

Revisión bibliográfica asociada con la transformación del aceite de palma en productos con valor estratégico para diversas aplicaciones industriales

Silvia Juliana Meza Pertuz y Sebastián David Pérez Hernández

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero químico

Director

Fredy Augusto Avellaneda Vargas

Doctor en ingeniería química

Codirector

Luis Javier López Giraldo

Doctor en química, bioquímica y ciencia de alimentos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

*A Dios por permitirme llegar hasta aquí, por darme fortaleza y
esperanza para cumplir esta meta.*

*A mi abuelo José Romualdo, su recuerdo siempre fue luz y mi mayor
motivación.*

*A mi padre Edgar, por su amor y apoyo incondicional en este camino
que culmina.*

*A mi madre Johanna, por enseñarme a no rendirme a pesar de las
dificultades.*

*A mis hermanos Nicolás y Javier por ser fuente de amor infinito y
motivación.*

A mi tía Liliana, por sus consejos, cariño y enseñanzas.

*A mi compañero Sebastián, por entenderme, animarme y estar siempre
presente en esta etapa de mi vida.*

A mi familia, amigos y compañeros por creer en mí.

Silvia Juliana Meza Pertuz

Agradecimientos

Les agradecemos a los profesores Freddy Avellaneda y Luis Javier López, por la paciencia, dedicación y enseñanzas que nos brindaron para poder culminar este proyecto.

A los ingenieros Eliberto y Mauricio por sus enseñanzas, quienes fueron mis tutores en la familia *Agroince* donde pude realizar mis prácticas.

A Silvia, por ser un gran apoyo y aporte en la culminación de este proyecto.

A Sebastián, por su comprensión y apoyo en la culminación de este proyecto.

A todas las personas que, sin mencionar, hicieron parte de esta importante etapa y de este proyecto.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2. Metodología	16
Fase 1. Revisión Sistemática	16
Fase 2. Clasificación y Selección de Documentos	17
Fase 3. Análisis del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL).....	18
Fase 4. Diagrama de Bloques	19
3. Resultados	19
3.1 Bibliometría.....	19
3.2 Aplicaciones	24
3.2.1 Cosméticos	25
3.2.2 Farmacéutica	26
3.2.3 Biolubricantes.....	27
3.2.4 Alimentos	30
3.2.5 Polímeros.....	32
3.2.6 Tensioactivos.....	35
3.3 Aplicaciones potenciales y grado de madurez tecnológica de los sectores analizados.....	38

3.3.1 Investigación de mezclas de aceite de palma y ricino como base de biolubricantes para aplicaciones industriales.....	39
3.3.2 Polioles a base de aceite de palma para la aplicación de espumas de poliuretano.....	42
3.3.3 Microemulsiones formadas con materiales a base de aceite de palma como limpiadores líquidos en spray para superficies duras.....	44
3.3.4 Eficacia de campo de insecticidas en nanoemulsión a base de aceite de palma contra aedes aegypti en Malasia.....	46
3.3.5 Producción más limpia mediante el uso de subproductos de estearina de palma para sintetizar resina alquídica para aplicaciones de recubrimiento.....	48
4. Conclusiones	51
5. Recomendaciones.....	53
Referencias bibliográficas	54
Apéndices	59

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de cosméticos.	26
Tabla 2. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación farmacéutica.	27
Tabla 3. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de biolubricantes.	29
Tabla 4. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de alimentos.	31
Tabla 5. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de polímeros.	34
Tabla 6. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de tensioactivos.	37
Tabla 7. Información sintetizada de aplicaciones potenciales según el TRL.....	39

Lista de Figuras

Figura 1. Etapas metodológicas de la investigación.....	16
Figura 2. Ecuación de búsqueda: ecuación de búsqueda construida en la base de datos electrónica Web of Science.....	20
Figura 3. Selección de artículos.	22
Figura 4. Nivel de maduración tecnológica (TRL) basada en el progreso mediante nueve niveles.	24
Figura 5. Diagrama de bloques, lubricante a base de aceite de palma RBD y aceite de ricino. ...	40
Figura 6. Reporte de TRL: lubricante a base de aceite de palma RBD y aceite de ricino en la calculadora MyTRL.	41
Figura 7. Diagrama de bloques, espumas de poliuretano a base de aceite ácido de palma.	43
Figura 8. Reporte de TRL: espumas de poliuretano a base de aceite ácido de palma en la calculadora MyTRL.....	43
Figura 9. Diagrama de bloques, microemulsión para limpiadores líquidos a base de aceite de palma.	45
Figura 10. Reporte de TRL: microemulsión para limpiadores líquidos a base de aceite de palma en la calculadora MyTRL.	45
Figura 11. Diagrama de bloques, preparación de insecticidas en nanoemulsión.	47
Figura 12. Reporte de TRL: preparación de insecticidas en nanoemulsión en la calculadora MyTRL.....	48
Figura 13. Esquema de producción de resina alquídica a escala piloto.	49
Figura 14. Esquema de las etapas en el reactor.....	49

Figura 15. Reporte de TRL: producción de resina alquídica a escala piloto en la calculadora MyTRL..... 50

Lista de Apéndices

Apéndice A. Test calculadora MyTRL	59
Apéndice B. Productos formulados con ácido dihidroxiesteárico	63
Apéndice C. Diagrama de flujo para la obtención de una nanovacuna a base de aceite de palma y aceite de coco en la fase oleosa.....	64
Apéndice D. Propiedades morfológicas del polirol a base de poliuretano de oleína de palma	65
Apéndice E. Preparación de espumas de poliuretano	65
Apéndice F. Diagrama de Flujo del proceso de obtención del a-MES	66
Apéndice G. Composición volumétrica de aceite de palma y aceite de ricino en los lubricantes formulados.....	66
Apéndice H. Espumas de poliuretano obtenidas mediante epoxidación química convencional ..	67
Apéndice I. Limpiadores líquidos formulados a base de aceite de palma	67
Apéndice J. Formulaciones de nanoemulsiones para insecticidas	68

Resumen

Título: Revisión Bibliográfica Asociada con la Transformación del Aceite de Palma en Productos con Valor Estratégico para Diversas Aplicaciones Industriales^{1*}

Autor: Silvia Juliana Meza Pertuz y Sebastián David Pérez Hernández^{2**}

Palabras Clave: Aceite de palma, oleoquímica, aplicaciones industriales, valoración de aceites.

Descripción: En este proyecto se realizó una revisión de los procesos oleoquímicos involucrados en la transformación de aceite de palma, para producir materias primas con potencial para reemplazar aceites minerales los cuales han sido ampliamente usados en industrias tales como la cosmética, la farmacéutica, la de biolubricantes, la de alimentos, la de polímeros y la de tensioactivos. Esta revisión bibliográfica se realizó por medio de Web of Science (WoS), índice bibliográfico que ofrece la Universidad Industrial de Santander (UIS), en la cual, por medio de la ecuación de búsqueda construida se obtuvo como resultado 222 artículos para su respectivo estudio. Luego, se empleó una selección manual por medio de cuatro filtros analizando título, resumen, contenido y fase de investigación, teniendo en cuenta el enfoque establecido para este proyecto. Además, se utilizó como recurso adicional Tree of Science (ToS), una herramienta web que permite analizar los datos bibliográficos de WoS, seleccionando de forma automatizada artículos científicos aplicando el análisis de redes. Se obtuvieron 20 artículos como resultado de esta revisión bibliográfica, los cuales fueron examinados por completo llegando a un total de 5 artículos con mayor potencial de estudio. A los artículos potenciales, se les realizó un diagrama de bloques para poder observar el proceso y condiciones de operación por medio de un esquema; también se realizó una evaluación a cada documento para determinar el nivel de madurez tecnológico (TRL) por medio de MyTRL, un sitio web que ofrece una calculadora para estimar el TRL de cada proyecto encontrado con la revisión, siendo “*Cleaner production through using by-product palm stearin to synthesis alkyd resin for coating applications*” el documento con mayor puntuación y Malasia el país con mayor influencia en el estudio del aceite de palma y sus subproductos (estearina y oleína de palma) como materia de investigación e innovación.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**}Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Fredy Augusto Avellaneda Vargas. Doctor en ingeniería química. Codirector: Luis Javier López Giraldo. Doctor en química, bioquímica y ciencia de alimentos.

Abstract

Title: Bibliographic Review Associated with the Transformation of Palm Oil into Products with Strategic Value for Various Industrial Applications^{3*}

Author(s): Silvia Juliana Meza Pertuz, Sebastián David Pérez Hernández⁴

Key Words: Palm oil, oleochemistry, industrial applications, oil valuation.

Description: In this project, a review of the oleochemical processes involved in the transformation of palm oil was carried out to produce raw materials with the potential to replace mineral oils that have been widely used in industries such as cosmetics, pharmaceuticals, biolubricants, food, polymers and surfactants. This bibliographic review was carried out by means of Web of Science (WoS), bibliographic index offered by the Universidad Industrial de Santander (UIS), in which, by means of the constructed search equation, 222 articles were obtained as a result for their respective study. Then, a manual selection was made by means of four filters analyzing title, abstract, content and research phase, taking into account the approach established for this project. In addition, Tree of Science (ToS), a web tool that allows the analysis of bibliographic data from WoS, was used as an additional resource, selecting scientific articles in an automated way by applying network analysis. As a result of this bibliographic review, 20 articles were obtained, which were completely examined, arriving at a total of 5 articles with the greatest potential for study. A block diagram was made of the potential articles in order to be able to observe the process and operating conditions by means of a scheme; Each paper was also evaluated to determine the technological maturity level (TRL) by means of MyTRL, a website that offers a calculator to estimate the TRL of each project found in the review, being "*Cleaner production through using by-product palm stearin to synthesis alkyd resin for coating applications*" the paper with the highest score and Malaysia the country with the greatest influence in the study of palm oil and its by-products (palm stearin and palm olein) as a subject of research and innovation.

^{3*}Degree Work

^{4*} School of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Fredy Augusto Avellaneda Vargas. Ph.D. in chemical engineering. Co-director: Luis Javier López Giraldo. Ph.D. in chemistry, biochemistry and food science.

Introducción

A lo largo de los años, la demanda mundial de los aceites vegetales ha tenido un crecimiento exponencial pues, la producción mundial se ha multiplicado por dieciséis desde la década de 1970, pasando de 13 a 208 millones de toneladas por año en 2020 (Ritchie, 2021). Paralelamente, en los últimos veinte años se ha destacado la producción del aceite de palma debido al elevado rendimiento/hectárea que implica su cultivo (aproximadamente 3.5 toneladas de aceite al año) (González, 2016), incrementado su producción de 22 millones de toneladas en el año 2000 a 75.9 millones de toneladas para el año 2020 (Ritchie, 2021). Asimismo, este crecimiento cubre un papel fundamental en donde el aceite de palma, como señala Ritchie, 2021 “produce el 36% del aceite del mundo, pero utiliza menos del 9 % de las tierras de cultivo dedicadas a la producción de aceite. Por lo tanto, ha sido una opción natural satisfacer esta demanda” (Ritchie, 2021).

Existen varias especies de palma aceitera, siendo la especie denominada *Elaeis Guineensis* la de mayor uso para cultivo industrial. Esta especie originaria de Guinea se caracteriza por crecer en climas tropicales, especialmente en países que se encuentran situados en la línea del Ecuador y cumplen con las condiciones de suelo, humedad y temperatura. De esta forma, son pocos los países en los que se puede dar su adecuado crecimiento y desarrollo; por ejemplo, Malasia e Indonesia son los mayores productores de aceite de palma debido a sus condiciones agroclimáticas; además, este cultivo se ha convertido en un gran impulsor de su economía nacional, hasta el punto en el que se ha establecido una política de estado para favorecer su cultivo.

La palma *Elaeis Guineensis* contiene frutos oleaginosos conocidos por su alto rendimiento y de ellos se extraen dos tipos de aceites: el aceite de palma crudo que se obtiene de la pulpa (mesocarpio) y el aceite de palmiste obtenido de la almendra. Sin embargo, en Colombia debido

al crecimiento de enfermedades como la pudrición de cogollo (PC) se desarrolló el híbrido resistente OxG el cual es una mezcla entre *Elaeis oleifera* propia de la región del Sinú en Colombia y de la ya conocida *Elaeis guineensis* (Genty & Ujueta, 2013), este híbrido particularmente carece de semillas, por lo tanto no contiene una almendra de la cual extraer aceite de palmiste y es por esta razón que el proyecto se enfoca en productos oleoquímicos obtenidos a partir del aceite de palma. A pesar de esto, el aceite de dicha palma se ha convertido en el aceite vegetal más utilizado en el mundo y el de mayor producción en Colombia. Debido a su posición geográfica privilegiada, la producción Nacional para el año 2021 fue de 1747377 toneladas de aceite de palma crudo (García et al., 2022) convirtiéndolo así, en el cuarto productor a nivel mundial y el primero en América (La palma de aceite en Colombia | Fedepalma, s. f.).

Ahora bien, para usar el aceite de palma crudo este se somete a algunas etapas de refinación para producir aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) (Derawi et al., 2014). En el fraccionamiento del aceite de palma RBD, se obtiene una fracción líquida denominada oleína de palma cuyo perfil de lípidos se caracteriza por un alto contenido de ácidos grasos saturados, lo cual le confiere una alta estabilidad oxidativa; y una fracción sólida denominada estearina de palma, la cual es un subproducto menos valioso, pero con gran potencial para la industria química, como la industria cosmética, fabricación de velas y jabones, y en la producción de biodiesel (Nanvae et al., 2013).

Por otro lado, el uso excesivo del aceite mineral en las diferentes aplicaciones industriales, ha generado preocupación debido al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles y a la creciente contaminación ambiental, es por esto, que surge la necesidad de implementar alternativas que incluyan materias primas provenientes de fuentes renovables (Salimon et al., 2012). En este caso, la oleoquímica se ha convertido en un área importante de investigación para llevar a cabo la

transformación de grasas y aceites de origen vegetal (compuestos por cadenas de hidrocarburos tan largas como los aceites minerales). Existen un gran número de usos para el aceite de palma y sus derivados convirtiéndolo en productos innovadores biodegradables y no tóxicos, para ser usados en la industria de alimentos, biolubricantes, detergentes, fármacos, plaguicidas e incluso cosméticos (Pathmasiri et al., 2019) (Hoe et al., 2020).

