

## Proceso de extracción para la producción de glucosa y xilosa a partir de $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa presente en racimos de fruta fresca (RFF). Una alta cuantía en la producción de glucosa/xilosa garantiza una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta\*

Milling Process to Produce Glucose and Xylose from  $\alpha$ -Cellulose and Hemicellulose of FFB. High Quantum of Glucose/Xylose Produced Guarantees Higher OER

**CITACIÓN:** Ariffin, A. A. (2019). Proceso de extracción para la producción de glucosa y xilosa a partir de  $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa presente en racimos de fruta fresca (RFF). Una alta cuantía en la producción de glucosa/xilosa garantiza una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta. *Palmas*, 40 (Especial, Tomo II), 39-49.

**PALABRAS CLAVE:** aceite, TEA,  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa, glucosa y xilosa, innovación química.

**KEYWORDS:** Oil, OER,  $\alpha$ -cellulose, hemicellulose, glucose and xylose, chemical innovation.

\* Artículo original recibido en inglés y traducido por Carlos Alberto Arenas



**DR. ABDUL AZIS ARIFFIN**  
Director Dolphin International Berhad  
Malasia/Malaysia

## Resumen

A pesar de los condicionamientos pasados y actuales, las tres etapas secuenciales de las tecnologías de procesamiento de aceite de palma: liberación de los frutos de los RFF, extracción del aceite crudo de los frutos y la purificación hasta la obtención de aceite crudo de palma (APC), deben mantenerse constantes. Morfológicamente, los RFF son más complejos, con los frutos desordenadamente alrededor de las espigas, y con cada espiga también ubicada desordenadamente alrededor del pedúnculo central de los RFF. El aceite de palma se atribuye a las células presentes en el mesocarpio de los frutos.

Hidratos de carbono muy estables ( $\alpha$ -celulosa) forman la pared celular que envuelve el citoplasma, el núcleo, las mitocondrias, las vacuolas de enzimas, el aparato de Golgi, el retículo endoplásmico, el aceite, etc. Todas y cada una de las células están apoyadas entre sí y en las fibras lignificadas orientadas longitudinalmente por hemicelulosa. Esta forma una goma “temporal” que permite que los frutos se peguen al tallo del racimo y “amortigua” cada célula en el RFF.

Por lo tanto, el aceite es físicamente expulsado del mesocarpio de la fruta durante el procesamiento. Las técnicas y las condiciones de extracción adecuadas implementadas hace años, continuarán siendo las mismas. De igual manera, los valores actuales de TEA y los parámetros fisicoquímicos en vertimientos, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), también se mantendrán.

El mejoramiento del proceso de extracción de aceite se ha y sigue enfocándose en la ingeniería. Esto con el objetivo de maximizar la recuperación de aceite crudo de palma. Y, de hecho, la extracción también es, prácticamente, un proceso químico. Maximizar la hidrólisis de la  $\alpha$ -celulosa como de la hemicelulosa, a glucosa y xilosa, lleva a una mejor y mayor separación, segregación y congregación de las moléculas de aceite.

Este artículo discute la química del procesamiento de aceite de palma para mejorar la producción de glucosa y xilosa. Esta innovación química ha resultado en un incremento de la TEA.

## Resumen

The 3 sequential phases in the milling technology; freeing fruits from FFB, extracting crude oil from the fruits and purifying the crude to CPO and albeit the past and current processing conditionings, shall sustain. FFB is morphologically more complex, with fruits helter-skelterly whorled around spikelet and each spikelet then also helter-skelterly whorled around the central palm bunch stalk. Palm oil is ascribed in cells of the palm fruit mesocarp. Very stable carbohydrate ( $\alpha$ -cellulose) forms the cell wall that envelopes the cellular cytoplasm, nucleolus, mitochondria, enzyme vacuoles, Golgi body, endoplasmic reticulum, oil, etc. Each and every cell is cushioned to each other and to the longitudinally oriented lignified fibers by hemicellulose. Hemicellulose forms a “temporary” gum that allows attaching fruits to the bunch stalk and “cushions” every cell in the FFB.

Oil is, henceforth, physically pressed out of the fruit mesocarp. The technique and conditions aptly fit for FFB borne years ago will stay. Likewise, the current OER and POME BOD/COD values shall also stay.

Milling process improvement has and is solely focused on the engineering consequential for maximizing oil recovery. Well and behold palm oil mill process is also and practically a chemical process. Maximizing hydrolysis of both  $\alpha$ -cellulose and hemicellulose to glucose and xylose shall lead to better, greater and higher separation and segregation and congregation of oil molecules. And at the same time prepares the glucose and xylose biomasses of the milling process. This paper discusses the processing chemistry to enhance productions of glucose and xylose. This chemical innovation has accorded increment of OER.

This paper discusses the processing chemistry to enhance productions of glucose and xylose. This chemical innovation has accorded increment of OER.

## Introducción

El aceite de palma crudo (APC) se obtiene del mesocarpio del fruto de la palma de aceite.

El mesocarpio en buen estado, procedente de los RFF, contiene muchos compuestos químicos naturalmente estables: aceite o triacilglicéridos (TAG),  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa, lignina y agua, principalmente.

La tecnología que envuelve el procesamiento está bien diseñada para extraer el aceite de los RFF maduros de la palma de aceite. El proceso de extracción establecido hace mucho, y bien ajustado, continuará siendo el mismo durante los próximos años, diseñado para remover, sistemáticamente, el aceite de los RFF. La medida de aceite recuperada depende de la cantidad inicial del mismo en los RFF procesados, menos las pérdidas durante el proceso.

