uso eficiente de insumos y recursos para la producción. Además de ello, resulta necesario abordar soluciones específicas a las limitaciones propias de cada localidad (Donough *et al.*, 2009; Griffiths y Fairhurst, 2003; Rhebergen *et al.*, 2020). Así, es evidente que para mejorar el rendimiento de los híbridos OxG se requiere enfocar esfuerzos hacia la reducción de la brecha existente entre el rendimiento potencial y el rendimiento real. Esta reducción, en parte, se alcanza con la implementación de prácticas agronómicas optimizadas o mejoras en la gestión del cultivo (Rhebergen *et al.*, 2020).

Las mejores prácticas de manejo (MPM), en lo posible, deben ser incluidas y cumplidas por parte de los productores de palma de aceite, puesto que algunas de estas se rigen por normas de sostenibilidad públicas y privadas (Gnych *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2012), como es el caso de la conservación de la fertilidad del suelo y la calidad del agua, el control a la erosión y la mitigación de plagas y enfermedades (Jelsma *et al.*, 2019; Schoneveld *et al.*, 2019). Otras prácticas de manejo son la optimización de labores de mantenimiento, tener una cubierta con malezas blandas (coberturas de leguminosas), mantener un buen acceso a los sitios de cultivo, la cosecha oportuna de RFF y una poda adecuada de las palmas (Goh *et al.*, 2003; Jelsma *et al.*, 2019; Soliman *et al.*, 2016), entre otras. Así mismo, la polinización asistida es una de las principales prácticas de manejo agronómico que contribuye al incremento de los rendimientos en cultivares de híbrido OxG.

Una brecha existente por disminuir en la Zona Suroccidental es la pérdida de racimos por malogro, que de acuerdo con Corley y Tinker (2009) y Sparnaaij (1960) son aquellos racimos que no alcanzan a desarro-

llarse completamente y, por ende, no se cosechan. El malogro de racimos se presenta en diferentes cultivares y edades. Por ejemplo, Sparnaaij (citado en Corley y Tinker, 2009) observó una incidencia de malogro de racimos del orden de 13 % en palmas de 7 a 12 años para cultivares *E. guineensis* sembrados en Nigeria. Otro estudio manifiesta que la frecuencia de su aparición puede ser alta en palmas jóvenes, siendo de 28 % para palmas entre 4 y 6 años y, en el caso de Malasia, de hasta 25 % en el tercer año después de la siembra (Liau y Ahmad, 1995).

A pesar de la escasa literatura sobre el malogro de racimos, Corley y Tinker (2009) citan como principales causas de este fenómeno a ciertas prácticas de manejo del cultivo, tales como una inadecuada polinización, el inapropiado manejo de plagas y enfermedades —como *Marasmius palmivorus*— y problemas nutricionales que conducen a una escasez de asimilados en la palma.

Teniendo en cuenta la problemática que representa el malogro de racimos en la Zona Suroccidental y la escasez de información sobre el comportamiento de esta anomalía en cultivares OxG, se planteó la necesidad de conocer el impacto de las buenas prácticas agronómicas en el manejo del malogro de racimos en el cultivar híbrido OxG (Brasil x Djongo).

## Metodología

### Localización

El estudio se llevó a cabo en una plantación de la Zona Suroccidental palmera en el municipio de Tumaco, Nariño. Se evaluó un cultivar híbrido OxG (Brasil x Djongo) de 8 años de siembra. El área de estudio presentó contraste en suelos por dos posiciones fisiográficas representativas de la zona, planicie de alta fertilidad y lomerío de baja fertilidad. Se seleccionaron 230 palmas, de las cuales 115 fueron distribuidas en paisaje de planicie y 115 en lomerío (Figura 1).

De acuerdo con estudios detallados de suelos, el paisaje de lomerío pertenece al subgrupo taxonómico Oxic Dystrudepts, caracterizado por ser moderadamente profundo, de textura franco-arcillosa y con densidades aparentes alrededor de 1g/cm<sup>3</sup>, siendo la compactación su principal limitante. Estos suelos son

**Figura 1.** Paisajes representativos de la zona de estudio (lomerío y planicie)

Fuente: archivo fotográfico de Fedepalma



fuertemente ácidos (pH entre 4 y 5) y tienen una saturación de aluminio superior a 65 %, así como capacidad reducida de intercambio catiónico ( $<3 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y bajo porcentaje en las bases de cambio. Por su parte, los suelos de planicie corresponden a suelos de basines, Terric Haplohemist, de textura fina, con alta capacidad de retención de humedad, altos contenidos de materia orgánica, pH fuertemente ácido (4,1-4,8) y un alto porcentaje de saturación de bases ( $\text{Ca} > 70 \%$  y bajas de  $\text{K} < 2 \%$ ) (Rincón *et al.*, 2016).

### Malogro de racimos

Se definieron como racimos malogrados a aquellos que presentaron 50 % o más frutos con secamiento del ápice hacia la base, o viceversa. Otra característica que se tuvo en cuenta fue la pérdida de brillo y la susceptibilidad al desprendimiento de frutos inmaduros (Figura 2).

La línea base, o ciclo 1 de producción, se determinó mediante un censo realizado palma por palma, en el cual se contabilizaron y marcaron todas las estructuras presentes en la planta, iniciando por inflorescencias en anthesis (estadio fenológico 607) y racimos en desarrollo (estadio fenológico 709, 800, 803, 805, 806, 807 y

809), incluyendo racimos malogrados o podridos, así como inflorescencias masculinas y andróginas (Forero *et al.*, 2017). Una vez constituida esta línea base, se procedió a retirar los racimos podridos y malogrados, de tal manera que en el ciclo productivo se conservaron solo aquellos racimos con un desarrollo normal.

Un mes después de registrar la línea base, se ingresó al área de estudio para marcar exclusivamente las estructuras nuevas en cada palma seleccionada y llevar un control y seguimiento de dichas estructuras hasta su cosecha (ciclo 2 de producción). En el cultivar Brasil x Djongo el tiempo estimado desde la anthesis hasta la cosecha es de aproximadamente 175 días (estadio fenológico 807) (Forero *et al.*, 2017), equivalente a 5,8 meses. Por lo anterior, se marcaron racimos durante un periodo de cinco meses (cinco ciclos de producción), cuyo seguimiento se prolongó hasta el momento de cosecha.

Durante el periodo de evaluación se registró el número de inflorescencias femeninas, así como el número de racimos normales y malogrados con evidencia de polinización. Este último a partir de la marca realizada a la hoja en la que se especifica la fecha y el número de veces que se aplicó polen a la inflorescencia.

**Figura 2.** Racimo malogrado

Fuente: archivo fotográfico de Fedepalma



### Manejo agronómico de los lotes

En las áreas de estudio, una vez realizada la línea base, se establecieron las mejores prácticas de manejo, que corresponden a: limpieza de arvenses para mejorar el ingreso a las palmas evaluadas, poda de hojas no funcionales, disposición de las hojas de poda alrededor del plato de la palma, polinización asistida oportuna, aplicación de tusa (racimos vacíos) alrededor del plato de la palma (400 kg/palma) y fertilización balanceada con base en análisis foliares y de suelos, medidas vegetativas y estimativos de producción.

### Polinización asistida

La polinización asistida consistió en realizar aplicaciones manuales de polen con el objetivo de mejorar la eficiencia de polinización y el *fruit set*, para así obtener altas tasas de extracción. Esta práctica se ajustó con entradas a los lotes tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes) por parte de los trabajadores que realizan la labor, tras evidenciar que los ingresos a los lotes no se realizaban de manera constante previo a la realización de este estudio. Durante cada ingreso, las inflorescencias en estadio fenológico 607 fueron

polinizadas una, dos y hasta tres veces, situación que se dio en función del grado de asincronía floral (Sánchez *et al.*, 2013).

La dosis aplicada por inflorescencia fue de 0,27 g de polen más 2,43 g de talco (relación 1:9). Las brácteas pedunculares fueron en su mayoría rasgadas para facilitar el contacto del polen con la inflorescencia (Sánchez *et al.*, 2013). El equipo de aplicación consistió de una bomba insufladora, un recipiente de PVC (que almacena el polen) y una manguera unida a una lanza de salida en aluminio, la cual permite una mayor presión de descarga de la mezcla. Además, el operario encargado del proceso realizó una apertura de brácteas pedunculares a través de un gancho de acero con el objetivo de permitir una aplicación homogénea (Figura 3).

### Manejo nutricional

Para el plan nutricional se utilizaron análisis de suelos y foliares, junto con un censo de producción de las palmas evaluadas, garantizando dosis y épocas adecuadas en términos de fuentes y frecuencia, según las recomendaciones de investigaciones realizadas por Cenipalma y algunas plantaciones (Arias y Beltran, 2016) (Tabla 1).

