

Potencial para la separación de productos de alto valor agregado a partir de la biomasa de planta de beneficio de fruto de la palma de aceite: una perspectiva general*

Potential for Separation of High Added Value Products from Palm Oil Mill Biomass: an Overview

CITACIÓN: Habeych, D. (2016). Potencial para la separación de productos de alto valor agregado a partir de la biomasa de planta de beneficio de fruto de la palma de aceite: una perspectiva general. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 107-113.

PALABRAS CLAVE: biomasa, fruto de palma de aceite, sostenibilidad, rentabilidad.

KEYWORDS: Biomass, oil palm fruit, sustainability, profitability.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Strong Tower Consulting.



DAVID HABEYCH
Investigador independiente
Independent Researcher
David.Habeych@avebe.com

Resumen

La biomasa residual y los líquidos provenientes de las plantas de extracción convencionales del aceite de palma casi no se utilizan (por ejemplo, la cáscara y la fibra del meso y el exocarpo). Esta biomasa representa alrededor de 80 % del volumen de los materiales salidos de una planta de extracción de aceite de palma. Dichos residuos tienen un gran potencial para establecer el modelo de una biorrefinería sostenible y rentable. Se pueden identificar dos opciones principales: la extracción de compuestos de alto valor agregado que ya están presentes en ciertas partes de la planta, y la modificación bioquímica de los polisacáridos con el fin de generar productos de alto valor agregado.

La extracción de productos valiosos como los carotenoides, entre otras moléculas hidrofóbicas, puede efectuarse a través de medios convencionales, utilizando los indeseables solventes orgánicos o mediante tecnologías más limpias y novedosas como el dióxido de carbono supercrítico o la destilación molecular.

Por otro lado, la producción de bioquímicos a partir de la biomasa requiere hidrolizarla, combinando técnicas físicas y bioquímicas como la explosión de vapor, el tratamiento hidrotérmico y la hidrólisis enzimática, entre otras. El resultado esperado es rico en lignina y puede usarse para fabricar ciertos productos en la biorrefinería, así como el almíbar proveniente de diferentes azúcares, que puede convertirse en *commodity* biológico mediante la química de los azúcares o la biotecnología. En este artículo se analizan e integran los diferentes conceptos, opciones y enfoques.

Abstract

Residual biomass and effluents from the palm oil milling process after conventional oil extraction are hardly used (i.e. shell and fiber from meso- and exocarp). This biomass represents around 80% of the total throughput in a palm oil production plant. That remaining biomass has large potential for the establishment of a sustainable and profitable model of biorefinery. Two main approaches can be identified, namely, extraction of high-added value compounds already present in parts of the plant and (bio)chemical modification of polysaccharides for the generation of high-added value products. Extraction of valuable products such as carotenoids among other hydrophobic molecules can be done by conventional means such as the extraction with undesired organic solvents or using cleaner and newer technologies such as supercritical carbon dioxide or molecular distillation. On the other hand, the production of (bio)chemicals from biomass requires to hydrolyse biomass by combining physical and (bio)chemical techniques such as steam explosion, hydrothermal treatment, and enzymatic hydrolysis, among others. The expected result is a lignin-rich stream that can be used for further biorefinery products, as well as syrup made of diverse sugars that can be transformed further via sugar chemistry or via biotechnology in biobased commodities. Concepts, options, and approaches are discussed and integrated in this article.

Introducción

El concepto de biorrefinería ha sido una revolución en las economías y sociedades modernas. Sin embargo, la mayoría de las veces la biorrefinería se relaciona exclusivamente con las instalaciones de producción de combustible de base biológica. En un sentido más amplio, una biorrefinería es una planta en donde la biomasa se convierte en compuestos valiosos que pertenecen a tres categorías principales: biocombustibles, químicos de alto valor agregado y energía. En este sentido, la industria láctea tradicional, los ingenios de caña de azúcar convencionales y las plantas de beneficio de aceite de palma no podrían considerarse biorrefinerías como tales, pero ciertamente, con la modificación de sus procesos tradicionales podrían convertirse en biorrefinerías modernas. Las plantas de beneficio de aceite de palma ofrecen varias opciones para generar productos valiosos, como la recu-

peración de carotenoides y vitaminas presentes en el fruto de la palma, que podrían ser parte de estos diversos compuestos con una biorrefinería de alto valor agregado (Sarmidi *et al.*, 2009).