Básicamente, una planta de beneficio de aceite de palma consiste en una serie de procesos físicos para desprender sistemáticamente los frutos de palma, ricos en aceite, de los RFF: liberar los aceites de las células del mesocarpio de la fruta, separando el aceite, los hidratos de carbono hidrofílicos ( $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa) y la lignina, y finalmente, el secado del aceite hasta la obtención de APC.

En cada paso del procesamiento secuencial se realizan parámetros predeterminados, incluyendo temperatura, presión y rendimiento de biomasa. Los condicionamientos respectivos deben ayudar a liberar los frutos, sacar el aceite de las células y separar y purificar las moléculas químicas oleosas de las no oleosas.

Sin embargo, además de la extracción física del aceite, el proceso también produce químicamente diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG) y ácidos grasos libres (AGL),  $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa despolimerizada, glucosa, xilosa y lignina. La presencia inherente de  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa y lignina, afectan negativamente la recuperación de aceite y, en consecuencia, la TEA.

El fruto de la palma, al igual que en el caso del mesocarpio, es bastante complejo morfológicamente. El aceite de palma se encuentra en las células del mesocarpio del fruto. Hidratos de carbono muy es-

tables ( $\alpha$ -celulosa) forman la pared celular que envuelve el citoplasma, que a su vez también contiene el núcleo, las mitocondrias, las vacuolas de enzimas (lipasa), el aparato de Golgi, el retículo endoplásmico, el aceite, etc. En los frutos maduros, el aceite está presente en el citoplasma y existe como un único glóbulo o cuerpo. Todas y cada una de las células están apoyadas entre sí por hemicelulosas, que junto con la  $\alpha$ -celulosa, conforman las fibras lignificadas mesocárpicas orientadas longitudinalmente, química e intensamente estables. La hemicelulosa también forma una goma “temporal” que permite que los frutos se peguen al tallo del racimo y “amortigüen” cada célula en el racimo.

La fruta se separa del tallo como resultado de la hidrólisis enzimática desencadenada por hormonas de la hemicelulosa, que pega el fruto al tallo en la capa de abscisión. El contenido de aceite se maximiza y el racimo de fruta es cosechado.

El RFF no tiene glucosa y xilosa libre.

Los daños al mesocarpio contienen triacilglicéridos (TAG), DAG, MAG y AGL. La estructura de la  $\alpha$ -celulosa, la hemicelulosa y la lignina se conserva, el agua se evapora. La morfología celular y la orientación bioquímica sigue siendo similar a la del racimo de fruta de la palma.

La abrasión física del mesocarpio termina con la hidrólisis enzimática (lipasa) instantánea del aceite (TAG) a diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG) y a ácidos grasos libres (AGL). Mientras que todos los contenidos bioquímicos (aceite, hidratos de carbono, lignina, etc.) se conservan (Figura 1).

El procesamiento siempre ha sido percibido más como un proceso de ingeniería mecánica. La alta presión de carga eficiente y la temperatura fluyen hacia un recipiente cerrado cargado con RFF. El vapor energizado cataliza los desprendimientos de frutas del tallo del racimo, y libera los frutos de estos RFF “cocinados” por medio de un tambor desfrutador giratorio. Con una lenta acción de agitación en el digestor a temperatura controlada, se exprime el aceite de la fracción líquida de la biomasa sólido-líquida homogeneizada del digestor, mediante una prensa de tornillo. El aceite crudo, supuestamente líquido y prensado, también contiene degradados (mono-, di-,

oligómeros) e hidratos de carbono libres (polímeros de peso molecular). Estos contaminantes, que no son del aceite, deben ser separados y descargados como efluentes. El aceite libre recuperado es secado y despachado como APC.

Un RFF contiene aceite, hidratos de carbono ( $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa), lignina, fenoles y, por consiguiente, componentes menores muy importantes, principalmente carotenos y tocoferoles.

El proceso de extracción solo debería recuperar el aceite. No obstante, los productos del proceso de extracción, además del aceite (TAG), también incluyen DAG, MAG, AGL, cetonas y aldehídos (Kuntum & Ariffin, 2010) del aceite,  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa, glucosa e hidroximetilfurfural (Ariffin *et al.*, 2014a), xilosa y furfural (Loi *et al.*, 2011).

La hipótesis es que, durante la hidrólisis enzimática, la hemicelulosa de la fruta para la abscisión del tallo conduce al desprendimiento de las frutas. Una hidrólisis similar activada químicamente de las moléculas de celulosa y hemicelulosa debería resultar en la lixiviación del aceite de las células oleosas.

## Química del proceso de extracción

Después de ser expuestos a 132 °C, 45 psi, los RFF estacionarios en el esterilizador, desprenden vapor durante un tiempo y los frutos empiezan a desprenderse del tallo. La causa del desprendimiento no tiene nada que ver con ingeniería, sino que es puramente química. A temperaturas elevadas, el vapor energiza y ioniza las moléculas de agua a H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> en el tejido del mesocarpio. Algunos de los componentes de 6-carbonos y 5-carbonos de la hemicelulosa, se incorporan con el OH<sup>-</sup> para formar moléculas libres de glucosa y xilosa. Las moléculas de agua optimizadas energéticamente y, por lo tanto, una mayor cantidad de OH<sup>-</sup>, hidrolizan por completo la hemicelulosa en glucosa y xilosa. También provocan la despolimerización o descomposición total de la hemicelulosa (hidrato de carbono-goma) en la capa de abscisión que une la fruta al tallo, de la hemicelulosa que envuelve cada célula del mesocarpio de la palma y de los tejidos del tallo de la palma, a monómeros singulares de glucosa y xilosa.

