

Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma*

Principal Formation and Mitigation Strategies for 3-MCPDE in Palm Oil Processing

CITACIÓN: Chien Lye Chew & Norliza Saparin. (2022). Principales estrategias de formación y mitigación de 3-MCPDE en el procesamiento del aceite de palma (Traductor C., Arenas). *Palmas*, 43(2), 40-51.

PALABRAS CLAVE: Aceite de palma, 3-MCPDE, Cloro, Diacilglicerol, Seguridad alimentaria.

KEYWORDS: Palm oil, 3-MCPDE, Chlorine, Diacylglycerol, Food safety.

*Traducido del original Principal Formation and Mitigation Strategies for 3-MCPDE in Palm Oil Processing, publicado en la revista *Journal of Oil Palm and the Environment*, 12, 86-95.

Derechos de autor: @2021 Chien Lye Chew. Este es un artículo de acceso abierto que permite su uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite adecuadamente el trabajo original. Publicación de *Journal of Oil Palm and the Environment*, 12, 86-95. doi:10.5366/jope.2021.06, Publicación oficial del Consejo Malasio para el Aceite de Palma (MPOC).

CHIEN LYE CHEW
Plantación Sime Darby
chew.chienlye.mervin@
sime-darbyplantation.com
Autor de correspondencia

NORLIZA SAPARIN
Plantación Sime Darby

Resumen

El aceite palma es el aceite vegetal más producido y consumido en todo el mundo. Recientemente, esta industria ha recibido la atención de las autoridades de seguridad alimentaria debido a la presencia de ésteres de 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPDE) en el aceite refinado. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) propuso limitar la pre-

sencia de 3-MCPDE en 2,5 ppm en el aceite de palma a partir el año 2021. Varios estudios han demostrado que el 3-MCPDE es un contaminante de proceso, inducido por calor durante la etapa de refinación, en presencia de sus precursores, como el diacilglicerol (DAG) y el cloro en el aceite de palma. Se han realizado trabajos de investigación para mitigar la formación de 3-MCPDE. En este artículo se presenta una visión general de la formación de 3-MCPDE, las iniciativas de mitigación y las prácticas industriales para abordar el problema del 3-MCPDE.

Abstract

Palm oil is the most produced and consumed vegetable oil worldwide. Recently, the palm oil industry has received attention from food safety authorities due to the presence of 3-monochloro-1, 2-propanediol esters (3MCPDE) in the refined oil. The European Food Safety Authority (EFSA) proposed to limit the presence of 3-MCPDE by 2.5 ppm in palm oil from year 2021 onwards. Various studies showed that the 3-MCPDE is a process contaminant induced by heat during the refining stage, in the presence of its precursors, such as diacylglycerol (DAG) and chlorine in palm oil. Research works have been conducted to mitigate 3-MCPDE formation. This paper provides an overview of the 3-MCPDE formation, mitigation initiatives and industrial practices in addressing the 3MCPDE issue.

1. Introducción

En 2020, la elaboración mundial de aceite comestible alcanzó los 209 millones de toneladas, con una producción de aproximadamente 75 millones de toneladas de aceite de palma¹. Este es el aceite vegetal más consumido; se espera que su volumen de producción aumente debido al crecimiento demográfico y a la expansión de la economía de los países en desarrollo. El aceite de palma se utiliza principalmente para alimentos, mientras que una pequeña fracción se usa para la producción de biocombustible y oleoquímicos. Se cosechan los frutos de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y el aceite extraído de su mesocarpio se conoce como aceite de palma crudo (APC)². Posteriormente, el APC se puede refinar para aplicaciones alimentarias. El aceite de palma refinado puede fraccionarse en dos partes principales conocidas como oleína de palma y estearina de palma. Su aplicación en la producción de alimentos varía debido a las diferencias en las propiedades físicas y químicas^{3, 4}. La oleína de palma se utiliza principalmente para freír y cocinar, mientras que la estearina de palma para la producción de manteca vegetal y margarina^{3, 5}. Debido a las extensas aplicaciones en alimentos, la seguridad alimentaria del aceite de palma se convierte en un elemento vital para la industria.

Tabla 1: Composición general del APC

Composición	Valor
Triacilglicerol (TAG)	88-95 %
Diacilglicerol (DAG)	3-7 %
Monoacilglicerol (MAG)	< 1 %
Ácidos grasos libres (AGL)	1-5 %
Humedad	0,1-0,2 %
Impurezas sólidas	0,01-0,03 %
Tocoferoles y tocotrienoles	500-1.100 ppm
Carotenoides	400-800 ppm
Fitoesteroles	300-600 ppm
Escualeno	200-500 ppm
Fosfolípidos	3-140 ppm
Metales (cobre y hierro)	1-10 ppm
Productos de la oxidación lipídica	Trazas

Tabla 2: Requisito de calidad para el aceite de palma crudo en la especificación PORAM ^{7,8}.

Características	Valor
Ácido graso libre (como ácido palmítico), % máx.	5,0
Humedad e impurezas, % máx.	0,25
Índice de grado de blanqueabilidad, mínimo	2,3
*Cloro, ppm máximo.	2,0

* Requisitos de calidad adicionales para el APC antes de enero de 2020.