Ahora bien, teniendo en cuenta la elevada producción del aceite de palma en Colombia, la oleoquímica se perfila como una opción para la valorización de materias primas. Sin embargo, no todas las aplicaciones en las cuales se puede usar el aceite de palma tienen el grado de madurez tecnológica necesario para ser implementado, por lo tanto, el enfoque principal de este proyecto se basa en el análisis de los diferentes usos innovadores del aceite de palma como materia prima, enfocado en las principales rutas de transformación oleoquímica y los retos tecnológicos que tienen las industrias que transforman el aceite de palma en productos de mayor valor agregado. Para esto, se implementaron cuatro fases metodológicas, se inició por la recopilación de información bibliográfica en Web of Science (WoS) donde se obtuvieron documentos, los cuales se analizaron mediante diferentes filtros para su posterior selección y luego, se usó la herramienta Tree of Science (ToS) para comparar los resultados de la selección. Seguido a esto, se evaluó el nivel de madurez tecnológica (TRL) de cada documento elegido en el último filtrado para así definir las líneas de desarrollo más completas y de mayor interés. Por último, se realizó un diagrama de bloques a los documentos elegidos para el estudio de TRL especificando las condiciones de operación y variables implicadas en el proceso. Con los resultados que se expondrán a lo largo de este documento, también se aporta al fortalecimiento de las líneas de investigación en grasas y aceites de los grupos CICTA e INTERFASE, toda vez que dichos resultados serán la línea base de futuros proyectos de investigación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar, por medio de una revisión sistemática de la literatura, las rutas de valorización oleoquímica más prometedoras para la transformación del aceite de palma en productos con un valor agregado para al menos una de las siguientes industrias: cosmética, farmacéutica, biolubricantes, de alimentos, polímeros y tensioactivos.

1.2 Objetivos Específicos

Recopilar información utilizando la herramienta de estudios bibliométricos Web of Science, con el fin de seleccionar los documentos más relevantes de manera manual por medio de una serie de filtrados y de forma automatizada usando la herramienta Tree of Science como recurso adicional para dar una mayor certeza en la selección.

Evaluar la madurez tecnológica, por medio de una aproximación TRL (Technology Readiness Levels) de cada una de las tecnologías identificadas y que están asociadas con la transformación del aceite de palma.

Identificar los retos asociados con la transformación del aceite de palma por medio de un diagrama de bloques, con el propósito de comprender y visualizar de manera clara el proceso de obtención de los productos priorizados.

2. Metodología

Para desarrollo de esta investigación se tuvieron en cuenta cuatro etapas metodológicas, las cuales agrupan actividades que son descritas a detalle posteriormente; sin embargo, la Figura 1 muestra un resumen de éstas.

Figura 1. *Etapas metodológicas de la investigación.*

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
REVISIÓN SISTEMÁTICA	CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE DOCUMENTOS	ANÁLISIS DEL NIVEL DE MADUREZ TECNOLÓGICA (TRL)	DIAGRAMA DE BLOQUES
Uso de Web of Science (WoS) como base de datos	Filtrado por título, resumen y contenido de los artículos obtenidos	Estudio TRL a determinados artículos seleccionados en las fases anteriores	Organización de artículos según la puntuación de TRL obtenida en la fase anterior
Construcción de ecuación de búsqueda por medio de palabras clave	Identificación de la fase de investigación en cada documento	Uso de la calculadora MyTRL para medir el nivel de madurez tecnológica de cada documento seleccionado	Representación gráfica del proceso en un diagrama de bloques para cada artículo al que se le evalúa el TRL
Uso de operadores booleanos y restricciones para refinar la búsqueda	Uso de la herramienta Tree of Science (ToS) para selección adicional	Análisis del grado de madurez tecnológica de cada investigación	Análisis del proceso y condiciones de operación según la fase en la que se encuentra cada investigación
Consideración de artículos publicados entre 2010 y 2022	Clasificación de documentos por aplicación industrial y tecnológica		

Fase 1. Revisión Sistemática

La revisión bibliográfica se realizó por medio de una ecuación de búsqueda construida, la cual fue usada en la base de datos electrónica Web of Science (WoS), disponible en el catálogo bibliográfico de la Universidad Industrial de Santander. Para ello, se seleccionaron algunas palabras clave que abordan los aspectos centrales del estudio del aceite de palma y sus aplicaciones industriales. Estas palabras clave se combinaron utilizando los operadores booleanos "AND" y

"OR" para crear combinaciones coherentes y de esta manera ampliar el alcance de la búsqueda. Por ejemplo, se utilizó "AND" para asegurar que los resultados cumplieran con todos los términos de búsqueda seleccionados, mientras que "OR" se utilizó para buscar resultados que incluyeran al menos uno de los términos de búsqueda. También, se implementaron restricciones utilizando el operador booleano "NOT" para excluir términos específicos y enfocar la búsqueda en el objetivo planteado.

Además de las palabras clave, se utilizaron etiquetas de campo para dirigir la búsqueda a áreas específicas de los documentos. Se utilizaron etiquetas como "TS" (Tema), "TI" (Título), "AB" (resumen) y "AK" (Palabras clave del autor) para buscar en áreas específicas de los documentos y aumentar la precisión de los resultados en donde se tuvieron en cuenta los artículos publicados entre los años 2010 y 2022.

Fase 2. Clasificación y Selección de Documentos

Los documentos obtenidos en la fase 1 se analizaron por medio de cuatro (4) filtros para su posterior selección de la siguiente manera:

Filtrado por título: en este filtro se analizaron los títulos de los artículos obtenidos en la fase 1, esto permite seleccionar de manera efectiva los documentos pertinentes descartando aquellos que no se ajusten al tema de interés.

Filtrado por resumen: se llevó a cabo una lectura detallada del resumen para cada artículo seleccionado en el filtro anterior, esto con el fin de obtener una visión general del contenido y los resultados partiendo del aceite de palma y sus fracciones (oleína y estearina de palma) como materia prima de la investigación.

Filtrado por contenido: se realizó una lectura completa a cada artículo seleccionado en el filtrado anterior, analizando materiales, métodos, preparación y resultados específicos para la elección de los artículos en este filtro.

Filtrado por fase de investigación: en este filtro se identificó la fase de investigación (laboratorio, piloto y/o industrial) en cada documento para llevar a cabo el estudio del grado de madurez tecnológica.

Una vez clasificados los documentos por medio de los filtros descritos anteriormente, se utilizó la herramienta Tree of Science (ToS) (Core of Science [C.O.S. Corp.] & Robledo, 2020), para dar una mayor certeza en la selección de artículos. ToS permite seleccionar datos bibliográficos de WoS, implementando la estructura de la red de citas para identificar literatura relevante en forma de árbol dividida en tres partes: hojas (artículos recientes), tronco (artículos estructurales) y raíz (artículos clásicos). Por último, cada documento elegido en el filtrado por contenido fue clasificado por aplicación industrial y los documentos seleccionados en el filtrado por fase de investigación fueron clasificados por aplicación tecnológica con mayor potencial de desarrollo, teniendo en cuenta una metodología clara y el valor estratégico de cada producto final.

Fase 3. Análisis del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL)

Para el análisis de nivel de madurez tecnológica, se realizó un estudio TRL (Technology Readiness Level) exclusivamente a los artículos seleccionados y analizados después del filtrado por fase de investigación. Este estudio se realizó a través de la herramienta MyTRL, una calculadora diseñada y desarrollada con el fin de medir el nivel de maduración de la tecnología de cada investigación, evaluando los pasos claves del progreso de las tecnologías en la obtención del producto final a escala laboratorio, piloto y/o industrial (Solís et al., 2020).

MyTRL calcula el nivel de madurez tecnológica por medio de un test (ver Apéndice A), el cual está diseñado por una serie de preguntas para evaluar aspectos importantes como la viabilidad técnica, los recursos disponibles y los resultados obtenidos en las etapas de investigación y desarrollo. Los usuarios responden las preguntas basándose en el conocimiento y desarrollo metodológico del proyecto. Luego, MyTRL procesa estas respuestas y genera una puntuación llamada Technology Readiness Level (TRL), que indica el grado de preparación tecnológica alcanzado en una escala del 1 al 9. Esta puntuación de TRL es útil para evaluar la viabilidad del proyecto, y sirve como referencia para tomar decisiones estratégicas y asignar recursos en las etapas posteriores.

Fase 4. Diagrama de Bloques

Teniendo en cuenta el nivel de madurez tecnológica de cada uno de los artículos analizados anteriormente, se organizaron de menor a mayor según la puntuación obtenida en el estudio del TRL para poder evidenciar así, el avance tecnológico de un artículo a otro. Cada documento evaluado fue representado en un diagrama de bloques donde se puede observar el proceso y las condiciones de operación en la obtención de los diferentes productos, para su análisis final.

3. Resultados

3.1 Bibliometría

Por medio de la base de datos electrónica existente en la herramienta Web of Science (WoS) se ejecutó la ecuación de búsqueda construida (ver Figura 2) teniendo en cuenta las palabras clave utilizadas en la búsqueda avanzada que incluyen términos como "palm oil" (aceite de palma), "palm olein" (oleína de palma), "palm stearin" (estearina de palma), "synthesis" (síntesis),

"application" (aplicación), "raw material" (materia prima), "product" (producto) y "palm oil-based" (basado en aceite de palma), etiquetas de campo y operadores booleanos descritos en la metodología; además, se excluyeron términos como "biodiesel" y "palm kernel" para evitar la inclusión de información no relevante. Con dicha ecuación de búsqueda se obtuvo un total de 222 artículos como resultado, los cuales fueron publicados entre los años 2010 y 2022.

Figura 2. Ecuación de búsqueda: ecuación de búsqueda construida en la base de datos electrónica *Web of Science*.

Más opciones ▾ [Buscar en la ayuda](#)

Vista previa de consulta

```
(((((TS=(palm oil)) AND TI=(Applications OR industrial OR products OR raw material OR synthesis OR surfactants OR detergent OR pharmaceutical OR drugs OR emollients OR lubricants OR food industry OR coatings OR polymers OR cosmetics OR pesticides OR insecticides OR emulsions OR microemulsions))) NOT TI=(biodiesel)) NOT TI=(palm kernel) NOT TI=(wood)) NOT TI=(crops) NOT TI=(fiber) NOT TI=(frond) NOT TI=(trunk) NOT TI=(bunches) NOT TI=(biomass) NOT TI=(cake) NOT TI=(harvest) NOT TI=(plantation) NOT TI=(waste) NOT TI=(shells) NOT TI=(land)))) AND TI=(palm oil OR palm stearin OR palm olein) NOT AB=(clinker) NOT TI=(mill) NOT TI=(fruit) NOT TI=(ash) NOT TI=(Elaeis guineensis) NOT TI=(leaves) NOT TI=(farm) NOT TS=(Agriculture) NOT AB=(cattle) NOT AB=(goat) NOT TI=(residue) AND AK=( Biolubricants OR palm oil OR Vitamin E OR β-carotene OR palm olein OR phytonutrients OR Cleaner production OR Cosmetics ingredient OR Transesterification OR Palm stearin OR Nanoemulsion insecticide OR Alkyd resin OR Moisturizing OR Palm esters OR Cosmetic OR Palm oil methyl ester OR Polymeric surfactant OR Liquid detergent OR palm fatty acids OR lipid-based formulation OR drug delivery system))))))
```

Fecha de publicación ▾ 2010 hasta 2022

X Borrar Buscar

Tomado de: Web of Science (Clarivate, s. f.)

Una vez obtenidos los documentos por medio de la ecuación de búsqueda ejecutada en el buscador de WoS, se realizó un filtrado por título, resumen, contenido y fase de investigación de cada documento como se ve representado en la Figura 3 y descrito de la siguiente manera:

Filtrado por título: en este filtro se realizó un análisis de los títulos de cada artículo obtenido en la búsqueda avanzada de WoS. Se descartaron un total de 86 documentos, cuyos títulos no mencionaban explícitamente el uso del aceite de palma o sus fracciones (oleína y estearina de palma) como materia prima de investigación. De esta manera se eligieron 136 artículos, los cuales

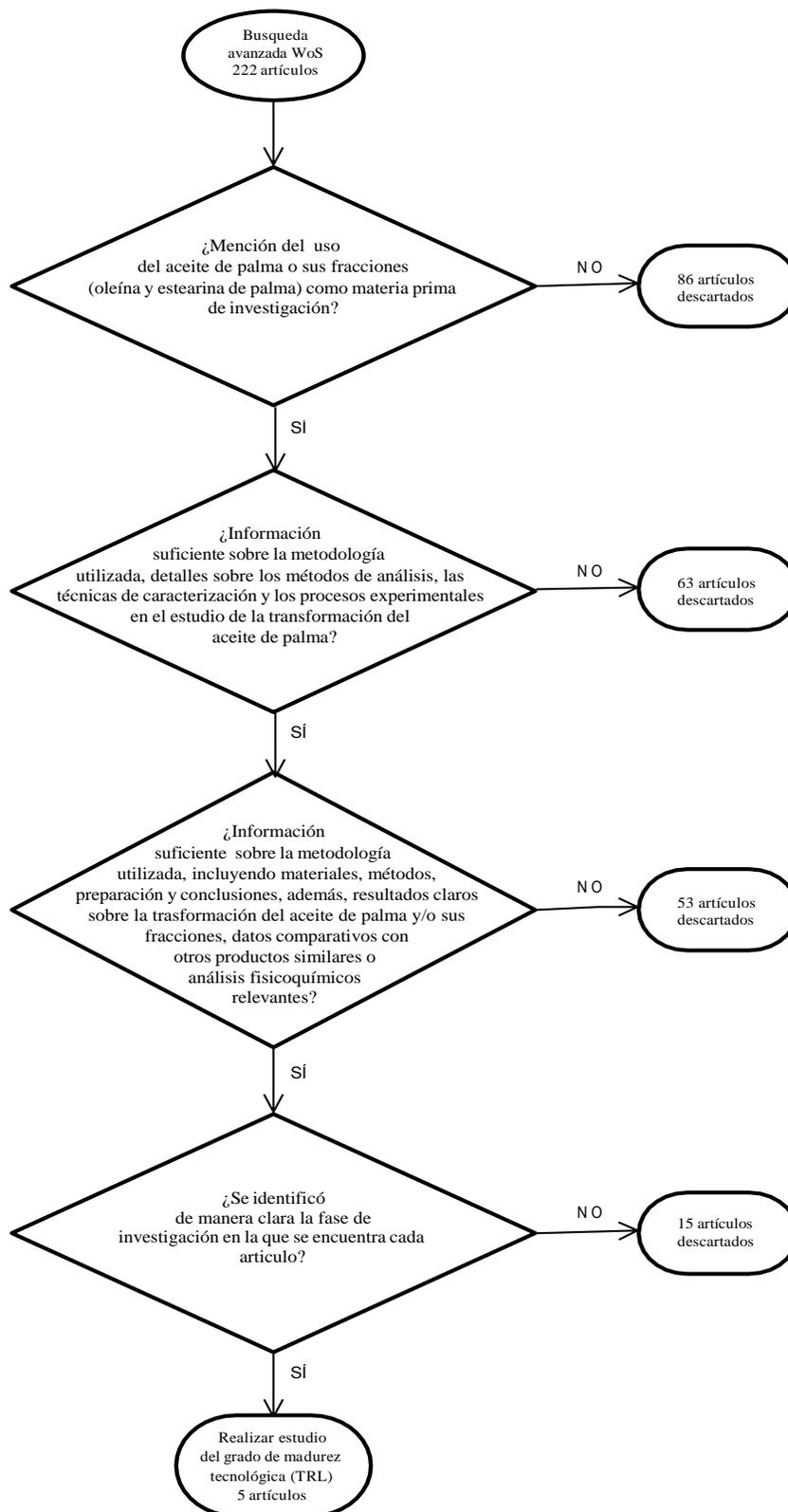
reflejaban claramente la temática y el enfoque del estudio sobre la transformación de aceite de palma.