**Figura 3.** Equipo de polinización asistida y aplicación de la mezcla polen-talco en inflorescencia femenina

Fuente: archivo fotográfico de Fedepalma



**Tabla 1.** Plan nutricional para las palmas evaluadas (kg/palma/año)

Paisaje	Urea recubierta (46 % N)	KCl (60 % K <sub>2</sub> O)	MgSO <sub>4</sub> (18 % Mg)	DAP (48 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Borato 48 (15 % B)
Planicie	4,6	4,7	2,9	1,3	0,3
Lomerío	5,9	5,7	3,6	1,6	0,4

## Análisis de datos

Para medir la eficiencia de la polinización en las áreas de estudio se tuvo en cuenta el número de racimos polinizados (con evidencias de polinización) con respecto al conteo total de racimos, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de la polinización} = \frac{\text{Racimos polinizados}}{\text{Racimos totales}} \times 100$$

Cada mes se determinó el porcentaje de racimos malogrados, para lo cual se realizó un censo de estructuras, contabilizando inflorescencias femeninas, racimos normales y racimos malogrados. La relación entre racimos malogrados y racimos normales se denominó

“porcentaje de racimos malogrados”. El promedio obtenido para cada una de las posiciones fisiográficas correspondió al porcentaje de racimos malogrados por lote, obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de racimos malogrados} = \frac{\text{Racimos malogrados}}{\text{Racimos totales}} \times 100 \%$$

Las variables evaluadas para describir los sucesos durante el periodo de implementación de las prácticas de manejo fueron analizadas de manera descriptiva a través de los porcentajes obtenidos, teniendo en cuenta el porcentaje de racimos malogrados en los dos paisajes de estudio bajo la condición de que los racimos hubiesen sido polinizados o no, para lo cual se emplearon las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ malogro No polinizado} = \frac{\text{Racimos malogrados}}{\text{Racimos no polinizados}} \times 100$$

$$\% \text{ malogro polinizado} = \frac{\text{Racimos malogrados}}{\text{Racimos polinizados}} \times 100$$

## Resultados y discusión

En el paisaje de lomerío se registraron 1.429 racimos, de los cuales 1.109 pertenecieron a la línea base, o ciclo uno de producción. Al terminar el periodo de maduración de los racimos (ciclo 1) se encontró que la eficiencia en la labor de polinización fue de 9,7 % y que los racimos evaluados presentaron un porcentaje de malogro de 36,9 %. Este mismo comportamiento se observó para la zona de planicie, en la que se evaluó un total de 1.571 racimos, de los cuales 1.148 correspondieron a la línea base, con una eficiencia en polinización de 25,3 y 38,7 % (Tabla 2).

Durante el ciclo 2 de evaluación las palmas fueron podadas, dejando un rango de 32 a 36 hojas y eliminando hojas no funcionales (se prescindieron alrededor de 7 a 10 hojas). Se efectuó aplicación de tusa

(400 kg/palma) y el primer fraccionamiento de fertilizantes. Además, en el área de observación se optimizó la labor de polinización asistida, ingresando tres veces a la semana y realizando aplicaciones de polen en cada palma. Para este ciclo productivo se contabilizaron y marcaron los nuevos racimos y se llevó a cabo seguimiento hasta la etapa de cosecha. Durante este ciclo se observó un incremento en la eficiencia de la polinización asistida, pasando de 9,7 a 69,4 % en la zona de lomerío y de 25,3 a 65,9 % en la zona de planicie.

En el ciclo 3 de producción se presentó una disminución del malogro de racimos con respecto a la línea base, registrando un malogro de 26,2 % para la zona de lomerío y 15,7 % para la de planicie. En cuanto a la eficiencia de polinización, se alcanzaron cifras de 88,1 y 86 % en cada zona de estudio, respectivamente.

Los racimos marcados y evaluados durante el ciclo 4 de producción alcanzaron una eficiencia en polinización superior a 90 % para las dos posiciones fisiográficas de estudio, mientras que los porcentajes de racimos malogrados descendieron a 13,3 y 10,8 % para la zona de lomerío y planicie, respectivamente.

**Tabla 2.** Resultados del seguimiento al malogro de racimos durante cinco ciclos de evaluación

Ciclo productivo lomerío	Racimos evaluados	% eficiencia polinización	Racimos malogrados	% malogro	N.º racimos malogrados sin polinizar	% racimos malogrados sin polinizar
1	1.109	9,7	409	36,9	381	93,2
2	124	69,4	68	54,8	36	52,9
3	84	88,1	22	26,2	4	18,2
4	75	90,7	10	13,3	5	50
5	37	73,0	6	16,2	0	0
Ciclo productivo planicie	Racimos evaluados	% eficiencia polinización	Racimos malogrados	% malogro	N.º racimos malogrados sin polinizar	% racimos malogrados sin polinizar
1	1.148	25,3	444	38,7	367	82,7
2	176	65,9	74	42	52	70,3
3	121	86	19	15,7	6	31,6
4	74	95,9	8	10,8	2	25
5	52	76,9	4	7,7	1	25

Los porcentajes obtenidos de malogro de racimos en cada uno de los ciclos de evaluación y bajo la condición de haber sido o no polinizados, mostraron que para el ciclo uno de producción, tanto para la zona de planicie como de lomerío, la posibilidad de encontrar racimos malogrados polinizados fue de 27 %. De otro lado, la posibilidad de encontrar racimos malogrados no polinizados fue de 43 % en planicie y 38 % en lomerío (Tabla 3). Este resultado evidencia una tendencia mayor a encontrar racimos malogrados que no fueron polinizados.

El análisis mostró una disminución de los porcentajes de malogro para el ciclo cuatro de producción, en el que la participación de racimos normales polinizados fue de 93 y 92 % para las zonas de lomerío y planicie, respectivamente. Durante este ciclo, cabe resaltar que se obtuvo la mayor eficiencia en polinización, alcanzando 96 % en lomerío y 91 % en planicie (Tabla 2). Por su parte, los porcentajes de racimos malogrados polinizados disminuyeron a 7 % en lomerío y 9 % en planicie. A pesar de lo anterior, los porcentajes de racimos malogrados no polinizados aumentaron en ambos paisajes, alcanzando 71 y 67% para lomerío y planicie, respectivamente, lo cual posiblemente ocurrió por no recibir polinización asistida (Tabla 3).

Los porcentajes de racimos malogrados disminuyeron por cada ciclo de evaluación. Esta disminución fue progresiva, específicamente hasta el ciclo cuatro y cinco de producción. De este modo, para la zona de lomerío la línea base registró 36,9 % de malogro, mientras que para el ciclo cuatro esta cifra llegó a 13,3 %. Esta

misma tendencia se observó para la zona de planicie, que inicialmente registró 38,7 % de malogro y en el ciclo cuatro alcanzó 10,8 %. Esta disminución es resultado de un aumento en la eficiencia de la polinización.

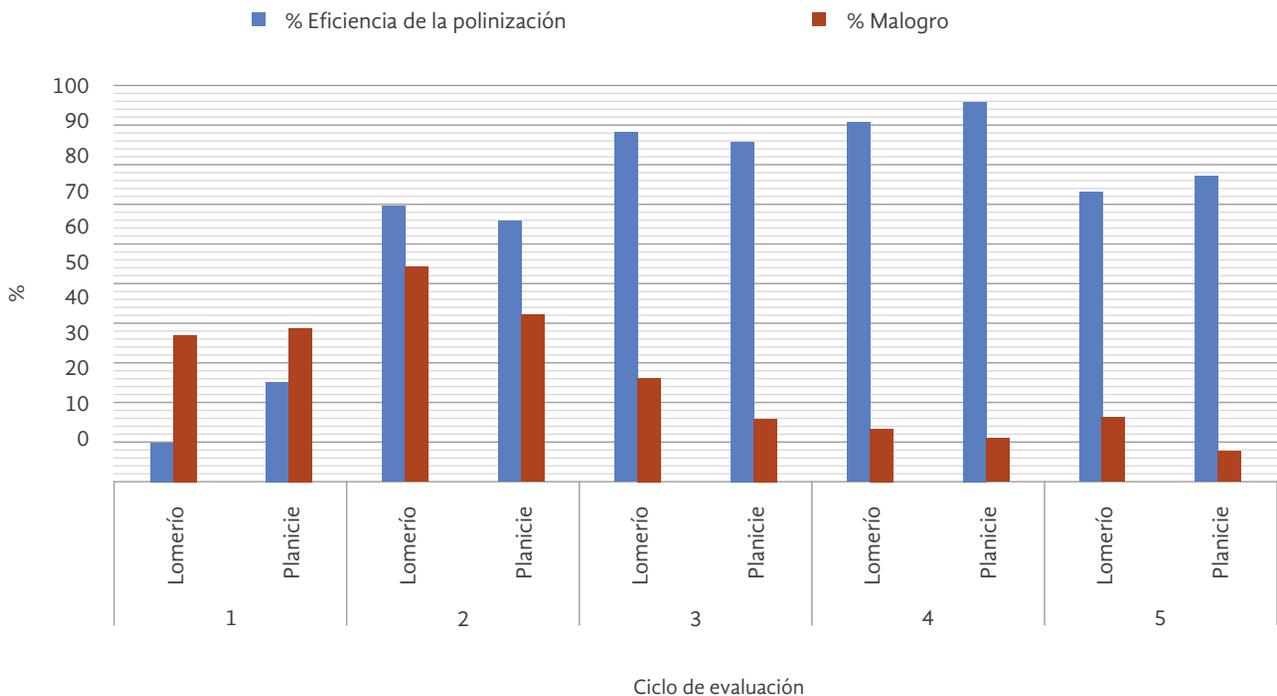
La situación descrita anteriormente corroboró lo reportado por Corley y Tinker (2009), quienes citan como causa posible del malogro de racimos en cultivos *E. guineensis* a una polinización deficiente, ocasionada por la escasa disponibilidad de polen en las inflorescencias, más que a la misma realización inadecuada del proceso. Por su parte, Ditschar (2016) afirma que las buenas prácticas de manejo (BPM) se implementan para disminuir las brechas de productividad, que solo pueden ser superadas al mejorar el manejo agronómico. Para este estudio se implementó mantenimiento, poda, cosecha oportuna y aplicación de tusas, labores que mejoraron el acceso a las inflorescencias para la polinización, aumentando así la eficiencia de esta labor y disminuyendo los porcentajes de malogro (Figura 4).