En términos de estructura, el APC está compuesto principalmente por triacilglicerol (TAG), diacilglicerol (DAG), monoacilglicerol (MAG), ácidos grasos libres (AGL) y otros componentes menores (Tabla 1). Dado que el aceite de palma se utiliza principalmente para usos alimentarios, el APC producido debe cumplir con algunos parámetros de calidad. La especificación PORAM es el estándar de calidad más utilizado para el comercio de aceite de palma entre las plantas de beneficio y refinadores en Malasia (Tabla 2). En resumen, las especificaciones PORAM cubren tres parámetros principales de calidad del APC^{6,7}:

- i. Estabilidad hidrolítica (a través del contenido de AGL).
- ii. Contenido de contaminantes (a través de la cantidad de humedad e impurezas sólidas).
- iii. Estabilidad oxidativa (a través del deterioro del índice de blanqueamiento (DOBI por sus siglas en inglés).

Últimamente, la calidad del aceite de palma producido ha recibido la atención de las autoridades de seguridad alimentaria debido a la presencia de contaminantes del proceso, tales como ésteres de 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPDE) en el aceite comestible. En 2016, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés) publicó un extenso informe sobre las consecuencias para la salud de este contaminante del proceso, que es un posible carcinógeno humano^{9,10}. Algunos estudios encontraron que el aceite de palma refinado contiene la cantidad más alta de 3-MCPDE^{11, 12, 13}. EFSA propuso fijar un límite de ingesta diaria tolerable (IDT) de 0,8 µg/kg de peso corporal para 3-MCPDE⁹. Por

su parte, el Comité Mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA por sus siglas en inglés) propuso una máxima ingesta provisional tolerable diaria (MIPTD) para 3-MCPDE de 4 µg/kg de peso corporal, ya sea individualmente o en combinación con los ésteres de glicidilo¹⁴. Por lo tanto, la EFSA ha propuesto limitar la presencia de 3-MCPDE en el aceite de palma a 2,5 ppm y menos a partir del 2021¹⁵. Varios estudios han demostrado que el APC con altos niveles de AGL, DAG y la presencia de cloro promueven la formación de 3-MCPDE durante la etapa de refinado^{16, 17, 18}. En respuesta a estos trabajos de investigación, las autoridades malasias han propuesto recientemente que el límite del contenido de cloro en APC sea inferior a 2 ppm (Tabla 1). Por otra parte, el límite de 3-MCPDE en el aceite de palma refinado debe mantenerse por debajo de 2,5 ppm para el año 2021 y 1,25 para el 2022⁸.

En la siguiente sección se discutirán los factores que causan la formación de 3-MCPDE. A esto le sigue la parte que discute las iniciativas tomadas para mitigar este contaminante del proceso a través de la minimización de los precursores de 3-MCPDE mediante la manipulación de las condiciones del proceso de refinado.

2. Formación y factores que afectan a los precursores de cloro para 3-MCPDE en aceites de palma

La formación de 3-MCPDE en aceites comestibles (incluidos los aceites de palma) se produce durante el proceso de desodorización. Esto se debe principalmente al tratamiento de los aceites a alta temperatura en presencia de cloro^{19,20}. Destailats *et al.*¹³ demostraron que el tratamiento térmico (235 °C) de la trioléina, mostró una mayor formación de 3-MCPDE con la adición de cloro (como el plaguicida organoclorado y el FeCl₂). El mecanismo de formación de 3-MCPDE en el aceite apoyó la asociación de los TAG, DAG y MAG con cloro a través de la sustitución nucleofílica de SN₂ y la reacción de radicales libres^{12, 21}. Varios estudios han presentado que niveles más altos de DAG y MAG en el aceite aumentaron la formación después de un tratamiento térmico que simulaba las condiciones de desodorización^{22, 23}. Los análisis realizados con un aceite con solo TAG o sin acilglicerol también mostraron la formación de 3-MCPDE. Esto apoya la participación de TAG como precursor del acilglicerol para la formación de 3-MCPDE junto

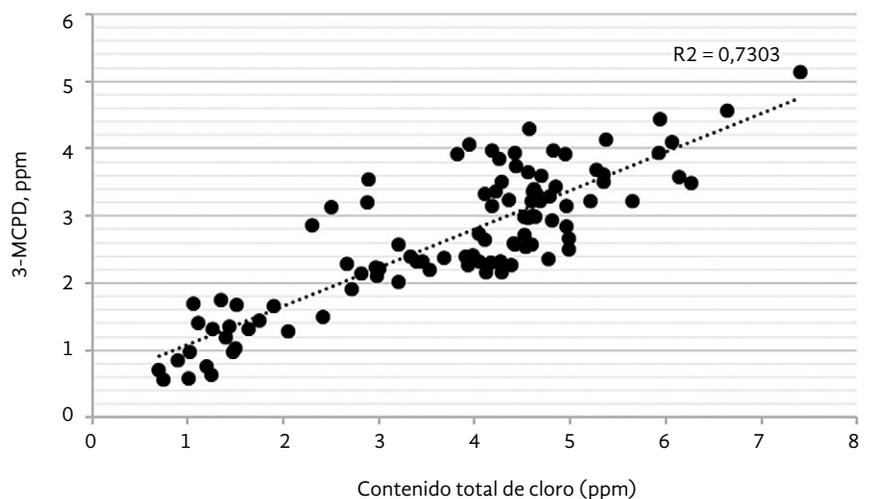
con DAG y MAG^{13, 24}. Sin embargo, se ha informado que los acilglicerol parciales son más reactivos que el TAG para actuar como precursor del acilglicerol para la formación de 3-MCPDE, mientras que el DAG es considerado como el precursor más reactivo (entre los acilglicerol)^{22, 24}. Dado que el APC tiene abundancia de acilglicerol (>99 %), la formación de 3-MCPDE en aceites de palma está limitada por el contenido de cloro^{24, 25}. Este último afecta la formación de 3-MCPDE en el aceite de palma durante la etapa de refinado. El estudio muestra que el contenido total de cloro en el APC tiene una correlación directa con el 3-MCPDE en el aceite de palma refinado, con $R^2 > 0,73$, como se muestra en la Figura 1¹⁸. Nargry *et al.*²⁶ descubrieron que el APC tiene más de 200 compuestos orgánicos monoclorados junto con algunos inorgánicos clorados como $FeCl_2$, $FeCl_3$, $MgCl_2$ y $CaCl_2$. Los compuestos organoclorados también se identificaron como constituyentes lipídicos producidos naturalmente y mostraron potencial para liberar cloro durante la desodorización para formar 3-MCPDE^{18, 26}. Además, se confirmó el hecho de que los compuestos organoclorados funcionan como precursores de cloro para el 3-MCPDE. Un modelo realizado por Tiong *et al.*¹⁸ mostró que la adición de una mezcla de compuestos organoclorados enriquecidos produjo una mayor formación de 3-MCPDE después del tratamiento térmico.