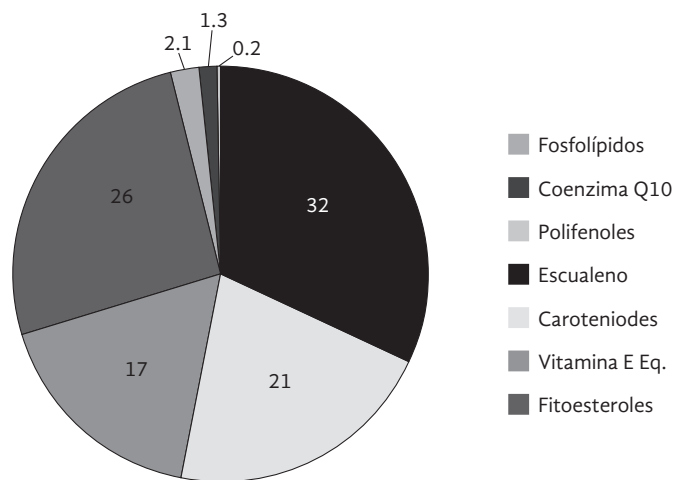
El interés en los biocombustibles renovables producidos en una biorrefinería se debe principalmente al mercado mayorista disponible hoy en este sector en particular. La demanda de biocombustibles está lejos de superar sus posibilidades técnicas y un pronóstico podría indicar que, al menos durante los próximos 20 o 30 años, los motores funcionarían con ambos tipos de combustibles, a base de petróleo y de base biológica. Por otra parte, se ha establecido una producción de biocombustibles con base en las pautas tradicionales de diseño de ingeniería química. En consecuencia, el desarrollo de una biorrefinería requiere un cambio de mentalidad en las empresas,

la introducción de tecnologías modernas y de otras formas de combinarlas de manera más económica. El uso de tecnologías que satisfagan estos requisitos, como la extracción de dióxido de carbono supercrítico o la destilación molecular, implica cambios en las plantas actuales. De hecho, durante la extracción del aceite de palma se oxidan grandes cantidades de productos valiosos, como vitaminas y carotenoides. Los compuestos antioxidantes podrían disminuir la degradación, pero también es posible que reduzcan

la calidad del aceite de palma o que requieran pasos adicionales para que el aceite cumpla con las especificaciones previstas.

Entre los muchos compuestos presentes en el aceite de palma cabe mencionar los carotenoides, vitaminas, fitoesteroles, fosfolípidos, la coenzima Q10, polifenoles y escualeno, en las cantidades que se muestran en la Figura 1, dado que son los compuestos principales, además del aceite y los materiales lignocelulósicos.

Figura 1. Distribución relativa de los principales compuestos de valor agregado presentes en el aceite de palma.



Mercados

Una de las preguntas esenciales que surgen es dónde desarrollar el mercado para estos productos. En general, la mayoría de los compuestos presentes en el fruto del aceite de palma se pueden aplicar en los nuevos mercados de alimentos: en los suplementos de alimentos para animales y en los nutraceuticos (denominados también suplementos dietarios, alimentos o ingredientes funcionales). La ventaja de estos dos mercados reside en que tienen reglamentos más flexibles y, por consiguiente, el período para llevar estos productos al mercado a partir de una fuente natural, como la palma de aceite, es mucho menor que, por ejemplo, el de los productos farmacéuticos. Mientras que el desarrollo de un producto farmacéutico podría tardar en promedio diez años, un nutraceutico no necesitaría más de cinco años. Asimismo, los costos de producción (gastos o inversión de capital) para cumplir con los regla-

mentos son mucho menores que en la producción de farmacéuticos (como medicamentos inyectables).

Por ejemplo, se calcula que el mercado proyectado de carotenoides hasta el año 2020 será de 1.400 a 1.800 millones de dólares con una tasa de crecimiento anual superior a 3,5 %. De este mercado, al menos entre 500 y 700 millones de dólares corresponden a los carotenoides de origen natural, donde la fuente principal son vegetales y microalgas. La aplicación en alimentos para animales ocurre principalmente en granjas avícolas, peces salmónidos y camarones. La aplicación en la industria alimenticia se puede considerar desde dos ángulos prospectivos: como ingrediente alimentario por su valor nutricional o sanitario (valor funcional) o como sustituto de colorantes sintetizados químicamente (B2B o para comercialización empresa a empresa).

