Productividad y calidad de aceite, retos para el sector palmero colombiano

Productivity and Oil Quality, Challenges for the Colombian Palm Oil Sector

Citación: García-Núñez, J. A., Chaparro-T., D. C., Ramírez-C., N. E. Caballero-B., K., Díaz, C. A., Cortés, I. L., Munar, D. A., González, A., Mondragón, A., Cala, S., Guerrero, A., Sierra, S. Albarracín, J. A. & Cuellar, M. (2022). Productividad y calidad de aceite, retos para el sector palmero colombiano. *Palmas, 43*(1), 64-75.

García Núñez Jesús A.
Coordinador del Programa de Procesamiento de Cenipalma

Chaparro T. Diana C.
Auxiliar de Investigación de Cenipalma

Ramírez C. Nidia E.
Asistente de Investigación de Cenipalma

Caballero B. Kennyher
Auxiliar de Investigación de Cenipalma

Díaz Cesar A.
Investigador Asociado de Cenipalma

Cortés Ingrid L.
Auxiliar de Investigación de Cenipalma

Munar David A.
Auxiliar de Investigación de Cenipalma

González Alexis
Asistente de Investigación de Cenipalma

Mondragón Alexandra
Responsable del Proyecto Especial de Salud y Nutrición

Cala Silvia
Extensionista II de Cenipalma

Guerrero Anderson
Extensionista I de Cenipalma

Sierra Sonia
Extensionista II de Cenipalma

Albarracín Jorge A.
Analista de Desarrollo de Nuevos Negocios

Cuellar Mónica
Líder de Desarrollo de Nuevos Negocios

Resumen

En la agroindustria de la palma de aceite los productos principales son el aceite de palma crudo (APC) y la almendra. El APC es distribuido para productos del sector de alimentos, biodiésel, concentrados y oleoquímica. Sin embargo, se han analizado escenarios de viabilidad para incluir otros que son derivados de la palma de aceite, como los generados a partir

de la biomasa. En los últimos 20 años, la producción de aceites y grasas se ha triplicado, al mismo tiempo que se han vuelto más estrictas las exigencias del mercado en parámetros de calidad del aceite de palma, generando la necesidad de establecer estrategias para afrontar todos los retos que tiene el sector. En este artículo se presentan parte de los resultados que se han obtenido a partir de diferentes estudios e investigaciones realizadas por Cenipalma, y que están relacionados con el incremento de la productividad de la agroindustria, el desarrollo de tecnologías, el procesamiento de racimos de fruta fresca y la diversificación de los productos derivados de la palma de aceite. De igual manera, se mencionan los retos de calidad y nuevos usos del aceite a los que se enfrenta el sector. Finalmente, se presenta un análisis de compatibilidad entre los distintos retos mencionados y la forma de abordarlos, y las conclusiones del análisis desarrollado.

Introducción

A nivel mundial, en las tres últimas décadas, la producción de aceites y grasas se ha triplicado pasando de 80 millones de toneladas desde 1990 a 236 millones de toneladas en 2020 (Fedepalma-Sispa, 2021). Dentro de este mercado, el aceite de palma crudo (APC) y el aceite de palmiste han incrementado su participación alcanzando un crecimiento aproximado de 140 % en el mismo periodo de tiempo a nivel mundial (Oil World, 2021). Este crecimiento se atribuye a que el cultivo es considerado como la oleaginosa con mayor productividad y versatilidad, lo que facilita su uso dentro de diferentes industrias y potencializa su participación en diversos mercados locales y mundiales. En Colombia, la producción de APC ha tenido un crecimiento significativo desde la década de los noventa, alcanzando niveles históricos como en el 2020 cuando se reportó una producción de 1,5 millones de toneladas de APC (Fedepalma-Sispa, 2021). Sin embargo, también han existido épocas de estancamiento causadas por el desarrollo de políticas públicas y factores externos, que generan incertidumbre en el comportamiento de la dinámica comercial.

Por otra parte, los precios del APC, según CIF Rotterdam, han tenido fluctuaciones a través del tiempo, por lo que es indispensable identificar estrategias que permitan amortiguar los impactos negativos y positivos en la variación de los precios y el comportamiento del mercado. Durante el año 2021, el precio del aceite se ha mantenido por encima de los USD 1.000 (Refinitiv, 2021), convirtiéndolo en un buen momento para realizar inversiones que mejoren aspectos relacionados con la productividad y reduzcan los efectos negativos que se puedan dar por temas de producción, cantidad de aceite y de fruto, entre otros. El valor de la producción de la agroindustria de la palma de aceite incluye el APC y la almendra, siendo la venta de APC distribuida principalmente para alimentos, biodiésel, concentrados y oleoquímica (Fedepalma-Sispa, 2021). Sin embargo, ha surgido la necesidad de incluir otros que son derivados de la palma de aceite, como los productos generados a partir de la biomasa, ya que han sido identificados como una oportunidad para ampliar la oferta en mercados locales e internacionales.

En las últimas dos décadas, las exigencias del mercado han aumentado la necesidad de regular los parámetros de calidad del APC, incrementan-do la cantidad de análisis de calidad y fijando rangos de estricto cumplimiento. Previo al año 2000, únicamente se monitoreaban ácidos grasos libres (AGL) y humedad e impurezas (H+I), posterior a esta fecha se solicitaban parámetros de calidad adicionales como DOBI (índice de deterioro de la blanqueabilidad), ácidos grasos trans (AGT), índice de yodo y, recientemente, 3MCPD (3-monocloropropano-1-2-diol) y GE (esteres de glicidilo por sus siglas en inglés) en el aceite refinado. Desde 2018 y hasta la fecha, los 3-MPCD/GE han sido foco de atención para las entidades regulatorias, debido a que se asocia su presencia con problemas de salud, por lo que cada vez se limita más su concentración dentro de los aceites para consumo humano. Este artículo presenta una discusión sobre la compatibilidad que puede haber entre los retos de productividad, calidad y valor agregado que existen actualmente para el sector palmero, así como las implicaciones que esto puede traer.

El reto de la productividad

Este se analiza considerando 4 puntos: incrementar la productividad, desarrollar tecnologías 4.0, procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF) de cultivares híbrido OxG, y diversificación de los productos que se pueden obtener a través de la biomasa residual.