Filtrado por resumen: se hizo una lectura detallada del resumen para cada artículo seleccionado en el filtro anterior, de esta manera se descartaron 63 artículos cuyos resúmenes no proporcionaban información suficiente sobre la metodología utilizada en el estudio de transformación del aceite de palma; además, se excluyeron aquellos documentos que carecían de detalles sobre los métodos de análisis, las técnicas de caracterización utilizadas y los procesos experimentales. Como resultado, se seleccionaron 73 artículos, los cuales presentan un enfoque técnico y riguroso en el estudio de la transformación del aceite de palma.

Filtrado por contenido: Se realizó una lectura completa y detallada a cada artículo seleccionado en el filtrado anterior, analizando la metodología (materiales, métodos, preparación y resultados) y las conclusiones para la selección de los artículos en este filtro. De esta manera, se descartaron 53 artículos debido a la información insuficiente sobre la metodología utilizada. Además, estos artículos no presentaron resultados claros sobre la transformación del aceite de palma y/o sus fracciones y no proporcionaron datos comparativos con otros productos similares o análisis fisicoquímicos relevantes. Teniendo en cuenta estos criterios de exclusión, se eligió un total de 20 artículos para el estudio en el filtrado final.

Filtrado por fase de investigación: en este filtro se identificó si el artículo se encuentra en fase de investigación (laboratorio o piloto) o en escala industrial (producción) para cada uno de los 20 documentos elegidos teniendo en cuenta los criterios establecidos en el filtrado anterior, de esta manera, se seleccionaron 5 artículos para llevar a cabo el estudio del grado de madurez tecnológica. Se descartaron 15 artículos en los cuales no estaba especificada la fase de investigación.

Figura 3. Selección de artículos.



De manera paralela a la aplicación de los filtros descritos anteriormente, se llevó acabo un análisis de búsqueda automatizado por medio de la herramienta Tree of Science (ToS), en donde se redujeron los 222 artículos obtenidos en la búsqueda avanzada de WoS a 61 artículos, divididos en una estructura de árbol de este modo: 21 en las hojas, 20 en el tronco y 20 en la raíz. Usando esta aproximación se analizaron los artículos que componen las hojas y el tronco, es decir, 41 documentos.

Este enfoque automatizado realizó la selección de artículos de manera más rápida en comparación con el análisis manual, pero menos eficiente, ya que, el análisis manual con filtros fue más preciso a la hora de obtener resultados relevantes para el enfoque de la investigación. Para llegar a esta conclusión, se compararon los documentos seleccionados tanto de manera automatizada como de manera manual; teniendo en cuenta los artículos obtenidos en el filtrado por contenido y por fase de investigación. Como resultado de esta comparación, se logró identificar 6 artículos en común entre los 41 documentos seleccionados con ToS y los 20 artículos elegidos en el filtrado por contenido. De igual manera, se logró identificar un artículo en común entre los 41 documentos seleccionados con ToS y los 5 artículos elegidos en el filtrado por fase de investigación, siendo "*Investigation of palm-castor oil blends as base stocks of bio-lubricants for industrial applications*" el artículo en común.

Los 5 artículos seleccionados en el filtro por fase de investigación fueron analizados desde el punto de vista del nivel de madurez tecnológica (TRL); siendo esta, la tercera fase de la metodología propuesta. Para esta etapa, se utilizó *MyTRL*, una calculadora que permite determinar el nivel de madurez tecnológica por medio de una serie de preguntas diseñadas para cada uno de los nueve niveles, los cuales, se extienden desde la investigación básica hasta llegar al producto terminado como se puede observar en la Figura 4. Una vez calculado el TRL, se organizó cada

documento de menor a mayor según la puntuación obtenida con dicha calculadora. De esta manera, se puede analizar qué documento cuenta con una tecnología más avanzada en el proceso para la obtención del producto según la fase en que se encuentre cada artículo de investigación, ya sea a escala laboratorio, piloto y/o industrial.

Figura 4. Nivel de maduración tecnológica (TRL) basada en el progreso mediante nueve niveles.



Fuente: (Trujillo & Universidad de Caldas, 2021)

Para la etapa final, cada uno de los 5 documentos evaluados por medio de MyTRL se representaron en un diagrama de bloques, en donde se puede observar el proceso y las condiciones de operación, como un esquema representativo del proceso de producción descrito en los artículos seleccionados para su análisis final.

3.2 Aplicaciones

A continuación, se describen los documentos elegidos en el filtrado por contenido, los cuales fueron divididos y analizados por tipo de aplicación industrial; además, en cada aplicación se encuentra una tabla donde se puede observar el título de cada documento el cual proporciona una descripción concisa del contenido y el enfoque del documento encontrado. También, se pueden evidenciar los datos bibliográficos de cada artículo como los nombres de los autores, el año de publicación, y el país de procedencia, luego, se indica el producto específico al que hace referencia

cada documento, cabe resaltar que este puede ser el nombre, una categoría relacionada o productos en general y, por último, se encuentra la columna donde se registra la materia prima relacionada con cada documento.

3.2.1 Cosméticos

Ismail et al. (Ismail et al., 2015) pudieron concluir que el DHSAs obtenido del ácido oléico del aceite de palma tiene una gran variedad de aplicaciones para la industria cosmética y que sus características físico-químicas le confieren propiedades hidratantes para la piel, mejora la capacidad de esparcimiento, y se utiliza como un agente aglutinante y auxiliar de brillo en formulaciones de productos como: brillos, labiales, máscara de pestañas, polvos compactos y desodorantes en barra. Además, el DHSAs tiene potencial como materia prima en la síntesis de derivados, entre estos destacan: dihidroxi estearato de octilo, alcanolamidas, etoxilatos de DHSAs. El documento presenta condiciones de reacción, parámetros y cinética importantes para la obtención de estos derivados, las formulaciones están presentes en el Apéndice B.

Por otra parte, Ryu et al. (Ryu et al., 2021) presentan la preparación de microcápsulas usando ceras obtenidas del aceite de palma con sellado hermético, utilizadas para la liberación de diferentes componentes como activos cosméticos (en este caso niacinamida), ácidos fuertes y moléculas pequeñas, esta liberación se da cuando se aplica una temperatura de 55°C, la cual está muy por encima del punto de fusión del aceite de palma (30°C a 40°C). Además, se demostró la eficacia de las microcápsulas a base de aceite de palma comparada con el eicosano, el cual fue el material utilizado como cera de control.

Los documentos contienen información sobre la producción a escala piloto del DHSAs y a escala laboratorio de las microcápsulas. Gracias a que desde el punto de vista técnico los resultados fueron positivos, los autores sugieren que se continúe con las fases relacionadas con los estudios

económicos y de escalamiento que permita vislumbrar la viabilidad económica de una futura implementación a nivel industrial. Esto con el fin de aprovechar el ácido oléico crudo y estearina de palma, derivados del aceite de palma; que son subproductos de bajo valor en la industria. La tabla 1 presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 1. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de cosméticos.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
1	Ácido dihidroxiestéarico de palma (DHSA): Un ingrediente multifuncional para varias aplicaciones	Tipo de documento: artículo Autor: Ismail et al. Año: 2015 País: Malasia	Brillos, labiales, máscara de pestañas polvos compactos y desodorantes en barra	Ácido oleico a base de aceite de palma
2	Microcápsulas a base de cera biocompatibles con sellado hermético para Liberación de activos activada térmicamente	Tipo de documento: artículo Autor: Ryu et al. Año: 2021 País: Corea del Sur	Microcapsulas para activos cosméticos (niacinamida)	Cera de aceite de palma

3.2.2 Farmacéutica

Ahmad et al. (Ahmad et al., 2017) profundizan en las emulsiones de betametasona 17-valerato con oleína de palma RBD; los autores midieron propiedades reológicas, de solubilidad y de estabilidad de la formulación usando pruebas en animales. El resultado del análisis fue que el fármaco es compatible con la oleína y no mostraba cambios hasta por tres meses en su formulación; además su liberación fue controlada para la administración de fármacos administrados de forma tópica.

Siguiendo con las formulaciones; Mufti et al. (Mufti et al., 2016) fabricaron una nanovacuna que usa como adyuvante en la fase oleosa aceites de palma y de coco, mejorando así la eficacia e inmunogenicidad cuando se evaluaron parámetros medidos a varias temperaturas; tales como viscosidad, tamaño de partícula, oxidación del aceite y cambios en el pH del sistema dando

como resultado una estabilidad en la vacuna hasta por un periodo de tiempo de 6 meses, lo cual indica que esta formulación es segura para administrar antígenos. El proceso de formulación se puede ver en el Apéndice C.

Las publicaciones descritas realizaron estas formulaciones a escala laboratorio, los resultados satisfactorios de los análisis sugieren que se deben desarrollar procesos de escalamiento a escala piloto y estudios económicos, pues la industria farmacéutica es una buena ruta de valorización para el aceite de palma. La tabla 2 presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 2. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación farmacéutica.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
3	Emulsión de oleína de palma: un nuevo vehículo para la administración tópica de fármacos de betametasona 17-valerato	Tipo de documento: artículo Autor: Ahmad et al. Año: 2017 País: Malasia	Fase oleosa para emulsiones de betametasona 17-valerato (BV).	Oleína de palma RBD
4	Caracterización fisicoquímica y estudios de estabilidad de la nanovacuna de pasteurización del pato utilizando aceite de palma (MCT-LCT) como adyuvante	Tipo de documento: artículo Autor: Mufti et al. Año: 2016 País: Malasia	Nanovacuna a base de aceite de palma	Aceite de palma que contiene triglicéridos de cadena larga (LCT)

3.2.3 Biolubricantes

Las mezclas de diferentes aceites son utilizadas en las aplicaciones para biolubricantes, pues dependiendo de las proporciones individuales de cada aceite utilizado, cambian sus propiedades cinemáticas y la viscosidad, donde el principal objetivo es obtener una mezcla lubricante óptima.

La mayoría de los lubricantes a base de aceite vegetal tienen limitaciones pues no cumplen parámetros técnicos establecidos, para el caso del aceite de palma, su mayor limitante es que tiene

poca estabilidad térmica y oxidativa, comparada con los lubricantes existentes en el mercado. Para superar estas limitaciones, Yahayaa et al. (Yahayaa et al., 2019) investigaron diversas modificaciones químicas y el uso de aditivos, donde la aplicación de técnicas como la epoxidación y la transesterificación/esterificación mejoraron la estabilidad y las propiedades físico-químicas del aceite de palma. Las modificaciones buscan aumentar su estabilidad térmica y oxidativa, lo que permitiría su uso en condiciones más exigentes. Los nano-aditivos demostraron ser beneficiosos al mejorar las propiedades tribológicas, reduciendo el desgaste y la fricción al formar películas protectoras en las superficies de contacto. Asimismo, se sugiere el uso de antioxidantes para retardar la oxidación y proteger el lubricante de la degradación oxidativa. Aunque es posible que el aceite de palma pueda mejorar sus propiedades y hacerlo una alternativa viable y sostenible, se requiere una mayor investigación para perfeccionar su uso como lubricante mecánico.

Por otra parte, en países asiáticos es común encontrar usuarios de moto, pues las condiciones climáticas y la velocidad la hacen parecer el medio de transporte más adecuado. Los motores incorporados en las motos se les conoce como motores de 4 tiempos, para este tipo de aplicaciones Cheenkachorn & Fungtammasan (Cheenkachorn & Fungtammasan, 2010), examinaron mezclas de aceite de palma con aceite mineral, y eligieron la mezcla de mayor rendimiento y mejores propiedades, la cual está compuesta de un 50.6% de oleína de palma, 41.6% de aceite mineral y 7.8% de aditivos, esta mezcla demostró mejoras en la viscosidad, el punto de inflamación, la pérdida por evaporación y la resistencia al desgaste. Aunque se observaron desventajas relacionadas con la formación de espuma y la presencia de cenizas sulfatadas que son un indicador que determina la cantidad de aditivos metálicos presentes en el aceite, a medida que aumenta la cantidad de aditivos se incrementa el contenido de cenizas. Sin embargo, un exceso o un déficit en la cantidad de aditivos pueden perjudicar el aceite de motor debido a un aditivo

inapropiado en la mezcla. No se encontraron diferencias significativas en las emisiones de THC, NO_x, CO y CO₂ entre el lubricante analizado y el comercial, además, no hubo diferencias en el rendimiento del motor y el consumo de combustible.

