



# GUÍA

## DE MEJORES PRÁCTICAS BAJAS EN CARBONO

ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE  
DE PALMA SOSTENIBLE EN COLOMBIA



CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO



Fomentado por:



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation,  
Building and Nuclear Safety

en virtud de una resolución del Parlamento  
de la República Federal de Alemania





CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO

# GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS BAJAS EN CARBONO

asociadas a la producción  
de aceite de palma sostenible en Colombia

## **Autores:**

Cenipalma

Diana Catalina Chaparro-Triana  
Nidia Elizabeth Ramírez-Contreras  
David Arturo Munar-Flórez  
Jesús Alberto García-Núñez

WWF-Colombia

Camila Cammaert  
Sofía A. Rincón-Bermúdez

## **Fomentado por:**



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation,  
Building and Nuclear Safety

en virtud de una resolución del Parlamento  
de la República Federal de Alemania



**GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS  
BAJAS EN CARBONO**  
asociadas a la producción  
de aceite de palma sostenible en Colombia

© Cenipalma  
© WWF-Colombia

**ISBN impreso:** 978-958-8915-93-7

**ISBN digital:** 978-958-8915-94-4

Primera edición, julio de 2020

**Autores**

**Cenipalma**

Diana Catalina Chaparro-Triana  
AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN -  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Nidia Elizabeth Ramírez-Contreras  
ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN -  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

David Arturo Munar-Flórez  
AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN -  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Jesús Alberto García-Núñez  
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE PROCESAMIENTO -  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

**WWF-Colombia**

Camila Cammaert  
COORDINADORA SISTEMAS  
ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

Sofía A. Rincón-Bermúdez  
COORDINADORA ECORREGIONAL ORINOQUIA

**Coordinación editorial**

Carmen Ana Dereix  
OFICIAL DE PUBLICACIONES Y MARCA  
WWF-COLOMBIA

**Diseño e impresión**

El Bando Creativo

**Citación sugerida:**

Chaparro-Triana DC, Ramírez-Contreras NE, Munar-Flórez DA, García-Núñez JA, Cammaert C, Rincón-Bermúdez SA. Guía de mejores prácticas bajas en carbono asociadas a la producción de aceite de palma sostenible en Colombia. Cali (Colombia): Cenipalma, WWF-Colombia; 2020.

Las denominaciones geográficas y el material que contiene esta guía no entrañan, por parte de WWF, juicio alguno respecto de la condición jurídica de países, territorios y áreas, ni del trazado de sus fronteras o límites.



CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO



**Fomentado por:**



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation,  
Building and Nuclear Safety

en virtud de una resolución del Parlamento  
de la República Federal de Alemania

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....   | <b>8</b>  |
| Gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial y nacional.....   | 8         |
| Palma de aceite y gases de efecto invernadero .....   | 11        |
| <b>MEJORES PRÁCTICAS BAJAS EN CARBONO<br/>ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE<br/>PALMA CRUDO SOSTENIBLE EN COLOMBIA</b> ..... | <b>14</b> |
| Etapa 1. Planificación .....  | 16        |
| 1.1. Análisis de prefactibilidad y factibilidad de nuevos proyectos .....   | 16        |
| 1.2. Estudios técnicos y ambientales detallados para nuevos proyectos.....  | 21        |
| 1.3. Diseño de los predios palmeros<br>y conceptualización de la planta de beneficio .....  | 22        |
| Etapa 2. Diseño predial y establecimiento del cultivo.....  | 26        |
| 2.1. Preparación del terreno y construcción de infraestructura .....  | 26        |
| 2.2. Establecimiento y manejo de viveros<br>de palma de aceite y de viveros nativos forestales .....                              | 29        |
| 2.3. Siembra .....  | 30        |
| Etapa 3. Operación y mantenimiento del cultivo .....  | 33        |
| 3.1. Labores culturales .....   | 33        |
| 3.2. Manejo nutricional y uso eficiente de fertilizantes.....   | 34        |
| 3.3. Manejo sanitario .....   | 38        |
| 3.4. Cosecha.....   | 39        |
| 3.5. Transporte del fruto .....   | 40        |

|   |           |
|---|-----------|
| Etapa 4. Procesamiento del fruto .....  | 42        |
| 4.1. Proceso de extracción de aceite .....  | 42        |
| 4.2. Servicios industriales.....  | 44        |
| 4.3. Tratamiento de efluentes (POME) y captura del biogás .....                       | 45        |
| 4.4. Aprovechamiento de biomasa (biorrefinería) .....                                 | 47        |
| 4.4.1. Producción de compost y uso de POME .....                                      | 47        |
| 4.4.2. Uso de biomasa sólida<br>para la generación de vapor y energía eléctrica ..... | 48        |
| 4.4.3. Otros usos alternativos de la biomasa .....                                    | 49        |
| Etapa 5. Renovación y/o resiembra.....  | 50        |
| <b>FICHAS TÉCNICAS DE LAS PRÁCTICAS<br/>MÁS REPRESENTATIVAS .....</b>                 | <b>51</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>54</b> |

## LISTADO DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. Etapas y subetapas en las que se enmarcan<br>las mejores prácticas de esta guía .....  | 7  |
| FIGURA 2. Regiones del mundo: participación en las<br>emisiones mundiales de GEI, 2014 (Mt CO <sub>2</sub> eq y %).....  | 9  |
| FIGURA 3. Contribuciones a las emisiones de CO <sub>2</sub> totales del país .....   | 10 |
| FIGURA 4. Requerimientos de insumos para cuatro oleaginosas principales. ....  | 12 |
| FIGURA 5. Aptitud para el cultivo de palma de aceite.....  | 12 |
| FIGURA 6. Exclusiones legales ambientales.....   | 17 |
| FIGURA 7. Ecosistemas boscosos en Colombia .....   | 19 |
| FIGURA 8. Potencial de calentamiento global de cuatro alternativas<br>de uso de subproductos de la agroindustria de la palma<br>de aceite en kg CO <sub>2</sub> eq/t RFF ..... | 37 |



# SIGLAS Y SÍMBOLOS

|                       |   |                       |   |
|-----------------------|---|-----------------------|---|
| AAC                   | Autoridad ambiental competente  | ISCC                  | International Sustainability Carbon Certification                               |
| AFOLU                 | Agriculture, Forestry and Other Land Use (Agricultura, Silvicultura y Otros Cambios de Uso del Suelo) | IPCC                  | Intergovernmental Panel on Climate Change                                       |
| AVC                   | Alto valor de conservación  | MADR                  | Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural                                    |
| APC                   | Aceite de palma crudo   | MADS                  | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible                                  |
| CO <sub>2</sub> eq    | Dióxido de carbono equivalente  | MinCIT                | Ministerio de Comercio, Industria y Turismo                                     |
| Conpes                | Consejo Nacional de Política Económica y Social   | MIPE                  | Manejo integrado de plagas y enfermedades                                       |
| COP                   | Conferencia de las Partes, de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático                           | MOS                   | Materia orgánica del suelo  |
| CUS                   | Cambio de uso de suelo  | Mt CO <sub>2</sub> eq | Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente                                 |
| DBO                   | Demanda biológica de oxígeno  | PB                    | Planta de beneficio   |
| DQO                   | Demanda química de oxígeno  | PNCC                  | Política Nacional de Cambio Climático   |
| ECDBC                 | Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono   | POME                  | Palm Oil Mill Effluent (Efluente de plantas de beneficio de aceite de palma)    |
| GEI                   | Gases de efecto invernadero   | PPB                   | Paisaje palmero biodiverso  |
| Gt CO <sub>2</sub> eq | Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente   | RFF                   | Racimos de fruta fresca   |
| Ha                    | Hectárea  | RSPO                  | Roundtable on Sustainable Palm Oil (Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible) |
| HMP                   | Herramientas de manejo del paisaje  | t                     | Tonelada  |
| Ideam                 | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales  | UMA                   | Unidad de manejo agronómico   |
|                       |   | UPRA                  | Unidad de Planificación Rural Agropecuaria                                      |

# INTRODUCCIÓN

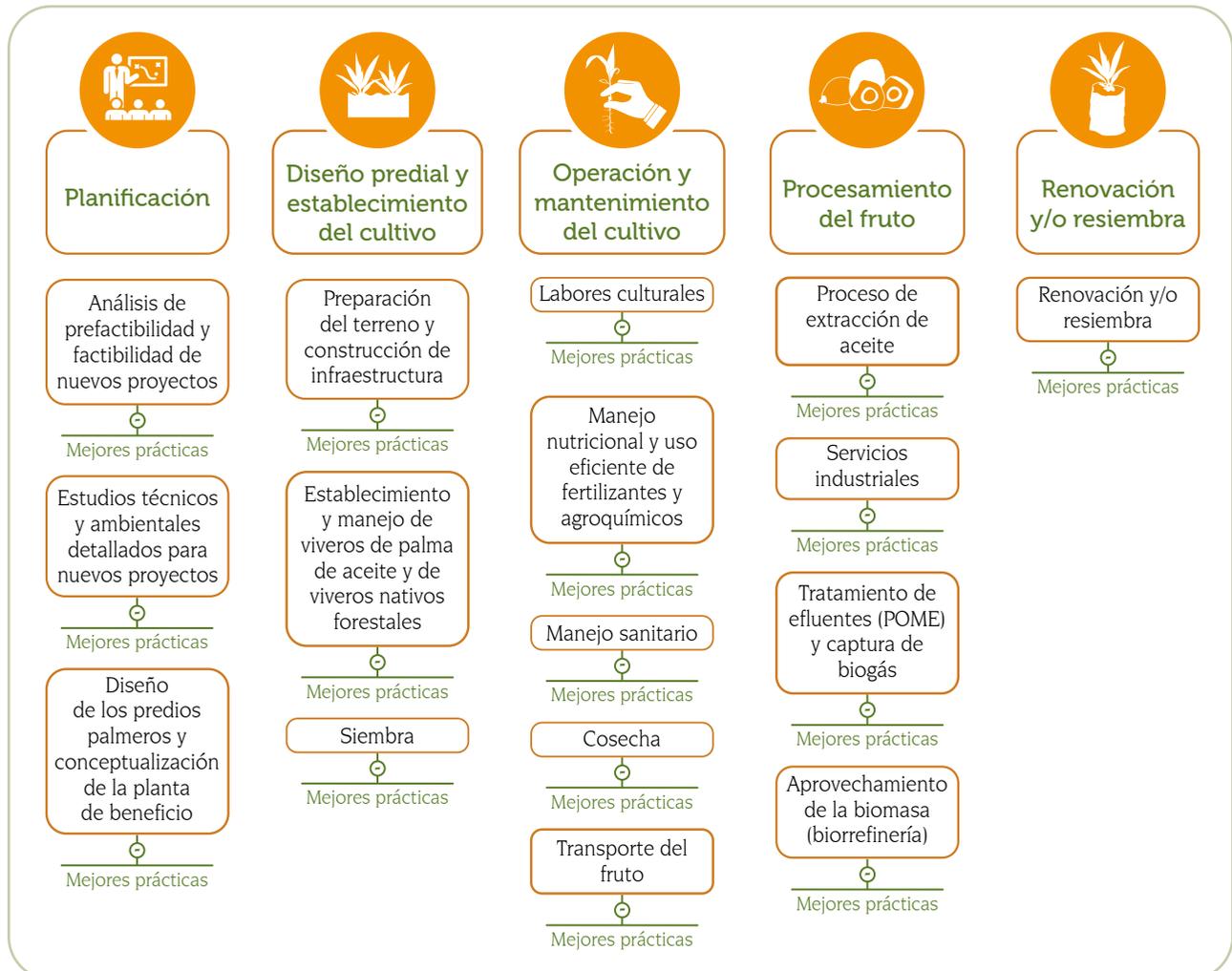
Esta guía es parte de los resultados del proyecto "Planeación climáticamente inteligente en sabanas, a través de la incidencia política, el ordenamiento y las buenas prácticas - Sulu 2", financiado por el Ministerio de Ambiente Alemán, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB), e implementado por WWF-Colombia. El proyecto tuvo como objetivo contribuir a la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad, las reservas de carbono, los regímenes hidrológicos y demás servicios ecosistémicos en las sabanas de la Orinoquia (Colombia) y en el Pantanal (Paraguay). En Colombia, el proyecto contempló un fuerte enfoque en el fortalecimiento de capacidades institucionales, a partir del conocimiento y las herramientas orientadas a la sostenibilidad.

Para el desarrollo de esta guía, WWF-Colombia y Cenipalma adelantaron un convenio de cooperación, con el objetivo de identificar y compilar las prácticas sostenibles del sector palmicultor colombiano que contribuyen a la reducción de las emisiones

de gases de efecto invernadero (GEI), en el que se tuvo en cuenta el proyecto GEF Paisaje Palmero Biodiverso (PPB), investigaciones realizadas por Cenipalma, estudios técnicos del sector, publicaciones e información divulgada por entidades oficiales gubernamentales y no gubernamentales, principios y criterios establecidos por la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por su sigla en inglés), legislación ambiental vigente y entrevistas y reuniones con expertos en temas sobre cambio climático y producción de aceite de palma.

La implementación de las prácticas recomendadas guiará y facilitará la toma de decisiones a los palmicultores a lo largo de las etapas de la producción de aceite de palma crudo (APC) sostenible. La guía está compuesta por cinco etapas: **(1) Planificación, (2) Diseño predial y establecimiento del cultivo, (3) Operación y mantenimiento del cultivo, (4) Procesamiento del fruto, y (5) Renovación y/o resiembra** (Figura 1). Cada etapa describe de forma general los objetivos, las subetapas y la importancia que tiene la implementación de cada práctica para lograr una producción de APC sostenible. Al final de esta guía se encuentran siete fichas técnicas (infografías) en las que se resaltan las prácticas de mayor influencia en la protección de las reservas de carbono y la minimización de las emisiones de GEI.

En Colombia, el proyecto contempló un fuerte enfoque en el fortalecimiento de capacidades institucionales a partir del conocimiento y las herramientas orientadas a la sostenibilidad.



**FIGURA 1.** Etapas y subetapas en las que se enmarcan las mejores prácticas de esta guía

FUENTE: Elaboración propia.

La guía se complementa con la herramienta para la estimación de emisiones de GEI, creada por Cenipalma en el marco de la cooperación con el proyecto Sulu 2, para el cálculo de las emisiones de GEI de la cadena de producción de APC en Colombia. El método de cálculo empleado por dicha herramienta está basado en el análisis del ciclo de vida y en la estimación de las emisiones y remociones de

GEI (ISO 14067), en los lineamientos establecidos para la estimación de emisiones de GEI del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, por su sigla en inglés), en literatura científica e investigaciones desarrolladas para el sector palmero colombiano relacionadas con la productividad y el cambio climático.