Incrementar la productividad: para alcanzar una producción sostenible de 5 t APC por ha.año

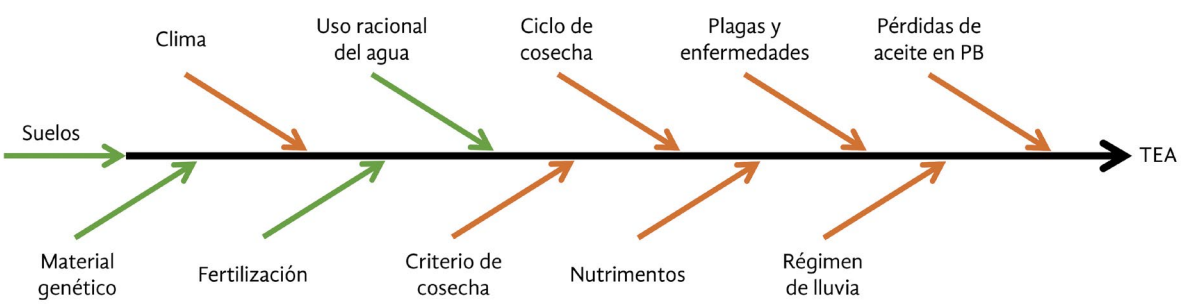
Para incrementar la productividad de la agroindustria palmera se debe fortalecer la confianza entre los actores que componen el Núcleo Palmero (cultivador, procesador, colaboradores en general). Esto requiere resolver inquietudes referentes a la materia prima como la eficiencia de la polinización, la variabilidad de la producción, las condiciones agroclimáticas, el manejo de plagas y enfermedades, tipos de cultivares y de material genético, nutrición de los suelos, conformación de RFF y escala fenológica (madurez de RFF). Además, se deben tener en cuenta los factores que afectan el potencial de aceite y la tasa de extracción de aceite (TEA) (Figura 1). Algunos de estos parámetros están regidos estrictamente por condiciones ambientales y otros dependen de las condiciones de manejo internas de cada plantación y planta de beneficio (PB). Por ejemplo, la Pudrición del cogollo (PC) y su grado de avance afecta considerablemente la TEA, fluctuando entre valores de 17 a 27 %, es decir, 10 puntos de diferencia en el contenido de aceite. Se ha establecido que un potencial óptimo de aceite de palma podría ser 27 % (Durán *et al.*, 2004), sin embargo, se ha identificado que en el procesamiento de los RFF solamente se extrae cerca de 21 % como TEA en PB, teniendo pérdidas importantes originadas desde las plantaciones y que se incrementan durante el proceso de extracción en las PB.

Con la llegada de los cultivares híbridos OxG se han unificado los criterios de calidad de los RFF considerando: i) su estado de maduración (maduro, verde, sobremaduro, podrido), ii) criterios por conformación (clase 1, 2, 3 y 4) y iii) criterios externos (pedúnculo largo e impurezas). Estos criterios varían de los definidos para el cultivar *Elaeis guineensis* especialmente en cuanto a la conformación de los racimos. Esta clasificación se ha realizado teniendo como criterio principal la apariencia externa de los RFF, sin embargo, se identificó una problemática por la calificación de clases, debido a que los frutos internos de los cultivares OxG no contienen nueces y reportan mayores cantidades de aceite de palma con respecto al *Elaeis guineensis*. Esto generó un nuevo desafío, relacionado con el desarrollo de metodologías que permitieran identificar el potencial de aceite a nivel industrial para reducir las brechas entre el potencial estimado y la TEA medida en la PB. Como respuesta a este desafío, el Programa de Procesamiento ha trabajado en el desarrollo de dos tecnologías conocidas como i) Masa que pasa al digestor (MPD) y ii) Potencial industrial de aceite (PIA) en línea para facilitar la medición del potencial de aceite.

Masa que pasa al digestor (MPD)

El MPD (masa que pasa al digestor) es una metodología que determina el potencial de aceite y caracteriza los RFF, mediante el muestreo de la masa esterilizada (frutos + impurezas) que se toma en el trayecto

Figura 1. Factores que afectan el potencial de aceite y TEA. Fuente: García *et al.* (2021)



entre la salida del tambor desfrutador y la entrada al digestor, obteniendo información relevante sobre la composición del racimo (*fruit set*, almendra a racimo, frutos a racimo, etc.) y sus frutos (mesocarpio a fruto, aceite a mesocarpio, almendra a fruto, etc.), y así cuantificar el potencial de aceite (Caballero *et al.*, 2019). La principal ventaja de la metodología MPD se presenta desde la óptica del muestreo, ya que con poco esfuerzo físico y recurso humano es posible evaluar diferentes volúmenes de RFF que pueden ir desde un racimo hasta un camión con fruto (p. ej. 20 t). Debido a que el muestreo se realiza después del desfrutador, es posible una mayor homogenización de los frutos esterilizados, reduciendo el sesgo de subjetividad. Esto ha permitido obtener potenciales de aceite por MPD cercanos a la TEA medida en PB (las diferencias encontradas entre estos dos parámetros no superan el punto porcentual, a diferencia de las metodologías convencionales con las que se pueden registrar hasta cinco puntos porcentuales de discrepancia).

Potencial industrial de aceite (PIA) en línea

Esta tecnología permite medir en línea la cantidad de aceite que se obtiene de cada proveedor, clasificarlo y segmentarlo de acuerdo con el potencial industrial de aceite (PIA). Además, el sistema PIA en línea puede determinar parámetros como AGL y DOBI en tiempo real, permitiendo monitorear la calidad del aceite por proveedor, y facilitando la toma de decisiones que involucren modificaciones dentro del proceso y las prácticas implementadas por estos. La metodología PIA en línea está posicionada como la tecnología más revolucionaria en el mercado para la determinación del potencial de aceite junto con parámetros de calidad, además de permitir la integración con otros equipos y sistemas preexistentes en la PB, logrando conformar un ecosistema diverso entre Tecnologías 4.0, espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) y metodologías de ingeniería. En 2021, la tecnología fue reconocida como un proyecto patentado, pues se destacó como la primera patente de Cenipalma. Actualmente se están trascendiendo las fronteras del país a través de la solicitud de esta, pero en referentes palmeros como Malasia, Indonesia, Tailandia y en países de América Latina. El MPD y el PIA en línea son tecnologías complementarias, las cuales permiten analizar aspectos que van desde la unidad elemental de los RFF y su conformación detallada, pasando por la caracterización en tiempo real de parámetros asociados a cantidad y calidad del aceite, hasta lograr el conocimiento avanzado de cada proveedor.