Se informó que los compuestos organoclorados se biosintetizaban en los frutos de la palma de aceite. Estos, se extrajeron junto con el APC del mesocarpio durante el procesamiento en la planta de beneficio^{18, 26}. Durante la extracción del aceite de palma, se observó que los compuestos organoclorados se dividie-

ron y enriquecieron en ciertas fracciones de aceite, como las del condensado esterilizador (CE) y el licor de prensa tusa (LPT) (Figura 2). Normalmente, el aceite crudo extraído (conocido como aceite crudo sin diluir) después del prensado contiene una gran cantidad de impurezas. Por lo tanto, se introduce agua caliente (conocida como agua de dilución) para facilitar el proceso de clarificación del mismo. En algunas plantas de beneficio se utiliza el CE y LPT en lugar de agua caliente. Estudios muestran que el uso combinado de estos dos como agentes de dilución mostró la mayor cantidad de contenido de cloro en el APC (Figura 3)²⁷. También cabe mencionar que el agua de dilución desempeña un papel importante en la reducción del contenido de cloro en el agua.

Aparte del acilglicerol y el precursor del cloro, otros factores notables que afectan la formación del 3-MCPDE incluyen el contenido de componentes menores del aceite y las condiciones de refinado. El pH del aceite afectaría la formación de 3-MCPDE como condición ácida que promovería y activaría el acilglicerol para el ataque nucleófilo del cloruro para formar 3-MCPDE¹². La reducción del pH del aceite mediante la adición de carbonato de sodio y bicarbonato de sodio puede disminuir la formación de 3-MCPDE de 7 ppm a menos de 3 ppm en el estudio de aceite. Aunque los AGL no actúan como precursor directo de la formación de 3-MCPDE, sí afectan el valor del pH de los aceites. La adición de ácido láurico al 10 % reduce el pH de los mismos para producir un aumento definido pero pequeño en la formación de 3-MCPDE²².

Figura 1: Regresión de 3-MCPDE en aceites de palma desodorizados y blanqueados, en relación con el contenido total de cloro en APC¹⁸