La  $\alpha$ -celulosa, que constituye las células de cada planta, incluyendo el mesocarpio y las del tallo, es excepcionalmente estable químicamente. Las incidencias de las condiciones actuales de esterilización no afectan a la  $\alpha$ -celulosa. Sin embargo, el polímero de  $\alpha$ -celulosa puede ser quebrado física y fácilmente.

El RFF no contiene glucosa ni xilosa libre.

El condensado del esterilizador reafirma la presencia de glucosas y xilosas. Bajo estas circunstancias de procesamiento, las  $\alpha$ -celulosas muy fuertes no pueden ser hidrolizadas a los monómeros de glucosa de 6-carbonos. El daño físico a la  $\alpha$ -celulosa de la célula lleva a la liberación del aceite.

Una alta proporción de racimos de fruta sin pelar (RFP) refleja la degradación incompleta de los polímeros de hemicelulosa.

La química necesita continuar la producción de monómeros de glucosa de 6-carbonos y monómeros de xilosa de 5-carbonos, respectivamente, para que sus formaciones/producciones lleven a una mayor recuperación de aceite. La  $\alpha$ -celulosa es resistente a los condicionamientos actuales de proceso (temperatura/presión/rendimiento) y, por lo tanto, es quebrada físicamente.

Es probable que entre el 80 % y el 90 % de la química de la extracción de aceite de palma ocurra durante el proceso de esterilización (Figura 1).

## Proceso de extracción

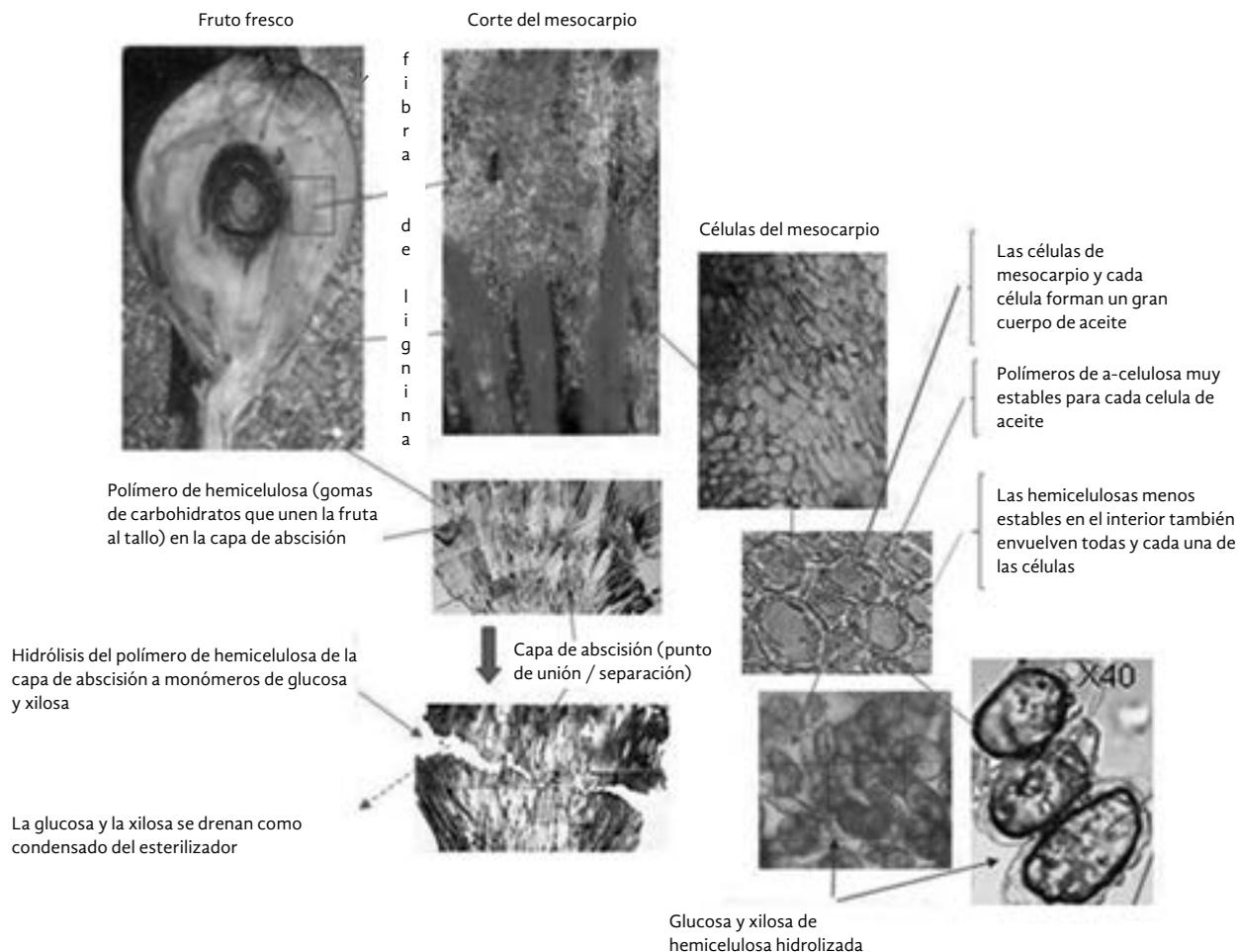
Las etapas o secuencias del proceso de extracción se conservan. La secuencia de procesamiento incluye la etapa de preparación (pesaje, manejo de los RFF, esterilización y trituración) de los frutos sueltos esterilizados, la etapa de extracción (digestión, prensado, filtración y dilución) y la etapa de purificación (clarificación, centrifugación y secado). El APC es bombeado al tanque de almacenamiento.