Desarrollo de tecnologías 4.0

El sector palmero se encuentra frente al desafío de adopción de nuevas tecnologías. Aunque algunas PB ya tienen avances en este tema se requiere incentivar la adopción a nivel sectorial. Estos nuevos desarrollos y herramientas tecnológicas se encuentran dentro del marco de la Ciencia de los Datos (o Data Science), que integra ingenierías, estadística y matemática, generando soluciones novedosas con gran aplicabilidad en el contexto palmicultor. Algunas de estas tecnologías son: i) inteligencia artificial aplicada a reconocimiento y clasificación, ii) escáner y digitalización 3D de equipos y espacios, iii) fabricación aditiva (impresión 3D), iv) integración vertical y horizontal de tecnologías, v) ciberseguridad integrando *blockchain*, vi) *wearables* y tecnología háptica que interactúa con el cuerpo humano (p. ej. exosqueletos y gafas de realidad mixta), vii) computación en la nube (*cloud*), viii) robótica autónoma, ix) internet industrial de las cosas (iloT), x) Big Data y minería de datos, entre otras. Estas tecnologías pueden ser implementadas dentro de las PB para temas relacionados con sistemas de información, monitoreo y control remoto de procesos, espectroscopia de infrarrojo cercano NIR, tecnologías de mantenimiento predictivo, visión e inteligencia artificial.

En Colombia se ha implementado el Sistema integrado de información para plantas de beneficio (CeniSiiC), el cual permite administrar, recolectar, recuperar, procesar, almacenar y distribuir datos obtenidos en procesos de beneficio y de áreas de soporte, que faciliten su transformación a información para la toma de decisiones estratégicas a nivel gerencial, directivo y operacional. En años anteriores, CeniSiiC permitió identificar oportunidades en más de 35 PB en el país, logrando establecer puntos de mejoramiento en procesos y prácticas asociadas al uso racional del tiempo (disponibilidad de planta), sincronismo y velocidad de procesamiento (rendimiento de equipos) y aspectos sobre el monitoreo de la calidad de los procesos (principalmente diferencias entre PIA, TEA y pérdidas de aceite). Este sistema de información se encuentra en proceso de mejoramiento e inclusión de nuevas herramientas alineadas con las Tecnologías 4.0.

Otra es la tecnología NIR de laboratorio para la determinación de parámetros de calidad de aceite, pérdidas en matrices sólidas, entre otros. El NIR cuenta con modelos construidos para *Elaeis guineensis*, para la determinación de parámetros como DOBI, AGL, índice de yodo, humedad, contenido de aceite en mesocarpio, aceite de almendra, pérdidas en fibra y tusa, entre otros, así como la determinación de vitaminas como α-carotenos y ß-carotenos. Actualmente se están desarrollando modelos para cultivares híbridos OxG, siendo los modelos de predicción para calidad de aceite y medición de pérdidas en fibra, los de mayor avance debido al alto desempeño estadístico como el índice de correlación (R^2) superior al 85 y el balance sostenido entre muestras analizadas y métodos de referencia en el laboratorio monitoreados, a través de los errores estándar de validación cruzada (SECV) y de predicción (SEP). Con estas tecnologías se ha buscado tener el control detallado del funcionamiento de las PB, con el objetivo de optimizar procesos y tomar decisiones oportunas para mejorar los procesos de extracción, productividad y calidad del aceite. Debido a la alta flexibilidad de los equipos NIR, se está estudiando la posibilidad de detectar compuestos y sustancias de mayor complejidad, como es el caso del cloro en el aceite, y elementos considerados como contaminantes no deseables en el proceso de extracción, lo anterior utilizando equipos de alto espectro en el laboratorio con validación en equipos de medición *on-line*.

Cenipalma ha logrado evaluar tecnologías avanzadas de mantenimiento predictivo y de gestión de activos en diversas PB. En sistemas críticos para el proceso como elevadores de cangilones de fruto, centrífugas deslodadoras, transportadores sinfín, desfrutadores, entre otros. Se han realizado análisis de vibraciones mecánicas en línea para detectar con antelación de meses, posibles indicios y fallas que podrían ser catastróficas para la disponibilidad y seguridad de la PB. Simultáneamente la tecnología de termografía infrarroja ha permitido corroborar los diagnósticos relacionados con vibraciones mecánicas, evidenciar puntos calientes a nivel eléctrico en sistemas críticos en la planta, entre otros posibles problemas no detectables por el ser humano. Finalmente, la tecnología de escaneo 3D ultra-detallada se aplicó en tanques de almacenamiento y en parte de la infraestructura de la PB, con el fin de proponer una herramienta para conocer el volumen real en vacío de los tanques de almacenamiento y para el levantamiento de planos de áreas del proceso.

Procesamiento de RFF de cultivares híbrido OxG

La estrategia que se ha planteado para el procesamiento de los RFF de cultivares híbridos OxG está compuesta por tres etapas: i) levantamiento de la línea base y trabajo con los comités asesores de las PB, ii) acompañamiento a las PB y seguimiento de iniciativas y iii) convenio con organizaciones externas y terceros. Como resultado, se han identificado diversas preocupaciones con respecto al procesamiento de estos racimos en la PB.

Recuperación de la almendra

Se ha evidenciado un menor contenido de nueces en los cultivares híbridos OxG, lo que reduce la cantidad de almendra obtenida. Esta condición ha generado variaciones en el proceso de digestión y prensado, por lo que se requiere de la búsqueda de tecnologías que permitan la extracción del aceite de palma minimizando los riesgos de pérdidas de aceite, además de mantener la calidad del aceite obtenido. Respecto a los parámetros de prensado se identificó que existe divergencia frente a la cantidad de nueces, teniendo una variación entre 0,2 % hasta 24 % por RFF. Esta variación genera cambios en el rendimiento de la prensa y la impregnación de aceite en la fibra por lo que identificar parámetros de operación y o tecnologías de extracción contribuirá a la reducción de las pérdidas de aceite en esta etapa del proceso.