Los dos casos llevan a posibilidades de mercados y productos con diferentes características y valores. Un tercer mercado, de mayor precio y menor demanda que

el anterior, es el uso de carotenoides como suplemento dietario en formulaciones y presentaciones diferentes, como cápsulas blandas para comercialización minorista (B2C o de empresa a consumidor). Un cuarto segmento de mercado que se ha desarrollado en años recientes y que se ha explorado con éxito es el de los cosméticos (comercialización B2B o de empresa a empresa). Hay algunos casos de éxito de proveedores en estos sectores, como el de los carotenoides, la coenzima Q10, la vitamina E, el escualeno y los polifenoles en las cremas antiedad. Por ejemplo, DSM comercializa la coenzima Q10 como ALL-Q®, la astaxantina sintética bajo el nombre de AstaSana™ y el escualeno de Amyris bajo el nombre de Neossance®, entre otros ejemplos.

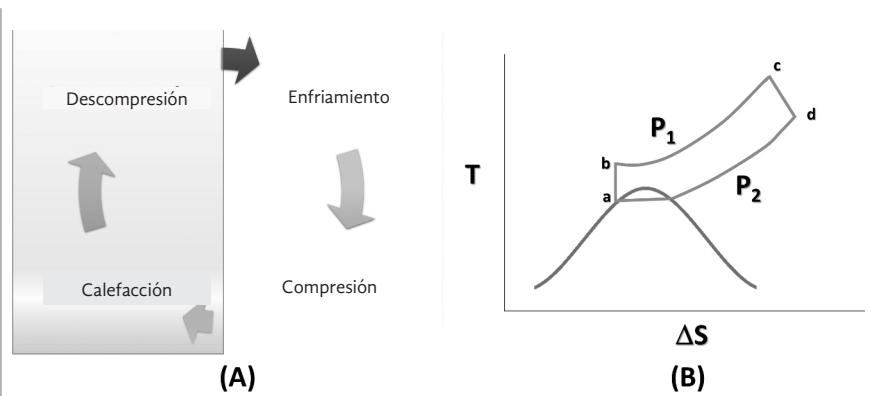
Consideraciones sobre el proceso

La extracción de compuestos de alto valor agregado a partir de la palma de aceite se puede abordar mediante tecnologías como la extracción tradicional con disolventes orgánicos o con dióxido de carbono supercrítico (Ira, 1951, Blazot, 1953, Brunner *et al.*, 2011). El primer proceso tiene varias desventajas, como los problemas ambientales por la eliminación de disolventes, los problemas de seguridad alimentaria debido a los restos de disolventes en el producto final, el costo operativo adicional de separar el disolvente después de la extracción (destilación) y los problemas de seguridad por la manipulación de los disolventes almacenados y después de usarlos. Por otra parte, el segundo proceso es una tecnología limpia y proporciona un segundo uso del dióxido de carbono, aunque se caracteriza por implicar un alto gasto e inversión de capital (capex), pero con gastos operativos (opex) bajos. La extracción del dióxido de carbono supercrítico se realiza sin aire, es decir, en condiciones anóxicas que evitan la oxidación de compuestos sensibles al oxígeno, como el escualeno, los carotenoides y la coenzima Q10. La extracción puede hacerse en una o varias etapas. Otro método consiste en hacer una extracción a alta presión y luego una separación en una columna empacada que funcione con dióxido de carbono en condiciones subcríticas. Dependiendo de la toma, la columna puede tener solo el empaque del contactor, como los anillos de Raschig, diatomitas como adsorbente o una combinación de las dos. El dióxido de carbono presenta su punto supercrítico a 30,98 °C y 73,8 bares (Aravamudan *et al.*, 2003).

Las propiedades del dióxido de carbono supercrítico se pueden explotar eficientemente con el ciclo de Brayton (Figura 2). El ciclo de Brayton combina las ventajas del ciclo de Rankine y de los sistemas de turbina de gas. En el proceso, el dióxido de carbono se enfría antes de comprimirlo para reducir la entrada de energía y mejorar la eficiencia termodinámica (η) del ciclo (η entre 40 y 50 %). En la Figura 2B se puede representar el ciclo de Brayton, que se compone de (a \rightarrow b) compresión isentrópica (o adiabática), (b \rightarrow c) calentamiento isobárico en P_1 , (c \rightarrow d) descompresión, (d \rightarrow a) enfriamiento isobárico, hasta llegar a las condiciones subcríticas en P_2 . Los procesos de extracción ocurren en la región entre b \rightarrow d y, por tanto, se realizan a una temperatura superior a la temperatura crítica del dióxido de carbono. El ciclo operativo de la extracción del dióxido de carbono supercrítico finaliza con la fase de descompresión y parte del enfriamiento (c \rightarrow d y d \rightarrow a), en donde el dióxido de carbono se separa del material extraído (p. ej., coenzima Q10 o carotenoides), lo que produce un flujo abundante de productos y un flujo de dióxido de carbono puro. Este último se enfría aún más, hasta lograr la temperatura de saturación en P_2 ; en este punto el dióxido de carbono está en fase líquida y, por tanto, una mayor compresión (a \rightarrow b, Figura 2) evita que la región que no se pueda comprimir, esté cerca del punto crítico (Chen, 2011). En estas condiciones, el ciclo de Brayton también se conoce como ciclo transcrito, por razones obvias.

Aunque los avances en la tecnología del dióxido de carbono supercrítico se han desarrollado desde un punto de vista termodinámico, la operación en condiciones supercríticas se efectúa principalmente en sistemas por lote, y el procesamiento continuo se utiliza excepcionalmente con dióxido de carbono en condiciones subcríticas. Como norma general, a temperatura y presión mayores, aumenta la extracción de compuestos hidrofóbicos, y el intercambio reside principalmente en la termolabilidad de los compuestos extraídos y en la cinética de las reacciones entre ellos, si se aplica al flujo extraído. En algunos casos se han utilizado cosolventes, donde, por lo general, se agregan etanol y metanol. Sin embargo, en el caso de la palma, el aceite podría ser un cosolvente excelente para extraer compuestos de alto valor agregado de la biomasa residual, después de remover el aceite.

Figura 2. Ciclo de Brayton para el procesamiento eficiente del dióxido de carbono supercrítico. (A) Esquema de los diversos pasos del ciclo de Brayton. (B) Esquema de un diagrama de temperatura - entropía del ciclo de Brayton: (a -> b) compresión isentrópica (o adiabática), (b -> c) calentamiento isobárico en P_1 , (c -> d) descompresión, (d -> a) enfriamiento isobárico, hasta llegar a las condiciones subcríticas en P_2 .



En el caso particular de los compuestos de la palma de aceite, uno de los principales obstáculos que dificultan la extracción de compuestos de alto valor agregado es la pared celular, que evita la transferencia de masa libre desde el fruto hasta la fase de dióxido de carbono supercrítico. Esto se puede mejorar mediante pretratamiento mecánico y el uso de bioquímicos, como las enzimas. El método más razonable es caracterizar la pared celular presente en el fruto e investigar una manera bioquímicamente adecuada para romper o penetrar las células. Se han hecho algunos estudios en esta dirección de la caracterización bioquímica de las fibras de la palma de aceite (Sun *et al.*, 1999, Khalil *et al.*, 2008). Los autores informaron que la lignina y la celulosa son algunos de los compuestos principales presentes en la fibra de la palma de aceite, pero ninguno de ellos abordó el problema de remover parcialmente estas fibras como tratamiento previo para el procesamiento ulterior de los frutos gastados. Aunque el dióxido de carbono supercrítico puede ofrecer una ventaja excelente en la extracción de proceso, una investigación fundamental no se ha combinado con el desarrollo de procesos; aunque recientemente se ha publicado una gran cantidad de artículos sobre el procesamiento de la palma de aceite para la extracción de compuestos de alto valor agregado a través del dióxido de carbono supercrítico (Rahman *et al.*, 2012, Zaidul *et al.*, 2006, Pereira & Meireles, 2010, LAU *et al.*, 2006).

Potencial económico

De acuerdo con Index Mundi, Colombia produce 1,1 millones de toneladas de aceite palma al año, y ocupa

el cuarto lugar en el mundo (www.indexmundi.com). Fuentes colombianas afirman que se producen 5 millones de toneladas de fruta de palma al año (Ramírez *et al.*, 2014). Considerando esta producción anual, es posible calcular un balance de productos de alto valor agregado, como se muestra en Tabla 1. Los precios en la tabla son representativos y constituyen un promedio entre los compuestos de alta pureza en el mercado que sirven como nutraceuticos o suplementos dietarios, y aquellos considerados ingredientes alimenticios especiales, como colorantes, mejoradores de estructura, etc. Además, si la totalidad de estos compuestos valiosos se extrajese con un rendimiento general superior a 90 %, el valor de la producción actual de palma en Colombia estaría cerca de 103 millones de dólares. En el caso de Indonesia, que es el principal productor mundial de palma de aceite, el potencial económico superaría 500 millones de dólares en compuestos de alto valor agregado.

Sin embargo, el procesamiento de la materia prima potencial para la elaboración de compuestos de alto valor agregado extraídos de la palma de aceite no solo requiere cambios estructurales en las plantas de beneficio y en la misión de sus directivos, sino también mejorar la centralización de la recolección del fruto, reducir los tiempos de procesamiento para disminuir la oxidación de compuestos valiosos y, principalmente, mejorar la infraestructura de vías, vehículos y cosecha. Estos últimos aspectos son de importancia primordial y alejan a la tecnología de lograr un resultado general positivo. Por lo tanto, se debe considerar un análisis del ciclo de vida completo en su estado actual y de la situación global particular de la producción de palma de aceite antes de im-

plementar otras tecnologías de explotación de compuestos de alto valor agregado de la palma de aceite. Este es un trabajo cooperativo entre el sector privado a cargo de la cadena de producción, los centros de

conocimiento representados por las universidades y los centros de investigación afiliados, y el gobierno como responsable y facilitador de las mejoras de infraestructura.

Tabla 1. Compuestos principales del fruto de la palma de aceite además de los triacilgliceroles. (Adaptado de Ramírez *et al.*, 2014).

Compuesto	Concentración (ppm)	Precio representativo (USD por kg)	Comentarios	Potencial colombiano (USD)
Carotenoides	1.000	100	Uso alimentario*	22.500.000
Vitamina E Eq.	800	50	Nutracéutico*	9.000.000
Fitosteroles	1.200	10	Uso alimentario	2.700.000
Fosfolípidos	100	10	Uso alimentario*	225.000
Coenzima Q10	60	100	Nutracéutico*	1.350.000
Polifenólicos	10	50	Nutracéutico	112.500
Escualeno	1.500	200	Nutracéutico*	67.500.000
Potencial económico total (millones de USD)				103,39

* Compuestos con valor de mercado para cosméticos y productos de cuidado personal.

Conclusiones

La palma de aceite es un cultivo del que se generan biocombustibles y aceites comestibles, y con un potencial mundial poco reconocido como fuente de compuestos de alto valor agregado que tienen mercados potenciales en diversos sectores comerciales, como alimentos, nutraceuticos y cosméticos. La extracción con dióxido de carbono supercrítico ofrece una alternativa muy interesante para implementarse como unidades de negocio asociadas a la cadena de producción del aceite de palma. Sin duda, debido

a la demanda, alta y en crecimiento, de los compuestos de alto valor agregado presentes en la palma de aceite, el potencial comercial puede hacerse realidad aplicando la tecnología del dióxido de carbono supercrítico. Esta tecnología tiene una ventaja competitiva frente a las tecnologías actualmente utilizadas para la producción de estos compuestos. El desarrollo general de la nueva tecnología aplicada en la extracción y comercialización debe basarse en el análisis del ciclo de vida en el que participan los productores de palma de aceite, el gobierno y los centros de conocimiento.

Referencias

Blaizot, P.(1953). *Method of obtaining carotene from palm oil.*

Brunner, G.,*et al.*(2011). *Process for production of highly enriched fractions of natural compounds from palm oil with supercritical and near critical fluids.*

Chen, Y.(2011). *Thermodynamic Cycles using Carbon Dioxide as Working Fluid.* Instituto Real de Tecnología de Suecia.

Ira, G.A.(1951). *Concentration and recovery of carotenoid pigments from palm oil.*

- Khalil, H.P.S.A. *et al.*(2008). Chemical Composition, Morphological Characteristics, and Cell Wall Structure of Malaysian Oil Palm Fibers. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47(3), pp.273–280.
- LAU, H.L.I.K.N. *et al.*(2006). Characterization and supercritical carbon dioxide extraction of palm oil (*Elaeis guineensis*). *Journal of Food Lipids*, 13(2), pp.210–221. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4522.2006.00046.x>.
- Pereira, C. & Meireles, M.A.(2010). Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), pp.340–372. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>.
- Rahman, N.N.A. *et al.*(2012). Supercritical carbon dioxide extraction of the residual oil from palm kernel cake. *Journal of Food Engineering*, 108(1), pp.166–170. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411003529>.
- Ramírez, N., Arévalo, A. y García, J.(2014). *Diagnóstico de Generación, Aprovechamiento y disposición actual de biomasa en plantas de beneficio de Colombia*.
- Ravamudan, G., Wai, C. & Hollie, J. (2003). *Supercritical carbon dioxide : separation and processes*. Washington D.C.: Serie ACS Symposium.
- Sarmidi, M.R. *et al.*(2009). Oil palm: the rich mine for pharma, food, feed and fuel industries. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5(6), pp.767–776.
- Sun, R. *et al.*(1999). Extraction and Characterization of Hemicelluloses and Cellulose from Oil Palm Trunk and Empty Fruit Bunch Fibres. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 19(1-2), pp.167–185.
- Zaidul, I.S.M. *et al.*(2006). Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction and fractionation of palm kernel oil from palm kernel as cocoa butter replacers blend. *Journal of Food Engineering*, 73(3), pp.210–216. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405000658>.