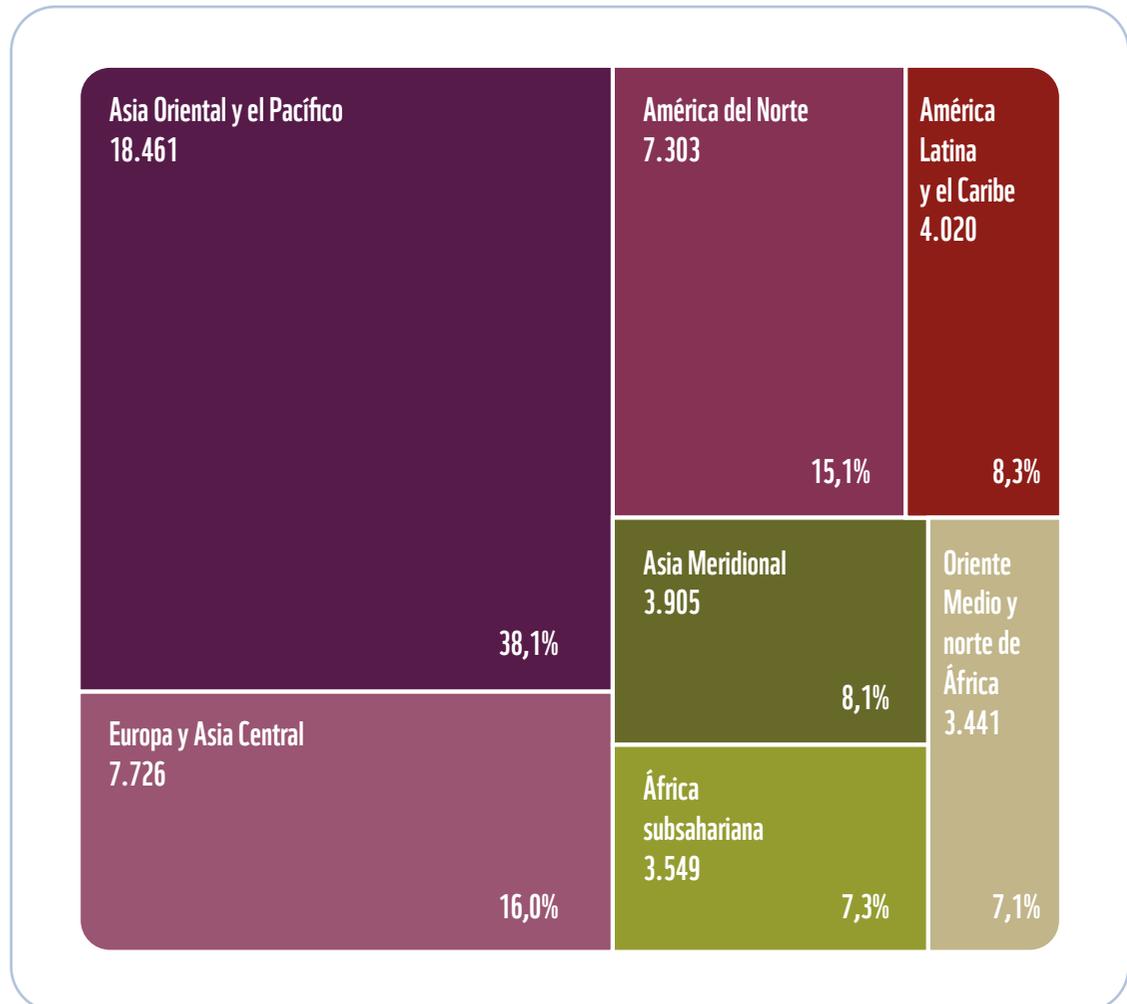
# MARCO CONCEPTUAL



## GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL

Los principales sectores fuentes de emisiones de GEI, a nivel mundial, son los siguientes: energético (35 %), agricultura, ganadería, silvicultura y otros cambios de uso del suelo (AFOLU, del inglés Agriculture, Forestry and Other Land Use) (24 %), industria (21 %), transporte (14 %) y construcción (6 %) [1]. Las emisiones del sector AFOLU (cerca de 10 a 12 Gt CO<sub>2</sub>eq/año) son generadas principalmente por deforestación, emisiones del suelo y manejo de nutrientes asociados a la agricultura y la ganadería. Las estimaciones más recientes indican una disminución en los flujos de CO<sub>2</sub> de este sector, debido

a la disminución de las tasas de deforestación y al aumento de la reforestación [1]. Por lo tanto, se espera que a futuro las emisiones del sector AFOLU continúen disminuyendo, especialmente con el uso de acciones de mitigación como la reforestación y el manejo forestal sostenible, sumado a la correcta gestión de tierras de cultivo y pastoreo, y a la restauración de suelos orgánicos [1]. América Latina y el Caribe contribuyen con menos del 10 % del total global de emisiones de GEI, sin embargo, son altamente vulnerables a los efectos negativos causados por el cambio climático (Figura 2) [2].



**FIGURA 2.** Regiones del mundo: participación en las emisiones mundiales de GEI, 2014 (Mt CO<sub>2</sub> eq y %)

FUENTE: *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: una visión gráfica* [3].

Colombia se posiciona en el puesto 105 en la lista de países con emisiones de GEI per cápita (de mayor a menor), con un valor de 4,2 t CO<sub>2</sub>eq/hab; siendo el sector AFOLU el mayor contribuyente de emisiones de GEI, debido a la deforestación y la fermentación entérica de la producción ganadera [4]; aunque se consideran emisiones moderadas, si se compara con países como Canadá (24,6), Estados Unidos (18,5), Paraguay (16,6), Argentina (9,8) y Ecuador (8,9) [4]. Colombia se comprometió ante la COP21, a reducir

Colombia se posiciona en el puesto 105 en la lista de países con emisiones de GEI per cápita (de mayor a menor), con un valor de 4,2 t CO<sub>2</sub>eq/hab.

en 20 % sus emisiones de GEI (2010 como año de referencia) y dependiendo del apoyo internacional, podría aumentar su meta a 30 % para 2030 [5]. En los últimos años, el Gobierno nacional ha trabajado en la generación de medidas para la reducción de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático, a través de acciones como la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), manejo de bosques (estrategia REDD+), protección del suelo, regulación de la provisión del agua y otros servicios ecosistémicos. Además, se han expedido políticas como el Conpes 3700/2011, que establece la estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático; la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), que permite integrar las consideraciones de adaptación

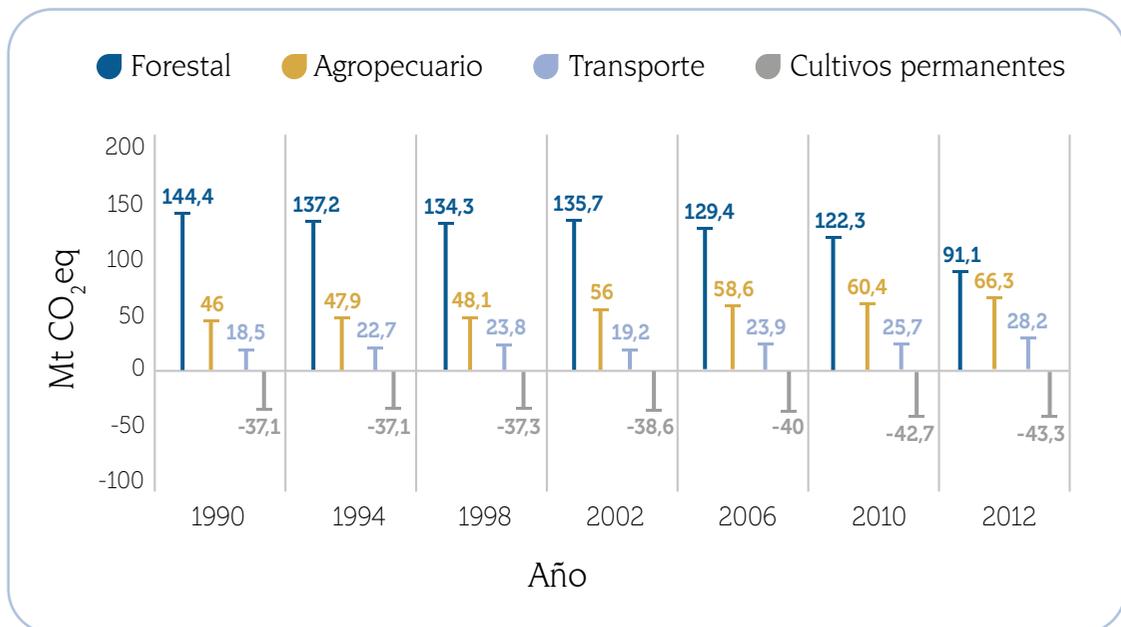
y mitigación de GEI a las decisiones públicas y privadas más relevantes para el desarrollo del país [6]; y la Ley 1931/2018, que establece las directrices para la gestión del cambio climático [7].

Por otro lado, debido al potencial del país para el desarrollo agrícola y el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, el Gobierno colombiano ha adoptado una serie de leyes para promover la producción y el uso de biocombustibles y bioenergía (leyes 697/2001, 939/2004 y 1715/2014). Estas leyes han fomentado el desarrollo de cultivos, como el de caña de azúcar y palma de aceite, para la producción de bioetanol y biodiésel, así como para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa [8].

FIGURA 3.

Contribuciones a las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del país

FUENTE: Inventario Nacional de Emisiones de GEI en el marco de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para el periodo 1990-2012 [4].



En los últimos años, el Gobierno nacional ha trabajado en la generación de medidas para la reducción de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático.

En Colombia, para el periodo 1990-2012 los sectores que tuvieron las mayores contribuciones a las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del país fueron el forestal, agropecuario y transporte (Figura 3). Las emisiones del sector forestal fueron generadas por la deforestación de bosque natural para convertirlo en pastizales, otras tierras forestales y en tierras de cultivos. Las mayores absorciones se lograron con los cultivos permanentes (-37 a -43 Mt CO<sub>2</sub>eq/año); sin embargo, es importante tener en cuenta que hubo emisiones asociadas con la renovación de cultivos de

café, palma de aceite y frutales, que se ven reflejadas en las emisiones del sector agropecuario [4]. A nivel regional se destaca que la región de la Orinoquia, para el 2012, fue la responsable de alrededor del 17 % de las emisiones nacionales relacionadas, en primer lugar, con la deforestación de bosques naturales que pasaron a arbustos, vegetación secundaria y pastizales. En segundo lugar, las emisiones del sector agropecuario producidas principalmente por la fermentación entérica. En tercer lugar, las emisiones de GEI del sector minero y energético [4].



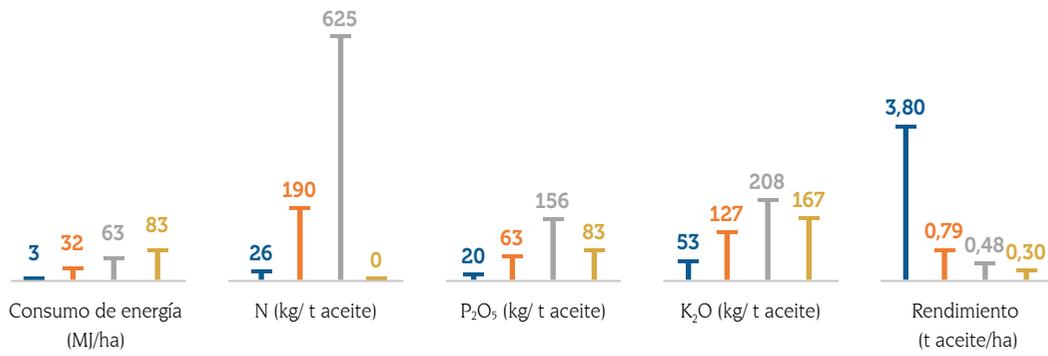
## PALMA DE ACEITE Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

La palma de aceite se considera un motor económico debido a su alta productividad por hectárea, en comparación con otras oleaginosas [9]. En Colombia, para 2018 se contaba con 540.687 ha de palma de aceite sembradas [10], distribuidas en las cuatro zonas palmeras del país (norte, suroccidental, oriental y central). Los principales productos comerciales de la palma de aceite son el aceite de palma crudo (APC) y la almendra. Además, se obtiene biomasa sólida (fibra, tusa y cuesco) y biomasa líquida (Palm Oil Mill Effluent - POME, por su sigla en inglés), que son usados como materia prima para la producción de biocombustibles y bioenergía. A nivel mundial, la palma de aceite ocupa el 7 % de la tierra dedicada al cultivo de oleaginosas, mientras que la soya ocupa el 27 %, la colza el 16 % y el cultivo de girasol el 10 % [11]. De igual forma, el cultivo de palma utiliza menos cantidad de insumos por tonelada de producto en comparación con esas oleaginosas (Figura 4) [11].

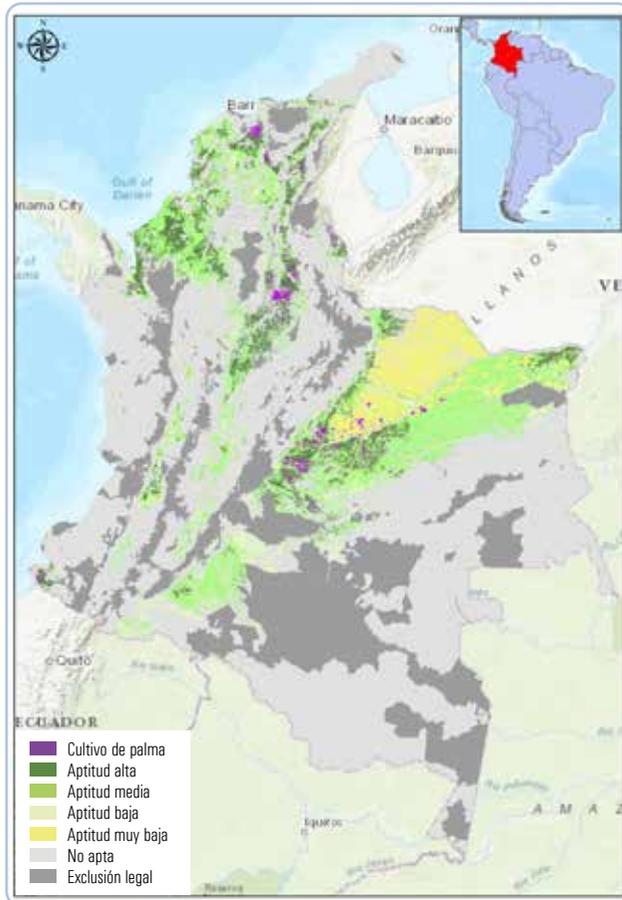




**FIGURA 4**  
Requerimientos de insumos para cuatro aceites principales



FUENTE:  
V. Gkissakis [11],  
Meijaard E *et al.*  
Oil palm [12].



**FIGURA 5**  
Aptitud para el cultivo de palma de aceite

FUENTE:  
UPRA (2018) [18].

Una de las principales preocupaciones mundiales es la deforestación de los bosques, especialmente por la expansión de cultivos como la palma de aceite [13]. Con el fin de mitigar la deforestación, en Colombia se ha trabajado en la actualización de instrumentos claves para la gestión del suelo (definición de la frontera agrícola, mapa de idoneidad del suelo, mapa de conflictos de uso del suelo y mapa de coberturas). Sin embargo, se resalta que varios estudios han reportado que la expansión de los cultivos de la palma de aceite en Colombia se ha asociado principalmente con la conversión de matorrales, tierras de cultivo y sabanas [14, 15, 16, 17]. Colombia tiene un potencial de expansión sostenible de palma de aceite con cero deforestación, ya que según la zonificación de aptitud

para el cultivo comercial de palma de aceite realizada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), en Colombia existen cerca de 23 millones de hectáreas con algún grado de aptitud para el establecimiento del cultivo, de las cuales, el 22 % corresponde a aptitud alta, el 47 % a aptitud media, el 12 % a aptitud baja y el 19 % a aptitud muy baja (Figura 5) [18]. A pesar de lo mencionado, se requieren pautas, políticas y criterios sólidos para promover y regular los recursos naturales y el uso eficiente de la tierra para los cultivos de palma de aceite en el país.

Las emisiones de GEI en la cadena de producción del APC en Colombia están relacionadas principalmente con el cambio de uso del suelo (CUS) realizado antes de la siembra, las emisiones de la fertilización del cultivo, las emisiones del consumo de diésel por el transporte de los racimos de fruta fresca (RFF) y las emisiones del sistema de tratamiento de los efluentes (POME) [16, 19, 20]. Uno de los estudios más representativos fue el cálculo de la huella de carbono para el biodiésel, el cual reportó que el biodiésel de aceite de palma tiene 83 % de potencial de reducción de GEI, en comparación con sus equivalentes fósiles [21], e incluso tiene una mayor reducción de emisiones de GEI que las reportadas por biodiésel en Malasia e Indonesia [22].

Debido a que existe un creciente interés mundial en la biomasa sostenible, se han generado algunas preocupaciones respecto a su forma de producción y uso.



© Humberto Gámez

Debido a que existe un creciente interés mundial en la biomasa como fuente de energía sostenible, se han generado algunas preocupaciones respecto a su forma de producción y uso; sin embargo, con el ánimo de hacer medición y seguimiento a los posibles impactos causados, se han desarrollado sistemas de certificación con criterios e indicadores de sostenibilidad ambiental y socioeconómica [23]. Para evaluar la sostenibilidad de la cadena de producción de aceite de palma, en Colombia se han utilizado dos sistemas de certificación: el primero es la Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO), y el segundo es la International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) [23]. Estos sistemas están basados en los lineamientos de la Directiva de Energías Renovables (RED 2009/28/EC (del inglés Renewable Energy Directive), que es obligatoria para el uso de energía renovable en Europa, y ha sido modificada por la Directiva 2018/2001/UE (RED II), con el fin de incluir criterios de sostenibilidad para las materias primas forestales, así como criterios de GEI para combustibles de biomasa sólidos y gaseosos.

# MEJORES PRÁCTICAS

## BAJAS EN CARBONO ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA CRUDO SOSTENIBLE EN COLOMBIA



El sector agroindustrial afronta el reto de suministrar una gama de productos para satisfacer las necesidades de alimentos, fibras, piensos y materias primas para bioenergía, biocombustibles y biomateriales.