Pérdidas de aceite y buenas prácticas en PB

Las pérdidas de aceite en fibra prensada es la que reporta mayor afectación en el procesamiento de RFF híbrido OxG, llegando a tener valores de hasta 1,21 % aceite/RFF. Para las tusas, se encontró un rango de pérdidas entre 0,48 a 0,60 % aceite/RFF, pero no se observan grandes diferencias para el procesamiento de RFF híbrido OxG en particular. En los efluentes, las mayores pérdidas las reportan las PB que no han realizado un ajuste en la operación de la clarificación (dilución). En general, se observó que hay un aumento de las pérdidas totales de aceite en el proceso, teniendo valores de hasta 2,15 % aceite/RFF con respecto al valor de referencia de 1,6 % aceite/RFF para procesamiento con RFF *Elaeis guineensis*.

Algunas PB han implementado prácticas para mejorar los procesos de digestión y prensado para el

procesamiento de RFF de cultivares híbridos OxG a fin de reducir las pérdidas de aceite. Como ejemplo de estas prácticas, en la sección de digestión y prensado se ha implementado un freno en el tornillo, aumento del cuerpo del tornillo, recuperación de aceite en el fondo del digestor, aumento en diámetros de las perforaciones de la canasta de prensa, adaptación del sistema recuperación de aceite en bajantes (pantalones) de prensa mediante recolectores encamisados, uso de semilla de tagua como elemento acondicionador de la masa digestada previa al prensado (reemplazo de las almendras) y refuerzo del cuerpo de la canasta con barras fijas a lo largo del cuerpo de esta para evitar deformaciones durante la operación. Un ensayo realizado en Ecuador logró monitorear el flujo volumétrico y la corriente eléctrica del digestor en el procesamiento de RFF *Elaeis guineensiss* y OxG. En este ensayo se detectó que el flujo promedio para el procesamiento de *Elaeis guineensis* fue de 0,59 m^3/h, mientras que para el procesamiento de OxG fue de 3,5 m^3/h. Estos resultados permiten concluir preliminarmente que el proceso se lograría optimizar en este punto, para alcanzar mejoras en el prensado.

Inventario tecnológico

En el estudio de inventario tecnológico se evaluaron 11 PB, las cuales evidenciaron que en la etapa de esterilización hay diversidad en cuanto a los ciclos de esterilización aplicados, tanto en número de picos de presión como en los tiempos totales (desde 45 hasta 110 minutos). Adicionalmente, las diferencias entre las PB en el proceso de esterilización están asociada a las características de maduración del fruto y a las condiciones en la generación de vapor y prensado de los RFF. Los hallazgos para esta etapa del proceso dejan ver la necesidad de realizar trabajos que conduzcan a la identificación de las mejores formas de operar los equipos en función del cumplimiento de los objetivos de la esterilización, teniendo en cuenta las características particulares de cada PB.

Adicionalmente, se encontró que el mayor reto para las PB se relaciona a la mejora de la capacidad de prensado, ya que esta disminuye con el procesamiento de los RFF OxG. En la encuesta realizada a 11 PB se evidenció que aquellas que solo procesan híbrido OxG reportan reducciones en su capacidad de prensado que están entre 20 y 50 %, y las que procesan mezclas reportan reducciones desde 11 hasta 35 %. Estas reducciones están asociadas a las características y calidad de la materia prima, como a las mismas condiciones de operación. En este sentido es necesario identificar posibles mejores prácticas operativas que las PB puedan aplicar para mitigar el efecto de procesamiento de RFF OxG en el rendimiento de los equipos.

Diversificación de productos de la biomasa

Una fuente de ingreso adicional, que puede ser de gran relevancia para el sector palmero colombiano, es la diversificación de su canasta de productos. Considerando que actualmente la biomasa de palma de aceite no es aprovechada en su totalidad, es clave generar valor agregado para aumentar las oportunidades de producir nuevos productos derivados de esta como sustancias químicas, bioenergía y materiales. El sector palmicultor cuenta con múltiples opciones de rutas de aprovechamiento de la biomasa obtenida por el proceso de extracción de aceite de palma (Figura 2), permitiendo el desarrollo de procesos como son fermentación alcohólica, digestión anaeróbica, secado, molienda, compactación, despulpado, combustión, gasificación, pirolisis, licuefacción, entre otras. Estos, facilitan la obtención de productos, generando nuevas alternativas de mercado y fuentes de ingreso para el sector.

El comportamiento del mercado (Figura 3) de los productos derivados de biomasa, evidencian que son una buena oportunidad para la generación de ingresos adicionales para el sector, llegando a la posibilidad de tener productos que se aproximen a los 9.000 USD/t, siempre y cuando se cuente con las tecnologías, escalas y los requerimientos necesarios para la obtención de productos sostenibles y de alta calidad en los diferentes mercados. A la vista de estas posibilidades, el análisis de nuevos modelos de mercado en el entorno nacional o regional será un factor clave en la formulación de proyectos de inversión que permita diversificar el beneficio del fruto de la palma de aceite y la biomasa del cultivo. Adicionalmente, de la solidez de los estudios económicos que se hagan, dependerá el soporte que den las políticas públicas y los inversionistas interesados para que finalmente sea posible la capitalización de estos mercados potenciales.