### Etapas de preparación

**Biomasa estacionaria:** racimo de fruta fresca (RFF).

**Productos:** frutos sueltos.

**Figura 1.** Morfología y distribución bioquímica del mesocarpio del fruto de la palma.



**Objetivo:** más frutos secos, glucosa y xilosa

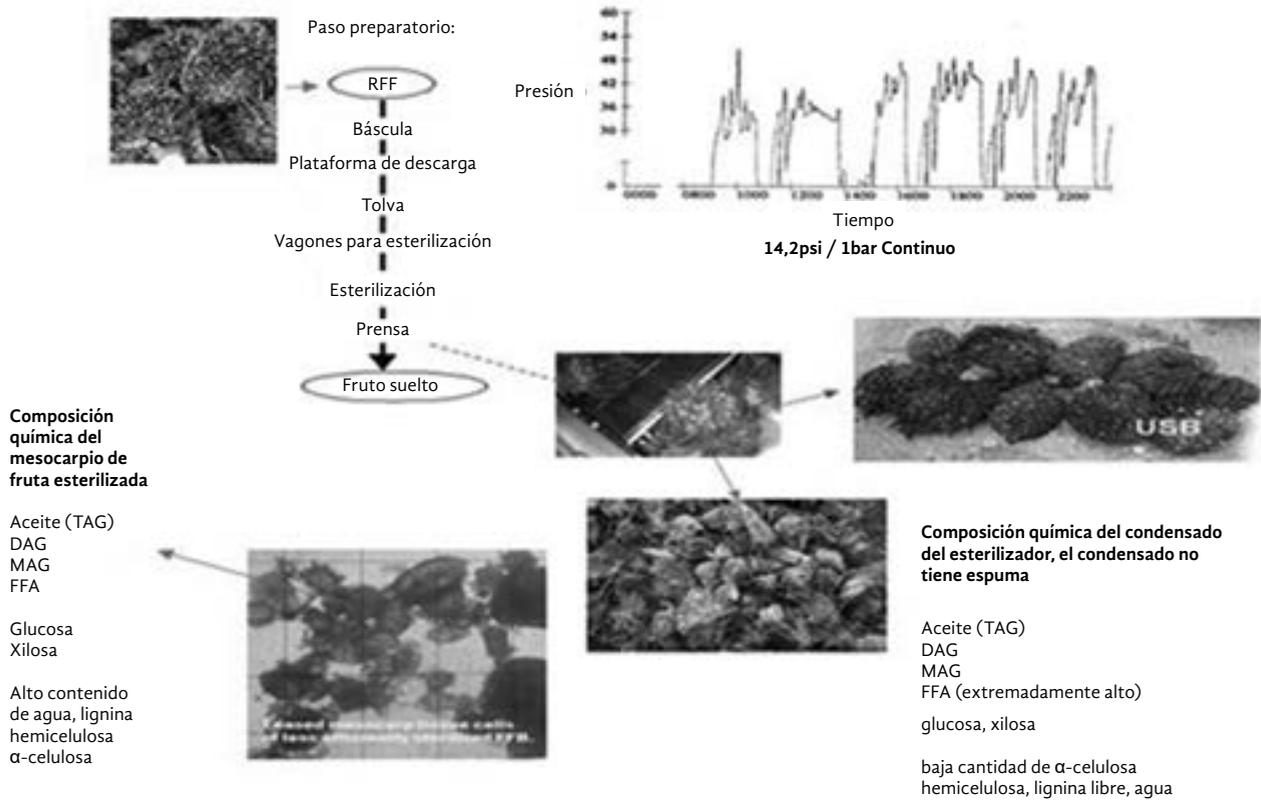
En particular, la etapa de preparación se encarga de que la biomasa del RFF sano, el aceite y todos los otros compuestos químicos se mantengan estacionarios dentro del tejido. Los racimos nunca son agitados ni sacudidos durante el proceso de esterilización. El desprendimiento del pedúnculo dentro del tallo mediante la abscisión del fruto al tallo se debe, virtual y puramente, a la degradación química de las gommas de azúcar o hidratos de carbono (hemicelulosa) que atan la fruta al tallo. Una buena condición de esterilización también permite la descomposición hidrolítica de la hemicelulosa que igualmente envuelve cada célula oleosa en el mesocarpio (Figura 2).

Mejorar la hidrólisis (Ariffin *et al.*, 2014b) (Figura 3) de la hemicelulosa en la capa de abscisión y también de las hemicelulosas que envuelven cada célula del RFF, incluyendo el mesocarpio del fruto, y una mayor cantidad de monómeros de glucosa y xilosa muy solubles en agua, debería resultar en muchas células oleosas libres (Figura 4).