La palma de aceite se ha convertido en una fuente potencial de energía renovable, que genera un aumento en la demanda por este cultivo, debido a esto se espera una expansión de las plantaciones a nivel mundial [13]. Los desafíos a los que lleva esta situación están enfocados en la forma como se produce, transforma y conduce el producto final hacia el consumidor. De ahí que la

producción de palma de aceite requiera buenas prácticas agroindustriales que permitan obtener productos sostenibles. Por ello, Cenipalma y Fedepalma han venido trabajando en el desarrollo de estrategias de innovación y adaptación a los desafíos que enfrenta el sector, a través del cierre de brechas tecnológicas, de productividad, ambientales y sociales, promocionando la producción responsable y los procesos de certificación como RSPO, Rainforest e ISCC [24, 25]. Además, se han concentrado esfuerzos en la consolidación y el fortalecimiento del programa "Aceite de Palma Sostenible de Colombia",

cuyo objetivo es promover la producción sostenible del aceite de palma colombiano y lograr su reconocimiento y consumo en el mercado nacional e internacional. Por tanto, el uso de mejores prácticas en la producción de APC debe responder a estándares de sostenibilidad que permitan integrar a todos los actores de la cadena de producción para aumentar los rendimientos, optimizar los procesos industriales y generar productos de valor agregado que permitan reducir el impacto sobre el ambiente, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Algunas de las prácticas bajas en carbono asociadas al sector de la palma de aceite incluyen usar tierras con bajo contenido de carbono, no deforestar, aumentar el secuestro de carbono en suelos cuyas áreas sean consideradas aptas para el desarrollo del cultivo, optimizar el uso de nitrógeno en la nutrición del cultivo, aumentar los rendimientos (t APC/ha), capturar y aprovechar el metano proveniente del POME, reducir el consumo de combustibles fósiles, usar biomasa para la producción de bioenergía y usar eficientemente los recursos naturales (agua, aire, suelo) y otros insumos [26, 27].

A continuación, se explican con detalle las etapas, las subetapas y se presentan las mejores prácticas que contribuyen a desarrollar un proyecto palmero con bajas emisiones de GEI.



# ETAPA 1



## PLANIFICACIÓN

Para el desarrollo de un proyecto, la planificación es una etapa clave, ya que abarca el proceso que va desde la concepción del proyecto, pasando por el análisis de factibilidad y la realización de estudios específicos, hasta llegar al diseño del predio palmero/planta de beneficio. Para el establecimiento de proyectos nuevos, la concepción del área para el cultivo y/o la planta de beneficio, da la oportunidad de alinear los objetivos del productor con las estrategias sectoriales y nacionales que incluyen, entre otros aspectos, los planes para mitigación y adaptación al cambio climático. En el proyecto GEF-PPB se han contemplado varios pasos que apoyan a los productores en la toma de decisiones para lograr una planificación integral y sostenible de los cultivos de palma de aceite, como son el uso del suelo y la adopción de prácticas agroecológicas para proteger los recursos naturales en las zonas de expansión. Por tanto, realizar una planificación integral permite identificar potenciales de prevención, mitigación o control, y facilita la planificación de un proyecto

en armonía con su entorno natural. En esta etapa se profundiza en las mejores prácticas para tres subetapas: (1) análisis de prefactibilidad y factibilidad de nuevos proyectos, (2) estudios técnicos y ambientales detallados para nuevos proyectos, y (3) diseño de los predios palmeros.

### 1.1

#### ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD DE NUEVOS PROYECTOS

En esta subetapa se evalúan todas las consideraciones para el desarrollo del proyecto, como por ejemplo, el tamaño y localización, tecnologías accesibles para el proceso de producción, acceso a mano de obra, proveedores, acceso del producto al mercado, riesgos, etc. Sin embargo, teniendo en cuenta que la principal fuente de emisiones de GEI asociada al desarrollo de un nuevo proyecto palmero está relacionada con el CUS [28], en esta subetapa se identifican las prácticas más representativas para prevenir dichas emisiones, además de minimizar la afectación de áreas de alto valor de conservación (AVC) y evitar sobrecostos por impactos negativos a nivel ambiental y social.

En la etapa de planificación se deben tomar decisiones que garanticen la protección de las reservas de carbono contenidas en la cobertura vegetal y en el suelo del área de influencia.

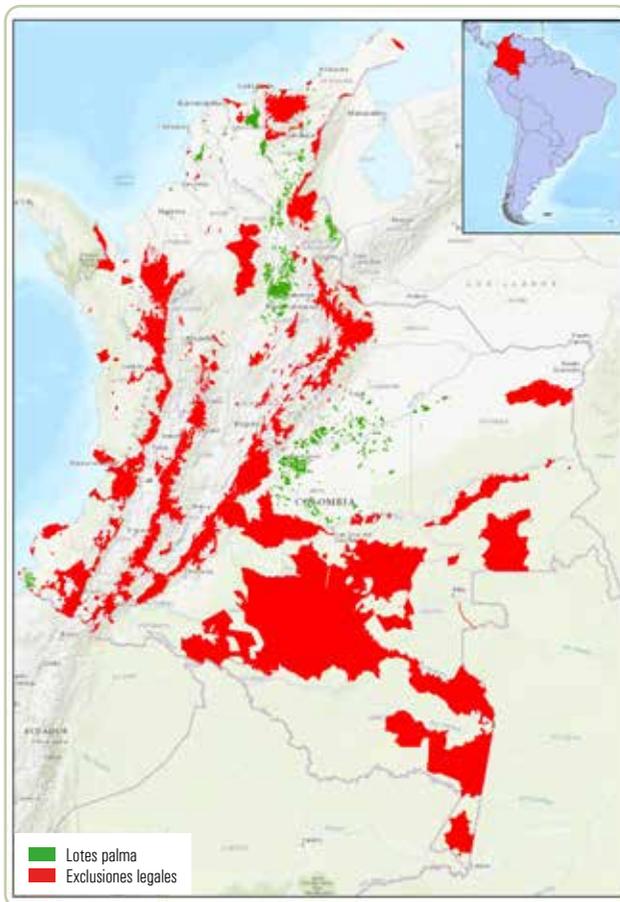


### Mejores prácticas

- **Evitar el impacto del cambio del uso del suelo (CUS) mediante un análisis detallado de este,** con el objetivo de definir el área más adecuada para el establecimiento del proyecto palmero, el cual debe considerar:
  - **No desarrollar nuevos proyectos palmeros en zonas de exclusión legal ambiental.** Para ello, se deben identificar las áreas en las que no está permitido el desarrollo de actividades agropecuarias como Parques Nacionales Naturales (PNN), Parques Regionales Naturales (PRN), bosques naturales y reservas

forestales establecidas por la Ley 2 categoría A [29, 30]. Estas áreas son consideradas de exclusión legal y se reconocen en la delimitación de la Frontera Agrícola Nacional del MADR y el mapa de zonificación de aptitud para cultivo comercial de palma de aceite de la UPRA [31]. En caso de que el área prevista para el desarrollo del proyecto forme parte de esas áreas de exclusión legal (Figura 6), se debe modificar la ubicación y/o extensión del proyecto.

- **Identificar y preservar los sistemas de humedales y sabanas inundables.** Si se cuenta con algunos de estos ecosistemas en las áreas donde se desarrolla el proyecto, estos no deben transformarse. El CUS de estos ecosistemas a palma de aceite resultaría en mayores emisiones de GEI, dados los innumerables e invaluable servicios ecosistémicos que brindan; por ejemplo, seguridad alimentaria, regulación del clima y de los regímenes hidrológicos y biogeoquímicos, reducción en el riesgo de desastres, productividad primaria, flujo de energía, entre otros, por lo que cualquier alteración puede afectar el equilibrio de estos procesos [32]. Según



**FIGURA 6**  
Exclusiones  
legales  
ambientales

FUENTE:  
UPRA (2018) [18].

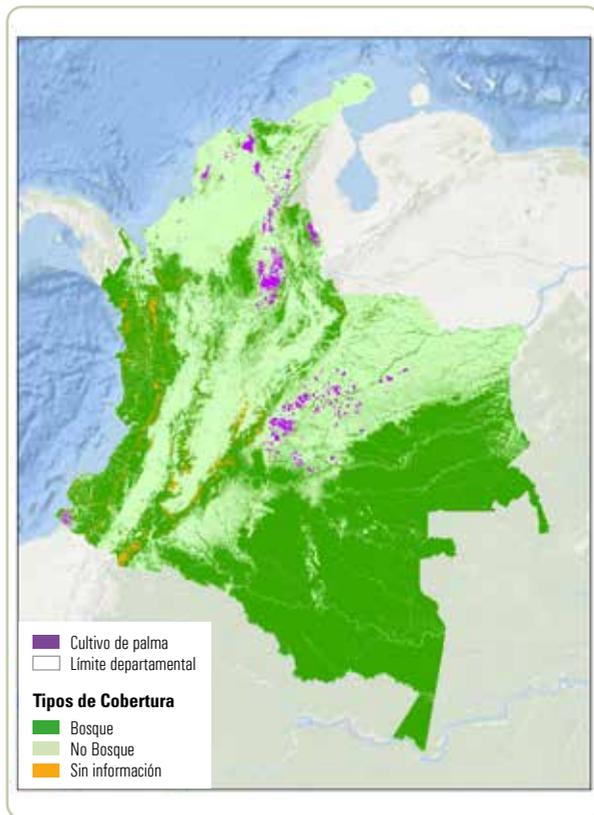
la *Perspectiva mundial sobre los humedales*, emitida por Ramsar, la mayor parte de la reserva mundial de carbono del suelo se encuentra en los humedales [32]. El secuestro y almacenamiento de carbono es el resultado del equilibrio entre la toma de CO<sub>2</sub> para los procesos de fotosíntesis y la producción de materia orgánica del suelo (MOS), y la descomposición de la misma.

- **Identificar y preservar otras áreas de importancia ambiental.** Analizar la presencia de áreas protegidas bajo distinción internacional, como las reservas de la biosfera, los distritos de manejo integrado y los distritos de conservación de suelos [33]. Se resalta también la protección de las áreas de AVC, debido a que poseen un valor intrínseco por el cual deben ser preservadas y conservadas. Estas áreas son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático [30], por lo que se requiere identificar sus características y desarrollar un plan de acción que tenga en cuenta la presencia de especies,

ecosistemas y servicios ecosistémicos, y que prevenga o mitigue la alteración y/o modificación de los ciclos naturales.

- **Identificar áreas idóneas para el establecimiento del cultivo.** Analizar las alternativas de aptitud del suelo para la ubicación del proyecto palmero, seleccionando aquellas áreas que tengan un menor impacto por CUS a palma de aceite. Se debe priorizar el establecimiento de proyectos nuevos en áreas previamente intervenidas, como cultivos, pastizales y áreas degradadas o con bajas reservas de carbono.
- **Mantener las coberturas boscosas** (Figura 7). Los sistemas boscosos son considerados áreas con altas reservas de carbono. Las coberturas arbóreas son las responsables de absorber CO<sub>2</sub>, almacenarlo y transformarlo en O<sub>2</sub>. Los procesos de deforestación alteran el flujo de energía y agua entre la tierra y la atmósfera, modificando el flujo natural de los ciclos biogeoquímicos y alterando el funcionamiento de los ecosistemas. La exclusión de estos ecosistemas va acorde con los compromisos internacionales de Colombia en materia de cero deforestación y de biodiversidad [30]. Fedepalma, algunas entidades gubernamentales (MADS, MADR, MinCIT e Ideam) y varias organizaciones de la sociedad civil firmaron el "Acuerdo de voluntades para la deforestación cero en la cadena de palma en Colombia" [34]. Este acuerdo incluye objetivos como el incremento de la producción de manera sostenible y climáticamente inteligente, es decir, reduciendo emisiones de GEI e implementado prácticas de adaptación frente al cambio climático.





El IPCC estima que las emisiones de GEI provenientes de la deforestación y otras actividades de CUS en los trópicos, son de alrededor de 1,6 Gt CO<sub>2</sub>eq/año, es decir, entre el 10 % y el 15 % del total de las emisiones antrópicas.

Al convertir tierras de cultivo o pastizales en bosques o plantaciones, se estima que el secuestro de carbono varía entre 5,7 t CO<sub>2</sub>eq/ha-año y 7,5 t CO<sub>2</sub>eq/ha-año. Sin embargo, debe tenerse en cuenta el ecosistema original del territorio e identificar el valor de sus servicios ecosistémicos, con el fin de preservar las condiciones más favorables para el territorio [36].

El IPCC estima que las emisiones de GEI provenientes de la deforestación y otras actividades de CUS en los trópicos

son de alrededor de

1,6 Gt CO<sub>2</sub>eq/año

es decir, entre

10% y 15%

del total de las emisiones antrópicas



- **Planificar nuevos proyectos palmeros en áreas que cumplan con los requerimientos climáticos para el cultivo.** Esta actividad favorece la tasa de crecimiento y productividad del cultivo. Además, reduce el consumo de recursos (agua, suelo, nutrientes) e insumos, evitando las emisiones de GEI por la producción y el uso de esos recursos e insumos (p. ej.: Sistemas de riego, fertilizantes, agroquímicos y energía para riego). Entre las condiciones para el desarrollo del cultivo de palma de aceite de la guía de Cenipalma [37] se listan las siguientes:
  - Precipitación anual: 2.000 mm - 2.500 mm
  - Precipitación mensual: mínimo 100 mm en todos los meses del año
  - Déficit de agua anual: <200 mm
  - Brillo solar: >5,5 horas/día
  - Radiación solar: >16 MJ/m<sup>2</sup>/día
  - Temperatura media: 22 °C - 32 °C
  - Humedad relativa: 75 % - 85 %
- **Planificar la ubicación de la planta de beneficio.** En caso de que el proyecto palmero incluya la construcción de la planta de beneficio, la zona industrial debe estar concéntrica a las plantaciones de palma. De esta forma se podrían reducir



En caso de que el proyecto palmero incluya la construcción de la planta de beneficio, la zona industrial debe estar concéntrica a las plantaciones de palma.

los tiempos y movimientos del transporte de fruto a la planta de beneficio.

- **Cuantificar la oferta hídrica del área en donde se vaya a establecer el proyecto palmero.** Teniendo en cuenta la cantidad de agua que requiere el proyecto (cultivo/planta de beneficio), se debe cuantificar la oferta y la demanda hídrica de la cuenca de su área de influencia. El exceso o falta de agua al cultivo puede generar problemas fitosanitarios y de estrés hídrico que se relacionan directamente con la productividad del cultivo. Generalmente, la baja productividad del cultivo conduce al aumento en el uso de recursos e insumos, lo que genera el aumento de las emisiones de GEI [30]. Además, se debe considerar la importancia del agua en el procesamiento de RFF, de manera que conocer la relación de consumo de agua permite desarrollar una planeación más efectiva.
- **Analizar los riesgos ambientales a los que puede estar expuesto el proyecto palmero.** Se debe tener en cuenta que Colombia es uno de los países con mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático (p. ej.: fenómenos de El Niño y de La Niña, inundaciones, derrumbes, etc.) [30]. Además, muchos de los proyectos palmeros se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo de inundación o de sequía, por lo que un análisis de los riesgos ambientales puede contribuir a establecer planes con medidas preventivas para evitar la pérdida de palmas, especialmente por la incidencia de enfermedades y/o de estrés hídrico prolongado. Se sugiere consultar las recomendaciones dadas por el proyecto GEF-PPB, concernientes a la oferta y el riesgo ambiental [30].

## 1.2 ESTUDIOS TÉCNICOS Y AMBIENTALES DETALLADOS PARA NUEVOS PROYECTOS

Realizar estudios técnicos y ambientales facilita la toma de decisiones para el diseño y el desarrollo del proyecto, incluido el uso eficiente de los recursos disponibles. En estos estudios se analiza el tamaño del área a sembrar, las áreas que serán destinadas para protección y conservación, los requerimientos de riego, entre otros. Estos estudios recopilan la información a escala del predio que permite conocer al detalle las características del terreno para elaborar los planes de manejo operacional y ambiental. Sin embargo, los pasos clave para la reducción de las emisiones de GEI en esta subetapa están relacionados con los estudios detallados de las áreas que se van a proteger, conservar o restaurar (como se mencionó anteriormente, el CUS puede generar la mayor cantidad de emisiones por remoción de las reservas de carbono del suelo). Con estos estudios también es posible analizar las tecnologías disponibles para el trabajo en campo y el proceso de extracción del aceite de palma en la planta de beneficio, que incluyan alta eficiencia de los procesos, especialmente en el ahorro de agua y energía, y plantear alternativas que vayan alineadas con el desarrollo de un proyecto palmero bajo en carbono.