El comportamiento de los precios de venta de los productos derivados de la biomasa de palma están relacionados con las características de la materia prima y su composición fisicoquímica (Tabla 1). Las carac-

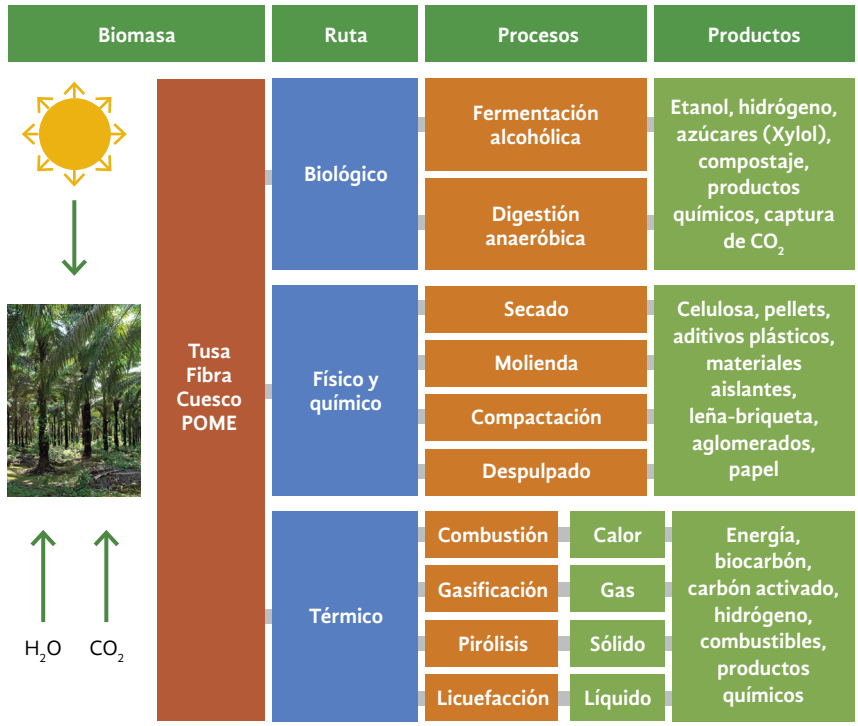


Figura 2. Rutas de aprovechamiento de la biomasa en el sector de la palma de aceite. Fuente: García-Perez *et al.*, (2013)

Figura 3. Precios de venta de productos derivados de biomasa. Fuente: García *et al.*, (2018). Adaptado de Abdulrazik *et al.* (2017)

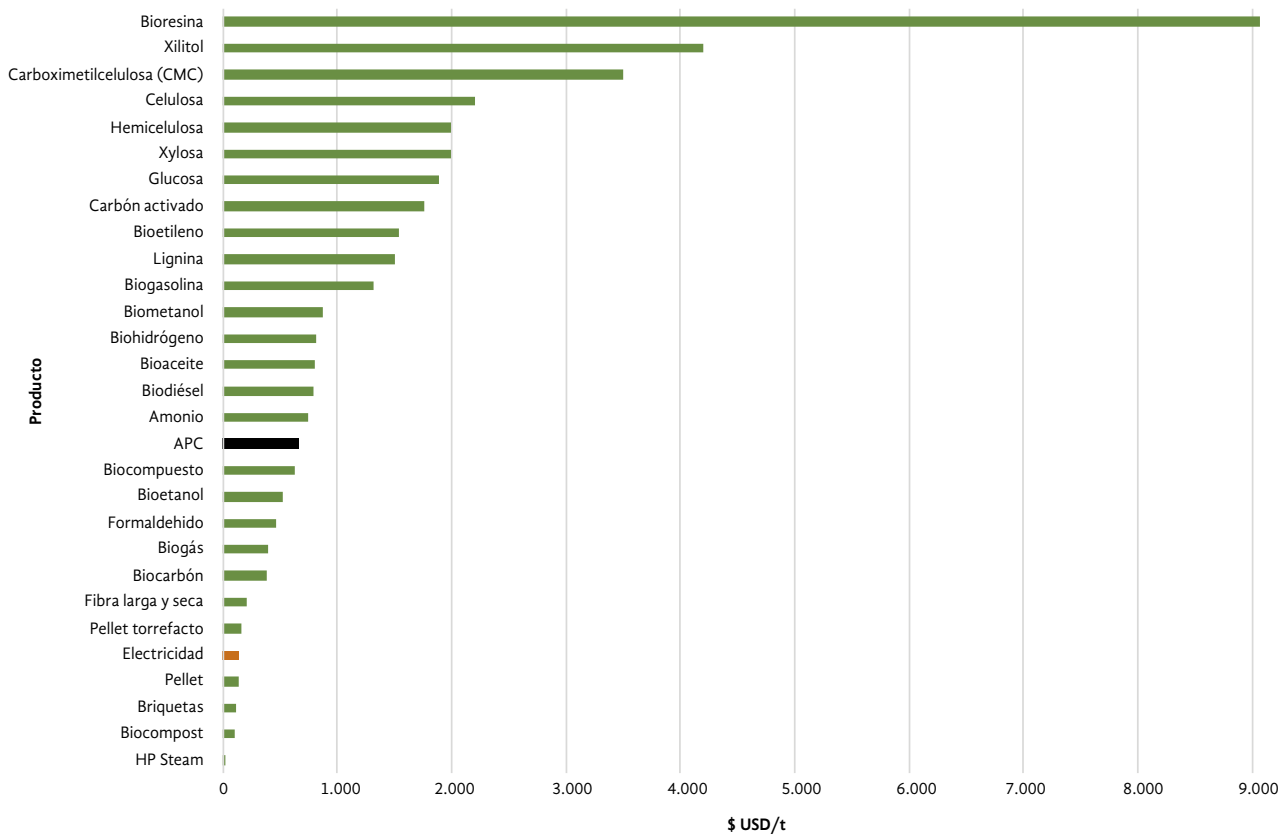


Tabla 1. Composición de la biomasa de la palma de aceite. Fuente: (García-Núñez *et al.,* 2016)

Componentes	Biomasa					
	Cuesco		Tusa		Fibra	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Lignina (%)	48	2,9	15	8,9	24	5,5
Celulosa (%)	26	4,0	43	15,1	30	5,4
Hemicelulosa (%)	19	4,5	21	6,3	21	5,6
Humedad (%)	11	5,2	36	28,8	24	15,7
Volátiles (%)	74	5,7	80	5,8	78	-
C (%)	50	1,0	47	4,2	44	-
N (%)	0,4	0,2	0,6	0,4	1,9	0,1
S (%)	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,0
Na (mg kg-1)	10,8	-	102,3	-	32,9	-
Mg (mg kg-1)	262,7	-	913,5	-	1.509,5	-
Al (mg kg-1)	31,7	-	802,1	-	1.216,3	-
P (mg kg-1)	115,0	-	572,7	-	594,9	-
K (mg kg-1)	1.477,7	-	5.574,0	-	5.188,3	-
Ca (mg kg-1)	173,7	-	173,7	-	1.771,6	-
Fe (mg kg-1)	56,3	-	320,4	-	1.239,4	-

terizaciones de la biomasa son el elemento principal para definir los usos potenciales que se pueden obtener y las rutas por las cuáles se realizará el proceso de transformación para la obtención del producto final.