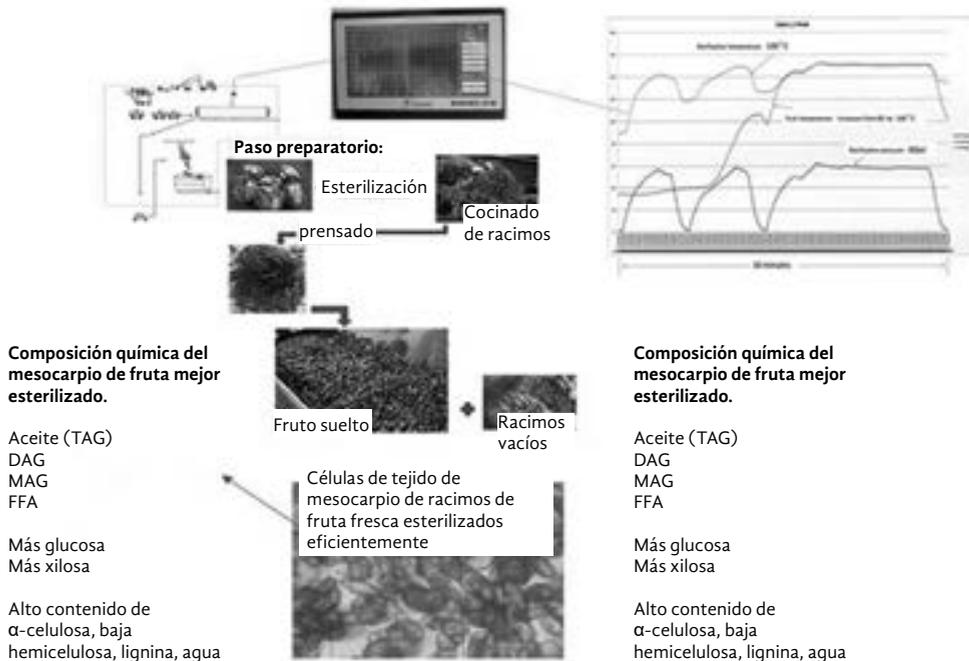
La α-celulosa auténtica que forma y constituye la pared celular de todas las células vegetales, incluyendo las del mesocarpio del fruto de la palma, es muy estable químicamente. La α-celulosa, el polímero de 6-carbono (glucosa) de cadena larga, no es hidrolizada con facilidad bajo ciertas circunstancias. Los polímeros de α-celulosa solo se rompen mediante el corte físico.

Proceso de extracción para la producción de glucosa y xilosa a partir de α-celulosa y hemicelulosa presente en racimos de fruta fresca (RFF). Una alta cuantía en la producción de glucosa/xilosa garantiza una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta • Ariffin, A.

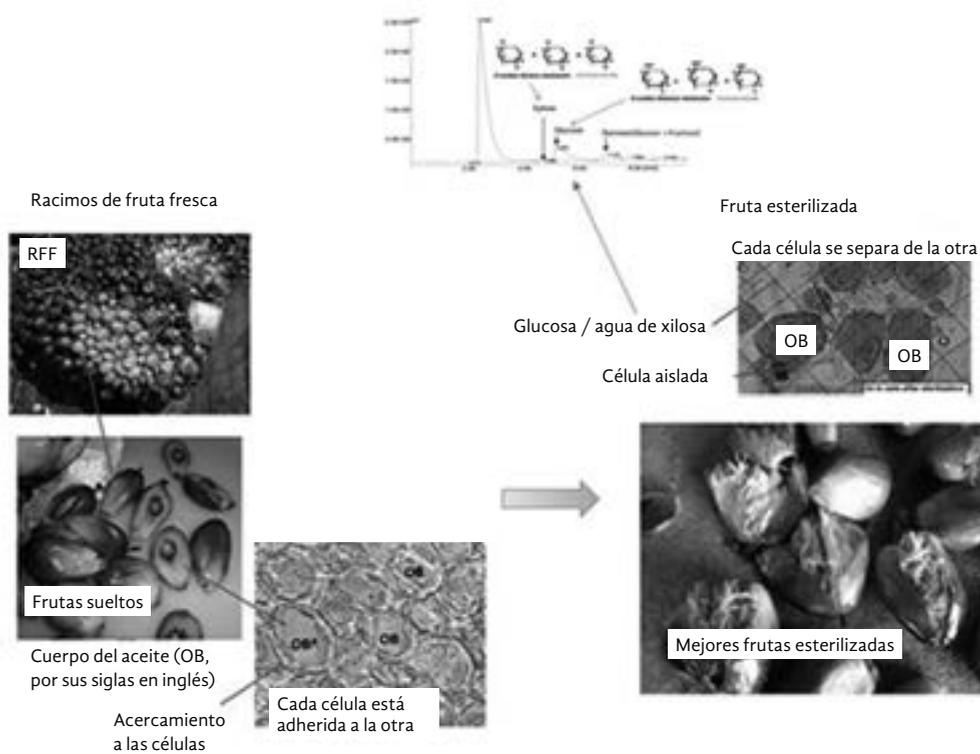
**Figura 2.** Efecto de un condicionamiento de esterilización más suave en la hidrólisis de hemicelulosa en el desprendimiento de frutos.



**Figura 3.** Efecto de un condicionamiento de esterilización con mayor presión que mejora la hidrólisis de hemicelulosa para el desprendimiento completo de los frutos.



**Figura 4.** Morfología celular del mesocarpio del fruto de palma antes y después de la esterilización.



Entre otros, el mesocarpio del fruto de la palma contiene moléculas macroquímicas orientadas sistemáticamente, hemicelulosa (cadena más corta y menos estable de moléculas de 6-carbonos [glucosa]/5-carbonos [xilosa]), que amortiguan cada célula de aceite,  $\alpha$ -celulosa (pared celular de polímero de cadena larga muy estable de 6-carbonos (glucosa) que envuelve el glóbulo oleoso citoplásmico de la célula y, excepcionalmente, fibra lignificada polifenólica estable.

Otros compuestos químicos menores beneficiosos (caroteno [provitamina A], tocoferoles/tocotrienoles [vitamina E]), fenoles y antocianinas, no contribuyen a la TEA.

### Etapa de extracción

**Biomasa no estacionaria:** frutos sueltos esterilizados que conforman polímeros y monómeros libres, del tejido del mesocarpio, aceite, lignina e hidratos de carbono.

**Productos:** aceite, glucosa, xilosa, hemicelulosa y celulosa, lignina como fibras.

**Objetivo:** aceite, más glucosa y xilosa, menos  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa y lignina, más agua.

**Digestor/prensa/filtro:** La etapa de extracción (digestión, prensado y filtrado), se enfoca en procesar o tratar las masas que ahora son no estacionarias o las masas (mallas) en movimiento homogeneizadas/no homogeneizadas. La malla está conformada por derivados compuestos químicos (polímeros de  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa), glucosas y xilosas, tejidos del mesocarpio ricos en aceite libres y atrapados, y agua. Esta masa en movimiento también contiene lignina muy estable y no reactiva, así como compuestos químicos lignificados.

Mejorando la hidrólisis de las hemicelulosas

El grado de reacciones químicas intencionales es ligeramente inferior en comparación con el proceso de esterilización (etapa de preparación). La biomasa moderadamente caliente (entre 80 y 90 °C) continuamente agitada y en movimiento, reduce la eficiencia de la

Proceso de extracción para la producción de glucosa y xilosa a partir de  $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa presente en racimos de fruta fresca (RFF). Una alta cuantía en la producción de glucosa/xilosa garantiza una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta • Ariffin, A.

hidrólisis. El exceso de hemicelulosa que se adhiere a las células ricas en aceite, permite la recuperación del aceite al presionar la biomasa. La fibra prensada es un excelente combustible para la caldera.

La hidrólisis de las hemicelulosas remanentes, y quizás de las  $\alpha$ -celulosas que continúan existiendo o que están atrapadas al interior de la biomasa de fruta esterilizada, que es transferida al digestor, se puede mejorar mediante la inyección continua y consistente de vapor, para mantener la temperatura de la biomasa por encima de 90 °C.

La congregación de hemicelulosa y  $\alpha$ -celulosa con hidrólisis incompleta, atrapa y absorbe el aceite en el foso de lodo.

La masa aún sólida y el aceite licuado, y los hidratos de carbono hidrolizados y solubles en agua, son canalizados hacia la prensa.

Ahora, el aceite crudo prensado está compuesto de hidratos de carbono degradados, más libres y con menor peso molecular (polímeros más cortos de bajo peso molecular, glucosa y xilosa), aceite libre (y derivados) y agua. También hay presencia de moléculas libres de lignina.

## Etapa de purificación

**Producto:** aceite y polímeros ( $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa) y monómeros (glucosa y xilosa) de hidratos de carbono, células oleosas, fragmentos microscópicos de lignina, agua.

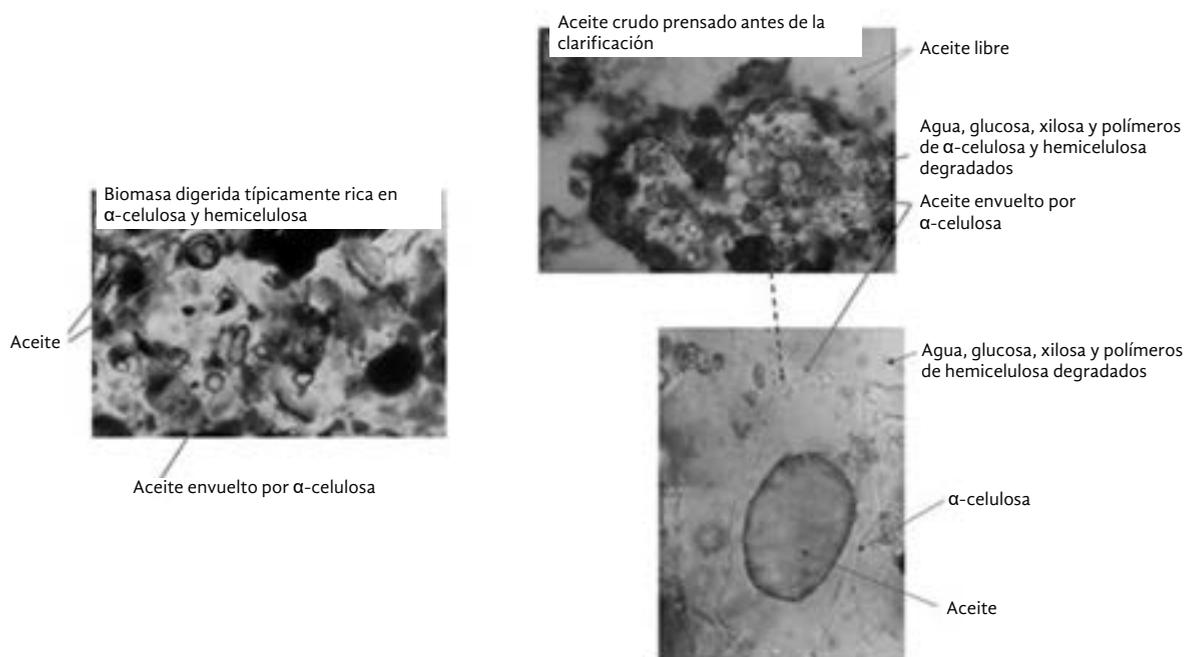
**Objetivo:** aceite seco.

La purificación circunnavega en la recuperación de las moléculas químicas deseadas o tratadas, incluido el aceite. En esta instancia, el aceite es una mezcla de muchas formas de moléculas químicas libres que incluyen  $\alpha$ -celulosa (de diferentes pesos moleculares) y hemicelulosa (también de distintos pesos moleculares), glucosa y xilosa, lignina, aceite (TAG), DAG, MAG, AGL y agua.

Convenientemente, la propiedad hidrofóbica de baja densidad del agua ayuda en la separación rápida del aceite y de los AGL y, en cierta medida, de los DAG y MAG del agua y de la  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa, glucosa y xilosa hidrófilas. La lignina se hunde.

La alta cantidad de células oleosas (cuerpos de aceite envueltos por  $\alpha$ -celulosa) solo demuestra que no se

**Figura 5.** Morfología de la biomasa digerida antes de ser prensada, aceite crudo prensado.



ha completado el aspecto físico o químico durante el proceso de ruptura, especialmente el de la  $\alpha$ -celulosa.

## Pautas para mejorar la hidrólisis de hemicelulosa en la planta de beneficio

Condiciones actuales de procesamiento *in situ* para hidrólisis conductiva.

### Esterilización

Hidrólisis de todas las hemicelulosas del RFF, en glucosas y xilosas durante el proceso de esterilización.

La esterilización satisface la necesidad de intensidad en los cambios químicos al interior del RFF; desactiva la hidrólisis del aceite en AGL e intensifica la hidrólisis de hemicelulosa en glucosa y xilosa que permite el desprendimiento de los frutos del tallo.

Para maximizar la hidrólisis de hemicelulosa es necesario imponer el régimen rápido y equilibrado de 50 psi, 134 °C durante una hora, o 60 psi, 140 °C durante 45 minutos, o 70 psi, 145 °C durante 30 minutos en el esterilizador.

Estos regímenes de esterilización no degradan los carotenos.

### Digestión y clarificación

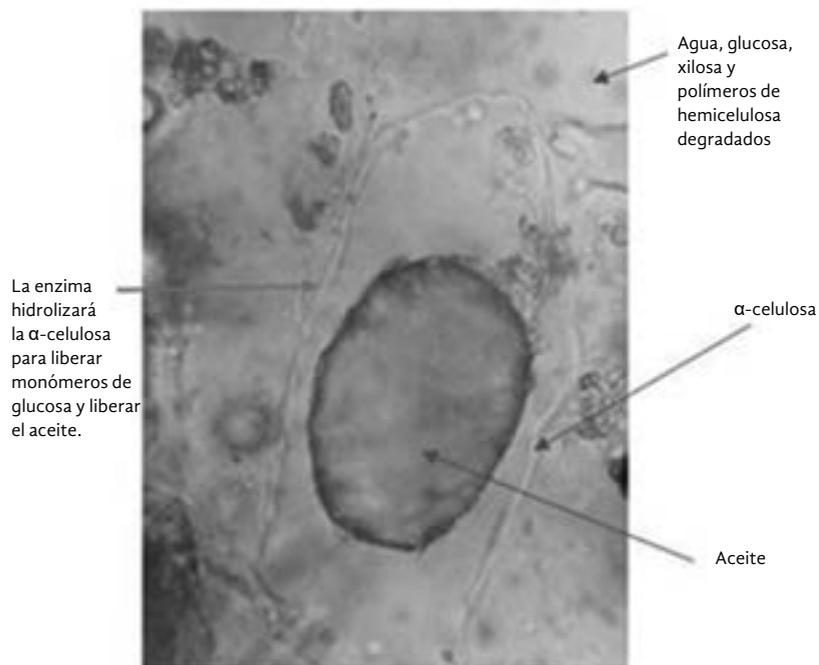
Aumentar y mantener la temperatura de digestión y clarificación a >90 °C y 80 °C, respectivamente.

### Pautas adicionales

Incorporación de enzimas o catalizadores químicos a la biomasa del digestor y/o al aceite crudo prensado.

### Enzima

La  $\alpha$ -celulosa es un componente estructural importante de la pared celular principal de las plantas verdes, incluyendo las células oleosas del mesocarpio del fruto de la palma. Y la enzima hidrolasa ha demostrado ser efectiva para hidrolizar el polímero  $\alpha$ -celulosa de alto peso molecular en monómeros individuales de glucosa (Figura 6) (Silvamanay & Jahim, 2015; Wai, 2017). La descomposición bioquímica de la  $\alpha$ -celulosa permite la separación del aceite.



**Figura 6.** Hidrólisis enzimática de  $\alpha$ -celulosa.

Proceso de extracción para la producción de glucosa y xilosa a partir de  $\alpha$ -celulosa y hemicelulosa presente en racimos de fruta fresca (RFF). Una alta cuantía en la producción de glucosa/xilosa garantiza una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta • Ariffin, A.

Se ha demostrado que la enzima comercial transmitida a la biomasa del digestor y/o al aceite crudo prensado contribuye a un aumento de la TEA de entre 0,5 y 0,75 %.

La enzima depende altamente de la temperatura.