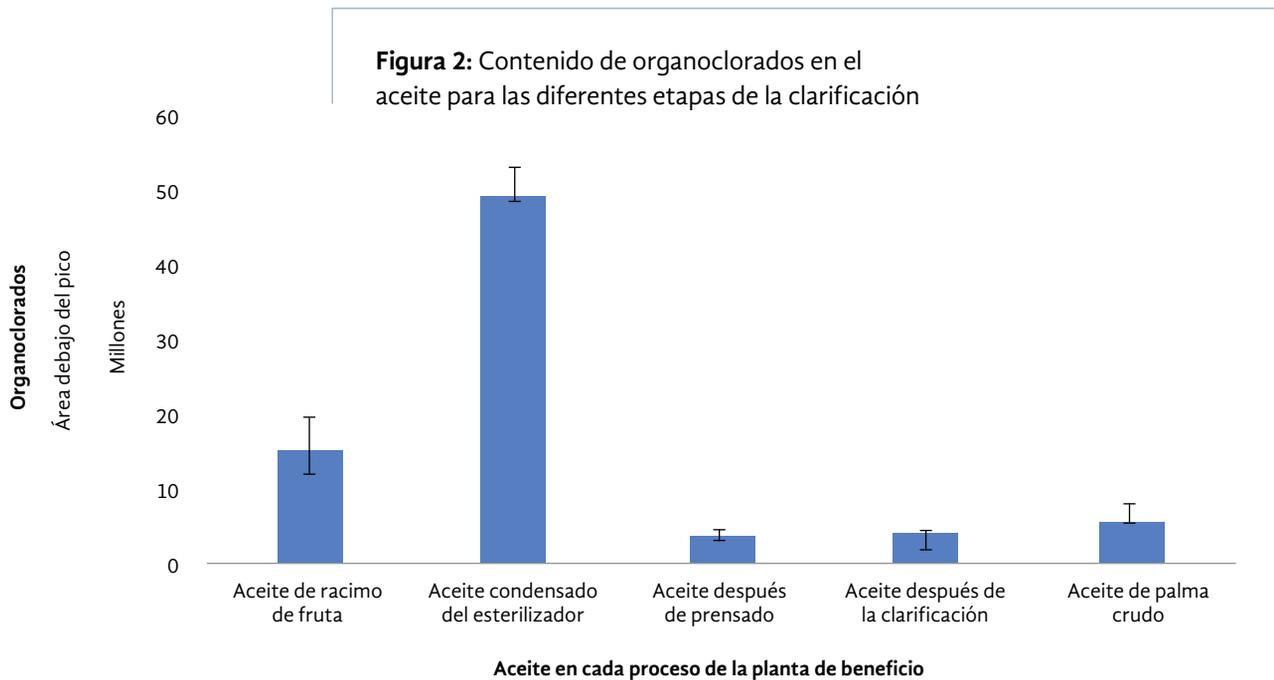
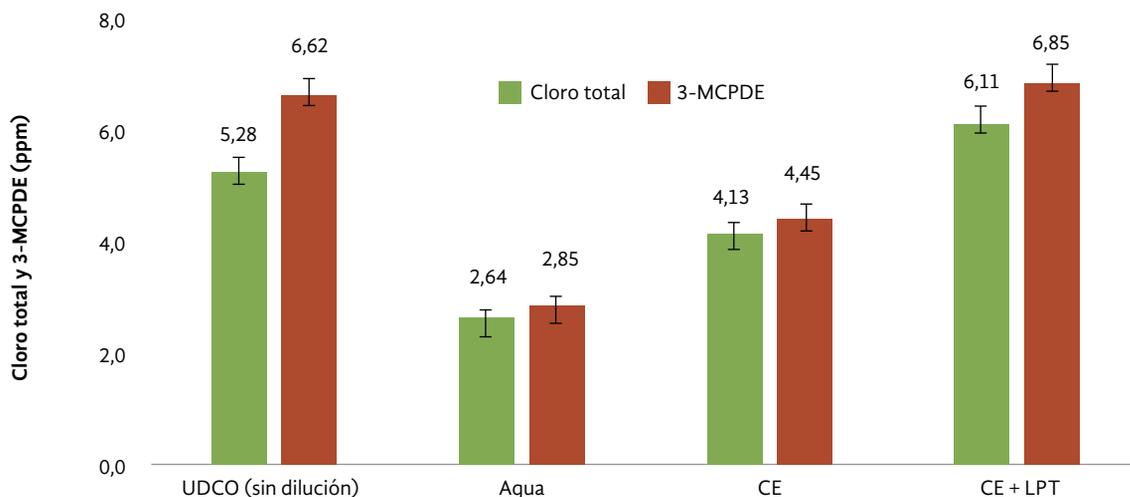


Figura 3: Cloro total en APC y contenido de 3-MCPDE en aceite refinado para varios tipos de agentes de dilución comúnmente utilizados en la planta de beneficio²⁷



La existencia de cloro durante el refinado posiblemente se originó a partir de la adición de materiales o productos químicos. Se ha informado que la arcilla blanqueadora y el agua contienen entre 60 y 152 ppm de contenido total de cloro²⁸. El cloro en la arcilla blanqueadora fue contribuido por la activación ácida utilizando HCl. Por lo tanto, los fabricantes están

proporcionando arcilla blanqueadora con bajo contenido de cloro a través de la activación ácida usando ácido no clorado. La tierra blanqueadora, ya sea natural o activada por ácido, que no contiene cloro ayudaría a reducir la formación de 3-MCPDE. Además, el ácido utilizado para el desgomado del APC también puede contener un nivel mínimo de cloro.

Sin embargo, el contenido de cloro en ácido utilizado para desgomar es insignificante porque es inferior al 20 % el cloro total en el APC (rango de 8-29 ppm)²⁸. Además, la cantidad de ácido utilizada para desgomar es relativamente pequeña. Los APC se refinaron mediante un enfoque físico que no tiene contacto directo con el agua, excepto por el aceite refinado con químicos. Por lo tanto, la contaminación cruzada con cloro proveniente del agua no es una preocupación importante. Sin embargo, se reportó que la exposición del APC al agua, como durante el desgomado con agua, es beneficiosa para reducir la formación de 3-MCPDE^{29, 30}. En consecuencia, es importante entender los precursores y los factores que afectan a la formación de 3-MCPDE para que la industria de la palma de aceite elabore una estrategia eficaz de mitigación, y de intervención para asegurar que el 3-MCPDE, en los productos de aceite de palma para el consumo de alimentos no exponga a los consumidores a un nivel superior a la MIPTD establecida por los organismos reguladores de seguridad alimentaria y salud.

3. Estrategias de mitigación

Factores externos como el suelo, el riego y el control de plagas tienen diferentes impactos en el contenido de cloruro de la palma de aceite. Otros factores, como las técnicas de recolección, manipulación y transporte, también son fuentes potenciales de contaminación por cloruro en los racimos de fruta fresca (RFF) y en el APC. Durante la cosecha y la evacuación, algunas impurezas sólidas que se unen a los RFF se procesan juntas para producir el APC. Estas impurezas sólidas consisten en materiales y suelos predominantemente fibrosos y son la fuente del cloro. En consecuencia, el cloro se transmite al APC durante el procesamiento. Dado que se conoce la fuente potencial de contaminación por cloro, la reducción de esta ayuda a disminuir la concentración de cloruro en el APC y, posteriormente, a mitigar el 3-MCPDE. Sin embargo, el esfuerzo de reducción más significativo es la mitigación realizada en el precursor del aceite, se espera que el descenso de las fuentes de cloro en la materia prima reduzca aún más la contaminación. Por lo tanto, la limpieza de los frutos de palma (con agua) antes de la extracción es el primer paso crucial para minimizar el arrastre de las fuentes de cloro. Los resultados indican una reducción significativa de su contenido en el APC producido a partir de los frutos de palma lavados, lo que posteriormente reduce el 3-MCPDE del aceite refinado. Se informó que los sistemas de

limpieza de los racimos de fruta y los frutos de la palma desarrollados por Sime Darby Plantation en 2018 produjeron APC con un contenido de cloro tan bajo como 0,5 ppm^{31, 32}.