Para conocer la cantidad de biomasa con la que cuenta el sector palmero colombiano, en el 2017 se realizó el primer inventario de biomasa generada y se definió su distribución en las cuatro zonas palmeras. Este estudio identificó los principales usos que se le ha dado y el potencial de biomasa que puede ser usado con otros fines, además de los ya existentes. La evolución constante de la industria, las exigencias de la sociedad, y los efectos del cambio climático, se han convertido en el eje principal para realizar cambios que permitan la adaptación y que generen nuevos esquemas de producción que se encuentren alineados con producciones sostenibles, de menor impacto ambiental y mayores aportes económicos.

Rutas de transformación de la biomasa

Dentro del objetivo de convertir las PB en biorrefinerías, se identificó el carpado de las lagunas, el aprovechamiento del biogás y la optimización energética, como los factores de mayor importancia dentro de este proceso de transformación. El biogás es la oportunidad con mayor proyección que se tiene hasta el momento. En los últimos análisis realizados se ha estimado que el sector palmero tiene un potencial de producción de biogás de 140 millones de m^3/año (Fedepalma-Cenipalma, 2021) y una reducción de gases de efecto invernadero (GEI) de 1,4 millones de toneladas CO_2eq, por solamente carpar las lagunas de tratamiento actual del efluente generado en el proceso. El aprovechamiento de este biogás puede generar energía eléctrica para suplir las necesidades energéticas dentro del proceso de extracción de aceite y además producir excedentes de energía que pueden ser suministrados a la red eléctrica nacional. De igual manera, puede ser utilizado como gas domiciliario, contribuyendo con las metas establecidas dentro de la transición energética actual del país.

La producción de biocarbón es otro de los usos con gran potencial de aprovechamiento, debido a sus múltiples posibilidades de uso como el secuestro de carbono; remoción de contaminantes en agua, aire

y suelo; mejora de fertilidad de suelos; reducción de procesos de lixiviación y escorrentía; mejoramiento de propiedades físicas del suelo; y generación de energía renovable, entre otros. El biocarbón producido por pirólisis (degradación térmica de la biomasa bajo una atmósfera limitada en oxígeno) tiene propiedades funcionales para diferentes aplicaciones comerciales debido a una mayor área superficial y la formación de grupos funcionales. Por ejemplo, la aplicación de biocarbón en el suelo incrementa los rendimientos de los cultivos y mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, acidez, capacidad de retención de agua y capacidad de intercambio catiónico). Otras aplicaciones, incluyen la remoción de contaminantes en agua, tales como metales pesados, azul de metileno, nitrógeno, fósforo y oxianiones. El proceso de pirólisis genera energía, gases de síntesis y bioaceite que pueden ser usados como sustitutos de combustibles fósiles. La producción de biocarbón es una medida de mitigación del cambio climático, debido a que almacena el carbono en una forma estable, evitando su liberación a la atmósfera por la degradación de la biomasa.

El reto de la calidad y los nuevos usos del aceite

El procesamiento de los RFF ha tenido que evolucionar y adaptarse a los cambios y requerimientos demandados por el mercado. Actualmente, las PB no solo se enfocan en el proceso de extracción del APC, sino que además deben priorizar la producción de aceites de mejor calidad, enmarcado dentro del cumplimiento de los parámetros exigidos por los diferentes entes reguladores a nivel local, nacional y mundial.

Obtener aceite de palma de mejor calidad

Como se mencionó anteriormente, los nuevos parámetros de calidad exigidos por los compradores durante las negociaciones del APC hacen indispensable la revisión y ajuste de los procesos y las tecnologías utilizadas en las PB. Es por esto que los metales pesados, trazas de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, cloropropanoles y compuestos de cloro y fósforo son monitoreados con mayor frecuencia, con el fin de evaluar las propiedades y características fisicoquímicas del APC y refinado para su comercialización.

Con el fin de garantizar la calidad del aceite, se han desarrollado análisis de los diferentes flujos del proceso para determinar el grado de influencia de cada uno en la afectación de la calidad del APC. Como resultado, se identificó que la presencia de cloro viene desde las plantaciones y puede incrementarse en la PB por la calidad del agua utilizada en el proceso. Se ha reportado un promedio de cloro total de 2,5 ppm en el APC de los tanques de almacenamiento. En el proceso de refinación esta concentración aumenta, debido a la exposición a altas temperaturas y tiempo prolongado de calentamiento, lo que genera una reacción con los diglicéridos (DAG) y forma compuestos 3-MCPD. En un proceso convencional se obtiene una concentración de cloro total entre 3,86 y 2,82 ppm de 3-MCPD. Si se realiza un proceso de segregación de flujos y agua tratada, se logra una mitigación de estas concentraciones, alcanzando valores alrededor de 2,6 ppm para cloro y de 1,43 ppm para 3 MCPD. De esta manera se daría cumplimiento a la normatividad establecida por la EFSA, la cual exige concentraciones menores a 2,5 ppm.

Nuevos usos del aceite de palma

El mercado actual exige la evolución de los productos a un ritmo paralelo con las necesidades de las poblaciones, por este motivo, se identificó la necesidad ir más allá de los usos tradicionales (alimento humano y alimento animal) e iniciar el desarrollo de oportunidades enfocadas a alimentos funcionales. Desde el sector se han logrado avances importantes en la identificación que sumen valor a la cadena productiva del aceite de palma. Algunos desarrollos que se han tenido desde el área alimenticia son el de dos productos lácteos tipo queso con aceite de palma rojo en reemplazo de la grasa animal, y el de una matriz de nanofibras-hojuelas de material lipídico encapsulado con múltiples posibilidades de usos, tanto en alimentos como en otras áreas.