### Mejores prácticas

- **Realizar un estudio detallado de suelos** que permita identificar el tipo (suelos frágiles, marginales, de pendientes elevadas, etc.) del predio, para seleccionar las áreas más aptas para el establecimiento del cultivo. Se excluyen aquellos suelos con alta vulnerabilidad o riesgo en los cuales no se debe sembrar palma, o en los que se deben implementar medidas especiales y mejorar sus características antes de la siembra [38], lo que se reflejará en un aumento de emisiones de GEI por la aplicación de insumos. Además, este análisis permite no solo estimar el potencial de captura de carbono superficial (coberturas) y subterránea (suelo y raíces) asociado al estrato de la cobertura original y a la siembra de la palma, sino establecer acciones para la protección del suelo que eviten la pérdida de propiedades fisicoquímicas y la liberación de carbono. Asimismo, es clave para formular el programa de manejo nutricional de la plantación que permitirá un manejo sostenible de fertilizantes y acondicionadores del suelo [39].
- **Identificar estrategias para aumentar la vegetación natural** que permita capturar más carbono en el predio productivo palmero. Entre las lecciones aprendidas del proyecto GEF-PPB [40], se especificó el uso de herramientas de manejo del paisaje (HMP) que contribuyen a la conservación de especies nativas del área de influencia del proyecto y a la captura de carbono en el predio productivo. Se resalta el desarrollo de viveros con especies nativas que pueden ser usados para el enriquecimiento de fragmentos de bosque, siembra de nectaríferas y de cercas vivas.

- **Generar información detallada a nivel de predio de las áreas de protección y conservación**, así como identificar y cuantificar sus servicios ecosistémicos. Esto tiene como finalidad evitar la intervención y alteración de ecosistemas con altas reservas de carbono o de AVC, especialmente de ecosistemas naturales, ecosistemas raros, servicios de protección y control, y concentración de diversidad de especies [38] y de las condiciones naturales de relieve, ya que son las que se relacionan directamente con el contenido de carbono del suelo. Con este estudio se podrán evaluar diversos escenarios que se adapten a las características del área.
- **Tramitar los permisos ambientales pertinentes al proyecto**, especialmente los relacionados con la mitigación de emisiones de GEI, como por ejemplo, los permisos de aprovechamiento forestal, de vertimientos y de emisiones atmosféricas. Los permisos ambientales certifican que el desarrollo de la actividad ha sido aprobada por la autoridad competente (AAC), bajo el condicionamiento de cumplir con algunas medidas, lo que permite el planteamiento de acciones para prevenir y mitigar las emisiones de GEI desde el inicio del proyecto.



Los permisos ambientales certifican que el desarrollo de la actividad ha sido aprobada por la autoridad competente.

## 1.3

DISEÑO DE LOS PREDIOS PALMEROS Y  
CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PLANTA  
DE BENEFICIO

El diseño de los predios palmeros y la ubicación y conceptualización de la planta de beneficio se deben realizar desde el inicio del proyecto, basado en los resultados de los estudios técnicos y ambientales. El diseño permite determinar las potencialidades y restricciones con las que cuenta el terreno, e identificar y evaluar alternativas que permitan acentuar las características del terreno y generar las mejores condiciones para el establecimiento del cultivo y la ubicación de la planta de beneficio. Un mejor diseño de predios palmeros en armonía con la biodiversidad y su entorno natural se verá reflejado en el aumento de la productividad, el almacenamiento de carbono y la conservación del ambiente [30]. Más allá del cultivo de la palma, se pretende mantener las áreas de importancia ambiental, las de AVC, como la principal reserva de carbono [30, 40]. En el diseño predial, además de los aspectos ambientales, se deben incluir variables técnicas para el trazado de vías o infraestructura para el transporte de los RFF a la planta de beneficio, canales de riego y drenaje, orientación y tamaño de los lotes e infraestructura asociada. El diseño adecuado del proyecto puede potenciar la captura de carbono mediante la implementación de mejores prácticas en el momento más apropiado. Además de asegurar que el proyecto se establezca en condiciones técnicas, ambientales y sociales viables en el corto, mediano y largo plazo, mediante la implementación de acciones enmarcadas dentro del enfoque de sostenibilidad.



© Ignacio Ramírez



### Mejores prácticas

- **Diseñar el proyecto palmero, teniendo en cuenta los análisis del estudio de suelo.** La definición de las áreas del predio con mayor aptitud para la siembra de palma debería excluir áreas con condiciones especiales como suelos frágiles, marginales y de pendientes elevadas. Los suelos con este tipo de condiciones son considerados de alta vulnerabilidad y riesgo, donde no se debe sembrar palma o implementar medidas especiales de manejo continuas [38]. Estas medidas implicarían un aumento de emisiones de GEI, por la aplicación de insumos necesarios para la adaptación y mantenimiento de las características específicas del suelo, originando a la vez un menor potencial de rendimiento del cultivo.

El área de siembra de palma está relacionada con la cantidad de fertilizantes y acondicionadores requeridos para el suelo, por lo que con los resultados del estudio de suelos se genera el diagnóstico de las necesidades de fertilización

del cultivo. Esta es una de las actividades más relevantes y eficientes para establecer el diseño de las unidades de manejo agronómico (UMA) y el plan de fertilización (dosis, tipo de fertilizante, época de aplicación). De no realizar este estudio, se podría incurrir en el uso de mayor cantidad de estos insumos, lo que implicaría un aumento en las emisiones de GEI, tanto por la producción como por la aplicación de insumos en el terreno.

- **Diseñar el proyecto palmero en el que se incluyan los lugares más apropiados para la implementación de las estrategias que contribuyen a conservar/aumentar las reservas de carbono.** Según la estrategia que haya sido seleccionada para implementar en el área de influencia del proyecto, a partir de la identificación realizada en los estudios previos, se debe identificar el lugar de ubicación y tener en cuenta los criterios nombrados a continuación:

- **Incorporar cobertura boscosa en los predios.** Se debe analizar el ecosistema característico del lugar y entender su función y los servicios ecosistémicos que presta. Se recomienda tener en cuenta las cartillas de *Identificación y Manejo de Altos Valores de Conservación (AVC)* y el *brochure ABC de los AVC* [41], publicados por el proyecto GEF-PPB [30].
- **Incorporar herramientas de manejo del paisaje (HMP).** Para el caso de la siembra de especies nativas en vivero, se debe iniciar el proceso desde la selección del terreno, la recolección y siembra de las semillas nativas [40] hasta la selección del área para la ubicación de las plantas. Se recomienda tener en cuenta el *brochure* de HMP, publicado por el proyecto GEF-PBB [40].



© Carlos Varona

- **Diseñar el predio con un enfoque productivo y sostenible.** La productividad del cultivo está relacionada con las condiciones del clima, el suelo, el agua, el cultivar, la siembra, entre otros [39]. Por lo que se deben considerar el diseño de las UMA dentro del diseño de predios. La información recolectada en el diseño predial con base en los análisis de AVC y de suelos, características genéticas del cultivar, disponibilidad de agua, etc., determinará el potencial de rendimiento del cultivo y favorecerá la conservación del contenido de carbono y la protección de los recursos naturales (agua, aire, suelo y biodiversidad) [42]. La gestión integral de los recursos naturales tiene como objetivo preservar y conservar sus características principales a lo largo del tiempo, asegurando la prestación de bienes y servicios a corto, mediano y largo plazo.
- **Analizar y diseñar los métodos de cosecha, alce y transporte de racimos de fruta fresca.** Analizar alternativas de sistemas con métodos parcialmente mecanizados, usando maquinaria agrícola (cable vía, tractores...) y animales de tracción como búfalos, y sistemas mecanizados como el método *grabber*. De acuerdo con las condiciones del terreno y de la logística diseñada, algunos métodos pueden ser más eficientes con menos generación de emisiones de GEI [43].
- **Diseñar la planta de beneficio, teniendo en cuenta criterios técnicos,** como la topografía y las operaciones del proceso. Se recomienda que el proceso de extracción sea constante, es decir, que los tiempos y movimientos en todas las secciones permitan mantener o incrementar la eficiencia del proceso, evitar pérdidas de aceite/almendra

y el consumo innecesario de recursos como energía y agua.

- **Realizar balances de masa y energía** para identificar las entradas y salidas de los insumos como agua, electricidad, diésel y otros, y de esta forma generar estrategias de reducción en los consumos y aumento en la eficiencia del uso de los recursos.
- **Diseñar el sistema de tratamiento de efluentes basado en estudios previos** y teniendo en cuenta criterios como características del suelo, estudios topográficos del terreno, evacuación de lodos de fondo, salida de vertimientos, captura del biogás y los requerimientos ambientales que permitan el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normatividad nacional y regional.
- **Incluir el uso eficiente de energía.** El uso de energía renovable contribuye a la reducción de emisiones de GEI. En el diseño de las instalaciones (bodegas, oficinas, talleres, laboratorios) se debe preferir el uso de energía renovable como la generada a partir de paneles solares, biomasa o biogás, entre otros. Además, incluir el uso

de ventanas que mejoren la iluminación interior y reduzcan el uso de bombillas, y la siembra de árboles que proporcionen sombra y contribuyan a reducir el uso de sistemas de enfriamiento. La implementación de buenas prácticas ambientales, como el uso de bombillas ahorradoras y electrodomésticos con consumo eficiente, contribuyen a reducir el consumo de energía.

- **Evaluar la implementación de tecnologías eficientes en los procesos productivos y reutilizar los flujos de materia y energía** [44]. El uso de maquinaria con consumo eficiente de diésel contribuye a reducir las emisiones de GEI, por lo que se recomienda que las labores del cultivo sean realizadas con maquinaria de tecnología eficiente. Para el caso de la planta de beneficio, el diseño debe incluir la adquisición de equipos eficientes para el proceso de extracción del APC y la almendra. En cuanto al reúso de materia y energía, las plantas de beneficio han optado por la generación de energía a partir de biomasa (fibra, cuesco y tusa) y biogás. Estos procesos incluyen el uso de equipos con tecnologías eficientes.



El uso de maquinaria con consumo eficiente de diésel contribuye a reducir las emisiones de GEI, por lo que se recomienda que las labores del cultivo sean realizadas con maquinaria de tecnología eficiente.

## ETAPA 2

DISEÑO PREDIAL  
Y ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

En esta etapa se materializan los diseños de los predios palmeros y es clave para la implementación de las mejores prácticas agroindustriales. El establecimiento del cultivo de forma sostenible potencializa la protección y conservación de las reservas de carbono y de los ecosistemas, contribuye al aumento de los rendimientos, y previene/mitiga los impactos ambientales y sociales identificados en la etapa de estudios técnicos y ambientales. Es importante que todos los involucrados en el establecimiento del cultivo tengan conocimiento y entiendan los diseños y metodologías de trabajo, para reducir errores que puedan incrementar las emisiones de GEI (eliminar zonas de importancia ambiental, usar suelos con altos contenidos de carbono, intervenir ecosistemas de alta importancia ecológica, como humedales, entre otros) dentro del proyecto. Esta etapa se compone de tres subetapas: (1) preparación del terreno y construcción de infraestructura, (2) establecimiento de viveros de palma de aceite y viveros nativos, y (3) siembra.

El establecimiento del cultivo es la etapa que materializa los diseños de los predios palmeros y es clave para la implementación de las mejores prácticas agroindustriales.

## 2.1

PREPARACIÓN DEL TERRENO  
Y CONSTRUCCIÓN DE  
INFRAESTRUCTURA

En el establecimiento de nuevos proyectos, esta subetapa debe garantizar la ejecución del diseño aprobado, ya que, de lo contrario, se pueden generar impactos negativos o irreversibles asociados a las emisiones de GEI, como la intervención de áreas estratégicas para la conservación o amortiguación, o la alteración de ecosistemas de alta importancia ecológica. El uso inadecuado del suelo pone en riesgo la calidad\* y el aprovechamiento de este, además de afectar su composición y reducir los niveles de carbono. La implementación de prácticas que incluyan el reciclaje de MOS y la adecuación del terreno, reducen la pérdida de las propiedades fisicoquímicas del suelo [45]. Se debe tener en

\* Capacidad del suelo de funcionar, dentro de las fronteras del ecosistema y el uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental y fomentando la salud de plantas, animales y seres humanos [85].

cuenta que un suelo se considera de buena calidad para la siembra [37, 46] si:

- Permite que el agua lluvia penetre en él y se redistribuya en el volumen ocupado por las raíces.
- Permite que las raíces puedan desarrollarse con facilidad durante su crecimiento.
- Posee una porosidad mínima del 50 % con una buena distribución de macro, meso y microporos.
- Posee buen nivel de nutrientes, en formas disponibles y buena capacidad de restitución.
- Posee un contenido adecuado de MOS.
- Son profundos, sin limitantes por lo menos en los primeros 70 cm de profundidad; con alto contenido de materia orgánica, aireados y sin problemas de compactación.



#### Mejores prácticas

- **Delimitar las áreas destinadas para protección y conservación**, de acuerdo con los diseños establecidos previamente. Garantizar que estos sean conocidos y entendidos por los trabajadores involucrados en la actividad, reducirá los errores de demarcación y ejecución [38].
- **Proteger/conservar los bosques de galería y/o las áreas definidas para las rondas hídricas.** Se ha definido que la ronda hídrica es la faja paralela

al cauce permanente de ríos y lagos y debe ser hasta de 30 m de distancia [47]. Las rondas hídricas son consideradas áreas de alta importancia ambiental para el correcto funcionamiento del ecosistema, así como para garantizar conectividad entre diferentes ecosistemas, proteger la integridad de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas, regular el microclima, almacenar carbono y servir como barreras protectoras. En caso de requerirse, se debe realizar la restauración, mantenimiento y reforestación de la zona con especies vegetales nativas.

- **Adecuar el suelo.** La adecuación del suelo para la siembra, drenaje, conservación, mecanización, tipo y cantidad de fertilizantes requeridos para lograr un rendimiento adecuado del cultivo, se debe hacer basado en las características del suelo, obtenidas de los análisis realizados en la etapa anterior. Esta práctica contribuye a controlar la temperatura, mejorar la estructura, reducir la pérdida de suelo y aumentar la retención de nutrientes y el rendimiento [48]. El manejo nutricional del suelo durante su adecuación tiene efectos en la conservación, aumento o disminución de MOS, almacenamiento de carbono y, en general, en las propiedades fisicoquímicas del suelo. En lo posible, la adecuación del suelo se debe hacer mediante el uso de técnicas y estrategias enmarcadas dentro de la agricultura de conservación, como la siembra directa (sin labores de labranza), la aplicación de fertilizantes orgánicos como reemplazo de una fracción de fertilizantes minerales, la gestión integrada de plagas y malezas, entre otras.

**La adecuación del suelo mediante métodos enmarcados dentro de la agricultura de conservación puede reducir hasta el 60 % del uso de combustibles [49].**

- **Limitar la práctica de labranza tradicional a situaciones extremas**, como alta compactación, drenaje pobre de suelos arcillosos o endurecimiento de capas subsuperficiales (labranza con arados de disco, subsoladores y rotovatores). Las actividades de labranza y siembra extensiva sobre pendientes mayores al 12 % [45] deben evitarse, para proteger y conservar las propiedades fisicoquímicas del suelo, principalmente el contenido de MOS y la relación N/C [50]; al igual que evitar procesos de erosión y escorrentía.
- **Implementar enmiendas para la adecuación química del suelo.** Algunos de los suelos dedicados al cultivo de palma en Colombia presentan condiciones de acidez, con alta saturación de Al y bajos

●.....●  
Algunos de los suelos dedicados al cultivo de palma en Colombia presentan condiciones de acidez, con alta saturación de Al y bajos niveles de P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes.

niveles de P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes. Estas condiciones afectan parámetros como la densidad, el crecimiento radicular, la tasa fotosintética y la toma de nutrimentos, que están relacionados con el rendimiento, la productividad y la emisión de GEI. La eficiencia agronómica de las enmiendas depende de la pureza química de la fuente, la forma química y el poder relativo de neutralización [37].

- **Implementar tecnologías de bajo impacto para la construcción de vías, infraestructura, canales de riego y drenajes**, para evitar la transformación del suelo y la pérdida del carbono almacenado en él [38]. La compactación del suelo impide la entrada de aire, agua y nutrientes, lo que afecta el crecimiento de fauna benéfica cuya función es favorecer condiciones de sanidad, desarrollo radicular y aireación del suelo.
- **Hacer los canales de riego y drenaje teniendo en cuenta el diseño y las técnicas definidas en los estudios realizados en la etapa de planificación.** El trazado de los canales permite el adecuado manejo del agua a velocidades no erosivas (para el caso de drenaje), posibilitando que el contenido de humedad en el cultivo sea apropiado para el sistema radicular y la estimulación del desarrollo de las palmas [51], y evitando problemas de sedimentación y erosión, lo que se traduciría en pérdidas de carbono.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación de personal**, con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para la adecuada preparación del terreno y la construcción de infraestructura.