Además, los aceites de CE y LPT tienen alto contenido de cloro. La mezcla de estos, con el APC durante la dilución (agua) aumentará eventualmente su contenido de cloro.²⁷ Para mitigar dichos problemas, se ha propuesto la segregación de estos dos flujos de la producción primaria de APC (como aceites de recuperación no APC). En resumen, el sistema recupera los aceites CE y LPT con el separador de lodos en una línea de procesamiento independiente para aplicaciones no alimentarias. Con la implementación de este sistema, se registró una reducción de aproximadamente el 30 % de cloro y 3-MCPDE para APC y su aceite refinado, respectivamente. Cabe señalar que este sistema también mejora la calidad general del APC, especialmente respecto a sus contaminantes y las estabilidades hidrolíticas y oxidativas.³³

En la discusión anterior, la formación de 3-MCPDE requiere una fuente de cloro que puede disociarse fácilmente para crear los iones de cloruro necesarios. Por lo tanto, es necesario incluir un proceso que disminuya la concentración de cloro para evitar la formación de 3-MCPDE durante el proceso de refinado. *Destailats et al.*¹³ informaron que los compuestos clorados en el material vegetal son de naturaleza polar. Por lo tanto, es posible eliminarlo eficazmente del material de la planta utilizando la extracción líquido-líquido con una solución de solvente polar. Dado este resultado positivo, Sime Darby Plantation realizó ensayos de verificación con lavado de agua y el resultado mostró que la concentración de cloro total en APC lavado fue 50 % menor que el APC sin lavar (no publicado). Por otra parte, el 3-MCPDE en AP RBD obtenido del APC lavado mostró una reducción de 53 % en comparación con el aceite no lavado (Tabla 3).

Otro posible enfoque de mitigación que vale la pena considerar es la decloración del APC antes del refinado. Este proceso de pretratamiento utiliza metabisulfito de sodio (MBS) como agente de decloración. El MBS se mezcla con APC caliente y, posteriormente, se filtra para eliminar el MBS gastado. Como resultado, el APC declorado tiene un contenido de cloro inferior a 2 ppm³⁴. Tanto los agentes de lavado como los de decloración de agua son eficaces para reducir el compuesto clorado inorgánico soluble en agua del APC. Sin embargo, el desafío restante es eliminar los compuestos clorados solubles en aceite.

Tabla 3: Efecto del lavado de APC sobre el contenido de cloro y 3-MCPDE sobre su aceite refinado. Los resultados representan la media \pm y la desviación estándar del valor medio ($n = 3$).

Alimentación de refinería	Muestra	Cloro, ppm	Éster 3-MCPDE, ppm
A	Control	5,17 \pm 0,57	4,34 \pm 0,13
	Lavado	2,58 \pm 0,39	2,03 \pm 0,11
B	Control	3,55 \pm 0,24	2,60 \pm 0,09
	Lavado	1,78 \pm 0,12	1,26 \pm 0,15

Si bien la mayoría de los esfuerzos de mitigación se centraron en la reducción del cloro, no hay énfasis en otros factores que contribuyan a la formación de 3-MCPDE. Por lo tanto, los autores sugirieron extender los esfuerzos de mitigación a la reducción de AGL, DAG y MAG. Esta podría realizarse mejorando las técnicas de recolección y procesamiento para reducir la reacción de hidrólisis que produce AGL, DAG y MAG en el APC. Eventualmente, la reducción de estos compuestos podría disminuir la formación de 3-MCPDE durante el refinado. Dicha estrategia de mitigación ha sido revisada recientemente por Chew *et al.* (2021)³⁵.

Otra estrategia de mitigación importante es la prevención de la formación de 3-MCPDE en refinación. Algunos investigadores han sugerido el uso de desgomado con agua como un proceso de lavado alternativo en el refinado del aceite^{36, 37, 38}. En esta etapa, los precursores polares que contienen cloro del 3-MCPDE pueden removerse del aceite. Sin embargo, el desgomado con agua es menos efectivo en la reducción de fosfátidos, hierro y color en comparación con el procedimiento estándar de desgomado ácido del APC.

Curiosamente, una mayor cantidad de uso de agua (1-5 %) durante el desgomado con agua podría eliminar aún más las impurezas y lograr la especificación de color rojo de menos de 3,0³⁸. Además, se sugerirían las arcillas naturales como un medio alternativo a la arcilla de blanqueo activada por ácido, debido a su pH neutro que no promueve la formación de 3-MCPDE. Sin embargo, las arcillas naturales suelen tener una superficie más baja que podría afectar la calidad del aceite refinado, ya que la capacidad adsorbente de los minerales depende de la distribución del tamaño de las partículas, la porosidad y la acidez

de la superficie. Además, se propusieron trabajos de investigación sobre el uso de silicato de magnesio como arcilla blanqueadora, lo que muestra una reducción significativa de 3-MCPDE en comparación con la arcilla activada y natural, especialmente con el desgomado con agua³⁷.