El aceite de palma tiene un gran potencial en la industria de los lubricantes, ya que puede ser utilizado como un reemplazo parcial del aceite mineral derivado del petróleo. Los estudios y documentos analizados reportaron resultados positivos al respecto. Una de las ventajas es que, al ser una mezcla de aceites y poder utilizar aceite de palma comercial, no es necesario someterlo a un proceso de tratamiento o modificación previo a su formulación, a excepción de su uso como fluido metalúrgico, donde los requisitos son más rigurosos. La industria de los lubricantes es amplia y genera millones de dólares anuales, por lo que la adopción de biolubricantes tendría un impacto positivo en el mercado. Al utilizar aceite de palma en su formulación, se promovería la sostenibilidad y la reducción de la dependencia de los recursos fósiles. Además, los biolubricantes a base de aceite de palma pueden ofrecer propiedades lubricantes y de rendimiento similares, e incluso superiores en algunos casos, en comparación con los lubricantes convencionales. La tabla 3 presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 3. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de biolubricantes.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
5	Modificaciones necesarias para calificar el aceite de palma como lubricante mecánico	Tipo de documento: artículo Autor: Yahayaa et al. Año: 2019 País: Malasia	Aceite lubricante de motor alternativo	Aceite de palma crudo
6	Desarrollo de aceite de motor utilizando aceite de palma como materia prima para motores de cuatro tiempos	Tipo de documento: artículo Autor: Cheenkachorn & Fungtammasan Año: 2010 País: Tailandia	Lubricante ecológico para motores pequeños de motocicletas de cuatro tiempos	Oleína de palma

3.2.4 Alimentos

El aceite de palma rojo, como ya se había mencionado, es obtenido mediante un proceso simple a partir del aceite de palma crudo, este proceso, mantiene la concentración de carotenoides, un componente principal en la obtención de provitamina A. Los autores Tan et al. (Tan et al., 2021) señalaron la importancia del aceite de palma rojo, sus beneficios y principales usos alimenticios. Entre sus beneficios para la salud destacan: alivia la deficiencia de vitamina A, pues puede servir como suplemento en una dieta balanceada en adultos; aumenta el retinol sérico y reduce el colesterol, aunque, se requieren más investigaciones en estudios clínicos a gran escala para evaluar sus efectos en la salud humana.

En efecto, estudios desarrollados por Zeba et al. (Zeba et al., 2006) demostraron que el consumo de derivados del aceite de palma rojo está asociado con el aumento del nivel de antioxidantes y reduce el riesgo de cáncer. En cuanto a las principales aplicaciones alimenticias, el aceite de palma rojo puede ser un reemplazo del aceite de cocina tradicional (oleína de palma) sin embargo, debido al proceso de obtención, no se eliminan los compuestos volátiles que generan el color (rojo) y sabor característico del aceite, esto puede ser un inconveniente para los consumidores pues están acostumbrados a los productos blanqueados y refinados que ofrece el mercado tradicional. No obstante, el aporte de sus beneficios y su alta composición de vitamina A, hace que sea una fuente importante en la dieta alimenticia, también se sabe que ayuda a las propiedades organolépticas de la margarina, aderezos y se puede usar en barritas de cereal, galletas, snacks extruidos y hasta helados.

De forma similar, Alkandari et al. (Alkandari et al., 2021) investigaron la producción de alimentos funcionales como aperitivos extrusionados, galletas digestivas y pan de molde a escala piloto, preparados con oleína de palma roja (RPOL) y manteca de palma roja (RPS), ellos

evaluaron la composición de β -carotenos, ácidos grasos e índice de peróxido en los productos terminados después de una vida útil de 6 meses para los aperitivos y galletas, y de 5 días para el pan de molde. Luego de su almacenamiento, los análisis químicos y sensoriales resultaron satisfactorios, los productos no presentaron una disminución significativa en el contenido de vitamina E y antioxidantes. La estabilidad no fue alterada, en comparación con el producto de control comercial. En resumen, el RPOL Y RPS mejoran la vida útil de los alimentos y su calidad nutricional, lo cual abre la posibilidad de su uso a escala piloto en fábricas de alimentos. Estos hallazgos respaldan la posibilidad de producir aperitivos extruidos, galletas digestivas y pan de buena calidad, enriquecidos con β -caroteno y vitamina E, que pueden ser beneficiosos para la salud de los consumidores.

En esta aplicación, la mayoría de los documentos utilizan aceite de palma rojo, esto debido a que el producto final conserva las mejores propiedades como carotenos y algunos fitonutrientes. Todos los trabajos resaltan la versatilidad del aceite de palma en aplicaciones alimenticias, pues sus diversos usos aumentan la participación del aceite de palma en la industria alimentaria. La tabla 4. presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 4. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de alimentos.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
7	Aceite de palma roja: Una revisión de su procesamiento, beneficios para la salud y su aplicación en la alimentación	Tipo de documento: artículo Autor: Tan et al. Año: 2021 País: Malasia	Barras de cereales, untables y helado	Aceite de palma rojo
8	Producción a escala piloto de alimentos funcionales a partir de oleína de palma roja: Estabilidad antioxidante, vitamínica y calidad sensorial durante el almacenamiento	Tipo de documento: artículo Autor: Alkandari et al. Año: 2021 País: Kuwait	Snacks extruidos, galletas digestivas y pan de molde	Oleína de palma roja (RPOL) y manteca de palma roja (RPS)

3.2.5 *Polímeros*

Los polímeros a base de aceite de palma son comúnmente sintetizados, pues los ácidos grasos presentes en él se hacen reaccionar con isocianato obteniendo así un polioliol que sirve como materia prima para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, Sittinun et al. (Sittinun et al., 2020) analizaron la síntesis incluyendo etapas de transesterificación, epoxidación y reacción con etilenglicol, para obtener el polioliol a base de oleína de palma (POBP) que se usó como materia prima para la producción de espuma de poliuretano, la caracterización por FTIR confirmó la modificación estructural de la oleína de palma y la formación del polioliol. Luego, la espuma fue sometida a varias pruebas para evaluación de sus propiedades donde se observó una disminución leve en la resistencia a la tracción y el módulo de Young, mientras que la elongación a la rotura aumentó ligeramente. Además, se notó una reducción en el ángulo de contacto, indicando una menor hidrofobicidad. Así mismo, la introducción de este polioliol mejoró la estructura de poros interconectados de las espumas, lo que resultó en propiedades mejoradas de sorción de aceite. El documento describe desde el uso de los reactivos, hasta la síntesis y producción de la espuma, la cual fue eficaz como material absorbente de tinte y aceite. Las propiedades morfológicas se encuentran en el Apéndice D.

En 2019, Riyapan et al. (Riyapan et al., 2019) sintetizaron con éxito espuma de poliuretano a base de aceite de palma usado (UPO) y modificado químicamente mediante reacciones de epoxidación y apertura del anillo en un solo paso para así obtener el polioliol de partida para la preparación de espumas rígidas de poliuretano (PU) con propiedades absorbentes de sonido; además, confirmaron su estructura química mediante técnicas de espectroscopia de resonancia magnética nuclear de protones ($^1\text{H-NMR}$) y espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Seguido a esto, se evaluaron sus propiedades físicas y acústicas donde se encontró

que la densidad y la morfología de las células de la espuma dependían del valor de hidróxilo (OH) del polioliol. Además, se observó que todas las espumas de PU rígidas mostraban excelentes coeficientes de absorción de sonido, con la espuma de menor valor de OH (OH=100 mg KOH/g) proporcionando una absorción de sonido a partir de 2200 Hz; también, las espumas de PU logran ser resistentes a la ignición cuando se agrega un retardante de llama como el fosfato de trifenilo (TPP) en un 30% en peso. Los resultados indican que la espuma sintetizada puede servir como materiales alternativos de absorción de sonido. En el Apéndice E se puede observar la espuma sintetizada.

Además, Tajau et al. (Tajau et al., 2021) realizó una revisión sobre diferentes aplicaciones de materiales poliméricos a base de aceite de palma curados por radiación, el documento examina diversas técnicas de radiación, como la radiación gamma, el haz de electrones, la radiación ultravioleta y láser, que se utilizan para desencadenar mecanismos de entrecruzamiento, polimerización, injerto y degradación en los materiales poliméricos. Estas técnicas se consideran versátiles, económicas y efectivas, y se utilizan ampliamente en el desarrollo de materiales poliméricos. Además, se destaca el potencial de estos materiales poliméricos en diversas aplicaciones tecnológicas avanzadas, incluyendo la industria de recubrimientos, nanomateriales, andamiaje, nanocompuestos y litografía. También, se mencionan las aplicaciones biomédicas de estos materiales, como recubrimientos de superficies, sistemas de administración de medicamentos, andamiajes para ingeniería de tejidos y diagnóstico médico.

Rozaki et al. (Rozaki et al., 2016) presentan la síntesis y caracterización de poliésteres modificados con aceite de palma para ser utilizados como plastificantes poliméricos en el policloruro de vinilo (PVC) flexible, la síntesis se realizó “sometiendo el aceite de palma y glicerol a una alcoholisis para después permitir la poliesterificación”. Se prepararon cuatro plastificantes

poliméricos con diferentes pesos moleculares promedio, las pruebas realizadas evaluaron su efecto en la estabilidad térmica, capacidad plastificante, resistencia a la lixiviación y propiedades mecánicas del PVC. Los resultados mostraron que los plastificantes poliméricos modificados con aceite de palma redujeron la temperatura de transición vítrea (Tg) del PVC a aproximadamente 65°C con una concentración del 20% en peso. Los plastificantes de mayor peso molecular mostraron una mayor estabilidad térmica, retención en el PVC y resistencia a la lixiviación en comparación con los de menor peso molecular, además, mejoraron la resistencia a la tracción y el alargamiento en el punto de ruptura del PVC, también, los resultados de las pruebas de toxicidad mostraron que los plastificantes a base de aceite de palma eran considerablemente menos tóxicos en comparación con algunos plastificantes comerciales.

Según lo reportado por los autores, esta aplicación tiene resultados satisfactorios, por lo tanto, su potencial añade interés en la profundización de estos temas pues a pesar de que toda la síntesis está descrita y estudiada, falta la escala piloto y análisis económicos que validen estos estudios. La tabla 5 presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 5. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de polímeros.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
9	Utilización de polioli a base de oleína de palma para esponja de espuma de poliuretano Síntesis: potencial como material absorbente	Tipo de documento: artículo Autor: Sittinun et al. Año: 2020 País: Tailandia	Espuma de poliuretano como material absorbente de tinte	Oleína de palma
10	Una nueva espuma rígida de PU basada en aceite de palma usado modificado como material fonoabsorbente	Tipo de documento: artículo Autor: Riyapan et al. Año: 2019 País: Tailandia	Espuma de poliuretano como material absorbente de sonido	Aceite de palma usado (UPO)

11	Aparición de materiales poliméricos que utilizan productos sostenibles a base de aceite de palma curado por radiación para aplicaciones tecnológicas avanzadas	Tipo de documento: artículo Autor: Tajau et al. Año: 2021 País: Malasia	Industria de recubrimientos, nanomateriales, andamiaje, nanocompuestos y litografía.	Aceite de palma y sus fracciones..
12	Poliésteres modificados con aceite respetuosos con el medio ambiente como plastificantes para poli(cloruro de vinilo)	Tipo de documento: artículo Autor: Rozaki et al. Año: 2016 País: Malasia	Plastificante para PVC	Aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado

3.2.6 Tensioactivos

La línea de desarrollo de tensioactivos a base de aceite palma o sus derivados, es potencialmente atractiva para la industria. Por ejemplo, Punvichai & Pioch (Punvichai & Pioch, 2019) investigaron reacciones de saponificación usando como materia prima subproductos menos valiosos de la refinación del aceite de palma. Estos subproductos son la arcilla blanqueadora usada (SBC) y el destilado de ácidos grasos de palma (PFAD), se analizaron las propiedades de acidez y saponificación de las muestras de SBC y PFAD, que variaba según su contenido de ácidos grasos libres y acilgliceroles. Se prepararon jabones utilizando una cantidad estequiométrica de NaOH y diferentes proporciones de agua en la solución básica. Los resultados mostraron que la reacción de saponificación fue mejor con PFAD que con SBC, con un rendimiento de producto deseado (jabón) de hasta el 99.9% en comparación con el 56.1% de rendimiento que obtuvo el SBC, sin embargo, se observó un efecto sinérgico sorprendente cuando se mezclaron SBC y PFAD en una proporción de 1:1, lo que resultó en un mayor rendimiento de la reacción (87.7%) pues se esperaba que este rendimiento fuera un promedio de los rendimientos individuales de cada reactivo usado (78%). Se encontró que el contenido de agua era un parámetro crítico, y se obtuvo el rendimiento máximo de jabón con un contenido de agua del 30% en peso. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para comprender plenamente su viabilidad, aplicaciones y consideraciones de seguridad y eficacia.

Por otra parte, Chiplunkar et al. (Chiplunkar et al., 2016) realizaron formulaciones de detergentes líquidos a base de destilado de ácidos grasos (PFAD) el cual es un subproducto obtenido de la refinación física del aceite de palma y que por su alto contenido de ácidos grasos tiene un menor valor en el mercado; aunque, estos ácidos grasos sirven como materia prima para aplicaciones no alimentarias. El artículo expone la síntesis de resinas alquídicas usando como materia prima PFAD en una reacción de poliesterificación-alcoholisis, luego la resina producida fue usada en la formulación de detergentes líquidos, mejorando así su tensión superficial y espumabilidad cuando se compara con un detergente líquido comercial. Se pudo concluir que, por sus características, el detergente líquido se puede utilizar para el lavado de ropa en lavadora ya que es rentable, biodegradable y ecológico.

Martínez et al. (Martínez et al., 2010) simularon el proceso de producción de α -metil ester sulfonato (α -MES), un compuesto químico usado principalmente como tensioactivo aniónico con interesantes propiedades químicas para su aplicación en la industria de los detergentes, utilizando como materia prima el aceite de palma, el proceso se divide en dos partes: la primera es la producción de ésteres metílicos y la segunda una sulfonación controlada de estos ésteres. La primera etapa comienza con el pretratamiento de la materia prima, para poder eliminar humedad y ácidos grasos libres, luego en las etapas de transesterificación llevadas a cabo en reactores CSTR, se mezcla el aceite de palma con metanol en una relación molar 1:6 usando como catalizador NaOH donde se obtiene una conversión del triglicérido en el éster metílico del 94.5%. Luego, se separó el glicerol obtenido de la reacción de transesterificación (fase pesada) de los ésteres metílicos y los triglicéridos restantes (fase ligera). La corriente que contiene la fase ligera se alimentó a otro reactor de transesterificación donde la conversión de triglicéridos alcanzó el 99.7% el cual es purificado para después pasar a las etapas de sulfonación donde se utiliza SO_3 que también es

producido para disminuir costos. Por consiguiente, el éster obtenido es sometido a etapas de digestión, decoloración y neutralización donde luego es secado para cumplir con los estándares de calidad. El artículo muestra datos precisos de la simulación y el diagrama de flujo del proceso (Apéndice F), también se realiza un análisis económico donde se puede concluir que el proceso es competitivo comercialmente, y hace del α -MES un tensioactivo interesante para la industria por su costo más bajo de producción, su degradabilidad y su tolerancia al agua dura.