2.2

ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE  
VIVEROS DE PALMA DE ACEITE Y DE  
VIVEROS NATIVOS FORESTALES

El establecimiento de los viveros de palma de aceite se realiza con el propósito de llevar al campo palmas de buena calidad y en el momento adecuado para la siembra. El establecimiento de viveros incluye la construcción de infraestructura, selección de cultivares/especies, métodos de siembra, labores culturales (riego, fertilización, control de plagas y enfermedades) y preparación de las plantas para la siembra en terreno [52]. El establecimiento de viveros facilita el cuidado de los cultivares y las especies vegetales desde la etapa inicial, debido a que esta etapa es crítica para el desarrollo de las plántulas. Un adecuado manejo del vivero reduce las emisiones de GEI causadas por la pérdida de plántulas y de insumos. Los viveros nativos forestales cumplen una importante función, ya que es el punto de partida para la implementación de los planes de protección y conservación de áreas boscosas naturales, que entre sus funciones tienen el aumento de las reservas de carbono dentro del predio palmero, la conectividad entre ecosistemas y la conservación de especies. Los viveros también contribuyen en la implementación de las HMP, siendo útiles para el establecimiento de cercas vivas o líneas de árboles, corredores biológicos, nectaríferas, y para la protección y conservación de rondas hídricas [52]. Hay que tener en cuenta que el momento y el tipo de HMP debe adaptarse a la clase de terreno y/o de ecosistema; por ejemplo, las HMP que se implementan en un sistema boscoso pueden ser diferentes a las HMP que se implementarían en humedales o sabanas inundables.



© Fedepalma



Mejores prácticas

- **Realizar la selección de cultivares de palma y de especies vegetales nativas**, teniendo en cuenta características como adaptabilidad edáfica y climática, morfofisiología, estados fenológicos, resistencia a enfermedades, respuesta por aplicación de agroquímicos y consumo hídrico, entre otros [53].
- **Identificar el tipo de ecosistema/ cobertura del área que se va a restaurar, reforestar o conservar dentro del predio palmero.** Se deben tener en cuenta los resultados de los estudios realizados previamente, para identificar las áreas donde se sembrarán las plántulas que salgan del vivero (p. ej.: bosque seco, bosque húmedo, humedal, sabana alta, sabana inundable, etc.). Con base en esa información,

se seleccionarán las especies de vegetación nativas para la creación de los viveros forestales.

- **Recolectar semillas nativas.** Para la recolección de semillas, plántulas y esquejes de especies nativas, se deben identificar las zonas en las que se encuentran las especies, efectuar mapeos e implementar estrategias para su correcta recolección y conservación [52]. Se deben elegir especies propias del ecosistema que sean de rápido crecimiento (en lo posible) y que sean consideradas de interés ecológico o que produzcan alimento para fauna silvestre [52]. Las especies vegetales nativas pueden incrementar la presencia de polinizadores y dispersores de semillas, promoviendo el crecimiento de vegetación nativa y el almacenamiento de carbono. Se recomienda consultar la cartilla de *Viveros nativos forestales - Estrategia clave para incorporar HMP en cultivos de palma de aceite*, publicada por el proyecto GEF-PPB [52].
- **Descartar plántulas antes de llevarlas al campo.** Es indispensable descartar todas las plántulas que presenten anomalías o que se encuentren maltratadas, quebradas o afectadas por quemazones causados por enfermedades o aplicación de agroquímicos. Esta práctica reduce las emisiones de GEI, especialmente por la producción y aplicación de insumos en vivero y en campo, en labores como fertilización, control de plagas, plateo y poda [53].
- **Desarrollar planes de capacitación y formación dirigidos al personal,** con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para el establecimiento y manejo de viveros de palma de aceite y nativos forestales.

## 2.3 SIEMBRA

Una vez los cultivares y las especies vegetales han alcanzado el estado óptimo para su siembra en sitio definitivo, se prepara el área para la siembra final y se realiza el trasplante. Previamente al traslado de las plántulas de palma de aceite, se debe realizar la siembra de coberturas (leguminosas nativas preferiblemente) y de especies vegetales nativas en las áreas de siembra. Es importante recordar que las leguminosas suministran nitrógeno al suelo, aumentan la MOS, conservan la humedad y protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia. También disminuyen la pérdida de nutrientes, facilitan la actividad biológica y la movilidad del agua, y generan control natural de malezas, insectos plaga y enfermedades [53].





### Mejores prácticas

- **Usar coberturas de forma permanente** (nativas preferiblemente) desde antes de la siembra de las palmas. El uso de coberturas protege y conserva el suelo e incrementa la capacidad de almacenamiento de carbono [54].
- **Sembrar leguminosas.** Las leguminosas tienen la capacidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno, las cuales tienen la capacidad de capturar nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ), y por medio de enzimas, logran reducirlo a formas asimilables por las plantas, como el amonio ( $NH_4^+$ ). De esta forma se mejora la eficiencia, el rendimiento, la nutrición y la sanidad del cultivo [55, 56]. Se recomienda tener en cuenta la guía para facilitadores *Establecimiento y manejo de leguminosas de cobertura en palma de aceite* [55].

**El aporte de las leguminosas, por cuenta de la fijación de nitrógeno, alcanza los 150 kg N/ha/año.**

**Las leguminosas asociadas con la palma de aceite tienen la capacidad de reducir la pérdida por lixiviación de elementos fácilmente lavables como el nitrógeno (163 kg/ha), comparado con cultivos en donde no hay coberturas [56].**

- **Sembrar plantas nectaríferas nativas en las áreas que se establecieron desde el diseño del proyecto.** Este tipo de especies vegetales benefician al cultivo, ya que sirven como alimento para los controladores biológicos, reduciendo los riesgos de tipo fitosanitario [57]. Algunas de las plantas nectaríferas más frecuentes en lotes de palma de aceite son: bledo (*Amaranthus dubius* Mart), botón de oro (*Melampodium divaricatum*), escoba amarilla (*Sida rhombifolia* L), urena, cadillo (*Urena lobata* L) y algodoncillo (*Hibiscus furcellatus* Lamarck) [57]. Para mayor información, ver las recomendaciones de la *Guía de bolsillo plantas nectaríferas asociadas a plantaciones de palma de aceite*, publicada por el proyecto GEF-PPB [57].



- **Sembrar especies vegetales nativas en las áreas que se delimitaron como de protección y conservación** (áreas boscosas, cercas vivas, líneas de árboles, corredores biológicos, enriquecimiento de fragmentos de bosque, nectaríferas) para aumentar las reservas de carbono del cultivo y contribuir a la preservación del suelo. Entre los servicios de protección y control que presta el establecimiento de estas áreas se encuentra las barreras rompevientos, la creación y mantenimiento de la conectividad ecológica entre ecosistemas en los que se pueden incluir AVC y la división de unidades productivas, lotes o linderos de predios.
- **Enriquecer las rondas hídricas con plantas nativas** para preservar la biodiversidad, el desarrollo de corredores biológicos y la conectividad de ecosistemas naturales. Restaurarlas con especies de raíces profundas permite la continuidad de los servicios de protección y control que prestan estos ecosistemas [40].



Restaurar las rondas hídricas con especies de raíces profundas permite la continuidad de los servicios de protección y control que prestan estos ecosistemas.

- **Mantener una cobertura orgánica de forma permanente o semipermanente** para proteger el suelo de las afectaciones causadas por el sol, la lluvia y el viento. De esta forma se promueve el aumento en la capacidad de almacenamiento de carbono, se facilita el crecimiento biológico y microbiológico para la descomposición de materia orgánica, se mantiene el equilibrio de los elementos nutricionales, el reciclaje de energía, entre otros [58], evitando la liberación de carbono y la oxidación de la MOS.
- **Preparar el sitio definitivo para la siembra de palma.** Realizar el ahoyado de acuerdo con las especificaciones técnicas. Se recomienda separar el suelo extraído, adicionarle nutrientes y retornarlo para que estimule el crecimiento de las raíces y aumente su capacidad de absorción de nutrientes especialmente de nitrógeno [53].
- **Sembrar las palmas de aceite en sitio definitivo**, teniendo en cuenta los diseños elaborados previamente, con el fin de evitar la alteración de áreas que no fueron previstas para esta actividad, como por ejemplo, AVC.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación dirigidos al personal**, con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para las actividades de siembra.

## ETAPA 3



### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CULTIVO

Las prácticas desarrolladas en esta etapa están orientadas a conservar el cultivo en las condiciones más apropiadas para garantizar su continuidad en el tiempo. Esta etapa requiere del uso de maquinaria, herramientas y vehículos con motores diésel que generan emisiones de GEI, por lo que el uso de tecnologías con consumos eficientes contribuye a reducir esas emisiones. Por otro lado, en esta etapa se realiza la aplicación de fertilizantes químicos. Esta actividad ha sido identificada como una de las principales fuentes de emisiones de GEI en la etapa del cultivo de palma de aceite. Tanto la producción como la aplicación de fertilizantes generan emisiones, sin embargo, aquellas por la aplicación de fertilizantes podrían llegar a representar más del 51 % de las emisiones totales de la plantación [16]. La operación y el mantenimiento del cultivo está compuesto por cinco subetapas: (1) labores culturales, (2) manejo nutricional, (3) manejo sanitario, (4) cosecha y (5) transporte de fruto.

#### 3.1

#### LABORES CULTURALES

Una vez realizada la siembra de las palmas, se deben efectuar labores de mantenimiento para conservar el cultivo en condiciones óptimas. En esta subetapa se desarrollan algunas actividades como limpieza de platos y de interlíneas, poda, disposición de hojas podadas en campo y mantenimiento de canales de riego y drenajes. El adecuado mantenimiento del cultivo facilita el crecimiento y desarrollo de las palmas. Además, reduce la competencia con otras especies por nutrientes, y contribuye a mantener la sanidad. Adicionalmente, el mantenimiento oportuno de herramientas, equipos y maquinaria, así como la cantidad de combustible utilizado, tiene influencia directa en la generación de emisiones de GEI.



#### Mejores prácticas

- **Implementar el uso de tecnologías eficientes en el consumo de energía y combustibles.** El consumo de diésel genera emisiones de GEI, por lo que es necesario hacer un adecuado seguimiento y control de la maquinaria, tanto en el consumo de combustibles como en el mantenimiento de estos equipos. Se recomienda realizar el mantenimiento teniendo en cuenta la hoja de vida del equipo y un plan integral en el cual se deben establecer actividades predictivas, preventivas y correctivas.

- **Implementar un plan de control de malezas.** Esta práctica promueve la protección y conservación del suelo, controla procesos de erosión, sedimentación, escorrentía, lixiviación, pérdida de nitrógeno y otros problemas que pueden causar la pérdida de carbono [53]. El control de malezas incluye la limpieza en platos, interlíneas, taludes y canales de riego y drenaje, para evitar la competencia de las palmas con otras especies por nutrientes y agua. Además, facilita el manejo sanitario, la cosecha, la recolección y el transporte del fruto.
- **Realizar labores de limpieza y mantenimiento de las coberturas vegetales y plantas acompañantes,** para prevenir su pérdida anticipada y asegurar la continuidad de los servicios ambientales, como la captura de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) y su reducción a amonio ( $NH_4^+$ ).
- **Definir la técnica de riego más apropiada para las condiciones del terreno** en el que se va a establecer el cultivo, teniendo en cuenta los estudios realizados en la etapa de planificación. El exceso de agua altera la relación agua-suelo-planta, así que disminuye la productividad, aumenta la necesidad de nutrimentos y causa la pérdida de carbono almacenado por especies vegetales y suelo, y por procesos de erosión y escorrentía [50].
- **Desarrollar planes de capacitación y formación de personal,** con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para la planeación y desarrollo de labores culturales.

## 3.2

## MANEJO NUTRICIONAL Y USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

El uso eficiente de fertilizantes se basa en la adecuada selección de la fuente, del método de aplicación, de la cantidad requerida, de la época y de la localización de la aplicación. Estos lineamientos se identifican en el plan de nutrición y fertilización del cultivo. De no tenerse en cuenta el plan, se puede incurrir en el uso de una mayor cantidad de fertilizantes de la que puede absorber la planta, causando problemas por sobrenutrición y pérdidas de producto por volatilización. También se pierde producto cuando se realiza la aplicación durante épocas muy lluviosas o muy secas, causando pérdidas por escorrentías o por volatilización. Estos flujos pueden llegar a las corrientes de agua subterránea y superficial causando sobrecarga de nutrientes, procesos de eutrofización y acidificación en suelos y cuerpos de agua [59]. Las emisiones de GEI generadas por la aplicación de los fertilizantes de síntesis química se presentan por emisiones directas e indirectas de óxido nitroso ( $N_2O$ ), que se produce durante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación que tienen lugar en el sitio de deposición (emisiones directas), tras los procesos de volatilización, lixiviación y escorrentía (emisiones indirectas) [60].



### Mejores prácticas

- **Realizar análisis foliares y de suelos**, para conocer los requerimientos nutricionales de las palmas y proceder a llevar a cabo las actividades de fertilización general y específica, orgánica e inorgánica teniendo como base los resultados obtenidos [38]. Estos análisis evitan problemas por sobrenutrición causados por la aplicación excesiva de fertilizantes, los cuales pueden ocasionar alteración en el desarrollo y funcionamiento de la palma [61].
- **Diseñar, formular e implementar un plan de nutrición y fertilización**. Este plan permitirá calcular la cantidad de nutrientes necesarios para lograr la producción esperada, optimizando la dosis de fertilizantes y maximizando la productividad. El plan debe incluir la adopción de programas de nutrición, estándares y procedimientos para la dosificación, preparación y frecuencia de aplicación de insumos, fertilizantes y agroquímicos. Se debe considerar la edad del cultivo, los resultados de los análisis foliares y de suelos, las herramientas utilizadas para la aplicación en campo y las indicaciones y recomendaciones del fabricante de los productos.
- **Realizar el manejo integrado de la nutrición**, teniendo en cuenta la relación planta-patógeno-ambiente. Una nutrición adecuada puede reducir la severidad del ataque de enfermedades y el uso de agroquímicos.
- **Utilizar fertilizantes que reporten una baja huella de carbono desde su producción hasta su aplicación**. Seleccionar, en lo posible, fertilizantes, cuya fuente genere menos emisiones de GEI que otras alternativas del mercado, que además provengan de fabricantes que implementen tecnologías limpias en sus procesos y que realicen uso sostenible de energías renovables y de recursos naturales.
- **Aplicar los fertilizantes en sitios con presencia de raíces de la palma**, asegurando una absorción rápida, para reducir la pérdida de fertilizante por lixiviación y otros procesos.



El plan debe incluir la adopción de programas de nutrición, estándares y procedimientos para la dosificación, preparación y frecuencia de aplicación de insumos, fertilizantes y agroquímicos.

**La fertilización del cultivo genera emisiones de GEI, tanto por su producción como por su aplicación. Se ha identificado que la fertilización puede representar hasta 78 % de las emisiones de la plantación, y hasta 20 % de las emisiones de toda la cadena de producción del aceite de palma [16, 20, 62].**

- **Aplicar enmiendas orgánicas** como la biomasa y/o fertilizantes con fuentes orgánicas. La aplicación de este tipo de enmiendas fomenta la captura de carbono, la generación de MOS, la mejora de la estructura del suelo, la incorporación de nutrientes y el desarrollo de microorganismos que conservan la integralidad del suelo y sus propiedades. Esta práctica reduce las emisiones directas de GEI, como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, y aquellas asociadas a la producción, transporte y aplicación de fertilizantes de síntesis química. Además, evita la liberación de carbono contenido en el suelo, mediante el control de fenómenos de erosión y disminución de propiedades fisicoquímicas [63].
- **Reincorporar podas, inflorescencias y tusas al campo.** Al realizar labores de poda, las hojas no funcionales, los racimos podridos y las inflorescencias secas son retirados de la palma [64] y deben ser aplicados como biomasa en los platos. También se deben utilizar, en la medida de lo posible, las tusas provenientes de la planta de beneficio. Esta biomasa contiene una serie de nutrientes que pueden ser aprovechados por las palmas para complementar el plan de nutrición (reciclaje de nutrientes). Además, la disposición de esta biomasa en los

●.....●  
Al realizar labores de poda, las hojas no funcionales, los racimos podridos y las inflorescencias secas son retirados de la palma y deben ser aplicados como biomasa en los platos.