De igual manera, se ha trabajado en la evaluación de procesos de concentración de los fitonutrientes del APC OxG para uso alimentario. Con este trabajo se buscó exaltar el potencial del contenido de los fitonutrientes que se encuentran en el aceite de palma híbrido OxG, así como emplear tecnologías de membranas para los procesos de concentración de estos compuestos. Además, evaluar la estabilidad del extracto o concentrado de los fitonutrientes que se obtuvo para poder estimar su aplicación y, finalmente, desarrollar una formulación de pilotos para examinar su uso en matrices alimentarias.

Es así como se evidencia un gran potencial de desarrollo de nuevos productos para el sector de la palma de aceite y la existencia de un gran número de opciones para el desarrollo de nuevos usos que potencialicen el valor del sector, desde áreas farmacéuticas, nutraceúticas, cosméticas y oleoquímica, hasta las áreas que se han trabajado por tradición.

Actividad antioxidante y contenido fenólico total en extractos metanólicos de aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari x La Mé)

El aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (APAO), extraído del cultivar híbrido Coari x La Mé (CxL), es un sustrato rico en compuestos menores con actividad biológica y funcional que, en adecuadas dosis, promueve el correcto desarrollo de la visión, facilita la reparación del tejido conjuntivo, estimula el sistema inmunitario y brinda protección frente a especies reactivas de oxígeno. Los radicales libres son especies químicas altamente reactivas que pueden ocasionar perturbaciones a nivel celular, al facilitar la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y de los aminoácidos que constituyen las proteínas. El consumo regular de alimentos ricos en antioxidantes naturales como carotenoides, tocotrienoles, tocoferoles, fenoles, polifenoles e isoprenoides minimiza la reactivad de los agentes oxidantes a nivel celular y son aliados para combatir el estrés oxidativo.

En estudios realizados por Cenipalma entre el 2020 y el 2021 se determinó el contenido total de compuestos fenólicos al igual que la capacidad antioxidante en extractos metanólicos de aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico, crudo y comercial-Nolí®, de distinta procedencia, por medio del ensayo de Folin-Ciocalteu y del método del radical libre DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), correspondientemente. En los extractos metanólicos del aceite crudo, recolectado en 2 PB de palma de aceite, se estimaron concentraciones medias de fenoles totales expresadas en términos equivalentes de ácido gálico, de 22,4±1,93 mg AG·100g^{-1} y de 21,5±2,80 mg AG·100g^{-1}, respectivamente, mientras que en los extractos metanólicos del aceite comercial Nolí® se determinó un contenido promedio equivalente de 15,8±0,82 mg AG·100g^{-1}. Por otro lado, los extractos metanólicos del APC tomado de las 2 PB, inhibieron el radical libre DPPH• en cerca del 77,7 % y del 74,0 %, respectivamente. Asimismo, los extractos metanólicos del aceite comercial Nolí® lograron inhibir el mismo radical en un promedio de 76,4 %.

Tanto el contenido total de fenoles como el porcentaje de inhibición del radical libre DPPH• fueron propiedades que se mostraron superiores en los extractos metanólicos del aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico, crudo y comercial, al hacer un contraste con estas mismas características, pero determinadas en extractos metanólicos de aceite de palma crudo extraído de cultivares de palma *Elaeis guineensis* Jacq. tipo tenera cruce *dura* x *pisifera* (DxP).

Energías renovables

Por otro lado, se tienen las alternativas relacionadas con el desarrollo de energías renovables como opciones a la sustitución de fuentes de energía fósil. Una de esas es la producción del aceite vegetal hidrogenado (HVO por sus siglas en inglés), el cual ha sido identificado como una oportunidad para generar valor en la cadena productiva de biocombustibles, derivada del aceite de palma en el país. Este biocombustible es considerado como uno de los más aceptados por el sector automotriz, debido a su similitud química con el diésel y el *Jet Fuel*. Además, el HVO puede ser producido en las mismas instalaciones de una refinería de petróleo crudo, lo que facilitaría su adopción. Algunos fabricantes de vehículos europeos alimentados convencionalmente con diésel de origen fósil han adoptado el suministro de HVO a sus flotas para la operación dentro de sus procesos productivos. Así mismo, los consumidores cuentan con vía libre para que utilicen HVO, el cual en 2020 alcanzó una producción mundial de 7,8 millones de toneladas (LMC, 2021). La proyección que se ha trazado para el mercado del HVO estima que, en los siguientes 4 años, tendrá un incremento de aproximadamente 506 %, lo que lo posiciona como una oportunidad de muy alto valor que da lugar a la participación del aceite de palma.

Mezcla de aceite de palma crudo *Elaeis guineensis* y OxG

Las mezclas de los aceites de palma obtenidos de cultivares OxG y *Elaeis guineensis* ha causado una nueva problemática debido a que la composición de ácidos grasos varía entre estos dos tipos de aceite. La manera de determinar esta composición se realiza

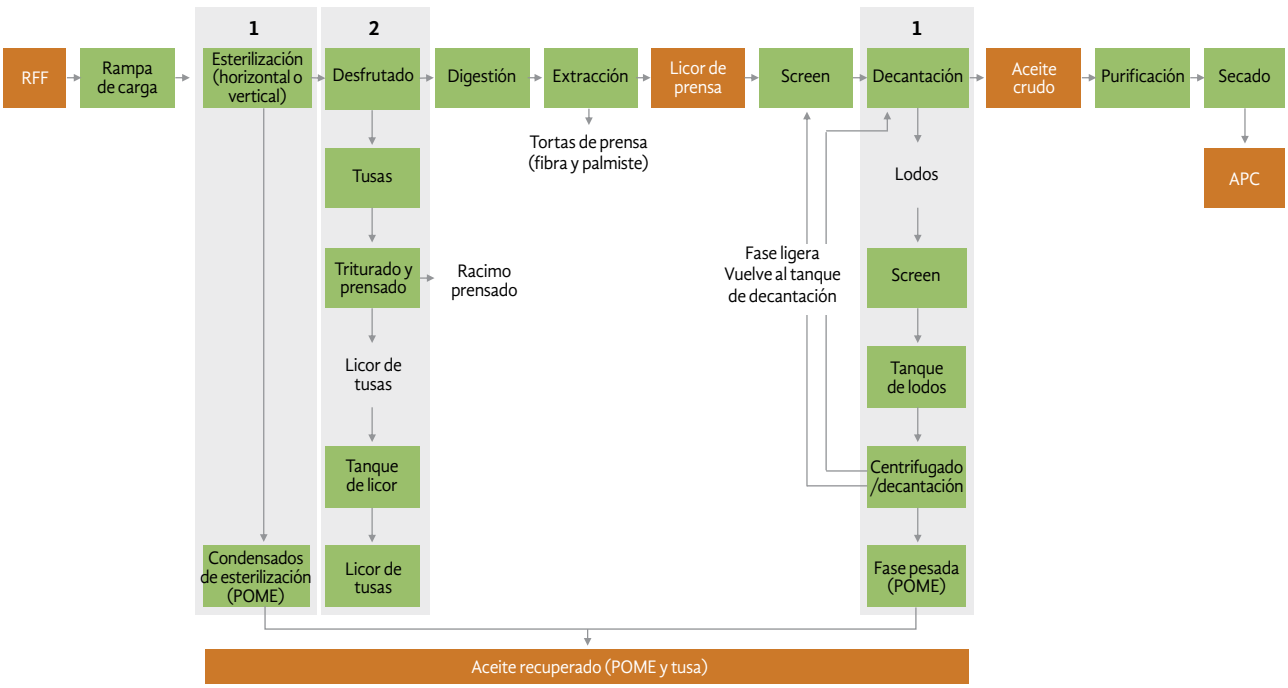
mediante la determinación del índice de yodo el cual mide el porcentaje de saturación.

Se realizó un ensayo de aptitud de interlaboratorios para verificar la implementación de la metodología para la determinación del índice de yodo. Este se realizó en 10 PB de las zonas palmeras Norte, Central, Oriental y para 6 refinadoras de APC. Como parte de los resultados preliminares se observaron variaciones significativas entre los datos obtenidos por algunos de los analistas participantes con respecto a los valores de referencia. Estas variaciones están asociadas a la aplicación deficiente de los procedimientos analíticos en el laboratorio, sin embargo, se identificaron también algunas oportunidades de mejora en cuanto a la calidad de los reactivos y a la estandarización de la metodología de análisis. Este ejercicio permitió reconocer que existe la necesidad de realizar actividades de capacitación y actualización para los analistas de laboratorio que promueva la estandarización en la medición del índice de yodo en las PB. Estas estrategias permitirán a sus laboratorios obtener datos con la precisión y representatividad requerida en el relacionamiento con los clientes. En términos generales, la estandarización en la medición del índice de yodo les permite a las plantas contar con información confiable en el monitoreo de sus procesos para la extracción del aceite, facilitando el control en la segregación de este en la planta.

¿Son compatibles estos retos?

Si bien muchos de los análisis presentados anteriormente están enfocados en mejorar los procesos para obtener mejores TEA, también es clave realizar la separación de corrientes para evitar el deterioro de la calidad del APC. A nivel internacional, se ha identificado una oportunidad de comercialización para los aceites residuales generados en PB. Esta ofrece la opción de hacer parte de un mercado diferenciado y cuya atención está enfocada en materias primas de segunda generación para la producción de biocom-

Figura 4. Corrientes para la obtención de aceite de palma residual



Fuente: Adaptado de documento guía para la auditoría de PB generadoras de aceites residuales de palma (ISCC, 2021).

bustibles, creando una nueva oportunidad de valor para la cadena productiva del aceite de palma, donde el precio del mercado para los aceites residuales ha registrado valores más altos que los del APC. Los volúmenes potenciales de aceite residual se han estimado entre 1,4 % y 2,4 % del total de la producción de aceite. Las PB que implementen dicha separación deberán estar sujetas a certificación por parte de esquemas de sostenibilidad, mediante el cumplimiento de ciertos requerimientos logísticos que garanticen la veracidad de la recolección y separación de corrientes de estos aceites residuales.

Conclusiones

El sector de la palma de aceite comercializa APC y almendra, sin embargo, puede diversificar y ampliar el mercado de productos provenientes tanto de la biomasa residual como de la separación del aceite según su calidad. De igual forma, para cumplir con nuevas metas, es clave realizar la mejora de la producción tanto de RFF como de aceite de palma. Junto a esto, la mejora de los procesos y las tecnologías utilizadas en la extracción del aceite podrían contribuir a aumentar la productividad.

Referencias

Caballero, K., Cortés, I., Ramírez, N. & García, J. (2019). Masa que pasa al digestor (MPD) como metodología para la estimación del potencial de aceite industrial. *Palmas, 40*(Tomo II), 29-38.

Durán, Q., Sierra, G. & García, J. (2004). Potencial de aceite en racimos de palma de aceite de diferente calidad y su influencia en el potencial y extracción de aceite en la planta de beneficio. *Palmas,* 25.

Fedepalma-Cenipalma. (2021). *Unidad de Gestión Comercial Estratégica*.

Fedepalma-Sispa. (2021). *Anuario estadístico. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo, 2016-2020*.

García-Núñez, J. A., Ramírez-Contreras, N. E., Tatiana-Rodríguez, D., Silva-Lora, E., Frear, C. S., Stockle, C. & García-Pérez, M. (2016). Evolution of Palm Oil Mills into Bio-Refineries: Literature Review on Current and Potential Uses of Residual Biomass and Effluents. *Resources, Conservation and Recycling,* 110, 99-114. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.03.022.

García-Pérez, M. & García-Núñez, J. A. (2013). Nuevos conceptos para biorrefinerías de aceite de palma. *Palmas,* 34(Especial, tomo II), 66-84.

García, J. (2021). *RTN 2021. Productividad y calidad de aceite, retos para el sector palmero colombiano.* Bogotá D. C.

García, J., Ramírez, N., Munar, D. & Chaparro, D. (2018). *Conferencia Internacional: Convirtiendo una planta de beneficio en una biorrefinería. Paso de tecnologías por el valle de la muerte*. Bogotá D. C.

ISCC. (2021). *Guidance Document for the Audit of Wastes and Residues from Palm Oil Mills Palm Oil Mill Effluent* (POME). 1(abril): 1-11.

LMC. (2021). LMC Global Biodiesel Market Insight. *LMC International* (Ene): 1-53.

Oil World. (2021). *Oil World*.

Refinitiv. (2021). *Reuters*.