El aceite de palma es una materia prima disponible y económica, debido a su origen es biodegradable y ecológico; por ende, la aplicación en tensioactivos ayudaría a la transición y búsqueda de productos amigables con el medio ambiente, los resultados positivos expuestos por los autores, les dan valor agregado a estos productos. La tabla 6 presenta un resumen de información relevante sobre los documentos analizados.

Tabla 6. Resumen de los documentos encontrados en la aplicación de tensioactivos.

N°	TITULO	DATOS BIBLIOGRAFICOS	PRODUCTO	MATERIA PRIMA
13	Covalorización de subproductos del refinado del aceite de palma como jabones	Tipo de documento: artículo Autor: Punvichai & Pioch Año: 2019 País: Tailandia	Jabón	Arcilla blanqueadora usada (SBC) y el destilado de ácidos grasos de palma (PFAD)
14	Síntesis y aplicación de resina alquídica a base de destilado de ácido graso de palma en detergentes líquidos	Tipo de documento: artículo Autor: Chiplunkar et al. Año: 2016 País: India	Detergente líquido	Destilado de ácidos grasos (PFAD)
15	Simulación y análisis de prefactibilidad del proceso de producción de α -metil éster sulfonatos	Tipo de documento: artículo Autor: Martínez et al. Año: 2010 País: Colombia	Tensioactivo anionico	Aceite de palma

En cada una de las categorías analizadas se aprecia que las aplicaciones oleoquímicas de los aceites son variadas; sin embargo, no todas esas aplicaciones tienen los mismos niveles de madurez. Así, por ejemplo, en aplicaciones cosméticas, farmacéuticas y de polímeros, la

producción de los compuestos de interés no ha sido escalada y por lo tanto se requiere conocer propiedades que permitan la simulación de los procesos para iniciar a evaluar su viabilidad económica. En aplicaciones como biolubricantes se debe mejorar la estabilidad a la oxidación de las nuevas mezclas. Para tal fin hay aproximaciones que van desde la modificación de los compuestos hasta la adición de antioxidantes, pero aún no hay una solución definitiva que se haya aplicado. En el caso de los alimentos, la limitante está en las características sensoriales, pero al parecer no hay que hacer una transformación o modificación diferente a las que ya se encuentran en el mercado. En este caso en particular, el potencial está en desarrollar productos innovadores en los que se pueda potenciar el beneficio de los beta-carotenos para la salud del consumidor.

Por lo tanto, resulta interesante aplicar una valoración del nivel de madurez tecnológica a algunas de las aplicaciones más prometedoras.

3.3 Aplicaciones potenciales y grado de madurez tecnológica de los sectores analizados

A continuación, se describen los artículos de mayor interés, evaluando el grado de madurez tecnológico (TRL) de cada documento, el cual se clasifica en una escala de 1 a 9, de esta manera, se organizaron los artículos estudiados de menor a mayor según el TRL obtenido como se puede observar en la tabla 7, la cual sintetiza la información de cada artículo evaluado y permite la comparación entre los artículos para identificar aquellos con mayor nivel de madurez tecnológico.

Tabla 7. Información sintetizada de aplicaciones potenciales según el TRL.

APLICACIÓN	ARTÍCULO	AUTORES	MATERIA PRIMA	PRODUCTO FINAL	TRL
LUBRICANTES	Investigación de mezclas de aceite de palma y ricino como base de biolubricantes para aplicaciones industriales	Pathmasiri et al. 2019	Aceite de palma RBD	Biolubricantes con propiedades similares a Hydraulic68 y SAE30	4.28 Validación en pruebas de laboratorio
POLÍMEROS	Poliolos a base de aceite de palma para la aplicación de espumas de poliuretano	Saifuddin et al. 2010	Aceite acido de palma	Espumas de poliuretano semirrígidas y rígidas	4.31 Validación en pruebas de laboratorio
TENSIOACTIVOS	Microemulsiones formadas con materiales a base de aceite de palma como limpiadores líquidos en spray para superficies duras	Raman et al. 2011	Ésteres metílicos de ácidos grasos de palma (PFAME) y Etóxilatos de alcoholes grasos	Limpiadores líquidos en microemulsión para superficies duras	5.0 Validación en un entorno relevante
TENSIOACTIVOS	Eficacia de campo de insecticidas en nanoemulsión a base de aceite de palma contra aedes aegypti en malasia.	Shaari et al. 2021	Ésteres metílico de palma	Insectisida contra mosquitos Aedes aegypti (los cuales transmiten dengue, zika y chikungunya)	5.88 Validación en un entorno relevante
POLÍMEROS	Producción más limpia mediante el uso de subproductos de estearina de palma para sintetizar resina alquídica para aplicaciones de recubrimiento	Nanvae et al. 2013	Estearina de palma	Aplicaciones de revestimiento	7.56 Demostración en entorno operativo real

3.3.1 Investigación de mezclas de aceite de palma y ricino como base de biolubricantes para aplicaciones industriales

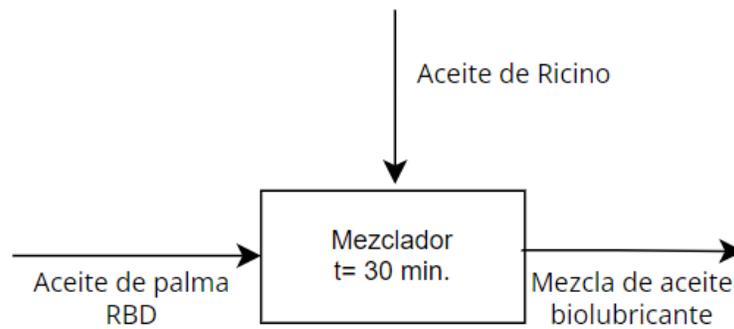
En el estudio, Pathmasiri et al. (Pathmasiri et al., 2019), los autores demostraron que las mezclas de aceite de palma RBD (aceite base) y aceite de ricino (agente mezcla), pueden mejorar la viscosidad cinemática del aceite de palma, ya que, al aumentar la proporción de aceite de ricino en la mezcla, se requiere mayor energía de activación para cambiar la viscosidad

Se llevaron a cabo experimentos de laboratorio para evaluar diversas propiedades, índice de viscosidad (norma ASTM D2270), punto de inflamación (norma ASTM D92), punto de fluidez (norma ASTM D97), densidad (norma ASTM D1298), índice de acidez (norma ASTM D974), demulsibilidad (norma ASTM D1401) y estabilidad a la corrosión (norma ASTM D130), donde todas las muestras de palma mostraron una leve corrosión al cobre (Cu). Estas propiedades fueron comparadas con las de aceites lubricantes comerciales.

Los resultados mostraron que la viscosidad cinemática de las mezclas de palma y ricino se ajustaba al modelo de Arrhenius, con un alto grado de correlación y precisión. La adición del 40% y 50% de aceite de ricino a la mezcla de 60% y 40% de aceite de palma, respectivamente, produjo soluciones con propiedades similares a los aceites hidráulicos H68 y SAE30, dos lubricantes comerciales ampliamente utilizados; además, se mantienen por debajo de los estándares (densidad mezcla < densidad del agua, índice de acidez < 1.5 mg KOH/g).

Estos resultados representan un avance significativo hacia la viabilidad técnica y comercial de los biolubricantes basados en mezclas de aceite de palma y ricino, ofreciendo una opción prometedora en aplicaciones industriales que buscan mejorar las propiedades lubricantes. El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 5 de este proceso es simple, pues solo implica una mezcla de aceites. Las mezclas formuladas se pueden observar en el Apéndice G.

Figura 5. *Diagrama de bloques, lubricante a base de aceite de palma RBD y aceite de ricino.*



En esta investigación el nivel de madurez tecnológico obtenido fue de 4.28/9 según el reporte obtenido en MyTRL como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6. Reporte de TRL: lubricante a base de aceite de palma RBD y aceite de ricino en la calculadora MyTRL.

REPORTE MY TRL



Investigación de mezclas de aceite de palma y ricino como base de biolubricantes para aplicaciones industriales

Integrante		Puesto	Teléfono
Silvia Meza Pertuz		Estudiante	6141267233
Tipo	Clasificación	Incubadora	Fecha de registro
premium	TRL (General)	-	23 may. 2023, 13:36 pm
Nivel general de TRL		Nivel medio de TRL	Tiempo de avance de nivel
2		4.28	1 días

Fuente: Calculadora MyTRL (Solís et al., 2020)

Esto significa que se ha realizado cierta validación de laboratorio y se ha demostrado la viabilidad técnica del concepto propuesto, pero aún se requiere más investigación y desarrollo para avanzar hacia niveles superiores de madurez tecnológica.

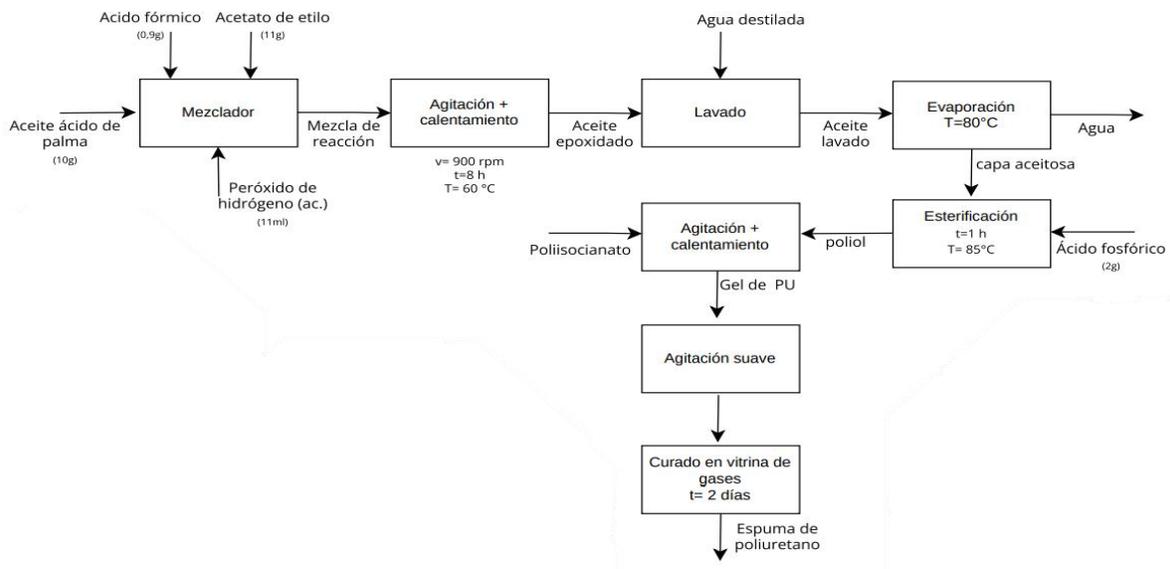
Aunque el estudio proporciona resultados prometedores y una base sólida para el desarrollo de biolubricantes a base de mezclas de aceite de palma y ricino, no se mencionan investigaciones

a escala piloto o industrial. No se proporciona información sobre la viabilidad comercial a gran escala, la optimización del proceso de mezcla ni la producción a nivel industrial.

3.3.2 Polioles a base de aceite de palma para la aplicación de espumas de poliuretano

Los autores Saifuddin et al. (Saifuddin et al., 2010) estudiaron una materia prima interesante para el desarrollo de espumas de poliuretano: el aceite ácido de palma, el cual es un subproducto menos valioso de la refinación química del aceite de palma. Se comparó el método de epoxidación química y enzimática, los resultados de la epoxidación enzimática no fueron satisfactorios pues, el valor de oxígeno de oxirano era muy bajo (0.15%) una vez terminado el proceso de epoxidación, esto quiere decir que la reacción enzimática no ocurrió de manera adecuada pues la enzima es sensible a temperaturas $> 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, además la naturaleza del aceite ácido de palma y el peróxido de hidrógeno utilizado pudieron causar una inactivación de la enzima, concluyendo así que la epoxidación química fue la más eficiente pues el valor de oxígeno de oxirano fue de 0.91%. Una vez analizada la mejor reacción de epoxidación, el proceso de obtención de la espuma fue el siguiente: el aceite ácido de palma se epoxida, luego, el aceite epoxidado da la apertura del anillo mediante hidrólisis o esterificación de fosfato, se logra el poliol base que se hace reaccionar con isocianato mediante irradiación de microondas, el cual en este caso actúa como catalizador disminuyendo el tiempo de reacción a 60 minutos, para así obtener la espuma de poliuretano. Se obtienen dos espumas: una semirrígida y otra rígida, esta última se obtiene cuando se elimina el aire contenido en la mezcla, las imágenes referentes a la espuma se pueden ver en el Apéndice H. La densidad de las espumas es similar a las espumas comerciales, sin embargo, los autores sugieren una mejora añadiendo endurecedores y fibra de aceite de palma al aceite epoxidado, esto último con el fin de reforzar la espuma y mejorar sus propiedades. El diagrama de bloques que representa el proceso se ilustra en la Figura 7.

Figura 7. Diagrama de bloques, espumas de poliuretano a base de aceite ácido de palma.



Este artículo obtuvo un nivel de madurez tecnológico de 4.31/9 según el reporte obtenido en MyTRL como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8. Reporte de TRL: espumas de poliuretano a base de aceite ácido de palma en la calculadora MyTRL.

REPORTE MY TRL

Poliolés a base de aceite de palma para la aplicación de espumas de poliuretano

Integrante	Puesto	Teléfono	
Sebastián David Pérez Hernández	Estudiante	6141267233	
Tipo	Clasificación	Incubadora	Fecha de registro
premium	TRL (General)	-	30 abr. 2023, 20:40 pm
Nivel general de TRL	Nivel medio de TRL	Tiempo de avance de nivel	
1	4.31	1 días	

Fuente: Calculadora MyTRL (Solís et al., 2020)

Este nivel indica que el enfoque propuesto ha pasado por etapas de investigación y desarrollo en un entorno de laboratorio, se han obtenido resultados prometedores y se ha demostrado su viabilidad en condiciones controladas. Sin embargo, aún se necesitan pruebas y validaciones adicionales a mayor escala y en condiciones más realistas antes de que se pueda considerar listo para su implementación a gran escala o comercialización.