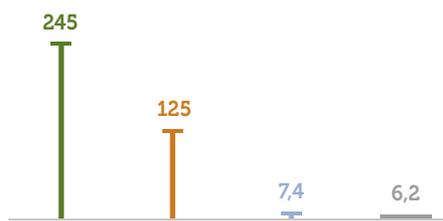
alrededores de la palma mejora la estructura del suelo y facilita la retención de humedad [38]. Al incluir el contenido de nutrientes de la biomasa dentro del plan de fertilización, es posible maximizar la eficiencia de los fertilizantes de síntesis química hasta en 10 %, teniendo contribución directa en la reducción de emisiones de GEI [65].

- **Aplicar "fertirriego" o compost.** La aplicación de estos productos en la plantación contribuye al reciclaje de nutrientes y a la mejora de las características del suelo [66]. Además, el uso de la biomasa contribuye a la reducción de las emisiones de GEI generadas por la acumulación de la biomasa en pilas, como es el caso de las tusas, o por las lagunas anaeróbicas del tratamiento de efluentes sin carpar (Figura 8). El fertirriego hace referencia a los POME tratados en el sistema de lagunas de las plantas de beneficio. Se recomienda verificar la posibilidad de aplicar fertirriego en la zona de ubicación del cultivo, ya que algunos entes de control ambiental no permiten su aplicación en el suelo. De igual forma, se recomienda verificar las características fisicoquímicas del fertirriego previo a la aplicación, para hacer seguimiento y control de los nutrientes adicionados al suelo y verificar que cumpla con los estándares requeridos. Por otro lado, en algunas plantas de beneficio, la producción de compost se realiza con la mezcla de fibra, tusa y POME generados en el proceso de extracción del aceite de palma.

**FIGURA 8**  
Potencial de calentamiento global de cuatro alternativas de uso de subproductos de la agroindustria de la palma de aceite en kg CO<sub>2</sub>eq/t RFF

FUENTE:  
Boletín Técnico 31. Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación [63].

- Acumulación de tusas y lagunas sin carpar
- Aplicación de tusas en plato y lagunas sin carpar
- Compostaje de racimos vacíos con adición de POME
- Compostaje de racimos vacíos con adición de POME y producción de biogás



- **Aplicar biocarbón de biomasa de palma de aceite.** La aplicación de biocarbón, producido a partir de cuesco, tusa o estípites de palma, contribuye a mejorar la calidad del suelo mediante el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y del contenido de materia orgánica, la estabilización del pH, la retención de nutrientes, la reducción de lixiviación y el aumento de la actividad microbiana (desarrollo y diversificación de microorganismos) [67].
- **Usar las cenizas de las calderas en aplicación directa en campo** o a través de su adición al compostaje. Estas cenizas contienen potasio, nitrógeno, fósforo, magnesio y calcio que pueden ser aprovechados por la palma [66] y reducir el requerimiento de algunos nutrientes proporcionados a través de fertilizantes de síntesis química.
- **Usar y aprovechar los microorganismos del suelo** que puedan mejorar el proceso de absorción y asimilación de los nutrientes, para reducir la aplicación de fertilizantes. Por ejemplo: coinoculación de esporas con hongos formadores de micorrizas arbusculares y bacterias rizosféricas de vida libre, que mejoren la sostenibilidad de los cultivos gracias al desarrollo de simbiosis [59]. Otro ejemplo es el uso de microorganismos solubilizadores de fosfatos, como hongos o bacterias que aumenten la disponibilidad de fósforo para que, a partir de fuentes no solubles, la planta pueda absorber los nutrientes requeridos, y de esta forma, reducir la aplicación de fertilizantes de síntesis química [59].
- **Realizar monitoreo de la calidad nutricional de los suelos**, de acuerdo con los procedimientos operativos estándar (POE).
- **No aplicar fertilizantes de síntesis química ni agroquímicos en los bordes de las rondas hídricas** [38], para impedir problemas de exceso de nutrientes en los cuerpos de agua, responsables de los procesos de eutrofización.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación dirigidos al personal**, con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para el manejo nutricional.

### 3.3 MANEJO SANITARIO

La palma de aceite está expuesta a ataques por plagas y enfermedades; esta situación, en algunas ocasiones, se relaciona con condiciones climáticas y microclimáticas específicas del medio. La exposición de las palmas a situaciones de estrés produce como consecuencia debilitamiento de órganos, disminución de procesos fisiológicos, reducción del desarrollo vegetativo y productivo, además, genera condiciones de vulnerabilidad al ataque de plagas y enfermedades. Asimismo, los episodios de estrés hacen que la planta active mecanismos de respuesta generalizada para contrarrestar los efectos negativos y lograr adaptarse al nuevo entorno. En este sentido, es importante señalar que, si bien las plagas y enfermedades pueden atacar palmas sanas, sus afectaciones son más comunes en palmas bajo condiciones de estrés [68]. Algunas situaciones que causan estrés en las palmas son:

- Déficit o saturación hídrica
- Temperaturas extremas
- Suelos compactos
- Suelos salinos
- Desbalance de nutrientes (exceso o déficit)

- Ataque de insectos plaga
- Aplicación de pesticidas de manera inapropiada
- Podas incorrectas
- Estrés debido a trasplantes bajo condiciones inapropiadas
- Competencia con otras especies vegetales
- Contaminación ambiental

Para un adecuado manejo sanitario, se debe implementar un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE). Este plan permite adoptar medidas de detección temprana, monitoreo, prevención y control para aumentar la resistencia del cultivo al ataque de plagas y enfermedades; también contribuye a contrarrestar los daños y efectos causados por el ataque de plagas o enfermedades que limitan el desarrollo, funcionamiento, rendimiento y sostenibilidad de la palma. El uso continuo del MIPE disminuye la posibilidad de pérdida parcial o total del cultivo, así como las emisiones de GEI causadas por el aumento del consumo de agroquímicos o por la pérdida de palmas en la plantación.



### Mejores prácticas

- **Elaborar e implementar un MIPE** que incluya protocolos y técnicas de control, basados en los principios ecológicos de las poblaciones de insectos y que implemente el uso de controladores biológicos [69]. Se debe tener en cuenta el uso racional de agroquímicos y las repercusiones del uso indiscriminado de este, de orden económico y social [38]. De esta forma, se reducen las emisiones de GEI por la fabricación y aplicación de insumos.
- **Hacer seguimiento y control de enfermedades.** Identificar de forma temprana y dar manejo a enfermedades, como la Pudrición del cogollo y la Marchitez letal, para evitar la erradicación de palmas. Esta práctica contribuye a mantener la productividad del cultivo y la capacidad de almacenamiento de carbono [69]. Además, se evitan emisiones por la aplicación de insumos químicos.
- **Usar prácticas biológicas preventivas para el manejo de plagas y enfermedades.** Estas pueden incluir la liberación de controladores biológicos, construcción y utilización de trampas para el control de insectos-plaga, y el uso de coberturas vegetales (leguminosas y nectaríferas). Estas prácticas contribuyen a la reducción de la aplicación de químicos en el cultivo.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación dirigidos al personal,** con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para el manejo sanitario.



### COSECHA

La labor de cosecha se define como la recolección de los RFF del cultivo cuando alcanzan la maduración. La cosecha se compone de actividades como el corte de la hoja y del racimo, la recolección de fruto suelto (pepeo) y el transporte de los RFF a los puntos de acopio [70]. Actualmente, existen varias alternativas para la recolección del fruto que incluyen el alce de RFF con plumas mecánicas, manual o con malla. Para el transporte, se utilizan semovientes (búfalos), tractores, zorrillos de descarga hidráulica, *grabber* y cable vía [64]. Cada alternativa tiene una contribución diferente a las emisiones de GEI, según sea la tecnología empleada y la eficiencia del uso. La mayor cantidad de emisiones generadas en esta etapa se da por el consumo de combustibles fósiles. También se debe considerar que la pérdida de fruto durante la cosecha y transporte podría impactar en las emisiones por descomposición biológica (emisiones de metano no contabilizadas) y contaminación del suelo por la presencia del aceite de los frutos.

© Fedepalma





### Mejores prácticas

- **Cortar los racimos de acuerdo con los criterios de cosecha establecidos.** Dado que para el crecimiento de los RFF se ha invertido tiempo y recursos (agua, energía, fertilizantes, agroquímicos, mano de obra), es indispensable que la cosecha tenga criterios establecidos de ciclos y estados de madurez para reducir la pérdida de fruto y, por ende, la pérdida de aceite de palma contenido en ellos [64]. La cosecha de frutos en estado de madurez no óptimo puede conducir a la disminución de los rendimientos de aceite por hectárea y, por consiguiente, al aumento de las emisiones por la pérdida de los recursos invertidos.
- **Emplear los métodos de cosecha, alic y transporte de racimos de fruta fresca,** de acuerdo con los resultados de los análisis y estudios realizados en las etapas iniciales. La contribución de emisiones de GEI causadas por los métodos de cosecha dependerán de las condiciones específicas de cada proyecto palmero, de acuerdo con criterios como topografía del terreno, tecnología implementada, logística diseñada, entre otros [43].
- **Planear los recorridos dentro de la parcela que se va a cosechar.** Los recorridos deben garantizar la inspección de todas las palmas del lote para la identificación y corte de los racimos en su estado óptimo de madurez (que cumplan con los criterios de cosecha). De igual forma, brindar las condiciones requeridas para reducir los tiempos de corte (palín, cuchillo malayo, equipo de transporte, etc.) y optimizar los recursos.
- **Diseñar un plan para reducir y racionalizar el uso de combustibles fósiles.** Se deben identificar las mejores opciones de transporte con uso eficiente de combustibles fósiles.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación de personal,** con el fin de mantener constante actualización en las metodologías y tecnologías más apropiadas para la labor de cosecha.

### 3.5

#### TRANSPORTE DEL FRUTO

El transporte de los RFF desde el cultivo hasta la planta de beneficio debe incluir la coordinación entre las partes involucradas para garantizar un suministro constante de racimos para el proceso de extracción del aceite. Una adecuada coordinación en el suministro de fruto facilitará el uso eficiente de los recursos y, por lo tanto, se reducirá el potencial de emisiones de GEI. El transporte de fruto contribuye a la generación de emisiones de GEI por la quema de combustibles fósiles, por lo que el uso de vehículos eficientes en el consumo impactará directamente en estas.



© Fedepalma



### Mejores prácticas

- **Implementar el transporte más apropiado para el traslado de los RFF del cultivo a los puntos de acopio o a la planta de beneficio**, basado en los resultados de los estudios previos. Analizar si el cable vía es una opción para hacer el traslado de RFF hasta la planta de beneficio, lo cual dependerá de la topografía y del diseño del proyecto palmero.
  - **Definir las rutas para el transporte de los RFF con recorridos cortos para optimizar tiempos y recursos**. Tener en cuenta la venta o suministro del fruto a la planta de beneficio más cercana [71].
  - **Realizar una adecuada planeación del transporte de los RFF** desde el cultivo hasta la planta de beneficio [71], para evitar pérdida de recursos en el proceso de producción de la planta de beneficio.
  - **Usar vehículos que se adapten a las necesidades del transporte de fruto** según la cantidad recolectada y las condiciones del terreno (capacidad y tipo de vehículo), con el fin de optimizar recursos y minimizar los viajes necesarios para el traslado hasta la planta de beneficio.
  - **Realizar mantenimiento a las vías internas y al parque automotor** destinado al transporte de RFF, así como la renovación de este último cuando cumpla su vida útil o su eficiencia se vea reducida significativamente.
- .....●
- Analizar si el cable vía es una opción para hacer el traslado de RFF hasta la planta de beneficio, lo cual dependerá de la topografía y del diseño del proyecto palmero.

# ETAPA 4



## PROCESAMIENTO DEL FRUTO

Las prácticas desarrolladas en esta etapa están orientadas a la reducción de emisiones de GEI en la planta de beneficio (PB). Uno de los requerimientos para el funcionamiento de la PB es el consumo de servicios industriales (vapor, electricidad, agua, aire comprimido). El uso eficiente de estos servicios contribuirá a la reducción de las emisiones, sin embargo, también es indispensable garantizar el ingreso de fruto al proceso de forma continua, ya que una vez iniciado el proceso de extracción, cualquier retraso puede acarrear el uso innecesario de recursos y, por tanto, el aumento de las emisiones por tonelada de producto.

Las mejores prácticas industriales bajas en carbono están basadas en criterios técnicos y de desarrollo industrial: (a) el uso racional y eficiente de la energía, además de la generación de energía renovable y el aumento de su participación en la matriz energética nacional (cogeneración con biomasa o con biogás); (b) el uso continuo y eficiente de los equipos en la planta de beneficio con diseños ajustados a las condiciones del proceso; (c) la aplicación del modelo de economía circular para dar valor agregado a la biomasa

Las mejores prácticas industriales bajas en carbono están basadas en criterios técnicos y de desarrollo industrial.

y efluentes generados durante la extracción del aceite (concepto de biorrefinería). El desarrollo de nuevos productos a partir de esa biomasa permite mitigar las emisiones por descomposición de la materia orgánica al aire libre (p. ej.: las emisiones de CH<sub>4</sub> por acumulación de tusa); y (d) uso eficiente de los recursos naturales (agua, aire y suelo). Esta etapa incluye cuatro subetapas: (1) proceso de extracción, (2) servicios industriales, (3) tratamiento del POME y captura de biogás, y (4) aprovechamiento de biomasa (biorrefinería).

### 4.1

#### PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

El procesamiento de los RFF se realiza en la planta de beneficio y consta de varias etapas que permiten acondicionar el fruto para extraer el aceite y la almendra con el mayor rendimiento posible. Las etapas incluyen recepción del fruto, esterilización, desfrutado, digestión y prensado, clarificación y palmistería. Es importante tener en cuenta que la eficiencia del proceso de extracción depende de la calidad del fruto, las condiciones óptimas de temperatura, el suministro de servicios industriales, el uso de tecnologías eficientes (maquinaria, sistemas de medición) y de un adecuado mantenimiento y control de los equipos.



### Mejores prácticas

- **Optimizar el proceso industrial**, mediante el aprovechamiento y reciclaje de insumos y residuos industriales y la implementación de mecanismos de producción más limpia a través del uso de estrategias que permitan incrementar la productividad de los procesos, reduciendo las emisiones de GEI y de otros tipos de contaminación.
- **Planear tiempos y movimientos de los procesos**, con el fin de lograr el uso eficiente de los equipos, del personal a cargo y de los recursos como el agua y la energía.
- **Aprovechar los excedentes de fuerza motriz (agua/vapor, viento, electricidad) en otros procesos**, cuando las condiciones lo permitan, para optimizar los procesos y el uso de recursos (sistemas de integración energética para el aprovechamiento del calor residual).
- **Adquirir herramientas/equipos** de consumo eficiente y diseñados para la capacidad requerida o necesaria.
- **Generar o usar fuentes de energía renovable no convencional** para contribuir a reducir la dependencia de combustibles fósiles (más información en la sección 4.4.2).
- **Implementar un plan de mantenimiento integral** que permita mantener los equipos en las condiciones óptimas para el desarrollo continuo de las actividades en el tiempo programado para operación. Esto puede incluir el análisis en conjunto de indicadores como el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio entre reparaciones o reemplazo, la eficiencia global de equipos y otros indicadores usados para el monitoreo de la confiabilidad operacional según los estándares de industrias de clase mundial.
- **Reducir las impurezas contenidas en los RFF**. Algunas impurezas incluyen piedras, herramientas pequeñas y metales que reducen el tiempo de vida útil de los equipos y, por ende, aumenta el consumo de insumos y gastos de mantenimiento, y reduce la eficiencia y continuidad de la operación.
- **Realizar los ajustes requeridos para la reducción de las pérdidas de aceite/ almendra y mantener la calidad de los productos** durante el proceso. Una mayor eficiencia en la extracción de los productos reduce las emisiones de GEI por tonelada de producto.
- **Hacer uso eficiente del agua**. Reducir el consumo de agua en el proceso de prensado, a través del uso de la dilución (aceite/ agua) del licor de prensa, según sea el caso del cultivar procesado. De esta forma se aumenta la eficiencia en la recuperación de APC y se reduce el consumo de agua entre 7 % y 9 % por tonelada de RFF. Por ejemplo, para *E. guineensis* se recomienda utilizar una dilución 1,4 % vol. aceite/vol. agua [72]. Para el caso de cultivares híbrido OxG, utilizar una dilución 1,8 % vol. aceite/vol. agua [73]. Un menor consumo de agua en el proceso de extracción del aceite significa menor volumen en los equipos de clarificación y menores tiempos de residencia, además, menor volumen de efluentes para el sistema de tratamiento. En general se hace necesario la medición y control del consumo de agua, para crear planes de ahorro e indicadores de consumo en la planta de beneficio.