### Catalizador químico

Específicamente, el químico comercializado como D3 permite la hidrólisis de la hemicelulosa a monómeros de glucosa y xilosa, que tiene lugar a varias temperaturas (>90 °C). Este catalizador también solubiliza dímeros y oligómeros de bajo peso molecular y se ha agregado a las etapas de digestión y/o clarificación. La incorporación de D3 ha resultado en que las plantas de beneficio tengan un aumento de la TEA de entre 0,5 y 0,75 % (Tabla 1).

### Inferencias

El análisis del mesocarpio de frutos de palma por lo general contiene aceite (TAG), un porcentaje mínimo pero significativo de diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG), ácidos grasos libres (AGL),  $\alpha$ -celulosa, hemicelulosa, glucosa, xilosa, furfural, hidroximetilfurfural, lignina, fenoles, proteínas degradadas y agua.

El mesocarpio magullado y dañado de RFF expone el aceite a las lipasas (del mesocarpio del fruto o

microbial) que, instantáneamente, hidrolizan el aceite en diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG) y ácidos grasos libres (AGL).

Pues bien, afortunadamente la alta temperatura del proceso de esterilización detiene la acción de esta enzima de lipólisis sobre el aceite.

El aceite, incluyendo el DAG, MAG Y AGL, se extrae de esta biomasa del mesocarpio tratado.

Si bien los principios y el tipo de condiciones impuestas durante el procesamiento continúan, los condicionamientos (temperatura, presión y producción) no cambian mucho entre diferentes plantas de beneficio.

Por lo general, y en su totalidad, las condiciones de procesamiento han sido similares en todas las plantas de beneficio de aceite de palma durante los últimos años.

Cambios en los aspectos físicos, calderas más grandes, esterilizadores diseñados, prensas de alta capacidad y clarificador. Aquí, el RFF ingresa primero inclinado en el recipiente de manera que el esterilizador pueda ser cargado en esta posición, esterilizado en una postura horizontal, e inclinado para descargarlo en una banda transportadora en el menor tiempo posible. Tres o cuatro conjuntos de esterilizadores ubicados a lado y lado, cada uno con un tubo de inyección de vapor a alta presión de 70 psi. Estas modificaciones, no obstante, solo satisfacen las necesidades de producción.

**Tabla 1.** Mejoramiento positivo de la TEA en presencia de un catalizador químico (D3).

		APC	RFF	TEA	Varianza
	Semana	mt	mt	%	%
SIN D3	W1	1.094	5.901	18,55	0,75
	W3	1.105	5.989	18,44	
	W6	831	4.399	18,89	
	W9	909	4.557	19,94	
	W11	1.053	5.277	19,96	
	Total	4.992	26.123	19,11	
CON D3 AP 75,01	W2	906	5.047	17,96	
	W4/5	1.528	7.588	20,13	
	W7/8	2.132	10.424	20,45	
	W10	914	4.563	20,02	
	W12	1.060	5.310	19,96	
	Total	6.539	32.932	19,86	

Independientemente de estos cambios, la producción paralela del efluente líquido continúa beneficiándose de los altos valores de DBO Y DQO en mm/litro. El fenómeno de los altos efluentes con grandes concentraciones de DBO/DQO, culmina con el establecimiento de plantas de producción de biogás (metano).

## Conclusión

¿Sabía que el procesamiento de aceite de palma es en realidad un proceso para producir glucosa y su hermana menor, xilosa?

Y, casualmente, entre más glucosa produzcamos, ¡más aceite recuperamos! ¿Y que casi toda la glucosa del racimo de fruta fresca (RFF) se produce durante el proceso de esterilización?

La glucosa es agradablemente dulce y bastante expansiva. Su hermana menor, la xilosa, es más expansiva. Y solo para recordar que, en la planta de beneficio de aceite de palma, entre más glucosa produzcamos, más aceite recuperamos.

Entonces, vamos a producir glucosa.

---

## Referencias

- Kuntum, A., & Ariffin, A. (2010). Flavors of Palm Oil. In: Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Fruit and Vegetable Flavors* (pp. 1052-1069). John Willey & Sons, Incorporated.
- Loi, C. C., Boo, H. C., Chern, H., Mohammed, A. S., & Ariffin, A. (2011). A high performance liquid chromatography method for determination of furfural in crude palm oil. *Food Chemistry*, 128(1), 223–226.
- Ariffin, A., Ghazali, H. M., & Kavousi, P. (2014a). Validation of a HPLC method for determination of hydroxymethylfurfural in crude palm oil. *Food Chemistry*, 154, 102 – 107.
- Ariffin, A. (2012). High Pressure Equilibrated Sterilization of Fresh Fruit Bunches (FFB) for Zero USB (un- stripped fruit bunches) and 5 % max. Oil to Pressed Fiber (ODM). 17th International Oil Palm Conference and Expopalma, Cartagena, Colombia.
- Ariffin, A., Foster, G., & Low, E. (2014b). Maximising hydrolysis of sugar (gum/hemicellulose) that binds fruits to stalk and cell to cell; ensure greater detachment of fruits from stalk and very low viscosity pressed crude that enhances separation of oil during clarification. IOPC, Bali, Indonesia.
- Silvamany, H., & Jahim, J. (2015). Enhancement of Palm Oil Extraction Using Cell Wall Degrading Enzyme Formulation. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19(1), 77 – 87.
- Wai, H. (2017). Enzymes to Improve OER in Palm Oil Extraction. MPOB International Palm Oil Congress and Exhibition (PIPOC).