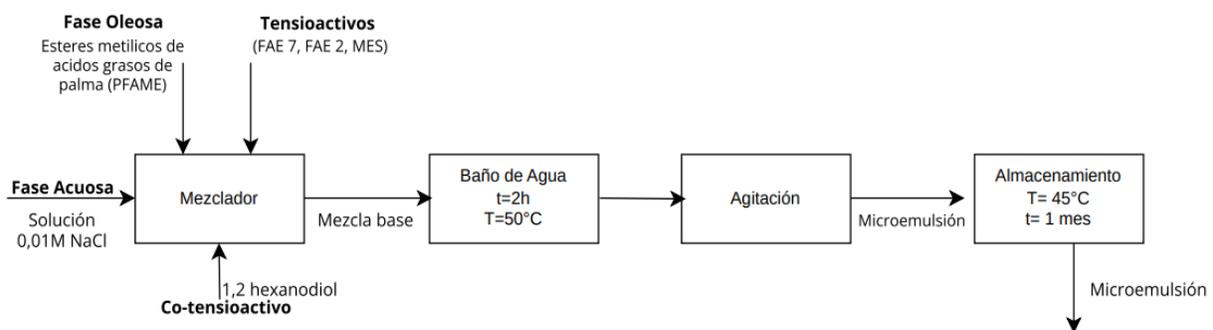
3.3.3 Microemulsiones formadas con materiales a base de aceite de palma como limpiadores líquidos en spray para superficies duras

Raman et al. (Raman et al., 2011) formularon limpiadores líquidos en aerosol para superficies duras a base de micro emulsiones formadas con aceite de palma. Para esto, se usó como materia prima ésteres metílicos de ácidos grasos de palma para la fase oleosa, tensioactivos aniónicos sulfonados (MES) y no iónicos etoxilados (FAE7, FAE2), todos estos oleoquímicos obtenidos del aceite de palma en fábricas locales; también, se agregó 1,2 hexanodiol como co-tensioactivo para disminuir la proporción de tensioactivos en la formulación y para la fase acuosa se usó una solución al 0.01 M de NaCl. La microemulsión se preparó agitando fuertemente la mezcla, se llevó a un baño de agua durante 2h a una temperatura aproximada de 50°C, posteriormente se almacenó la mezcla durante 2 días a 25°C y durante un mes a 45°C; este proceso se repite para las diferentes proporciones de tensioactivos evaluadas (10%, 15%, 20%, 25%, 30% y 40%). Las mezclas se analizaron a través de diagramas de fase triangular para determinar la estabilidad termodinámica; con esto se obtuvieron las concentraciones óptimas de tensioactivos (15% y 20%) en la microemulsión. Una vez evaluada la mejor concentración de tensioactivos, se midieron propiedades importantes como el rendimiento de limpieza usando un reflectómetro pues es conocido como un “medidor de brillo” y la resistencia al desgaste abrasivo en una máquina probadora de limpieza diseñada específicamente para medir el efecto abrasivo de los componentes

de limpieza cumpliendo con las normas ASTM, ISO Y DIN. Los resultados de las pruebas indican que la mejor microemulsión es la F3 formulada con (FAE7, FAE2 y MES) pues la mezcla de tensioactivos anionicos etoxilados y no ionicos sulfonados dan un mejor efecto sinérgico y menor tamaño de gota en la mezcla de microemulsion. En el Apéndice I se puede observar el producto formulado.

Se destaca que esta formulación de limpiador líquido a base de microemulsiones de aceite de palma tiene un gran potencial, ya que no es tóxica y puede agregar componentes repelentes de insectos para obtener un doble uso. Además, se menciona que estas microemulsiones pueden limpiar tanto suciedad soluble en agua como en aceite, ofreciendo un efecto duradero de brillo en las superficies limpiadas. La Figura 9, representa el diagrama de bloques del proceso.

Figura 9. Diagrama de bloques, microemulsión para limpiadores líquidos a base de aceite de palma.



El nivel de madurez tecnológico obtenido en este artículo fue de 5/9 según el reporte obtenido en MyTRL como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10. Reporte de TRL: microemulsión para limpiadores líquidos a base de aceite de palma en la calculadora MyTRL.

REPORTE MY TRL



Microemulsiones formadas con materiales a base de aceite de palma como limpiadores líquidos en aerosol multiusos para superficies duras

Integrante		Puesto	Teléfono
Sebastián David Pérez Hernández		Estudiante	6141267233
Tipo	Clasificación	Incubadora	Fecha de registro
premium	TRL (General)	-	28 abr. 2023, 12:20 pm
Nivel general de TRL		Nivel medio de TRL	Tiempo de avance de nivel
2		5	1 días

Fuente: Calculadora MyTRL (Solís et al., 2020)

Esto indica que la tecnología o enfoque propuesto ha sido validado en entornos de laboratorio y se han realizado pruebas en entornos relevantes para demostrar su viabilidad y funcionalidad. Sin embargo, aún pueden ser necesarios más desarrollos y pruebas en un entorno más amplio antes de su implementación a gran escala o comercialización.

3.3.4 Eficacia de campo de insecticidas en nanoemulsión a base de aceite de palma contra aedes aegypti en Malasia.

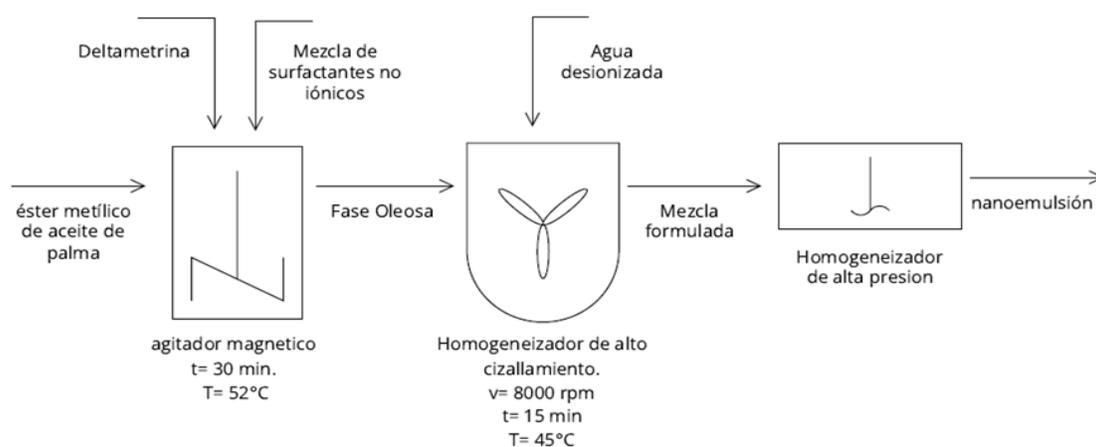
El aedes aegypti es el mosquito que transmite el virus del dengue; además, puede ser portador del Zika, chikunguña y otros virus (*Acerca Del Dengue / CDC, 2021*); en Colombia se registraron 54680 casos para el año 2022 (Infobae, 2022). Los autores Shaari et al. (Shaari et al., 2021) evaluaron la eficacia de nanoemulsiones utilizadas como insecticidas para el mosquito del dengue, las cuales están compuestas por éster metílico de palma en la parte oleosa y deltametrina como ingrediente activo. Se formularon cuatro insecticidas, las formulaciones se encuentran en el Apéndice J, se concluyó que el insecticida más efectivo fue el NanoEW8 que tuvo el tamaño de gota más pequeño logrando una mortalidad del 100%. La prueba se realiza en un entorno de campo,

lo que implica la aplicación y evaluación del insecticida en condiciones reales y en la población objetivo.

Esto implica que ya se han realizado pruebas iniciales en laboratorio y ahora se están llevando a cabo pruebas en un entorno relevante para determinar la efectividad del insecticida en el control de *Aedes aegypti*.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de bloques del proceso de preparación, en el cual se puede ver el uso de los equipos tanto el homogeneizador de alto cizallamiento como el homogeneizador de alta presión son tecnologías maduras y ampliamente utilizadas en diversas industrias, especialmente en el campo de la biotecnología, la alimentación y la industria farmacéutica. Ambos sistemas se utilizan para la dispersión y homogeneización de sustancias en diferentes etapas de producción. El insecticida formulado puede ser un reemplazo potencial de los insecticidas a base de hidrocarburos aromáticos, aunque faltan estudios sobre los efectos no deseados, citotoxicidad e impacto ambiental que validen su uso.

Figura 11. Diagrama de bloques, preparación de insecticidas en nanoemulsión.



Para este estudio el nivel de madurez tecnológica obtenido fue de 5.88/9 según el reporte obtenido en MyTRL como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12. *Reporte de TRL: preparación de insecticidas en nanoemulsión en la calculadora MyTRL.*

Integrante		Puesto	Teléfono
Sebastián David Pérez Hernández		Estudiante	6141267233
Tipo	Clasificación	Incubadora	Fecha de registro
premium	TRL (General)	-	30 abr. 2023, 20:43 pm
Nivel general de TRL		Nivel medio de TRL	Tiempo de avance de nivel
3		5.88	1 días

Fuente: Calculadora MyTRL. (Solís et al., 2020)

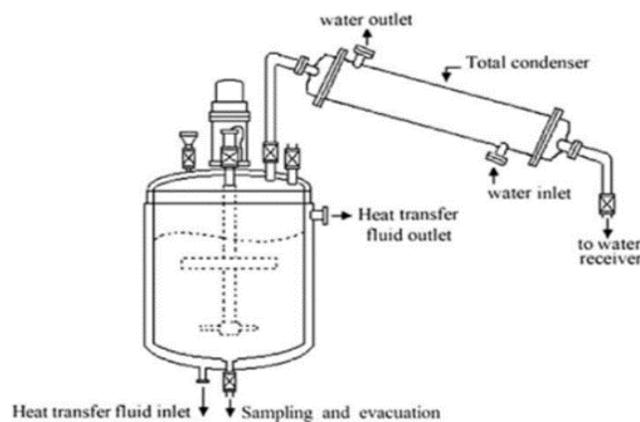
En esta etapa, se llevan a cabo pruebas y validaciones del prototipo en un entorno operativo o representativo para demostrar su funcionalidad y evaluar su desempeño en condiciones reales. El objetivo es verificar si el sistema o tecnología puede cumplir con los requisitos y expectativas establecidos.

3.3.5 Producción más limpia mediante el uso de subproductos de estearina de palma para sintetizar resina alquídica para aplicaciones de recubrimiento

Nanvae et al. (Nanvae et al., 2013) presenta una investigación sobre el uso de estearina de palma, un subproducto de menor valor, como sustituto parcial de los aceites vegetales en la síntesis de resinas alquídicas. El objetivo del estudio es lograr una producción más limpia y amigable con el medio ambiente, además de ser económicamente viable. Se formularon y sintetizaron cuatro tipos de resinas alquídicas en diferentes escalas (laboratorio, planta piloto e industrial) utilizando una mezcla de aceites (estearina de palma, aceite de ricino deshidratado y

aceite de linaza), estos aceites, fueron obtenidos de los mercados locales y usados sin pretratamiento; además, se implementaron etapas de alcoholisis y de esterificación llevadas a cabo en el reactor a escala piloto (ver Figura 13) donde se probó el rendimiento del recubrimiento en pinturas blancas brillantes y propiedades importantes como: tiempo de secado (3.0-3.6 horas) dureza (15-18 segundos), tendencia al cambio de color (amarillamiento) y resistencia química al agua, NaCl, KOH y HCl. Todas las resinas fueron resistentes, excepto al KOH.

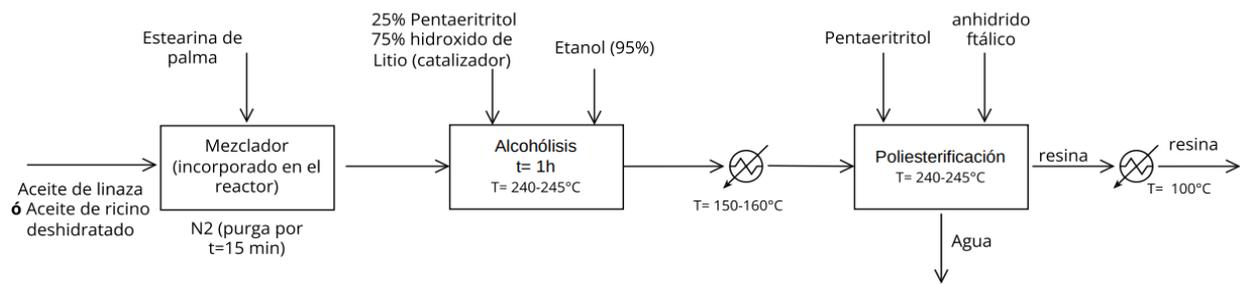
Figura 13. Esquema de producción de resina alquídica a escala piloto.



Fuente: (Nanvae et al., 2013).

El esquema detallado de las etapas que suceden en el reactor es representado en la Figura 14. Una vez obtenida la resina, se evaluó una de las propiedades más importantes: la resistencia al amarillamiento que sucede por la oxidación de la resina o en su defecto, de algún producto formulado con esta (en su mayoría pinturas) La resina alquídica es comúnmente usada como recubrimiento y esta aplicación es innovadora.

Figura 14. Esquema de las etapas en el reactor



Los resultados indicaron que la resina alquídica sintetizada a partir de la estearina de palma es una alternativa exitosa para preservar los recursos naturales, el medio ambiente y la energía, y puede resultar en una producción más limpia en comparación con los procesos de síntesis convencionales que utilizan disolventes y consumen ácidos grasos y más energía. Además, se menciona que esta sustitución puede generar productos con un precio más bajo, un rendimiento más alto y un mejor ahorro en materiales y energía.

El artículo menciona que la síntesis de las resinas alquídicas se llevó a cabo en diferentes escalas: laboratorio, planta piloto e industrial. Esto indica que la investigación abarcó las tres fases: escala de laboratorio para experimentos iniciales y formulación de las resinas, planta piloto para llevar a cabo pruebas a una escala intermedia y evaluar la viabilidad a mayor escala, y finalmente, la implementación a escala industrial para validar la producción a gran escala. Por lo tanto, el artículo abarca las fases de escala laboratorio, piloto e industrial.

El nivel de madurez tecnológico obtenido en este trabajo fue de 7.56/9 según el reporte obtenido en MyTRL como se puede observar en la Figura 15.

Figura 15. Reporte de TRL: producción de resina alquídica a escala piloto en la calculadora MyTRL.

REPORTE MY TRL



Producción más limpia mediante el uso de subproductos de estearina de palma para sintetizar resina alquídica para aplicaciones de recubrimiento

Integrante	Puesto	Teléfono	
Silvia Meza Pertuz	Estudiante	6141267233	
Tipo	Clasificación	Incubadora	Fecha de registro
premium	TRL (General)	-	25 abr. 2023, 09:52 am
Nivel general de TRL	Nivel medio de TRL	Tiempo de avance de nivel	
6	7.56	1 días	

Fuente: Calculadora MyTRL. (Solís et al., 2020)

En este nivel, la tecnología ha demostrado su viabilidad en un entorno operativo y ha superado pruebas significativas. Se ha demostrado que la tecnología funciona en condiciones reales de producción y se han recopilado datos para respaldar su rendimiento y eficacia. En el caso del artículo, se menciona que se han sintetizado y evaluado resinas alquídicas en diferentes escalas, incluyendo planta piloto e industrial, lo que indica un nivel sustancial de validación y resultados prometedores y una viabilidad potencialmente comercial.