- **Reducir el consumo de detergentes químicos/productos de limpieza** o reemplazarlos por detergentes biodegradables, o por el uso de ceniza de la caldera. De esta manera se contribuye a evitar las emisiones de GEI generadas durante el proceso de fabricación de los productos de limpieza, además de reducir otros problemas de tipo ambiental como la contaminación hídrica.
- **Desarrollar planes de capacitación y formación dirigidos al personal**, con el fin de brindarles conocimientos actualizados para el uso eficiente de los equipos y nuevas tecnologías, al igual que incentivar y fortalecer las mejores prácticas encaminadas hacia el uso racional de los recursos en PB (agua, energía y vapor).

## 4.2 SERVICIOS INDUSTRIALES

La reducción de emisiones de GEI está relacionada directamente con el uso racional y eficiente del agua y la energía (eléctrica y térmica). El desempeño en el consumo de estos servicios industriales depende de la eficiencia en el uso (para mayor información ver el *Boletín Técnico 38. Metodología para la medición, caracterización y diagnóstico del desempeño en el consumo de servicios industriales en plantas de beneficio* [74]). De igual forma, la generación de energía eléctrica con biogás o vapor (producido con biomasa) reduce el consumo de energía fósil. Además, la venta de excedentes de energía eléctrica de las PB a la red nacional contribuye a la reducción del uso de energía eléctrica proveniente de fuentes convencionales. Para hacer un uso eficiente de los servicios industriales se requiere de la cuantificación y caracterización de las corrientes (agua y energía). De esta manera, se pueden identificar los puntos de mejora y generar planes de acción para aumentar la eficiencia de los procesos (recambio de equipos, uso de tecnologías modernas que consuman menos recursos, ajuste de procesos, uso de ciclos cerrados).



### Mejores prácticas

- **Identificar las etapas del proceso con ineficiencias en el uso de servicios industriales** y pérdidas de producto por encima de los rangos establecidos, con el fin de realizar los ajustes necesarios en los procesos y optimizar la productividad y el uso de recursos.
- **Implementar sistemas de gestión de la energía ISO 50001**, en los que se establezcan metodologías de medición, monitoreo y control del uso de la energía, para identificar puntos de referencia, objetivos y estrategias de mejora continua.
- **Realizar planes energéticos** según la demanda de energía necesaria para el correcto desarrollo de actividades, y para evaluar e implementar el uso de energías limpias y renovables.
- **Establecer indicadores de desempeño energético y ambiental** a través de ejercicios de *benchmarking* para el mejoramiento de los procesos entre empresas del sector palmicultor a nivel nacional e internacional.



La reducción de emisiones de GEI está relacionada directamente con el uso racional y eficiente del agua y la energía (eléctrica y térmica).

- **Implementar sistemas de generación de energía renovable** (cogeneración, biogás) promoviendo disponibilidad a comunidades aledañas al proyecto y diversificando la matriz energética de Colombia.
- **Establecer planes y metas de ahorro de agua y energía** basadas en tendencias de consumo y producción.
- **Desarrollar planes de mantenimiento, medición y corrección** en los que se incluya la planificación de tiempos de procesos, la operación eficiente de equipos y la evaluación integrada de alternativas tecnológicas. Estos planes contribuirán a reducir el consumo de energía entre el 8 % y el 10 % de acuerdo con el estudio de caso reportado por Barrera *et al.* [74], sin necesidad de reemplazar tecnologías.



© Fedepalma

#### 4.3 TRATAMIENTO DE EFLUENTES (POME) Y CAPTURA DEL BIOGÁS

Los efluentes son generados en las etapas de esterilización, clarificación y palmistería. Se caracterizan por tener:

- Temperaturas entre 53 °C y 77 °C.
- pH entre 3,87 y 5,25.
- Materia orgánica entre 45.250 mg/l y 232.000 mg/l de DQO, y entre 18.700 mg/l y 175.500 mg/l de DBO.
- Sólidos suspendidos entre 19.129 mg/l y 88.258 mg/l.
- Grasas y aceites entre 6.480 mg/l y 80.701 mg/l.
- Fenoles y cloruros [75, 76].

El tratamiento del POME por lo general se realiza en sistemas abiertos de lagunas (anaerobias, aerobias y facultativas) que utilizan procesos biológicos para la degradación de la materia orgánica [75]. Durante la degradación de la materia orgánica se produce biogás con un contenido cercano al 64 % de metano ( $\text{CH}_4$ ) y cerca del 35 % de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{CH}_4$  tiene un potencial de calentamiento global 25 veces más potente que el del  $\text{CO}_2$ , por lo que al capturar y quemar el biogás, el  $\text{CH}_4$  pasa a  $\text{CO}_2$ , reduciendo el impacto negativo sobre la atmósfera. Para un *set* de generación de energía eléctrica a partir de biogás (motor de combustión y generador eléctrico), su eficiencia ronda entre el 28 % y el 40 %. Lo cual tendría el potencial energético suficiente para satisfacer la demanda eléctrica promedio de una planta de beneficio (22 kWh/t RFF) [77]. El POME puede ser utilizado en la producción de compost junto con la tusa, para ser dispuesto posteriormente en las plantaciones como acondicionador de suelos.



### Mejores prácticas

- **Realizar estudios de viabilidad ambiental, técnica y económica** para elegir la opción más adecuada para el tratamiento del POME [50].
- **Tramitar los permisos de vertimientos** otorgados por las autoridades ambientales competentes para realizar la disposición final (vertimiento) del tratamiento del POME.
- **Cumplir con la legislación ambiental vigente**, en materia de parámetros y límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales a fuentes de agua superficiales, o para reúso de agua, con el fin de minimizar la contaminación de cuerpos de agua y procesos de eutrofización, generadores de GEI.
- **Realizar la caracterización del POME** a la entrada y salida del tratamiento, en los puntos intermedios del tratamiento, y a la fuente receptora del vertimiento aguas arriba y aguas abajo, de acuerdo con la frecuencia de operación. Los monitoreos periódicos permiten identificar fallas en los sistemas de tratamiento, identificar parámetros que presentan problemas de remoción y tomar medidas correctivas.
- **Implementar metodologías de control y mantenimiento del sistema de tratamiento del POME**, para asegurar el adecuado funcionamiento y reducir la contaminación del aire y el agua.
- **Buscar alternativas de aprovechamiento del POME.**
- **Capturar el biogás para reducir las emisiones de metano.** Se debe tener en cuenta que el biogás puede ser usado en la generación de energía renovable.
- **Implementar un plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos** que describa las medidas y protocolos que se llevarían a cabo en caso de derrames o situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento. Esto evita la contaminación y alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo y de fuentes hídricas cercanas, y la exposición a riesgos de tipo sanitario.

**0,8 m<sup>3</sup>/t RFF de efluente tratado genera aproximadamente entre 8 y 26 m<sup>3</sup>/t RFF de metano (CH<sub>4</sub>), lo que equivale a una producción de 21 a 46 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> POME.**

**La producción de energía por kg de CH<sub>4</sub> es de 45,1 MJ. Generar un kWh en la red eléctrica en Colombia emite en promedio 0,21 kgCO<sub>2</sub>eq [78, 79].**

El sistema de tratamiento del POME sin carpado puede generar cerca de 1.250 kg CO<sub>2</sub>eq/t APC que van directamente a la atmósfera, mientras que esta emisión disminuye cuando se carpa la laguna y se utiliza el POME para la producción de compost (143 kg CO<sub>2</sub>eq/t APC) [62].

#### 4.4 APROVECHAMIENTO DE BIOMASA (BIORREFINERÍA)

El procesamiento del aceite de palma genera una considerable cantidad de biomasa. El 40 % del peso del RFF que ingresa a la planta de beneficio corresponde a la biomasa residual sólida [62], la cual está conformada por tusa (20 %/t RFF), fibra (15 %/t RFF), cuesco (5 %/t RFF) y ceniza (0,3 %/t RFF). La biomasa líquida está representada por el POME (0,6-0,9 m<sup>3</sup>/t RFF).

A continuación, se hace una descripción de las mejores prácticas para el aprovechamiento de la biomasa generada en planta de beneficio y que contribuyen a la reducción de las emisiones de GEI.

#### 4.4.1. Producción de compost y uso de POME

En algunos casos, las tusas son utilizadas directamente en el campo como acondicionador de suelos, pero en otros, son dispuestas en centros de acopio cercanos a la PB sin ningún uso en particular, especialmente debido a los altos costos que implica el transporte de esta biomasa. En los últimos años ha cobrado relevancia el compostaje de las tusas y el POME, como una de las alternativas de uso. El compostaje ha sido utilizado como reciclaje de nutrientes en las plantaciones, sin embargo, también se considera una solución a la disposición de las tusas y al uso del POME para reducir la contaminación en fuentes de agua y del aire por las emisiones de metano que genera la degradación de la materia orgánica. Se ha identificado que el compostaje de tusas y POME, sumado a la captura del biogás del sistema de tratamiento de efluentes, tiene unas emisiones de hasta 6,2 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> RFF, menor en comparación con la acumulación de tusas en el campo y el sistema convencional de tratamiento del POME sin carpado (245 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> RFF) [63].



#### Mejores prácticas

- **Realizar la caracterización química de la biomasa**, para conocer la composición específicamente de macronutrientes y micronutrientes, y facilitar la dosificación de aplicación en campo y en la producción de abonos orgánicos [66].
- **Elaborar y ejecutar un plan anual de disposición de biomasa en el campo**, para establecer acciones de manejo, retiro, transporte y disposición final, priorizando las UMA [65].

- **Aprovechar la biomasa residual del proceso de extracción de aceite** (tusa, cenizas, lodos de lagunas) para aplicación directa o producción de compostaje para fomentar el retorno de nutrientes, el almacenamiento de carbono y el desarrollo de microorganismos que conserven la integralidad del suelo y sus propiedades [66]. Además, esta práctica contribuye a la prevención de la emisión de GEI específicamente  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}$ , y a disminuir la probabilidad de liberación del carbono contenido en el suelo y la pérdida de otras propiedades causadas por procesos como erosión y escorrentía.
- **Elaborar compost con la adición de POME**, con el fin de reducir emisiones de  $\text{CH}_4$ , tiempos de retención hidráulica en las lagunas de oxidación, manejo de lodos, entre otros.
- **No aplicar subproductos generados en la planta de beneficio** en áreas de AVC, como en rondas hídricas y áreas de protección (humedales, morichales, bosques, otros) [66].
- **No realizar quemas a cielo abierto de biomasa** [66].

Se estima que la quema de biomasa, como madera, hojas de árboles y pastos (incluidos los residuos agrícolas), produce 40 % del  $\text{CO}_2$ , 32 % de  $\text{CO}$ , 20 % de material particulado y 50 % de hidrocarburos aromáticos policíclicos emitidos al ambiente a escala mundial [80].

La huella de carbono del APC con producción de compost y uso de efluentes, reduce las emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$  en 20 % y 30 %, con respecto a la huella de carbono del aceite del actual tratamiento de tusa y efluentes.

Con la producción de compost se logra reducir el volumen de vertimiento a los cuerpos de agua hasta en 44 %, lo que equivale a una reducción de la emisión de  $\text{CH}_4$  en 43 % (efluente sin tratamiento) y 98 % debido al almacenamiento de  $\text{CH}_4$  por carpado de lagunas (efluente con tratamiento) [62].

#### 4.4.2. Uso de biomasa sólida para la generación de vapor y energía eléctrica

La agroindustria del aceite de palma ha utilizado la fibra y el cuesco como combustible para la producción de vapor y, de esta manera, suplir las necesidades de energía térmica. En los últimos años este vapor también ha sido utilizado para la generación de energía eléctrica (cogeneración). Algunas plantas de beneficio han incursionado en el uso de la tusa como combustible para la cogeneración, sin embargo, se resalta la importancia de realizar un pretratamiento a la tusa (secado y picado) para mejorar sus características como combustible.



### Mejores prácticas

- **Realizar balances de masa y energía** para optimizar la cantidad de biomasa utilizada en las calderas para la producción de vapor y energía, y minimizar las pérdidas de calor [81].
- **Usar fibra, cuesco o tusa como combustible neutro en carbono en calderas** para generar el vapor necesario y satisfacer los requerimientos energéticos de los procesos, así como para reducir el uso de combustibles sólidos convencionales o de fuentes fósiles y, a su vez, las emisiones de GEI [82].
- **Minimizar y, en lo posible, evitar el uso de combustibles sólidos convencionales**, como carbón, para estimular la reducción de GEI [82].
- **Generar energía eléctrica** para consumo interno y, en el caso de tener excedentes de energía, gestionar la venta a la red nacional.
- **Acoger las recomendaciones recopiladas en la publicación realizada por Fedepalma** *Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficios del sector palmero* [83].



El uso integral de la biomasa residual de la PB, como materia prima renovable para producción de biocombustibles y biomateriales, es una fuente de ingresos y oportunidades con perspectiva de sostenibilidad.

#### 4.4.3. Otros usos alternativos de la biomasa

El uso integral de la biomasa residual de la PB, como materia prima renovable para producción de biocombustibles y biomateriales, es una fuente de ingresos y oportunidades con perspectiva de sostenibilidad. Sin embargo, las alternativas para la transformación de la biomasa en productos químicos y energéticos, depende de los mercados, de la capacidad tecnológica y de la viabilidad económica de la producción. Existen algunos usos alternativos (como mezcla de carbón y biomasa para reducir emisiones en centrales térmicas) que no conllevan grandes procesos de manufactura y tienen una contribución importante para la solución de la disposición de la biomasa generada en el proceso de extracción del APC.



### Mejores prácticas

- **Usar el cuesco para la adecuación y mantenimiento de vías internas de las plantaciones.** De esta manera se evitan todos los impactos ambientales, especialmente emisiones de GEI por la extracción de grava y arena, material necesario para el mantenimiento de vías.
- **Usar la ceniza de la caldera como reemplazo de cemento, hormigón y aditivos**, o como alternativa para la adsorción de gases contaminantes y de metales pesados [66].
- **Producir biocarbón**, mediante el aprovechamiento de los estípites de la palma obtenidos en la etapa de renovación, o con el uso del cuesco, la fibra o la tusa [84].
- **Acondicionar las tusas para aplicación en campo** como suplemento de carbono para suelos y retorno de nutrientes. Por ejemplo, realizar el desmenuzado de las tusas para reducir su tamaño y facilitar su descomposición. [65].

- **Evaluar el uso de la tusa, la fibra, el cuesco y el POME** para la obtención de etanol, hidrógeno, azúcares, productos químicos, captura de CO<sub>2</sub>, celulosa, *pellets*, aditivos plásticos, materiales aislantes, leña-briqueta, aglomerados, papel, biocarbón, carbón activado y combustibles [19].

ETAPA 5



**RENOVACIÓN Y/O RESIEMBRA**

Cuando se ha cumplido el ciclo productivo de la plantación, se debe realizar la renovación, mediante prácticas de erradicación y siembra de palmas, y de esta manera dar inicio a un nuevo ciclo del cultivo. En casos extremos de presencia de enfermedades, se deben llevar a cabo prácticas de renovación o resiembra de algunas palmas. Es importante resaltar que para el caso de una renovación del cultivo se deben tener en cuenta todas las actividades mencionadas en el diseño, establecimiento y operación de una plantación de palma de aceite sostenible.



**Mejores prácticas**

- **No renovar cultivos sobre rondas hídricas** [38], especialmente en los casos en los que se haya incurrido en esta falla años atrás.
- **Identificar las áreas que requieran ser enriquecidas con vegetación nativa**, o aquellas donde la palma deba ser reemplazada.
- **Evitar la renovación en áreas que no hayan recibido un manejo apropiado de los estípites** de las palmas viejas o muertas (picado o retiro de los lotes), de esta manera se reduce la presencia de insectos-plaga como *Strategus aloeus* (que ataca palmas jóvenes) y *Rhynchophorus palmarum* (asociado a enfermedades como Anillo rojo y Pudrición del cogollo).



© Fedepalma



Cuando se ha cumplido el ciclo productivo de la plantación, se debe realizar la renovación, mediante prácticas de erradicación y siembra de palmas.

# FICHAS TÉCNICAS

## DE LAS PRÁCTICAS MÁS REPRESENTATIVAS



Teniendo como base todas las prácticas enunciadas en este documento, se seleccionaron las siete más representativas para el sector de la palma de aceite en Colombia, con contenido bajo en carbono. Cada práctica se describe en una ficha técnica, la cual puede ser utilizada para identificar de forma rápida sus características más representativas. Las prácticas descritas son:

1. Evitar el impacto del cambio de uso del suelo (CUS).
2. Usar coberturas de forma permanente (leguminosas y nectaríferas).
3. Manejo nutricional y sanitario - Uso eficiente de fertilizantes y agroquímicos.
4. Conservar la calidad del suelo.
5. Tratamiento de efluentes provenientes de la planta de beneficio y captura de biogás.
6. Aprovechamiento de biomasa (biorrefinería).
7. Minimizar el consumo de combustibles fósiles (Parte 1: compendio de prácticas, parte2: estudio de casos).