La desodorización es el factor crítico para la formación de 3-MCPDE. Cabe aclarar que este es un proceso dependiente de la temperatura. La desodorización a altas temperaturas puede provocar reacciones de cloruros en aceites con acilglicérols.

Se realizó un estudio que demostró que la formación de 3-MCPDE está directamente correlacionada con la temperatura de desodorización. En este, se sometió el APC (con un contenido de AGL del 4,2 % y 4,75 ppm de cloro) a temperaturas de desodorización de 230 °C y 260 °C durante 90 minutos. Como se esperaba, se observaron las cantidades más altas de 3-MCPDE en las muestras desodorizadas a 260 °C (Figura 4).

En la Figura 5 se resumen las diversas opciones de mitigación posibles para disminuir el problema del 3-MCPDE en toda la cadena de suministro del aceite de palma. La iniciativa debe comenzar en el sector *upstream*, donde el cultivo de palma de aceite puede mejorar la calidad de las plantas reduciendo sus fuentes de cloro. Como mitigación posterior, puede producirse APC de alta calidad con bajo contenido de DAG y cloruro a través de la mejora del proceso de la planta de beneficio. Por último, la reducción de la formación de 3-MCPDE puede lograrse mediante la mejora de las condiciones de refinado. Con todos los esfuerzos combinados, se puede abordar la cuestión del 3-MCPDE en la industria del aceite de palma.

Figura 4: Efecto de la temperatura de desodorización sobre la formación de 3-MCPDE. Los resultados representan los valores medios y las barras de error indican la desviación estándar de la media (n = 3).

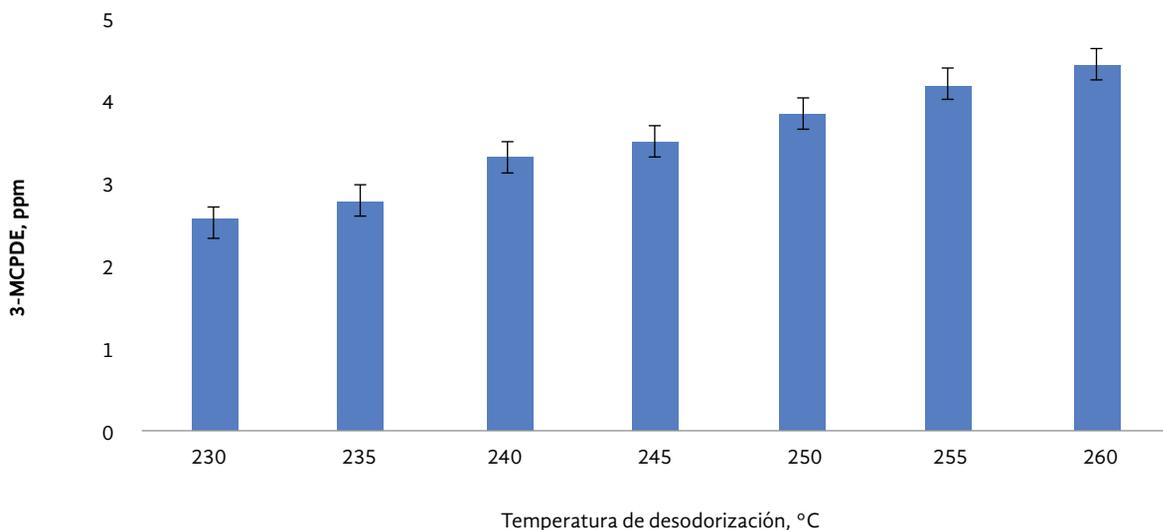


Figura 5: Propuestas de estrategias de mitigación para la reducción de 3-MCPDE en la cadena de suministro de aceite de palma



4. Conclusión

El procesamiento del aceite de palma comienza en la plantación de palma de aceite, donde se cosechan sus frutos. Estos son entregados a las plantas de beneficio para la extracción del aceite antes de ser convertido en aceite de palma comestible o refinado. Los estudios muestran que la presencia de los precursores de 3-MCPDE, como el contenido de DAG y cloro en el

APC, promueven la formación de 3-MCPDE durante la etapa de refinado (debido a la inducción de calor). La integración de las estrategias de mitigación en el procesamiento del aceite de palma podría ser un enfoque prometedor para abordar el problema del 3-MCPDE. Se propone que estas se inicien en las plantaciones y plantas de beneficio, abordando los precursores del 3-MCPDE, particularmente las fuentes de cloro y de formación de DAG. El enfoque es se-

guido por la mejora de la condición del proceso en la refinera, centrándose en minimizar la formación de 3-MCPDE. A través de la extensa investigación sobre este tema, se han descubierto los principios de for-

mación, sus factores y precursores. Estos hallazgos conducen a varias estrategias de mitigación posibles, y al combinar todos estos esfuerzos, se puede abordar la cuestión de los contaminantes del proceso.

Referencias

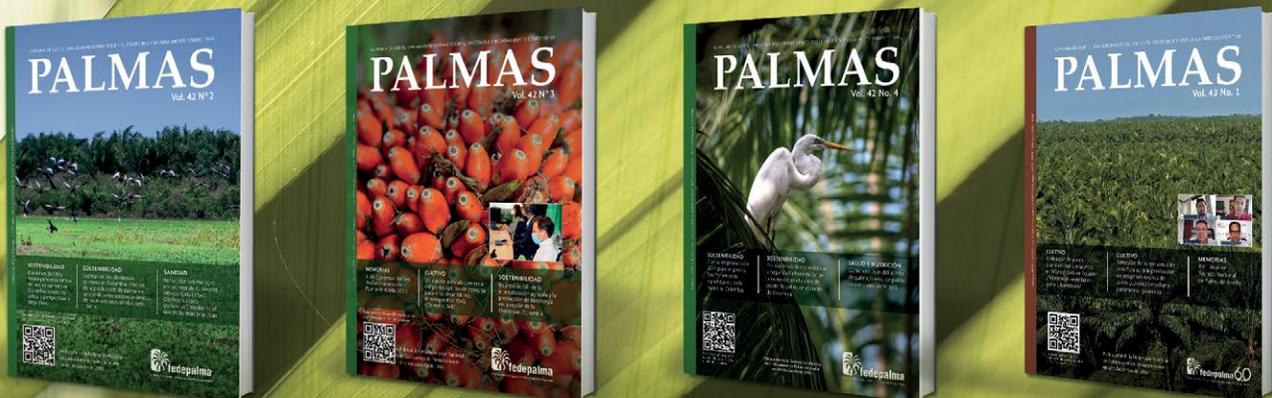
1. Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). (2021). Oilseeds: World Markets and Trade. Recuperado de <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> (consultado el 25 de marzo de 2021).
2. Sundram, K., Sambanthamurthi, R. & Tan, Y. -A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12, 355-362.
3. Aila, N. & Lida N. (2018) 'Usage of Palm Oil, Palm Kernel Oil and their Fractions as Confectionery Fats', *Journal of Oil Palm Research*. 29(3). pp. 301-310 <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.2903.01>
4. Mancini, A. *et al.* (2015). 'Biological and Nutritional Properties of Palm Oil and Palmitic Acid: Effects on Health', pp. 17339-17361. <https://doi.org/10.3390/molecules200917339>.
5. DeMan, J. (2000). 'Use of Palm Stearin as a Component of Interesterified Blends', *SCI lecture papers series*, pp. 1-2. Recuperado de <https://www.soci.org/-/media/Files/Lecture-Series/pb86.ashx?la=en> (consultado el 22 de diciembre 2019).
6. Chong, C. L. (2012). Measurement and Maintenance of Palm Oil Quality. En O. -M. Lai, C. -P. Tan, & C. C. Akoh (Eds.), *Palm Oil*, (pp. 431-470). Urbana: AOCS Press.
7. PORAM. PORAM Standard Specifications for Processed Palm Oil. (2000). Recuperado de <http://poram.org.my/p/wp-content/uploads/2013/12/1.-PORAM-Standard-Specification.pdf> (consultado el 29 de noviembre de 2019).
8. MPOB, Malaysian Palm Oil Board Licensing and Enforcement Division. (2019). Enforcement of additional licencing conditions imposed on licensees of palm oil mill (mf), palm oil refinery (rf), palm oil products exporter (px) and palm oil products importer (pm) categories: food safety & good quality palm oil. Enforcement Circular (Licensing) MPOB, Pk (EL) MPOB 01/2019, 1-4.
9. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Risks for human health related to the presence of 3-and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *Efsa Journal*, 14(5), p.e04426. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426> (consultado el 22 de diciembre de 2019).
10. International Agency for Research on Cancer. (1997). IARC working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans: silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Recuperado de <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol68/mono68.pdf>. (consultado el 25 de diciembre de 2019).

11. Destailats, F., Craft, B. D., Dubois, M. & Nagy, K.. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. Food Chemistry, 131(4), pp.1391-1398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.006>
12. Rahn A. K. K., Yaylayan V. A. (2011). 'What do we know about the molecular mechanism of 3-MCPD ester formation', Eur. J. Lipid Sci. Technol., 113, 323-329. <https://doi.org/10.1002/ejlt.20100031>
13. Destailats, F., Craft, B. D., Sandoz, L. & Nagy, K. (2012). Formation mechanisms of monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Food Additives & Contaminants: Part A, 29(1), pp.29-37.
14. JECFA. (2002). '3-Chloro-1,2-propane- diol. En Safety evaluation of certain food additives and contaminants', Prepared by the fiftyseventh meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series 48. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je18.htm> (consultado el 25 de diciembre de 2019).
15. European Food Safety Authority (EFSA). (2008). Statement of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain (CONTAM) on a request from the European Commission related to 3-MCPD esters. EFSA Journal, 6, 1048. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.1048>
16. Craft, B. D., Nagy, K., Seefelder, W., Dubois, M. & Destailats, F. (2012). Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. Food Chemistry, 132, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.034>
17. Šmidrkal, J., Tesařová, M., Hrádková, I., Berčíková, M., Adamčíková, A. & Filip, V. (2016). Mechanism of formation of 3- chloropropan-1,2-diol(3-MCPD) esters under conditions of the vegetable oil refining. Food Chemistry, 211, 124-129. <https://doi.org/10.2903/j.foodchem.2016.05.039>
18. Tiong, S. H., Saporin, N., The, H. F., Ng, T. L. M., Md Zain, M. Z. b., Neoh, B. K., Md Noor, A., Tan, C. P., Lai, O. M. & Appleton, D. R. (2018). Natural Organochlorines as Precursors of 3- Monochloropropanediol Esters in Vegetable Oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66, 999-1007. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04995>
19. Weißhaar, R. (2008). 3-MCPD-esters in edible fats and oils-a new and worldwide problem. European journal of lipid science and technology, 110(8), 671-672.
20. Hrnčirik, K. & van Duijn, G. (2011). An initial study on the formation of 3-MCPD esters during oil refining. European Journal of Lipid Science and Technology, 113(3), 374-379.
21. Zhang, X., Gao, B., Qin, F., Shi, H., Jiang, Y., Xu, X. & Yu, L. (2013). Free radical mediated formation of 3-monochloropropanediol (3-MCPD) fatty acid diesters. Journal of agricultural and food chemistry, 61(10), 2548-2555.
22. Freudenstein, A., Weking, J. & Matthäus, B. (2013). Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorisation conditions. European Journal of Lipid Science and Technology, 115(3), 286-294.

23. Shimizu, M., Vosmann, K. & Matthäus, B. (2012). Generation of 3-monochloro-1, 2-propanediol and related materials from tri-, di-, and monoolein at deodorisation temperature. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(11), 1268-1273.
24. Ermacora, A. & Hrnčirik, K. (2014). Influence of oil composition on the formation of fatty acid esters of 2-chloropropane-1, 3-diol (2-MCPD) and 3- chloropropane-1, 2-diol (3-MCPD) under conditions simulating oil refining. *Food chemistry*, 161, 383-389.
25. Che Man, Y. B., Haryati, T., Ghazali, H. M. & Asbi, B. A. (1999). Composition and thermal profile of crude palm oil and its products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(2), 237-242.
26. Nagy, K., Sandoz, L., Craft, B. D. & Destailats, F. (2011). Mass-defect filtering of isotope signatures to reveal the source of chlorinated palm oil contaminants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(11), 1492-1500.
27. Chew, C. L., S. Hilmi S. M. H., Saparin N., M. Hassan N. S., M. Siran Y., Asis A. J., Chan E. S., Tang S. Y. (2018). Effect of Steriliser Condensate and Empty Fruit Bunch's Liquor Restreaming on the Physicochemical Properties and Stability of Palm Oil. *Monash Science Symposium 2018, Monash University Malaysia*, 21-23 November, 2018.
28. MPOB: 4th Asia-Pacific International Food Safety Conference & 7th Asian Conference on Food and Nutrition safety, October 11-13 (2016). Penang, Malaysia.
29. Pudel, F., Benecke, P., Fehling, P., Freudenstein, A., Matthäus, B. & Schwaf, (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European journal of lipid science and technology*, 113(3), 368- 373. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000460>
30. Matthäus, B., Pudel, F., Fehling, P., Vosmann, K. & Freudenstein, A. (2011). Strategies for the reduction of 3-MCPD esters and related compounds in vegetable oils. *European journal of lipid science and technology*, 113(3), 380-386.
31. Syed Hilmi, S. M. H., Othman, N. H., Saparin, N., Jahaya, S. S., Md Noor, A., Asis, A. J. (2018). Process for producing a refined palm fruit oil having a reduced 3- mcpd content. WO2019027315. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019027315> (consultado el 5 de febrero de 2020).
32. Mat Hassan, N. S., Chew, C. L., Mohd Tahir, Z., Md Zain, A. B., Asis, A. J., Mohd Siran, Y., Wok, K., Mohammed Yunus, M. F., Jahaya, S. S., Md Rejab, S. A., Mustaner, M., Syed Hilmi, S. M. H. (2018). An integrated oil extractor apparatus for sterilising, digesting and pressing oil palm loose fruitlets. WO2019216757. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019216757> (consultado el 5 de febrero de 2020).
33. Rahmat, N., Syed Mohd Hadi S. H., Norliza, S., Syahril Anuar, M. R., Yosri, M. S., Mohammed Faisal, M. Y.; Ahmadilfitri, M. N. & Ahmad Jaril, A. (2019). Production of High Quality Crude Palm Oil (CPO) and Low 3-MCPD Ester RBD Palm Oil. *Palm Oil Engineering Bulletin*, No. 131, 24-28.
34. Spaparin N., Krishnan A. & Md Noor A. (2018). Process for producing a refined vegetable oil. WO2018182396A1. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2018182396A1/en> (consultado el 5 de febrero de 2020).

35. Chew, C. L., Low, L. E., Chia, W. Y., Chew, K. W., Liew, Z. K., Chan, E. S., Chan, Y. J., Kong, P. S. & Show, P. L. (2021). Prospects of palm fruit extraction technology: Palm oil recovery processes and quality enhancement. *Food Reviews International*.
36. Ramli, M. R., Siew, W. L., Ibrahim, N. A., Hussein, R., Kuntom, A., Abd. Razak, R. A. & Nesaretam, K. (2011). Effects of degumming and bleaching on 3-MCPD esters formation during physical refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1839-1844. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1858-0>.
37. Zulkurnain, M., Lai, O. M., Latip, R. A., Nehdi, I. A., Ling, T. C. & Tan, C. P. (2012). The effects of physical refining on the formation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters in relation to palm oil minor components. *Food Chemistry*, 135(2), 799-805. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.144>.
38. Zulkurnain, M., Lai, O. M., Tan, S. C., Abdul Latip, R. & Tan, C. P. (2013). Optimisation of palm oil physical refining process for reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) ester formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(13), 3341-3349. <https://doi.org/10.1021/jf4009185>

Paute con nosotros



Comercialización

Jairo Almonacid Guerrero
 jalmonacid@fedepalma.org
 Celular: 317 573 1521