4. Conclusiones

El aceite de palma es una materia prima ampliamente estudiada que puede servir en diversas aplicaciones como reemplazo parcial de los hidrocarburos en las industrias de biolubricantes, polímeros y tensioactivos; también, por sus características físico-químicas tiene aplicaciones en la industria cosmética, de alimentos y farmacéutica.

Para la recopilación de los artículos relevantes se realizó una selección manual y una automatizada, donde se puede evidenciar que el análisis manual por medio de filtrados fue más preciso en la obtención de documentos, esto debido a los criterios de exclusión establecidos para cada filtro. Con respecto a la herramienta automatizada tree of science, se requiere de un análisis mucho más profundo, pues el algoritmo establecido por los creadores no logró cumplir a cabalidad con el enfoque establecido en esta investigación; sin embargo, no se descarta que sea una herramienta muy útil para futuras investigaciones debido a la reducción en el tiempo de elección de los documentos relevantes.

Según la literatura y el análisis de madurez tecnológica (TRL), la mayoría de los estudios analizados se encuentran en una escala de validación a nivel laboratorio o validación en un entorno relevante, lo cual significa que el reto a superar es la implementación de estas tecnologías a una escala piloto y evaluar la aplicabilidad de los productos en un ambiente relevante; sin embargo, el documento con mayor TRL "*cleaner production through using by-product palm stearin to synthesis alkyl resin for coating applications*" se encuentra en demostración en un entorno operativo real, lo cual quiere decir que está *ad portas* de iniciar su proceso de producción industrial y comercialización.

Los diagramas de bloques elaborados ilustran el proceso de obtención de estos productos en el nivel de madurez tecnológico que se encuentran, es por esto que no es posible un diagrama de bloques detallado del proceso de producción, pues este todavía es un reto para las industrias.

Todos los estudios expuestos en aplicaciones potenciales cumplen con una metodología clara que puede ser replicable en futuras investigaciones de los grupos CICTA e INTERFASE de la Universidad Industrial de Santander para la valorización del aceite de palma.

5. Recomendaciones

Ampliar la búsqueda bibliográfica; aunque se utilizó la herramienta de estudios bibliométricos en el índice bibliográfico Web of Science, se recomienda ampliar la búsqueda a otras fuentes y bases de datos relevantes como datos académicos, bibliotecas, revistas científicas y otros recursos confiables para la búsqueda de artículos. Esto puede ayudar a obtener una visión más completa de las rutas de valorización oleoquímica para el aceite de palma y asegurarse de no pasar por alto información importante.

Se recomienda explorar las alternativas expuestas en los documentos analizados en esta revisión, ya que se encuentran en una escala de validación a nivel laboratorio según su TRL y es viable su aplicabilidad en futuras investigaciones acerca del aceite de palma debido a su versatilidad convirtiéndolo en una materia prima llamativa, sin embargo, la mayoría de investigaciones acerca del aceite de palma en Colombia se enfocan en la producción de biodiesel y no hay un enfoque sólido en la obtención de nuevos productos oleoquímicos con alto valor agregado que aporten a la calidad de vida de los países productores.

Además de evaluar la madurez tecnológica de las tecnologías identificadas, es importante realizar un análisis de viabilidad económica para determinar la rentabilidad de implementar estas tecnologías en la industria. Esto implica considerar los costos de producción, los precios de mercado de los productos finales y los posibles beneficios económicos a largo plazo.

Referencias bibliográficas

Acerca del Dengue / CDC. (2021, September 23). Centers for Disease Control and Prevention.

Retrieved December 5, 2022, from <https://www.cdc.gov/dengue/es/about/index.html>

Ahmad, K., Win, T., Jaffri, J. M., Edueng, K., & Taher, M. (2017). Palm Olein Emulsion: a Novel Vehicle for Topical Drug Delivery of Betamethasone 17-Valerate. *AAPS PharmSciTech*, 19(1), 371–383. <https://doi.org/10.1208/s12249-017-0843-9>

Alkandari, S., Al-Hassawi, F., Aldughpassi, A., Sidhu, J. S., Al-Amiri, H. A., Al-Othman, A., Ahmed, N., & Ahmad, A. (2021). Pilot scale production of functional foods using red palm olein: Antioxidant, vitamins' stability and sensory quality during storage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5547–5554. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.032>

Cheenkachorn, K., & Fungtammasan, B. (2010, June). Development of engine oil using palm oil as a base stock for four-stroke engines. *Energy*, 35(6), 2552–2556. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.002>

Chiplunkar, P. P., Shinde, V. V., & Pratap, A. P. (2016). Synthesis and Application of Palm Fatty Acid Distillate Based Alkyd Resin in Liquid Detergent. *Journal of Surfactants and Detergents*, 20(1), 137–149. <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1905-9>

Clarivate. (s. f.). *Web of Science*. Web of Science. Recuperado 4 de abril de 2022, de <https://www-webofscience-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/wos/woscc/basic-search>

Core of Science [C.O.S. Corp.], & Robledo, S. (2020). *Tree of Science*. Recuperado 17 de julio de 2022, de <https://tos.coreofscience.com/>

Derawi, D., Abdullah, B. M., Zaman Huri, H., Yusop, R. M., Salimon, J., Hairunisa, N. & Salih, N. (2014). Palm Olein as Renewable Raw Materials for Industrial and Pharmaceutical

- Products Applications: Chemical Characterization and Physicochemical Properties Studies. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, 1-5. <https://doi.org/10.1155/2014/134063>
- Espinosa, J. C., Cifuentes, J. D., Gómez, G. A., Quintero, O., Gómez, C. y Ruiz-Delgado, J. (2021). Guía ambiental para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Bogotá, Colombia: Fedepalma.
- García, A. F., Silva, A., Castro, L. E. & González, J. (2022, abril). Balance económico del sector palmero colombiano en el cuarto trimestre de 2021. *Boletín Económico*. https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/BET_4T_21.pdf
- González, A. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 215-228
- Hoe, B. C., Chan, E., Nagasundara Ramanan, R. & Ooi, C. W. (2020, 16 octubre). Recent development and challenges in extraction of phytonutrients from palm oil. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 4031-4061. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12648>
- Infobae*. (2022, November 12). *Procuraduría alerta por incremento de casos de dengue en Colombia*. Retrieved December 5, 2022, from <https://www.infobae.com/america/colombia/2022/11/12/procuraduria-alerta-por-incremento-de-casos-de-dengue-en-colombia/>
- Ismail, R., Awang, R., & Hassan, H. (2015). Palm dihydroxystearic acid (DHSA): A multifunctional ingredient for various applications. *Journal of Oil Palm Research*, 27(3).
- La palma de aceite en Colombia | Fedepalma*. (s. f.). Recuperado 16 de octubre de 2022, de <https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>

- Martínez, D., Orozco, G., Rincón, S., & Gil, I. (2010). Simulation and pre-feasibility analysis of the production process of α -methyl ester sulfonates (α -MES). *Bioresource Technology*, *101*(22), 8762–8771. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.059>
- Mufti, A. U. R., Endang, K. M., & Shamsuddin, A. F. (2016). Physicochemical characterization and stability studies of duck Pasteurellosis nanovaccine using palm oil (MCT-LCT) lipid emulsion as adjuvant. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*, *74*(4), 1167–1175.
- Nanvae, A. A., Yahya, R., & Gan, S. N. (2013). Cleaner production through using by-product palm stearin to synthesis alkyd resin for coating applications. *Journal of Cleaner Production*, *54*, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.027>.
- Pathmasiri, T. K. K. S., Perera, G. I. P. & Gallage, R. (2019, 29 julio). Investigation of palm-castor oil blends as base stocks of bio-lubricants for industrial applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *44*(1), 1354-1374. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1643425>
- Punvichai, T., & Pioch, D. (2019). Covalorization of Palm Oil-Refining by-Products as Soaps. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *96*(3), 329–336. <https://doi.org/10.1002/aocs.12193>
- Raman, I., Hassan, H., Ismail, R., & Suhaimi, H. (2011). Microemulsions formed with palm oil-based materials as all-purpose spray liquid cleaners for hard surfaces. *Journal of Oil Palm Research*, *23*, 1202–1209.
- Ritchie, H. (2021, 9 febrero). *Palm Oil*. Our World in Data. Recuperado 15 de octubre de 2022, de <https://ourworldindata.org/palm-oil>

- Riyapan, D., Saetung, A., & Saetung, N. (2019). A Novel Rigid PU Foam Based on Modified Used Palm Oil as Sound Absorbing Material. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(8), 1693–1708. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01460-9>
- Rozaki, N. Z., Gan, S. N., & Ang, D. T. C. (2016). Environmentally Friendly Oil-Modified Polyesters as Polymeric Plasticizers for Poly(vinyl chloride). *Journal of Polymers and the Environment*, 25(2), 286–295. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0810-7>
- Ryu, S. A., Hwang, Y. H., Oh, H., Jeon, K., Lee, J. H., Yoon, J., Lee, J. B., & Lee, H. (2021). Biocompatible Wax-Based Microcapsules with Hermetic Sealing for Thermally Triggered Release of Actives. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(30), 36380–36387. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c04652>
- Saifuddin, N., Chun Wen, O., Wei Zhan, L., & Xin Ning, K. (2010). Palm oil based polyols for polyurethane foams application. In *Proceedings of International Conference on Advances in Renewable Energy Technologies*.
- Salimon, J., Salih, N. & Yousif, E. (2012, abril). Industrial development and applications of plant oils and their biobased oleochemicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(2), 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.08.007>
- Shaari, A., Yunus, R., Raman, I. A., Omar, D., Shahar, M. K., Awang Biak, D. R., Kania, D., & Aulia, A. (2021). Field efficacy of palm oil-based nanoemulsion insecticides against *Aedes aegypti* in Malaysia. *Acta Tropica*, 224, 106107. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106107>
- Sittinun, A., Pisitsak, P., Manuspiya, H., Thiangtham, S., Chang, Y. H., & Ummartyotin, S. (2020). Utilization of Palm Olein-Based Polyol for Polyurethane Foam Sponge Synthesis: Potential

- as a Sorbent Material. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(12), 3181–3191.
<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01834-4>
- Solíis, E., Ramírez, A., Ibarra, U., Almanza, L., & Ríos, A. (2020). *Evalúa el TRL de tu proyecto*. MyTRL. Retrieved October 20, 2022, from <https://mytrl.app/>
- Tajau, R.; Rohani, R.; Alias, M.S.; Mudri, N.H.; Abdul Halim, K.A.; Harun, M.H.; Mat Isa, N.; Che Ismail, R.; Muhammad Faisal, S.; Talib, M.; et al. (2021) Emergence of Polymeric Material Utilising Sustainable Radiation Curable Palm Oil-Based Products for Advanced Technology Applications. *Polymers* 2021, 13, 1865.
<https://doi.org/10.3390/polym13111865>
- Tan, C. H., Lee, C. J., Tan, S. N., Poon, D. T. S., Chong, C. Y. E., & Pui, L. P. (2021). Red Palm Oil: A Review on Processing, Health Benefits and Its Application in Food. *Journal of Oleo Science*, 70(9), 1201–1210. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21108>
- Trujillo, E. & Universidad de Caldas. (2021). *ANEXO 1. TECHNOLOGY READINESS LEVELS - TRL*. Recuperado 25 de enero de 2023, de https://investigacionesyposgrados.ucaldas.edu.co/wp-content/uploads/Anexo-1_TRL.pdf
- Yahayaa, M. S., Raof, N. A., Ibrahim, Z., Ahmad, A. & Gomes, C. (2019, enero). Modifications Required for Palm Oil to be Qualified as a Mechanical Lubricant. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, 9(1), 50-66.
<https://doi.org/10.4018/ijmmme.2019010104>
- Zeba, A. N., Prével, Y., Somé, I. T., & Delisle, H. F. (2006, July 17). *The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso - Nutrition Journal*. BioMed Central. Retrieved September 9, 2022, from <https://nutritionj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2891-5-17>

Apéndices

Apéndice A. Test calculadora MyTRL

TRL 1 - Principios básicos estudiados

Pass level 100

No.	Elements	Yes / No
1.1	Finalizó con su investigación básica de su idea.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
1.2	Se tiene una idea de qué principios básicos tendrá el sistema o producto.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
1.3	Se sabe quién y en dónde se hará su investigación.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
1.4	Tiene estudios que confirman los principios básicos y son observados.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
1.5	Se tiene formulada una hipótesis.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 2 - Concepto tecnológico formulado

Pass level 100

No.	Elements	Yes / No
2.1	Se realizó un análisis de los artículos científicos, modelos, teorías científicas o patentes que respaldan la aplicación de la idea en algún área tecnológica.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.2	Se realizó una búsqueda de patentes relacionadas a su proyecto	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.3	Se sabe qué problemas va a resolver su proyecto tecnológico.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.4	El usuario expresa interés en el producto.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.5	Se tienen identificadas las especificaciones principales de su proyecto tecnológico.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.6	Se tiene identificado un diseño teórico o empírico de la solución con sus elementos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.7	El análisis inicial confirma qué funciones se tienen que tener.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.8	Se sabe qué experimentos se tienen que hacer.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.9	Realizó estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea (bench mark tecnológico)	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
2.10	Ha explorado posibles usuarios de la invención.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 3 - Prueba de concepto experimental

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
3.1	Ha llevado a cabo algún proceso de validación de mercado sobre su invención.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.2	La invención puede ser protegida mediante algún mecanismo de protección?	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.3	Ha realizado un estudio sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO's, y certificaciones) que son requeridos para su invención tecnológica.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.4	Se validó a través de experimentos, modelos, simulaciones, etc., que las características de desempeño del producto son posibles de crear.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.5	Se verificó que el producto cubre una necesidad.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.6	El usuario potencial participa en la generación de requerimientos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.7	Ha integrado los componentes principales de su invención tecnológica.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.8	Ha realizado pruebas de validación de efectividad de dicha invención en laboratorio o taller	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.9	Ha explorado con mayor profundidad aspectos / certificaciones de manufacturabilidad relacionados con el desarrollo de su invención tecnológica.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
3.10	Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual. (benchmark tecnológico)	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 4 - Tecnología validada en laboratorio o Taller

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
4.1	Se tienen identificados y probados todos los componentes del producto.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.2	La tecnología demuestra funcionabilidad en un entorno simplificado.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.3	Se conocen componentes o elementos sustitutos para cada componente usado.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.4	Todas las partes necesarias existen.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.5	Se realizaron experimentos para comprobar que todos los componentes trabajan correctamente al ser unidos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.6	Se identificaron los procesos de manufactura clave.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
4.7	Se tienen establecida la disponibilidad de la tecnología.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 5 - Tecnología validada en un entorno relevante

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
5.1	Ha probado su prototipo en laboratorio o taller en condiciones de un ambiente real.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
5.2	Tiene plenamente identificadas y considerados aspectos de manufacturabilidad o desarrollo del futuro producto.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
5.3	El prototipo a escala real cumple con las normas y/o previsiones legales o del medio ambiente del sector.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
5.4	Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
5.5	La relación entre los componentes y los sistemas son realistas.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
5.6	Se buscaron errores en los módulos y funciones.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 6 - Demostración Tecnológica

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
6.1	Cuenta con usuarios potenciales que prueben el prototipo.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.2	El prototipo completo fue probado en un entorno real con usuarios potenciales.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.3	Tiene establecidos los niveles de calidad deseados.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.4	Se identificó el entorno realista en donde se harán las pruebas correspondientes.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.5	Se tiene prototipo del proceso de producción.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.6	Se tiene un análisis de tiempos completado.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.7	Los componentes son funcionalmente compatibles.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.8	Los problemas de producción han sido identificados y han sido resueltos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.9	La factibilidad de la ingeniería está 100% demostrada.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.10	El prototipo Alfa es lanzada.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
6.11	Tiene alineado el nuevo producto con las tecnologías de producción.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 7 - Desarrollo del Producto

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
7.1	Cuenta con un prototipo terminado para prueba con los primeros clientes.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.2	Cuenta con usuarios potenciales que prueben la versión final del producto.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.3	Se validaron los costos iniciales.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.4	Se resolvieron la mayoría de los fallos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.5	La planeación de producción está completa.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.6	El prototipo Beta es lanzada.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
7.7	Cuenta con un proceso de manufactura operacional en baja escala. (produciendo productos comerciales)	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 8 - Producto Completo y Evaluado

Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
8.1	El prototipo está listo para pasar a fase de comercialización	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
8.2	Su producto cumple con los estándares establecidos.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
8.3	Se tienen los documentos para la utilización y mantenimiento del producto (manual de usuario, soporte técnico, etc.)	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
8.4	Todos los materiales están en producción y disponibles.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
8.5	Producto listo para producción a capacidad total.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

TRL 9 - Producto Terminado

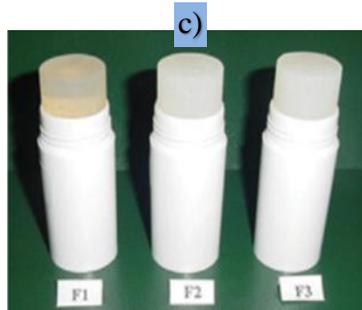
Pass level **100**

No.	Elements	Yes / No
9.1	Su producto se encuentra manufacturándose.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
9.2	Cuenta con producción sostenida.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
9.3	Cuenta con un producto que cuenta con crecimiento de mercado.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
9.4	Cuenta con cambios incrementales de producto para crear nuevas versiones.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
9.5	Los procesos de manufactura y producción son optimizados a través de innovaciones incrementales.	<input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No

Nota. Adaptado de Calculadora MyTRL (Solís et al., 2020).

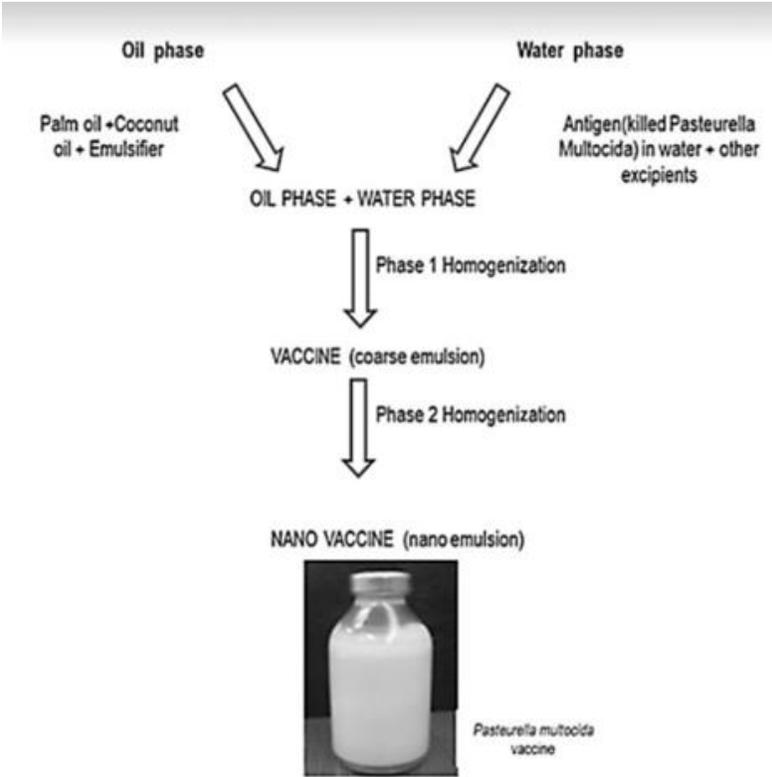
Apéndice B. Productos formulados con ácido dihidroxiesteárico

Ingredientes a)	Composición (%)	Ingrediente b)	%
Ácido esteárico	5-30	Aqua	54.10
Ácido mirístico	5-30	Propilenglicol	3.00
Trietanolamina (TEA)	0.1-30	Hidróxido de sodio (30% aq. sol)	2.90
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.1-10	Copolímero de acrilatos/octilacrilamida	5.00
Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)	0.1-5	Carnauba	1.00
Sulfito de sodio (Na2SO3)	0.1-5	cera de candelilla	5.00
Agua	5-40	Cera de amanecer	5.00
sacarosa	0.5-10	Ozokerita	2.00
Glicerina	2-35	Ácido esteárico	5.00
Surfactante	1-10	Alcohol cetílico	3.00
Etanol	1-10	aceite de palma	3.00
Ácido láctico	1-5	Revestimiento de hidroxistearato de zinc CI 77499	10.00
		conservantes	qs



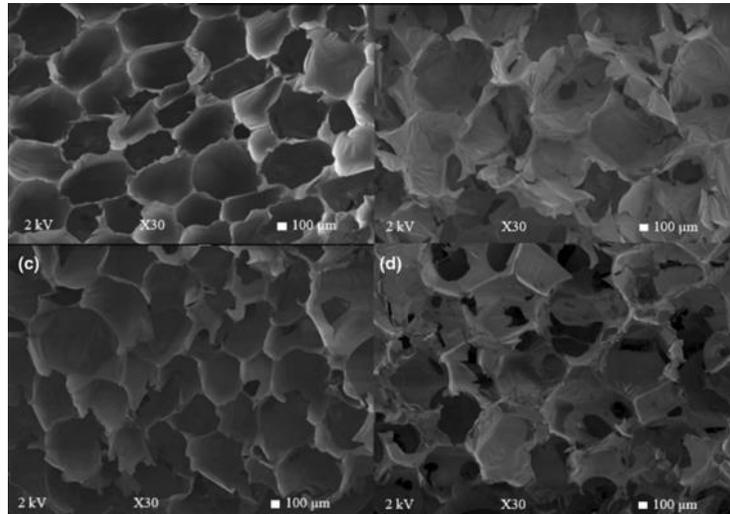
Nota. Adaptado de (Ismail et al., 2015). a) Formulación de jabón transparente con ácido dihidroxiesteárico, b) Formulación de máscara de pestañas con ácido dihidroxiesteárico y c) Desodorantes en barra formulado con ácido dihidroxiesteárico.

Apéndice C. Diagrama de flujo para la obtención de una nanovacuna a base de aceite de palma y aceite de coco en la fase oleosa



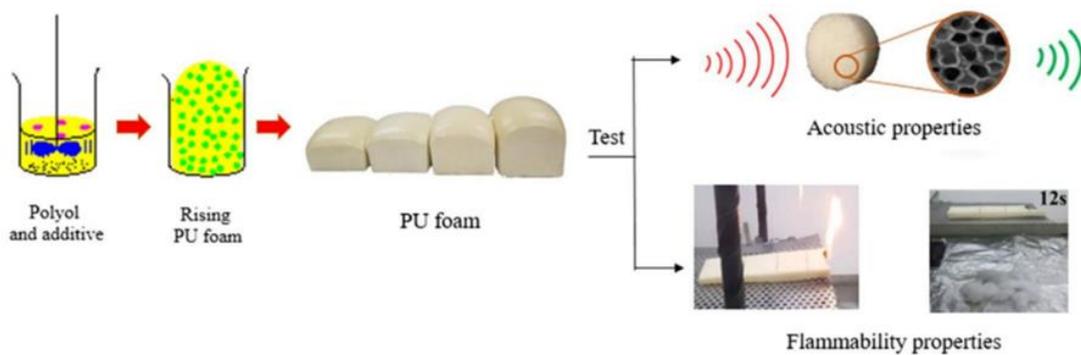
Nota. Adaptado de (Mufti et al., 2016).

Apéndice D. Propiedades morfológicas del polioli a base de poliuretano de oleína de palma



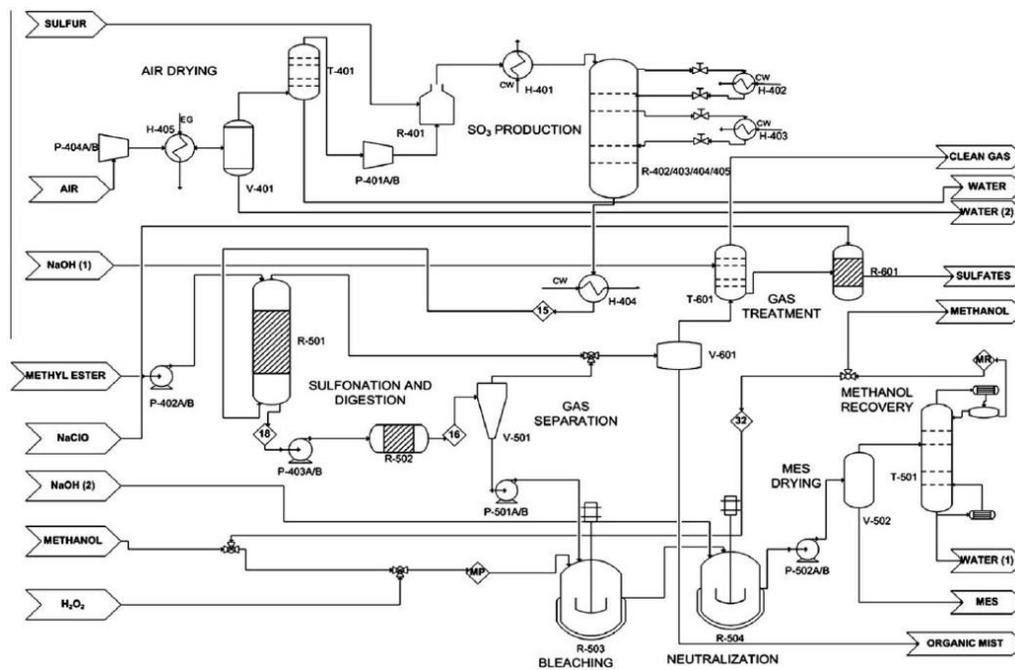
Nota. Adaptado de (Sittinun et al., 2020). a) espuma de poliuretano comercial, b) 25 % en peso de POBP en espuma de poliuretano, c) 50 % en peso de POBP en espuma de poliuretano y d) 75 % en peso de POBP en espuma de poliuretano.

Apéndice E. Preparación de espumas de poliuretano



Nota. Adaptado de (Riyapan et al., 2019)

Apéndice F. Diagrama de Flujo del proceso de obtención del a-MES



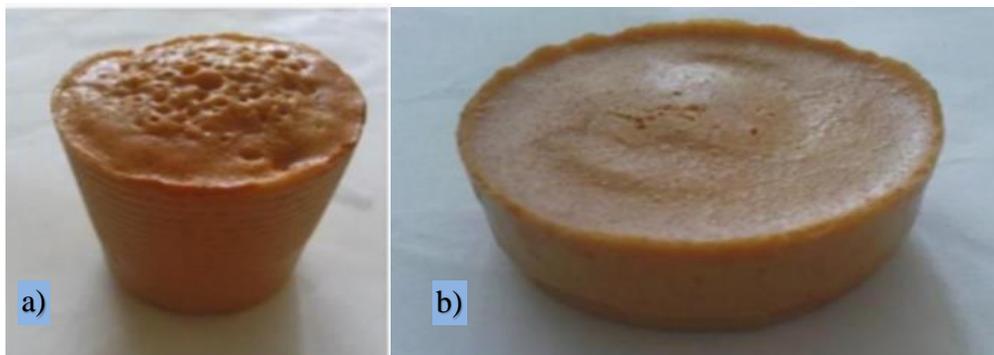
Nota. Adaptado de (Martínez et al., 2010)

Apéndice G. Composición volumétrica de aceite de palma y aceite de ricino en los lubricantes formulados.

Blend No.	Blend Name	Composition (%)
		(Palm oil volume/Castor oil volume)
0	P100	100/0
1	CP10	90/10
2	CP20	80/20
3	CP30	70/30
4	CP40	60/40
5	CP50	50/50

Nota. Adaptado de (Pathmasiri et al., 2019)

Apéndice H. Espumas de poliuretano obtenidas mediante epoxidación química convencional



Nota. Adaptado de (Saifuddin et al., 2010). a) espuma semirígida, b) espuma rígida.

Apéndice I. Limpiadores líquidos formulados a base de aceite de palma



Nota. Adaptado de (Raman et al., 2011).

Apéndice J. Formulaciones de nanoemulsiones para insecticidas

Sample	Blank sample	EW	NanoEW8	NanoEW3
PME (%)	30	30	30	30
Water (%)	67	60.5	60.5	65.5
Deltamethrin (%)	–	1.5	1.5	1.5
Surfactant (%)	3	8	8	3
Mechanical shearing	High shearing + high pressure	High shearing	High shearing + high pressure	High shearing+ high pressure

Nota. Adaptado de (Shaari et al., 2021)