De otro lado, Corley (1973) relacionó el malogro de racimos con una excesiva producción de RFF y una escasez de asimilados, factores que se requiere profundizar en futuras investigaciones, puesto que la implementación de BPM, la aplicación de fertilizante, el diseño de planes nutricionales con base en análisis de suelos y foliares, enfatizando las recomendaciones del IPNI (2012), la fuente comercial, las dosis, el sitio y tiempo de aplicación, además de la aplicación de tusa alrededor del plato, contribuyeron a disminuir los porcentajes de malogro.

**Tabla 3.** Porcentajes asociados al evento de malogro en áreas de planicie y lomerío

Ciclo productivo	% racimos normales polinizados		% racimos normales no polinizados		% racimos malogrados polinizados		% racimos malogrados no polinizados	
	Lomerío	Planicie	Lomerío	Planicie	Lomerío	Planicie	Lomerío	Planicie
1	73	73	62	57	27	27	38	43
2	63	81	5	13	37	19	95	87
3	76	88	6	65	24	13	4	35
4	93	92	29	33	7	9	71	67
5	78	93	1	0,92	22	8	0	8

**Figura 4.** Eficiencia de la polinización asistida y porcentaje de malogro para los cinco ciclos de evaluación



Fairhurst (2016) menciona que las principales prácticas que generan respuesta en la productividad del cultivo de palma de aceite se relacionan con el manejo del área foliar, la cual se llevó a cabo por medio de la poda en esta investigación. Un segundo aspecto es el manejo nutricional, para el cual se aplicó tusa y fertilizante comercial. Una tercera dimensión es el manejo de la cobertura del suelo. Frente a este último, los resultados de la implementación de BPM en cultivos de palma de aceite se ve reflejada 3 o 4 años después de su adopción, debido a que las inflorescencias realizan su diferenciación floral de 36 a 40 meses antes de la cosecha de racimos.

Por último, Crandall y Crandall (2016) afirman que existen prácticas que impactan en el largo y corto plazo. Para la presente investigación el impacto a corto plazo se presentó por la implementación de la práctica de polinización asistida, representando un aumento en la producción de 25 % como consecuencia de la disminución de malogro de racimos, lo que se traduce en un incremento de 4 t/ha/año en la productividad del cultivo.

## Conclusiones

El aumento de la eficiencia en la polinización asistida disminuye los porcentajes de racimos malogrados, impactando de forma positiva la productividad del cultivo.

En los paisajes evaluados (lomerío y planicie), la disminución del malogro de racimos se da como resultado de implementar las mejores prácticas de manejo del cultivo, entre ellas la poda y el mantenimiento, las cuales facilitan una eficiente y oportuna realización de la polinización asistida, mejorando la conformación del racimo y disminuyendo los porcentajes de malogro.

## Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, y a las plantaciones que participaron en el desarrollo de esta investigación a través del Comité Asesor Agronómico de la Zona Suroccidental, particularmente a la Plantación Astorga S.A.

---

## Referencias

- Arias, N. & Beltran, J. (2016). *Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Bogotá: Cenipalma.
- Corley, R. H. V. (1973). Oil palm physiology: A review. En R. L. Wastie & D. A. Earp (eds.), *Advances in oil palm cultivation* (pp. 37-51). Kuala Lumpur: Incorp. Soc. Planters.
- Corley, R. H. V. & Tinker P. B. (2009). *La palma de aceite* (cuarta ed.). Bogotá: Fedepalma.
- Crandall, R. & Crandall, R. (2016). La palma. *The Salvador Option*, 4, 331-339. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316471081.031>
- Ditschar, B. (2016). Buenas prácticas de manejo en el cultivo de palma de aceite en América Latina. *Palmas*, 37(Especial, Tomo I), 55-56.
- Donough, C., Witt, C. & Fairhurst, T. (2009). Yield intensification in oil palm plantations through best management practice. *Better Crops International*, 93(1), 12-14.
- Fairhurst, T. (2016). Identificación y eliminación de las brechas de productividad en el cultivo de la palma de aceite. *Palmas*, 37(Especial, Tomo I), 41-52.
- Forero, D., Hormaza, P., Moreno, L. & Ruíz, R. (2017). *Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite*. Bogotá: Cenipalma.
- Gnych, S. M., Limberg, G. & PaoliRisky, G. (2015). *Risky business: Motivating uptake and implementation of sustainability standards in the Indonesian palm oil sector*. Bogor: Center for International Forestry Research.
- Goh, K. J., Härdter, R., Fairhurst, T. (2003). Fertilizing for maximum return. En R. Härdter & T. H. Fairhurst (eds.), *Oil palm: Management for large and sustainable yields* (pp. 279-306). Singapur: PPI/PPIC & IPI.
- Griffiths, W. & Fairhurst, T. (2003). Implementation of best management practices in an oil palm rehabilitation project. *Better Crops International*, 17(1), 16-19.
- Fedepalma. (2016). *La palma de aceite en el departamento de Nariño*. [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografia\\_narino.pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografia_narino.pdf)
- IPNI. (2012). *4R Plant Nutrition: A manual for improving the management of plant nutrition*. IPNI. <http://www.ipni.net/4R>
- Jelsma, I., Woittiez, L. S., Ollivier, J. & Dharmawan, A. H. (2019). Do wealthy farmers implement better agricultural practices? An assessment of implementation of Good Agricultural Practices among different types of independent oil palm smallholders in Riau, Indonesia. *Agricultural Systems*, 170(November), 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.004>

- Lee, J., Gereffi, G. & Beauvais, J. (2012). Global value chains and agrifood standards: Challenges and possibilities for smallholders in developing countries. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109(31), 12326-12331.
- Liau, S. & Ahmad, A. (1995). Defoliation and crop loss in young oil palm. En B. S. Jalami (ed.), *Proc.1993 PORIM Int. Palm Oil Congress on Agriculture* (pp. 408-427). Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute.
- Rhebergen, T., Zingore, S., Giller, K. E., Frimpong, C. A., Acheampong, K., Ohipeni, F. T. & Fairhurst, T. (2020). Closing yield gaps in oil palm production systems in Ghana through Best Management Practices. *European Journal of Agronomy*, 115(April 2019), 126011. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126011>
- Romero, H. M. (2018). Polinización artificial de híbridos OxG para la obtención de frutos partenocárpicos y la producción de aceite (*Elaeis oleifera* Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.). *El Palmicultor*, 558, 15-18.
- Rincón, A., Garzón, A. & Torres, J. (2016). Suelos por tipo de paisaje asociados al cultivo de la palma de aceite en la Zona Suroccidental de Colombia. *Palmas*, (37) 25-43.
- Sanchez, A., Daza, E., Ruíz, R., Romero, H. M. (2013). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Bogotá: Cenipalma.
- Schoneveld, G. C., vander Haar, S., Ekowati, D., Andrianto, A., Komarudin, H., Okarda, B. & Pacheco, P. (2019). Certification, good agricultural practice and smallholder heterogeneity: Differentiated pathways for resolving compliance gaps in the Indonesian oil palm sector. *Global Environmental Change*, 57(July). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101933>
- Soliman, T., Lim, F. K. S., Lee, J. S. H. & Carrasco, L. R. (2016). Closing oil palm yield gaps among Indonesian smallholders through industry schemes, pruning, weeding and improved seeds. *Royal Society Open Science*, 3(8), 160292.
- Sparnaaij, L. D. (1960). The analysis of bunch production in the oil palm. *Afr. Inst. Oil Palm Res.*, 3, 109-180.

# Descripción del comportamiento de la Marchitez letal de la palma de aceite a partir del análisis epidemiológico temporal\*

Describing the Behavior of Lethal Wilt in Oil Palm from Temporal Epidemiological Analysis

**CITACIÓN:** López-Vásquez, J. M., Mesa-Fuquen, E., Acosta, M. C. & Tovar, J. P. (2021). Descripción del comportamiento de la Marchitez letal de la palma de aceite a partir del análisis epidemiológico temporal. *Palmas*, 42(2), 93-105.

**PALABRAS CLAVE:** Fitoepidemiología, Manejo de enfermedades, Modelos temporales, Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

**KEYWORDS:** Phytoepidemiology, Disease management, Temporal models, Area under the disease progress curve.

\* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**RECIBIDO:** diciembre de 2020.

**APROBADO:** marzo de 2021.

**LÓPEZ V. JUAN M.**

Investigador asociado, Programa de Plagas y Enfermedades, Cenipalma  
jlopezv@cenipalma.org

**MESA F. ELOÍNA**

Investigadora asociada, Responsable de Biometría, Cenipalma

**ACOSTA, MARÍA C.**

Analista de manejo sanitario  
Zona Oriental Cenipalma

**TOVAR JUAN P.**

Coordinador regional de manejo sanitario Zona Oriental, Cenipalma

## Resumen

La Marchitez letal de la palma de aceite (ML) es la principal limitante fitosanitaria de la palmicultura en la Zona Oriental colombiana. Su agente causal aún es desconocido, por lo que los planes de manejo construidos se basan en principios generales y las experiencias exitosas de las plantaciones. Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar cuáles de las herramientas de análisis epidemiológico temporal hasta ahora empleadas son adecuadas para representar el desarrollo de la epidemia de ML, de acuerdo con los datos registrados por las plantaciones en sus censos fitosanitarios rutinarios. Se seleccionaron lotes con tiempo inicial de la epidemia conocido e incidencia final mayor a 0,05, escogiendo 23 de los 651 lotes disponibles. Se aplicaron

los modelos epidemiológicos temporales exponencial, monomolecular, logístico, Gompertz y Richards, evaluando cinco intervalos de tiempo desde el inicio de la epidemia hasta los 12, 18, 24, 30 y 36 meses. Inicialmente, se ajustaron modelos no lineales, los cuales, a pesar de mostrar buenos ajustes, no cumplieron con criterios de bondad de ajuste como asimetría de Hougaard (1985), el sesgo porcentual de Box (1971) y tampoco el valor crítico de curvatura de los parámetros propuesto por Bates y Watts (1980), sugiriendo el ajuste del modelo lineal. Al ajustar los modelos en su forma linealizada no se observaron buenos ajustes. Además, la verificación de los supuestos de normalidad de los residuales con media cero y varianza constante tampoco se cumplieron. Como alternativa, se consideró trabajar con el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), identificando que esta metodología describe de forma adecuada el comportamiento de la ML en los diferentes lotes, al permitir suavizar las fluctuaciones y comparar el incremento de la enfermedad a escala temporal. De esta manera, el ABCPE se perfila como una herramienta con alto potencial para responder a inquietudes sobre la influencia del cultivar y el ambiente en el desarrollo de la ML en Colombia.

## Abstract

Oil palm lethal wilt is the main phytosanitary limitation of oil palm cultivation in the Colombian Eastern Zone. Its causal agent is yet unknown, therefore, the existing management plans for this disease are based on general principles and successful experiences by some oil palm plantations. This work was carried out with the objective of determining which of the temporal epidemiological analysis tools is adequate to represent the development of the lethal wilt epidemic using data recorded by a sample of plantations in their routine phytosanitary censuses. Plots with a known initial time of the epidemic and a final incidence greater than 0.05 were selected, choosing 23 of the 651 available plots. The exponential, monomolecular, logistic, Gompertz, and Richards temporal epidemiological models were applied, evaluating five-time intervals from the beginning of the epidemic up to months 12, 18, 24, 30, and 36. Initially, non-linear models were fitted. However, despite showing good fit, these models did not meet goodness-of-fit criteria such as Hoggard's (1985) asymmetry, Box's (1971) percentage bias, nor the critical value of curvature of the parameters proposed by Bates and Watts (1980), which suggest the fit of the linear model. When adjusting the models in their linearized form, no good fits were observed and the verification of the normality assumptions of the residuals with zero mean and constant variance was not fulfilled either. As an alternative, we considered working with the area under the disease progress curve (AUDPC), concluding that this methodology adequately describes the behavior of lethal wilt in the different plots by allowing smooth fluctuations and to compare the increase in the advance of the disease on a time scale. In this way, the AUDPC is an emerging tool with high potential to address the concerns about the influence of cultivars and the environment in the development of lethal wilt in Colombia.

## Introducción

La Marchitez letal de la palma de aceite (ML) es la principal limitante fitosanitaria de la palmicultura en la Zona Oriental colombiana. El primer registro de esta enfermedad en Colombia data de 1994 en plantaciones ubicadas en la cuenca del río Upía, zona limítrofe entre los departamentos de Meta y Casanare. Posteriormente, en 2002, empezó su propagación ace-

lerada hacia el sur del país (Rocha *et al.*, 2007). Actualmente, de los 37 municipios palmeros que conforman la Zona Oriental colombiana, muy pocos permanecen libres de esta problemática (Fedepalma, 2019).

El impacto económico de la ML ha tenido consecuencias graves para el sector palmero, no solo por los costos que deben asumir las plantaciones en cuanto al manejo, control y contención de la enfermedad, sino también porque las palmas afectadas deben ser

eliminadas de manera inmediata, generando pérdidas frente a la inversión realizada en siembra y mantenimiento, así como en el potencial de ganancia por la cosecha de fruto esperada (Castiblanco y Mosquera-Montoya, 2011). Para 2013, como consecuencia de la eliminación de más de 200.000 palmas afectadas, el Programa Sectorial de Manejo Fitosanitario de Cenipalma estimó pérdidas por USD 85 millones en las plantaciones de la Zona Oriental. Esta cifra creció años más tarde, superando USD 146 millones en pérdidas, debido a los cerca de 900.000 casos reportados hasta 2017 por parte de 207 plantaciones de la región (Fedepalma, 2018). Actualmente, esta enfermedad sigue generando un número alarmante de casos reportados, incrementando el área afectada y el riesgo de su expansión a las demás regiones productoras de palma de aceite en Colombia.

Las palmas afectadas por ML presentan clorosis del follaje (Aucique-Perez *et al.*, 2018), seguida por secamiento progresivo de las hojas medias y bajas, desprendimiento de los frutos en racimos verdes, pudrición y necrosamiento de las raíces. Finalmente, se presenta la muerte de la planta en un periodo de 4 semanas a 6 meses tras la aparición de los primeros síntomas (Rocha *et al.*, 2007). Si bien la manifestación del daño en la planta, su distribución espacial y el comportamiento de la enfermedad en el tiempo representan suficiente evidencia científica para considerar a la ML como un problema de tipo biótico (Torres y Tovar, 2004), hasta el momento no se ha logrado identificar el agente causal de la enfermedad. Múltiples pruebas de patogenicidad con hongos del género *Fusarium* spp. y las bacterias *Pantoea agglomerans* y *Pseudomonas stutzeri* resultaron negativas. Así mismo, se descartó la presencia de *Phytoplasma* sp. y *Xylella fastidiosa* en posteriores análisis de laboratorio (Rocha *et al.*, 2007). Alvarez y Claro (2003) y Alvarez *et al.* (2014) argumentaron la posibilidad de asociación con fitoplasmas similares a los involucrados en la enfermedad de Amarillamiento letal del cocotero, aunque sus resultados hasta ahora no han podido ser corroborados por otros grupos de investigación (Montoya *et al.*, 2018; Romero, 2010). De esta manera, los trabajos para establecer el origen de la enfermedad se mantienen en curso.

El actual desconocimiento del agente causal de la ML deriva en una incertidumbre sobre la influencia de diversos factores en la dinámica de la enfermedad,

lo cual dificulta la elaboración de un plan de manejo. Teniendo en cuenta esta situación, ha sido necesario recurrir, en gran medida, a las experiencias de las plantaciones y a manejos básicos como la reducción del inóculo a partir de la eliminación temprana de palmas afectadas, lo que implica un seguimiento estricto a la aparición de casos a través de censos fitosanitarios semanales (Cenipalma, 2019). Así, quienes han sido disciplinados con esta labor cuentan con extensos registros de datos históricos. Sin embargo, se carece de herramientas metodológicas que permitan convertir estos datos en información y, a partir de allí, en conocimiento sobre el comportamiento de la enfermedad en una escala temporal.

Una de las herramientas más utilizadas para comprender el desarrollo de enfermedades en poblaciones de cultivos hospedantes y la manera en que otros factores influyen en su desarrollo es el análisis epidemiológico temporal a través de modelos (Nutter, 2007), los cuales son expresiones matemáticas que permiten representar gráficamente la epidemia a partir de su comportamiento en el tiempo, además de evidenciar la naturaleza cíclica propia del agente causal (Madden *et al.*, 2007; Neher *et al.*, 1997).

Por lo anterior, el presente artículo describe el procedimiento para determinar cuáles de las herramientas de análisis epidemiológico temporal resultan ser adecuadas para representar el desarrollo de la epidemia de ML en lotes comerciales de palma de aceite, empleando para ello los datos registrados directamente por las plantaciones en sus censos fitosanitarios rutinarios. Sobre esta base se podrán soportar en el futuro los estudios de comportamiento de la enfermedad en diferentes escenarios con miras a definir qué factores ecológicos, agronómicos y de cultivo pueden estar relacionados con su dinámica, para así incorporar dichos factores en los planes de manejo integrado.

## Metodología

### Descripción de los datos iniciales

Se trabajó con los registros de número de casos por mes en cada lote para las plantaciones Palmar del Oriente y Luker Agrícola de la Zona Oriental colombiana, las cuales se encuentran ubicadas en una región con alta incidencia de ML. El área sembrada de ambas

plantaciones es cercana a 8.000 hectáreas, subdivididas en 651 lotes. Esta investigación tomó el periodo comprendido entre enero de 2011 y diciembre de 2018.

Lo anterior condujo inicialmente a encontrar una gran variabilidad en las características de los lotes, pues se tenían múltiples fechas de siembra (desde 1978 hasta 2018), múltiples cultivares, e incluso lotes de segunda generación donde la enfermedad había sido recurrente. Por lo tanto, el primer paso se enfocó en establecer criterios de selección con el fin de filtrar lotes que brindaran datos confiables y útiles para realizar la descripción de la epidemia.

### Criterios de selección de lotes

Debido a que todos los lotes fueron continuamente sometidos a medidas fitosanitarias de manejo y contención, no fue posible realizar la descripción de la epidemia en lotes sin intervención alguna. Sin embargo, algunos de estos lotes fueron seleccionados debido a que sus características epidémicas podrían acercarse a una descripción precisa y confiable del comportamiento de la enfermedad.

Los dos criterios básicos de selección fueron:

- i. Incidencia final ( $y_t$ ) > 0,05, debido a que describir epidemiológicamente el comportamiento de ML con valores menores no es de interés económico, agronómico, ni biológico.

- ii. Incidencia inicial ( $y_0$ ) = 0, debido a que es necesario conocer el comportamiento de la epidemia desde su etapa inicial.

### Estrategias empleadas para la descripción del progreso temporal de la enfermedad

Considerando que no se tenía claridad sobre el tiempo que le toma a la epidemia pasar por cada una de sus etapas de desarrollo (fase inicial, exponencial, transicional y estacionaria), se evaluaron cinco intervalos de tiempo desde el inicio del desarrollo de la epidemia hasta los 12, 18, 24, 30 y 36 meses después de registrado el primer caso de la enfermedad en los lotes seleccionados. Posteriormente, se utilizaron los modelos de crecimiento poblacional exponencial, monomolecular, logístico, Gompertz y Richards (Tabla 1, Figura 1), así como el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (Madden *et al.*, 2007).

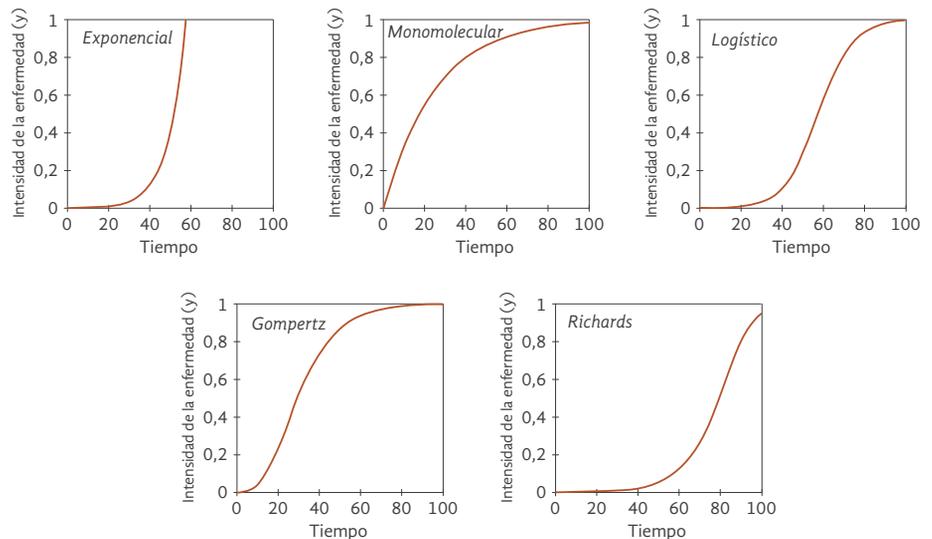
Los modelos empleados en este trabajo tienen origen en los modelos de crecimiento comúnmente utilizados para describir las epidemias de enfermedades temporales (Xu, 2006). El modelo exponencial, que también se conoce como modelo logarítmico, es ampliamente aplicado para describir las etapas iniciales de la mayoría de las epidemias policíclicas (Nutter, 2007), mientras que el modelo monomolecular, también conocido como modelo exponencial negativo, es aplicado para modelar epidemias que tienen un ciclo

**Tabla 1.** Ecuaciones integradas y linealizadas de los cinco modelos empleados para la descripción de la epidemia a causa de ML en la palma de aceite

Modelo	Forma integrada	Forma linealizada
Exponencial	$y = y_0 e^{r_E t}$	$\ln(y) = \ln(y_0) + r_E t$
Monomolecular	$y = 1 - (1 - y_0)e^{-r_M t}$	$\ln(1/1-y) = \ln(1/1-y_0) + r_M t$
Logístico	$y = 1/[1 + ((1 - y_0)/y_0) \exp(-r_L t)]^{-1}$	$\ln(y/1-y) = \ln(y_0/1-y_0) + r_L t$
Gompertz	$y = \exp(\ln(y_0) e^{-r_G t})$	$-\ln(-\ln(y)) = -\ln(-\ln(y_0)) + r_G t$
Richards ( $\eta > 1; < 1$ )	$y = (1 \pm B e^{-r_R t})^{1/(1-\eta)}$	$\ln(1/y^{1-\eta} - 1) = -\ln(B) + r_R t$

Nota:  $y_0$  se refiere a la intensidad inicial de la enfermedad en términos de proporción;  $B = -\ln(y_0)$ ;  $r_E, r_M, r_L, r_G, y r_R$  se refiere al parámetro tasa de crecimiento de la enfermedad.

**Figura 1.** Representación gráfica de los modelos probados para describir la epidemia causada por ML en la palma de aceite



único durante la temporada de crecimiento (Campbell y Madden, 1990; Nutter, 2007). El modelo logístico fue propuesto por Vanderplank (1963) para la mayoría de las enfermedades policíclicas y es ampliamente utilizado para describir epidemias de enfermedades de plantas. Por su parte, el modelo Gompertz es una alternativa al modelo logístico, alcanzando su punto de inflexión en la curva de manera anticipada (Nutter, 2007). El modelo Richards (1959) tiene un parámetro adicional (parámetro de forma) y se representa como  $\eta$  en su expresión matemática; este parámetro toma valores diferentes a 1, caso para el cual la expresión matemática no está definida. Dependiendo del valor que tome este parámetro, se puede llegar a cualquiera de los modelos ya mencionados. Por ejemplo, si  $\eta = 0$ , este parámetro converge al modelo monomolecular y así sucesivamente a otros modelos más complejos (Madden *et al.*, 2007).

Para los datos considerados se trabajaron las dos formas de cada modelo (lineal y no lineal). En los dos casos se verificaron los supuestos para asegurar una inferencia estadística de los parámetros estimados, particularmente la tasa de desarrollo de ML, el de mayor interés para este estudio. Una vez se estimaron los parámetros y se ajustó el modelo, se verificaron los supuestos asociados a los residuales, tales como la distribución normal con media cero (0), la varianza constante y el ajuste del modelo estimado, es decir, qué tan cercanos eran los valores observados y los estimados visualmente. Para el modelo lineal se examinaron criterios de bondad de ajuste como la varianza

de los residuales y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Draper, 1981). Para el modelo no lineal se verificó el sesgo y la asimetría de los parámetros (Box, 1971; Hougaard, 1985) y la medida de curvatura de estos (Bates y Wats 1980).

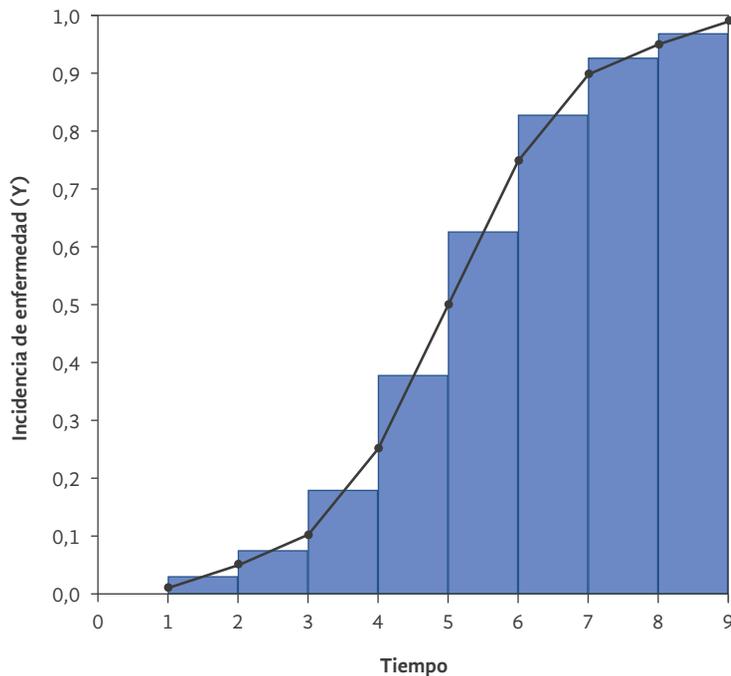
Finalmente, se realizó un análisis descriptivo empleando el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), para lo cual no se requiere de ajuste de modelos preestablecidos ni de transformación de los datos. El ABCPE es una alternativa cuando los parámetros estimados en los modelos anteriormente indicados no cumplen con las características requeridas para el ajuste de los datos debido a una curvatura irregular no explicada en el tiempo. Tomando como referencia a Jeger y Viljanen (2001) y Prudencio-Sains *et al.* (2008), el ABCPE se estimó de la siguiente forma:

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} * (t_{i+1} - t_i)$$

El área se obtuvo a partir de la integración de trapecios formados por la curva de progreso, como se observa en la Figura 2.

En la ecuación del ABCPE, la expresión  $(Y_i + Y_{i+1}) / 2$  corresponde a la altura del trapecio y la base está dada por  $(t_i - t_{i-1})$ . El ABCPE se expresa en términos de proporción o cantidad de enfermedad por tiempo, donde los valores más altos indican un mayor desarrollo de la enfermedad en un tiempo determinado.

**Figura 2.** Representación gráfica del área bajo la curva de progreso de una enfermedad (ABCPE)



## Resultados y discusión

### Lotes seleccionados

Para las plantaciones Palmar del Oriente y Luker Agrícola, con 340 y 311 lotes, respectivamente, se consideraron registros mensuales de incidencia de la enfermedad desde enero de 2011 hasta diciembre de 2018. Para cada plantación fueron registrados lotes eliminados y activos. De los lotes activos que son de interés para este estudio se consideraron aquellos con presencia de ML, seleccionando, posteriormente, los lotes para los cuales era conocido el momento de inicio de la enfermedad. De este último grupo se seleccionaron los lotes que al final del periodo de interés alcanzaron una incidencia mayor a 5 %, dando como resultado un total de 13 y 10 lotes para cada plantación, respectivamente. La Figura 3 detalla el proceso de selección de lotes para cada plantación. Los cuadros en amarillo muestran los lotes descartados, mientras que los cuadros en verde dan cuenta de los lotes seleccionados para llevar a cabo la descripción de la enfermedad.

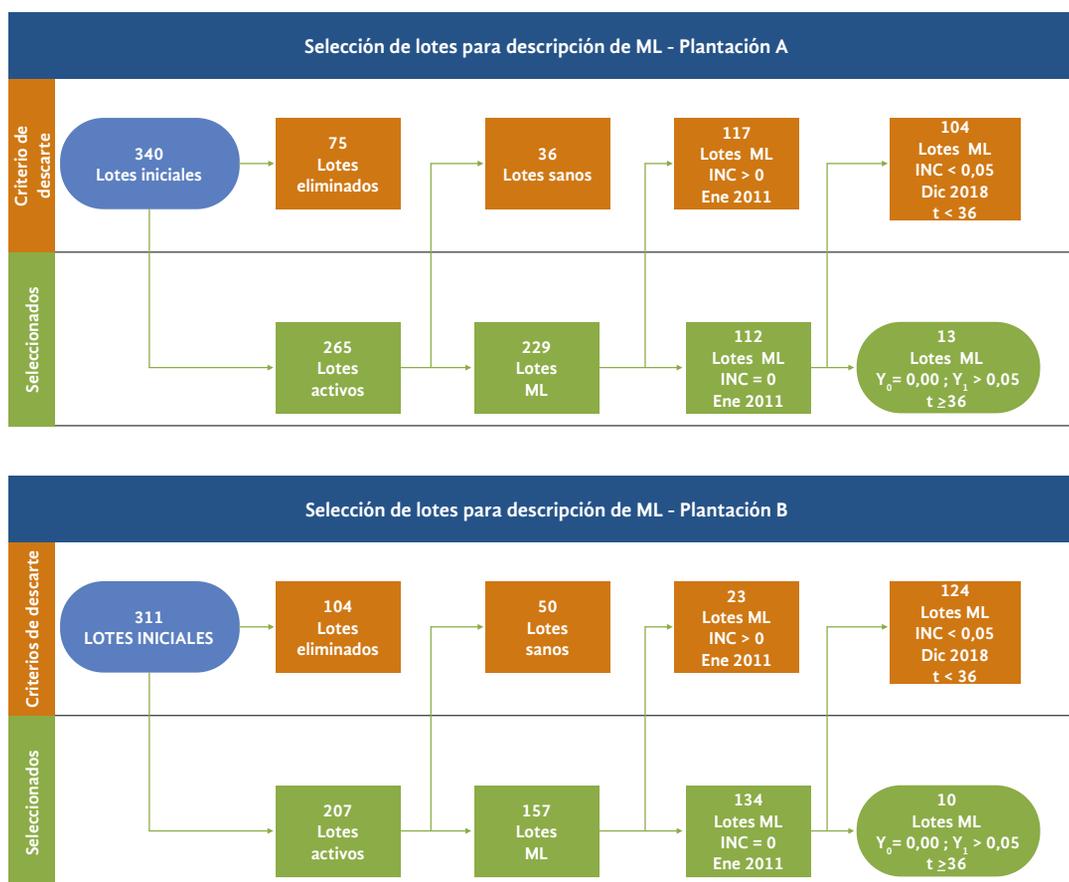
### Ajuste de los modelos

Los análisis preliminares de la epidemia para los periodos propuestos (12, 18, 24, 30 y 36 meses) pre-

sentaron resultados similares. No obstante, y con el fin de realizar una descripción más completa con los datos disponibles, se consideró tomar el mayor número de observaciones, es decir, 36 meses. El ajuste de los modelos se realizó con el *software* R (R Core Team, 2020) y SAS (SAS/STAT, 2012) para los modelos lineales y no lineales, respectivamente. Para cada caso se revisaron los supuestos, se evaluaron los criterios de ajuste y se observó la proximidad de los valores estimados a los valores reales.

Una vez ajustados los modelos no lineales propuestos, se encontró que en la mayoría de los casos el mejor ajuste se presentó para el modelo de Gompertz, con el cual los valores estimados mostraron un buen acercamiento a los datos observados. Sin embargo, verificando supuestos y bondad de ajuste de los modelos, no se cumplieron las condiciones de no linealidad en los parámetros, asimetría y sesgo de los estimadores. Por su parte, los resultados obtenidos por los análisis estadísticos de los modelos lineales presentaron un mejor ajuste para el modelo monomolecular en la mayoría de los lotes evaluados. A pesar de ello, la verificación de los supuestos de normalidad de los residuales con media cero y varianza constante no se cumplió. En la Figura 4 se muestra el ajuste de modelos lineales y no lineales para un lote tipo.

**Figura 3.** Esquema del proceso de selección de lotes afectados por ML en las plantaciones (A) Palmar del Oriente y (B) Luker Agrícola



Estos resultados se dieron posiblemente por las siguientes razones: (i) en la mayoría de los lotes se observaron comportamientos con tendencias más cercanas a ser lineales que a presentar una curvatura definida; (ii) las curvaturas de carácter irregular observadas en el comportamiento temporal de la enfermedad evidenciaron un descenso en el número de casos nuevos reportados en periodos cortos; (iii) los datos corresponden a registros históricos de la enfermedad, en los que no se conoce la razón del comportamiento, situación que puede ser resultado de una falta de registro de palmas enfermas en dicho periodo o de una acción o práctica realizada por la plantación como medida para mitigar el incremento de casos de la enfermedad.

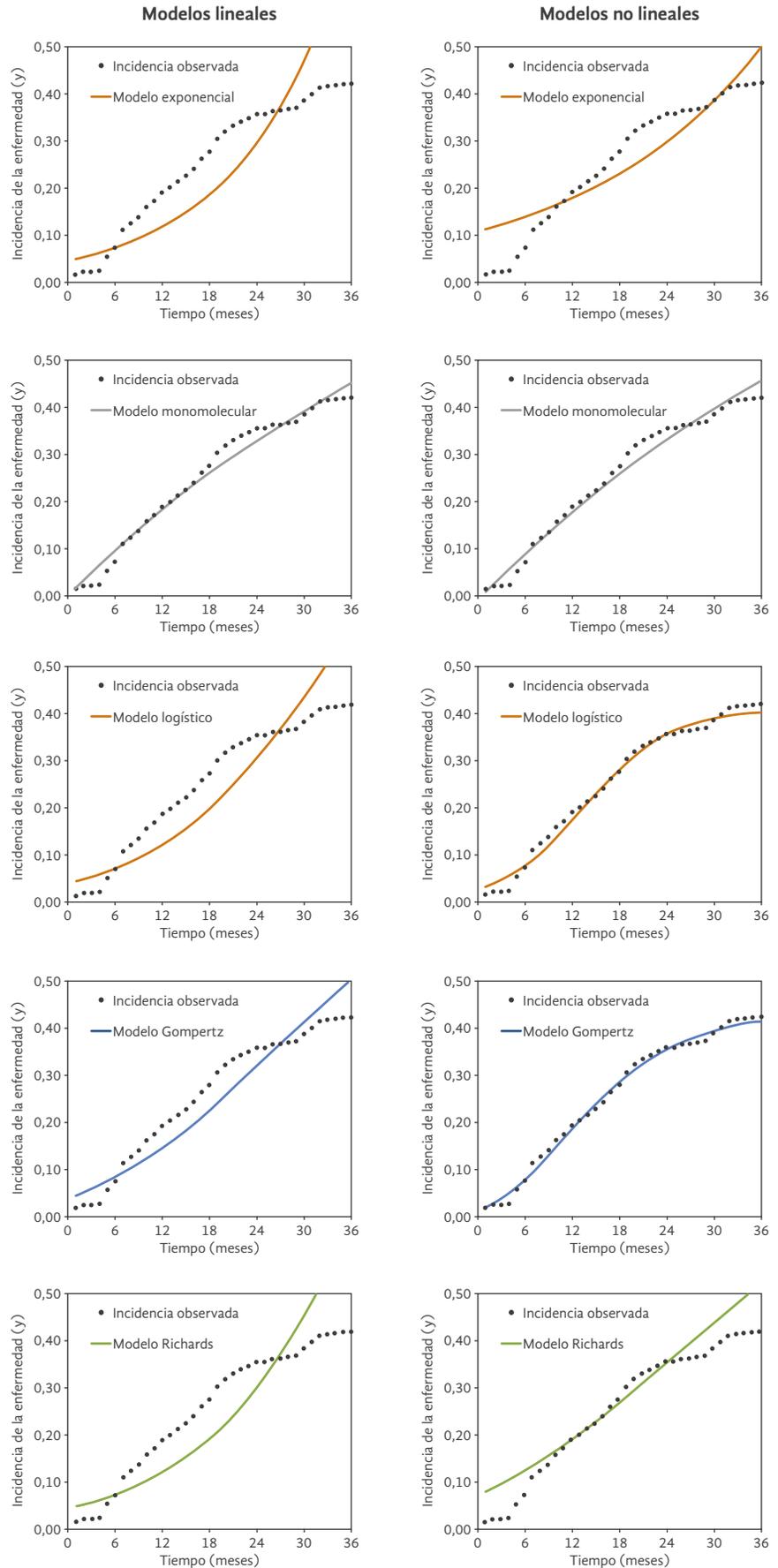
Finalmente, se estimó el ABCPE para cada uno de los lotes. La estimación del área se hizo considerando la acumulación de la enfermedad en los periodos 6,

12, 18, 24, 30 y 36 meses. El ABCPE para los lotes de las dos plantaciones se muestra en la Figura 5.

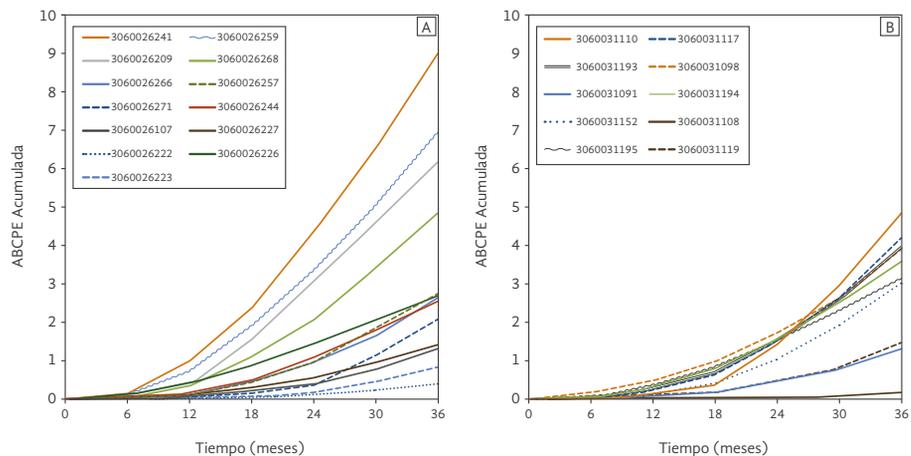
En las Figuras 6 y 7 se muestra la incidencia y el ABCPE acumuladas para tres lotes tipo de cada plantación. Al respecto, se observa cómo el ABCPE representa de manera fiel el comportamiento de la epidemia, independientemente de las variaciones o cambios de esta a través del tiempo.

De acuerdo con los resultados del presente análisis de datos, el ABCPE demostró ser una representación gráfica fidedigna del comportamiento de la ML bajo este tipo de escenarios, además de describir el incremento de la cantidad de enfermedad en el tiempo. Por consiguiente, este se convierte en una herramienta de gran utilidad cuando las curvas de progreso de la enfermedad no son descritas a cabalidad por modelos de crecimiento comúnmente utilizados en dinámica de poblaciones.

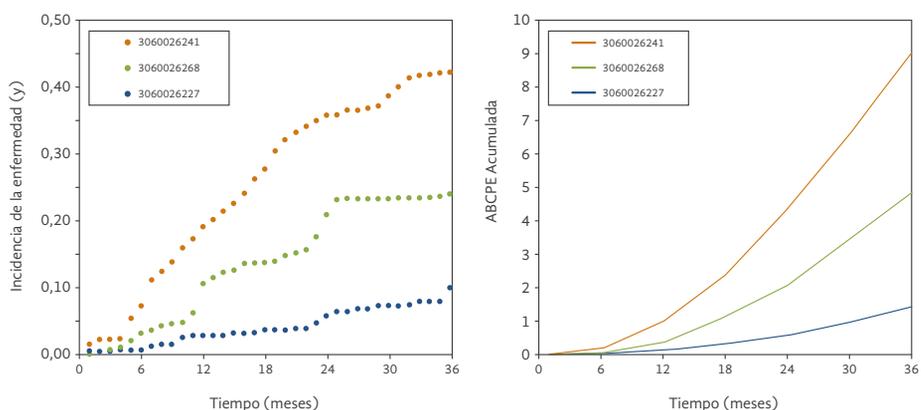
**Figura 4.** Ajuste de modelos lineales y no lineales para un lote tipo afectado por ML



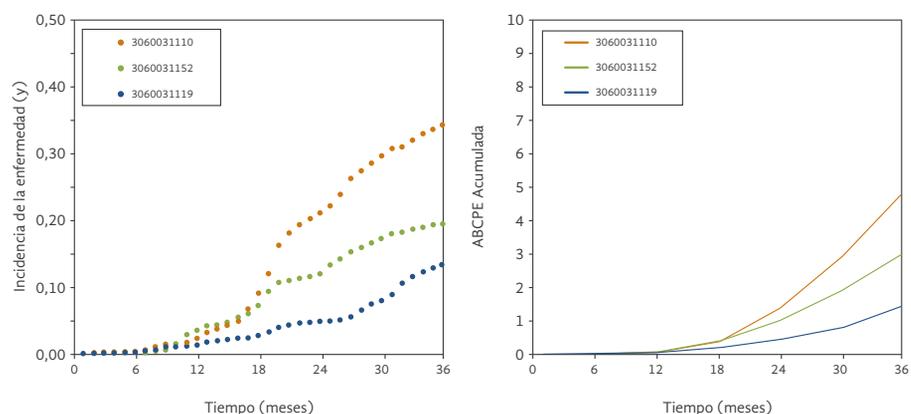
**Figura 5.** ABCPE acumulada en diferentes momentos de la epidemia de ML para los lotes seleccionados en las plantaciones (A) Palmar del Oriente y (B) Luker Agrícola



**Figura 6.** Valores observados de incidencia mensual acumulada de la epidemia de ML y ABCPE acumulada para tres lotes tipo en la plantación Palmar del Oriente



**Figura 7.** Valores observados de incidencia mensual acumulada de la epidemia de ML y ABCPE acumulada para tres lotes tipo en la plantación Luker Agrícola



El ABCPE mostró el patrón de comportamiento y avance de la enfermedad en el tiempo desde su inicio hasta un periodo establecido, así como la resistencia o la susceptibilidad del hospedero durante el periodo de crecimiento de la epidemia considerado, la

efectividad de las medidas de control ejercidas por cada plantación y la afectación de cambios climáticos. Con base en ello, esta herramienta permite seleccionar estrategias de control para un lote particular de manera oportuna.

## Conclusiones

Ninguno de los modelos epidemiológicos probados, tanto en su forma lineal como no lineal, describieron satisfactoriamente el desarrollo de la epidemia en lotes comerciales de palma afectados por ML. En consecuencia, no es posible inferir los parámetros de interés de los modelos, como la tasa de desarrollo ( $r$ ). Esto puede explicarse porque los datos registrados son el resultado del desarrollo de la enfermedad condicionada a las medidas sanitarias de manejo y contención implementadas, lo cual afecta el crecimiento continuo de su incidencia.

La estimación del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) resultó ser la mejor alternativa para describir el comportamiento de la ML debido a que no se requiere del ajuste de modelos preestablecidos, transformaciones de los datos ni del incremento continuo de la incidencia. Además, el ABCPE mostró el momento de aparición y la cantidad (medida como incidencia acumulada) de enfermedad, su patrón de comportamiento y su avance en el

tiempo desde el inicio hasta un periodo establecido. Sumado a lo anterior, este es un buen indicador del incremento de la cantidad de la enfermedad en el tiempo que permite atenuar las fluctuaciones de la curva de la epidemia.

Por lo anterior, el cálculo del ABCPE se constituye en la mejor herramienta para describir el comportamiento de la ML bajo las condiciones de registro de datos que llevan las plantaciones. Su implementación permitirá a futuro comparar el desarrollo de la enfermedad, ajustar los planes de manejo y apoyar la toma de decisiones en condiciones de cultivo, manejos y ambientes diferentes.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, por la financiación de esta investigación. Además, agradecen a las plantaciones Luker Agrícola y Palmar del Oriente, especialmente a los ingenieros Marta Lya Hernández Escudero y Miguel Rubiano Infante.

---

## Referencias

- Alvarez, E. & Claroz, J. L. (2003). Characterization and classification of phytoplasma associated with oil palm (*Elaeis guineensis*). En *8th Int. Congr. Plant Pathol. Australasian Plant Pathology Society* (p. 284). Christchurch, New Zealand.
- Alvarez, E., Mejía, J. F., Contaldo, N., Paltrinieri, S., Duduk, B. & Bertaccini, A. (2014). "Candidatus *Phytoplasma asteris*" strains associated with oil palm lethal wilt in Colombia. *Plant Dis.*, 98, 311-318.
- Aucique-Perez, C. E., Daza, E. S., Ávila-Diazgranados, R. A. & Romero, H. M. (2018). Chlorophyll *a* fluorescence and leaf temperature are early indicators of oil palm diseases. *Sci. Agric.*, 77(2),1-6.
- Bates, D. M. & Watts, D. G. (1980). Relative curvature measures of nonlinearity (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*, 42, 1-25.
- Box, M. J. (1971). Bias in nonlinear estimation (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*, 33, 171-201.

- Campbell, C. L. & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: Wiley.
- Castiblanco, J. S. & Mosquera-Montoya, M. (2011). Costos asociados a la Marchitez letal en palma de aceite. *Palmas*, 32(3), 39-47.
- Cenipalma. (2018). *Programa Sectorial de Manejo Fitosanitario Zona Oriental. Informe de estado fitosanitario Zona Oriental*. Bogotá: Cenipalma.
- Cenipalma. (2019). *Guía de bolsillo. Principios básicos para el manejo de la Marchitez letal (ML) de la palma de aceite*. Bogotá: Cenipalma.
- Draper, N. R. & Smith, H. (1981). *Applied regression analysis* (2nd ed). New York: John Wiley & Sons.
- Fedepalma. (2018). Desempeño del sector palmero colombiano en 2018: retos y perspectivas en momentos de dificultades. *Palmas*, 39(4), 6-11.
- Fedepalma. (2019). *Anuario estadístico. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2014-2018*. Bogotá: Fedepalma.
- Hougaard, P. (1985). The appropriateness of the asymptotic distribution in a nonlinear regression model in relation to curvature. *Journal of the Royal Statistical Society*, 47, 103-114.
- Jeger, M. J. & Viljanen-Rollinson, S. L. H. (2001). The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theo. Appl Genet.*, 102(1), 32-40.
- Madden, L. V., Hughes, G. & Van den Bosch, F. (2007). *The study of plant disease epidemics*. St. Paul, MN: APS Press.
- Montoya, C., Chaves, C., Herrera, M. & Romero, H. M. (2018). Avances de investigaciones en el área de Biología Molecular en torno a la Marchitez letal. En *Memorias del Taller Estratégico Línea ML*. Bogotá: Cenipalma.
- Neher, D. A., Reynolds, K. L. & Campbell, C. L. (1997). Analysis of disease progress curves using linear models. En L. J. Fand & D. A. Neher (eds.), *Exercises in plant disease epidemiology* (pp. 29-33), St Paul, MN: APS Press.
- Nutter, F. F. (2007). The role of plant disease epidemiology in developing successful integrated disease management programs. En A. Ciancio & K. G. Mukerji (eds.), *General concepts in integrated pest and disease management. Integrated management of plants pests and diseases* (vol. 1, pp. 45-79). Dordrecht: Springer.
- Prudencio-Sains, J. M., Navarrete-Maya, R., Navarrete-Maya, J. & Acosta-Gallego, J. A. (2008). Dinámica de los tizones común y de halo del frijol en el valle de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 201-212.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing.

- Richards, F. J. (1959). A flexible growth functions for empirical use. *J Exp Bot.*, 10, 290-300.
- Rocha, P. J., Tovar, J. P., Gutiérrez, D. F. & Mosquera-Montoya, M. (2007). *Marchitez letal en palma de aceite*. Boletín Técnico 22. Bogotá: Cenipalma.
- Romero, H. M. (2010). Respuesta fisiológica de la palma a la Marchitez letal. En *Memorias taller internacional de manejo de la Marchitez letal (ML)*, Marzo 3-4, Villavicencio, Colombia.
- SAS/STAT. (2012). *SAS/STAT release 9.4*. Cary, NC: SAS Institute.
- Torres, E. & Tovar, J. P. (2004). Estudio epidemiológico de la enfermedad Marchitez letal de la palma de aceite en plantaciones de Villanueva, Casanare. *Palmas*, 25(Especial, Tomo II), 210-219.
- Vanderplank, J. E. (1963). *Plant disease: epidemics and control*. New York, NY: Academic Press.
- Xu, X. (2006). Modelling and interpreting disease progress in time. En B. M. Cooke, J. Gareth-Jones & B. Kaye (eds), *The epidemiology of plant disease* (pp. 215-238). Dordrecht: Springer.

# REVISTA PALMAS



## FELICITA A

**Cenipalma en su aniversario número 30 por su servicio en la investigación y la extensión del sector palmicultor colombiano**





**XVII  
REUNIÓN**  
TÉCNICA NACIONAL  
de Palma de Aceite 2021

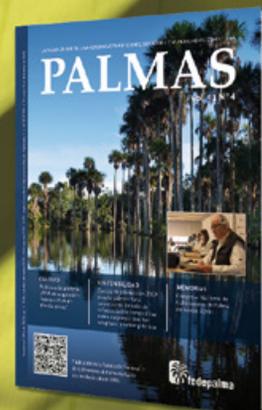
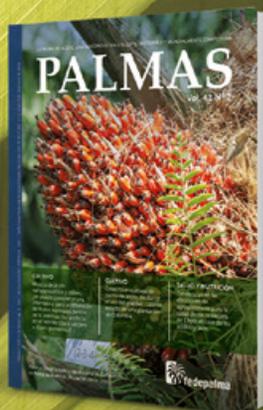
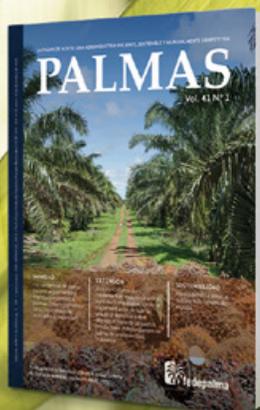


CON EL RESPALDO DE FEDEPALMA

Se acerca la XVII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite 2021, desde el **27 de septiembre al 1 de octubre.**



# Paute con nosotros



## Comercialización

Jairo Almonacid

[jalmonacid@fedepalma.org](mailto:jalmonacid@fedepalma.org)

Celular: 317 573 1521

Esta publicación es propiedad de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de la Federación. Al realizar la presente publicación, la Federación ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

LA PALMA DE ACEITE, UNA AGROINDUSTRIA EFICIENTE, SOSTENIBLE Y MUNDIALMENTE COMPETITIVA

# PALMAS

La Revista Palmas Volumen 42, Número 2, fue editada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. Se terminó de imprimir y encuadernar en los talleres de Estudio 45-8 S. A. S. en la ciudad de Bogotá-Colombia, con un tiraje de 1.390 ejemplares sobre papel Earth Pack de 90 g.