## CONCLUSIONES



Con el fin de contribuir a la sostenibilidad de la cadena de producción del aceite de palma en Colombia, esta guía recopila las prácticas de mayor influencia en la protección de las reservas de carbono y la minimización de las emisiones de GEI de las áreas de influencia de un proyecto palmero. Estas prácticas se basan en la planificación de actividades de mejora continua y uso eficiente de los recursos.



Existe un gran potencial para la reducción de las emisiones de GEI generadas por el sector palmicultor colombiano, siempre y cuando se incluyan las prácticas bajas en carbono en todas las etapas de la cadena productiva del APC.



Se incluyeron prácticas que priorizan el uso de áreas aptas para la siembra del cultivo, el reciclaje de nutrientes, la reducción del uso de fertilizantes de síntesis química, el uso de agentes biológicos para el control de plagas y enfermedades, el uso eficiente y racional de energía tanto en el cultivo como en la planta de beneficio, la promoción de uso de tecnologías eficientes, la captura del biogás y el uso de biomasa para la generación de energía, entre otros.

© Fedepalma





Se resalta la importancia de que los nuevos proyectos no afecten el uso del suelo, especialmente en zonas con altos contenidos de carbono (bosques, humedales, sabanas inundables, entre otros).



Se recomienda que a la implementación de mejores prácticas asociadas a la reducción de emisiones de GEI se adicionen otras evaluaciones que contribuyan a la sostenibilidad del sector, como la huella hídrica, la huella ecológica, los impactos sociales locales, regionales o nacionales, y los impactos económicos.



Se debe estar atentos a actualizaciones y publicaciones de resultados de investigaciones que reporten prácticas que contribuyan a la sostenibilidad del sector, para que sean adaptadas o implementadas por las partes involucradas.

© Fedepalma



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambio climático 2014. Mitigación del cambio climático - Resumen para responsables de políticas. Ginebra (Suiza): OMM, PNUMA; 2014.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use. [place unknown: publisher unknown]; 2016. p. 1-16.
- [3] Bárcena A *et al.* La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Una visión gráfica. Santiago (Chile): Naciones Unidas; 2018. p. 34.
- [4] Ideam, PNUD, MADS, DNP y Cancillería. Inventario nacional y departamental de Gases de Efecto Invernadero - Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá: Ideam, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM; 2016.
- [5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (MADS). Contribución prevista y determinada a nivel nacional iNDC. Bogotá DC (Colombia): MADS; 2015. p. 1-16.
- [6] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Política Nacional de Cambio Climático; 2016. p. 137.
- [7] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Ley 1931/2018. Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático. Bogotá DC (Colombia); 2018. p. 19.
- [8] Ministerio de Minas y Energía de Colombia y Unidad de Planeación Minero Energética. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá DC (Colombia): Minminas y UPME; 2015. p. 43.
- [9] Fry DJ. Oil palm and the world market for oil crops. XLV Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Fedepalma, International, Oxford (UK); 2017. p. 17.
- [10] Sistema de Información Estadística del Sector Palmero (Sispa). Áreas de Siembra [Internet]. Bogotá DC (Colombia): Sispa; 2016 [Citado 2020 ene 29]. Disponible en: <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas>
- [11] V. Gkissakis, Comparison of the environmental impact between olive oil and other edible oils: a literature review Theme: Economy, markets and environment comparison of the environmental impact between olive oil and other edible oils: a literature; 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12497.33124>
- [12] Meijaard E *et al.* Oil palm and biodiversity: a situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force. IUCN OIL Palm Task Force Gland. Switzerland; 2018.
- [13] Khatun R, Reza MIH, Moniruzzaman M, and Yaakob Z. Sustainable oil palm industry: The possibilities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017;76:608-619.
- [14] Henson IE, Ruiz R, and Romero HM. The greenhouse gas balance of the oil palm industry in Colombia: A preliminary analysis. II. Greenhouse gas emissions and the carbon budget. *Agronomía Colombiana.* 2012;30(3):370-378.
- [15] Castiblanco C, Etter A, and Aide TM. Oil palm plantations in Colombia: A model of future expansion. *Environmental Science and Policy.* 2013;27:172-183.
- [16] Castanheira É, Acevedo H, and Freire F. Greenhouse gas intensity of palm oil produced in Colombia addressing alternative land use change and fertilization scenarios. *Applied Energy.* 2014;114:958-967.
- [17] Furumo PR, and Aide TM. Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: Land use change and trade. *Environmental Research Letters.* 2017;12(2).

- [18] Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Sistema para la planificación rural agropecuaria [Internet]. Bogotá DC (Colombia): UPRA [Citado 2018 jul 18]. Disponible en: <http://sipra.upra.gov.co/#departamental>
- [19] García A *et al.* Evaluation of alternatives for the evolution of palm oil mills into biorefineries. *Biomass and Bioenergy*. 2016;95:310-329.
- [20] Rivera YD, Rodríguez DT, and Romero HM. Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia. *J. Clean. Prod.* 2017;149:743-750.
- [21] Consorcio CUE. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Capítulo II: Estudio ACV - Impacto Ambiental. Medellín (Colombia): CUE; 2012.
- [22] Fedepalma. Confirman que biodiésel de palma colombiano es sostenible y reduce en más de 83% emisiones de gases efecto invernadero. *El Palmicultor*. 2012;481:26-27.
- [23] Ramírez NE, and Faaij APC. A review of key international biomass and bioenergy sustainability frameworks and certification systems and their application and implications in Colombia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018;96:460-478.
- [24] Fedepalma - Cenipalma. Unidades de Asistencia y Auditoría Técnica, Ambiental y Social (UAATAS) en núcleos palmeros. Una estrategia para coadyuvar a la productividad y competitividad del sector palmero colombiano. Bogotá DC (Colombia): Fedepalma - Cenipalma; 2010.
- [25] Hinestroza A. Índice de sostenibilidad y principios de la producción de aceite de palma sostenibles en Colombia. En: XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite; 2019 sept 25-27; Bucaramanga (Colombia); 2019.
- [26] Weng CK. Mejores prácticas y desarrollo sostenible de la industria de palma de aceite. *Rev. Palmas*. 2003;4(4):35-52.
- [27] Liebig M, Franzluebbers AJ, and Follett RF. Managing agricultural greenhouse gases: coordinated agricultural research through GRACENet to address our changing climate. Amsterdam: Academic Press. 2012.
- [28] Abdul-Manan AFN. Lifecycle GHG emissions of palm biodiesel: Unintended market effects negate direct benefits of the Malaysian Economic Transformation Plan (ETP). *Energy Policy*. 2017;104:6-65.
- [29] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Resolución 261 de 2018. Por medio de la cual se define la Frontera Agrícola Nacional y se adopta la metodología para la identificación general [Internet]. Bogotá DC (Colombia): MADR, 21 junio 2018 [Citado 2018 oct 20]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resolución No 000261 de 2018.pdf>
- [30] Espinosa JC, Gómez R, Lozano M y Moreno Y. Una mirada al proyecto paisaje palmero biodiverso. Bogotá DC (Colombia): Fedepalma, WWF, Instituto Humbolt, Cenipalma; 2018.
- [31] Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), Fedepalma y Cenipalma. Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): UPRA; 2017.
- [32] Ramsar Convention on Wetlands. Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People 2018. Gland (Switzerland): Ramsar Convention Secretariat; 2018.
- [33] Parques Nacionales Naturales de Colombia. Áreas protegidas: Territorio para la vida y la paz. Áreas protegidas para el desarrollo. Bogotá DC (Colombia): PNNC; 2015.
- [34] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Acuerdo de voluntades para la deforestación cero en la cadena de aceite de palma en Colombia. Bogotá DC (Colombia): MADS; 2017. p. 1-21.
- [35] Ideam. Sistema de monitoreo de bosques y carbono (SMBYC) [Internet]. Bogotá DC (Colombia): Ideam; 2016 [Citado 2020 ene 29]. Disponible en: <http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/reg/indexLogOn.jsp>
- [36] Burke M, Chouksey K y Heath L. Actividades sobre uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Roma (Italia): Fondo para el Medio Ambiente Mundial; 2012.

- [37] Molina D y Torres J. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Guía para facilitadores: Caracterización y adecuación de suelos para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite. Guías Metod. sobre Tecnol. Prod. palma aceite; 2015.
- [38] Espinosa JC *et al.* Lineamientos para la adopción del Estándar de Sostenibilidad de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO) en Colombia. Bogotá DC (Colombia): Grupo Interinstitucional para el Desarrollo de los Lineamientos: Proyecto GEF, Paisaje Palmero Biodiverso, Fedepalma, Cenipalma, WWF, Instituto Alexander von Humbolt; 2016. p. 158.
- [39] Munévar F, Franco P y Arias N. Boletín Técnico 37. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2016.
- [40] Fedepalma. Herramientas de Manejo del Paisaje. Proyecto GEF, Paisaje Palmero Biodiverso (PPB). Bogotá DC (Colombia): Fedepalma; 2018.
- [41] Fedepalma. ABC de áreas de Alto Valor de Conservación (AVC). Proyecto GEF, Paisaje Palmero Biodiverso (PPB). Bogotá DC (Colombia): Fedepalma; 2018.
- [42] Salvatore M, Kassam A, Gutiérrez AC, Bloise M y Marinelli M. Capítulo 3. Metodología de evaluación de aptitud de tierras. En: Félix E y Rosell C, editores. Bioenergía y seguridad alimentaria. Perú: FAO; 2010. p. 11-19.
- [43] Munar DA, Chaparro DC, Ramírez NE y García JA. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GE) de cinco casos de estudio con diferentes métodos de cosecha, alce y transporte de racimos de fruto fresco. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2019.
- [44] Klemeš JJ. Sustainability in the process industry : integration and optimization. New York: McGraw-Hill; 2011.
- [45] ElHage-Scialabba N y Hattam C. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Colección FAO Ambient. y Recur. Nat. 2003;4:262.
- [46] Arias N *et al.* Principios agronómicos para el establecimiento de una plantación de palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2009.
- [47] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Decreto 2245 de 2017. Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rindas hídricas. Bogotá DC (Colombia); 2017.
- [48] Robert M. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Inf. sobre Recur. mundiales suelos. 2002;96:83.
- [49] Croplife Latin America. Agricultura de labranza cero [Internet]. San José (Costa Rica): Croplife Latin America; 2015.
- [50] Fedepalma. Guía ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Versión para Consulta. Bogotá DC (Colombia): MAVDT - Fedepalma; 2011. p. 86.
- [51] Torres JS. Boletín Técnico 34. Principios básicos para identificar problemas de drenaje en el cultivo de la palma. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2014.
- [52] Fedepalma. Viveros nativos forestales. Estrategia clave para incorporar Herramientas de Manejo del Paisaje en cultivos de palma de aceite. Paisaje Palmero Biodiverso (PPB). Bogotá DC (Colombia): Fedepalma; 2018.
- [53] Cenipalma y Fedepalma. Mejores prácticas agroindustriales del cultivo de la palma de aceite en Colombia. Bogotá DC: Cenipalma, SENA, Fedepalma; 2017.
- [54] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Legumbres y Cambio Climático [Internet]. Roma (Italia): FAO; 2016 [Citado 2018 ene 09]. Disponible en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/461690/>
- [55] Rincón A, Delgado T y Molina D. Establecimiento y manejo de leguminosas de cobertura en palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma, Fedepalma; 2015.
- [56] Ruiz E y Molina D. Beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes: una revisión de literatura. Palmas. 2014; 35(1):53-64.
- [57] Cenipalma. Guía de bolsillo. Plantas nectaríferas asociadas a plantaciones de palma de aceite, que favorecen la fauna benéfica del ecosistema. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2018.

- [58] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Agricultura de Conservación [Internet]. Roma (Italia): FAO - Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor; 2015 [Citado 2018 mar 27]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca/es/11.html>
- [59] Rivera Y, Galindo T, Caicedo AF, Navia EA y Romero HM. Boletín Técnico 35. Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) en palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2014.
- [60] Tubiello FN *et al.* Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura: Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Roma (Italia): FAO; 2015.
- [61] Owen E. Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis Jacq.*) en Colombia. Palmas. 1992;13(2):39-64.
- [62] Rodríguez DT, Ramírez NE y García JA. Evaluación de la incidencia de la producción de compost, usando biomasa de la planta de beneficio, en la huella de carbono del aceite de palma. Palmas. 2015;36(1):27-39.
- [63] Galindo T y Romero HM. Boletín Técnico 31. Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: Estado del arte y perspectivas de investigación. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2012.
- [64] Fontanilla CA, Pachón S, Castiblanco JS, Mosquera M y Sánchez AC. Boletín Técnico 25. Referenciación competitiva a los sistemas de evacuación y alce del fruto. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2010.
- [65] Dam J van. Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. Palmas. 2016; 37(Especial-Tomo II):149-156.
- [66] Ramírez NE, Silva ÁS, Garzón EM y Yáñez EE. Boletín Técnico 30. Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. Bogotá DC (Colombia); 2011.
- [67] Steiner C. Las perspectivas de biocarbón - secuestro de carbono, ciclo de nutrientes y generación de energía. Introducción. Palmas. 2010;31(Especial, Tomo II):116-125.
- [68] Pineda B y Martínez G. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite - Guía para facilitadores. Reconocimiento de enfermedades en la palma de aceite. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2013. p. 138.
- [69] Sanz JI. Las mejores prácticas agroindustriales para una excelente palmicultura colombiana. En: XIII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite; 2016, sept 20-22; Medellín (Colombia); 2016. p. 24.
- [70] Franco P. Postcosecha en la palma de aceite. La ruta de la calidad. The quality route. Palmas. 1997; 18(3):59-67.
- [71] Mosquera M, Ruiz E, Fontanilla CA, Beltrán JA y Arias N. Manual para el registro de costos en plantaciones de palmicultores de pequeña y mediana escala. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2014.
- [72] Yáñez É, Díaz Ó, García J, Granados J y Castillo E. Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático. Palmas. 2008;29(4):21-30.
- [73] Cortés IL, Ramírez NE y García JA. Identificación del factor de dilución para la recuperación primaria de aceite en materiales híbridos OxG. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2011.
- [74] Barrera JC, Ramírez NE y García JA. Boletín Técnico 38. Metodología para la medición, caracterización y diagnóstico del desempeño en el consumo de servicios industriales en plantas de beneficio. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 2019.
- [75] Althausen M. Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio - Convertir un residuo en un recurso. Palmas. 2016;37(Especial-Tomo II):31-37.
- [76] García JA. Boletín Técnico 10. Manejo de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma. Arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización. Bogotá DC (Colombia): Cenipalma; 1996. p. 302.
- [77] Barrera F, Ramírez J, García JA y Guevara FE. Diagnóstico del desempeño en consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio en Colombia. Palmas. 2016;37(4):47-62.

- [78] García JA. Evolution of palm oil mills into bio-refineries (Ph.D. thesis). Pullman, WA: Washington State University; 2015.
- [79] Henson I y Chang K. Evaluación del impacto de la producción de aceite de palma sobre el calentamiento global (II) Modelo para un cultivo individual. *Palmas*. 2010;31(3):63-77.
- [80] Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas. Montreal (Canadá): CCA; 2014.
- [81] Fedepalma. Propuesta del sector palmero para modificar la Resolución 909 de 2008 de emisiones atmosféricas. Bogotá DC (Colombia): Fedepalma; 2013.
- [82] Vargas DL, Yáñez EE, García JA, Meneses A y Cuéllar M. Cogeneración con biomasa de palma de aceite en el sistema eléctrico colombiano: barreras, perspectivas y oportunidades. *Palmas*. 2011;32(3):49-62.
- [83] Valencia A, Hernández M y Espinosa JC. Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio del sector palmero. *Guidelines for an Efficient Operation of Steam Generation Systems and the Reduction of Atmospher*. 2016;37(2).
- [84] Garzón EM. Biocarbón de estípites de palma de aceite: Una alternativa para el aprovechamiento de la biomasa y el mejoramiento de la calidad del suelo en fase de renovación. *Palmas*. 2010;31(Especial, Tomo I):265-277.
- [85] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Portal de Suelos de la FAO - Propiedades del Suelo [Internet]. Roma (Italia): FAO [date unknown]. [Citado 2018 may 17]. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/es/>





ISBN: 978-958-8915-93-7



9 789588 915937



CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO



Fomentado por:



Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety

en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania