

**RECUPERACIÓN DE VITAMINAS PRESENTES
EN EL ACEITE CRUDO HÍBRIDO DE PALMA POR MEDIO DE
TRANSESTERIFICACIÓN Y DESTILACIÓN MOLECULAR**

**RECOVERY OF PRESENT VITAMINS
IN THE HYBRID CRUDE OIL OF PALMA BY MEANS OF
TRANSESTERIFICATION AND MOLECULAR DISTILLATION**

Presentado por: Malory Dayana Gutiérrez Delgado, Yeimy Mabel Ospina Gallo

Directora: Ligia Inés Rodríguez Piedrahita
Codirectora: Jeimmy Lizeth Ospina Quiroga

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería.
Ingeniería de Alimentos
Bogotá D.C.
2018

CONTENIDO

1) INTRODUCCIÓN.....	5
2) METODOLOGÍA.....	6
2.1 Diseño experimental.....	6
2.2 Materiales.....	6
2.3 Métodos.....	7
2.3.1 Características del aceite.....	7
2.3.2 Transesterificación del aceite crudo híbrido de palma.....	8
2.3.3 Cromatografía para Cuantificación de ésteres etílicos.....	9
2.3.4 Caracterización de los ésteres etílicos.....	9
2.3.4.1 Índice de refracción.....	10
2.3.4.2 Punto de fusión.....	10
2.3.5 Cuantificación de vitaminas por espectrofotometría.....	10
2.3.6 Destilación molecular.....	11
3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
3.1 Caracterización del aceite crudo híbrido de palma.....	12
3.2 Cuantificación de ésteres etílicos.....	14
3.3 Caracterización de los ésteres etílicos.....	15
3.4 Punto de fusión.....	16
3.5 Cristalización.....	17
3.6 Cuantificación de vitaminas por espectrofotometría.....	17
3.7 Destilación molecular.....	18
4) CONCLUSIONES.....	19
5) RECOMENDACIONES.....	20
6) AGRADECIMIENTOS.....	21
7) REFERENCIAS.....	23

**RECUPERACIÓN DE VITAMINAS PRESENTES
EN EL ACEITE CRUDO HÍBRIDO DE PALMA POR MEDIO DE
TRANSESTERIFICACIÓN Y TÉCNICAS DE SEPARACIÓN FÍSICAS**

**RECOVERY OF PRESENT VITAMINS
IN THE HYBRID CRUDE OIL OF PALMA BY MEANS OF
TRANSESTERIFICATION AND PHYSICAL SEPARATION TECHNIQUES**

Malory Dayana Gutierrez Delgado, Yeimy Mabel Ospina Gallo

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería,
Ingeniería de Alimentos, Bogotá D.C.

2018

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue recuperar los β -caroteno, tocoferoles y tocotrienoles presentes en el aceite crudo híbrido de palma, con el fin de producir vitamina E y vitamina A, apta para el consumo humano, ayudando así a combatir y prevenir problemas de salud y a su vez darle un valor agregado y nuevos usos al HCPO, teniendo en cuenta su alta tasa de producción. Esto se llevó a cabo por medio de una transesterificación y posteriormente una destilación molecular planteando diferentes diseños experimentales. El proceso parte con la transesterificación de aceite crudo híbrido de palma, para lo cual se utilizó el KOH como catalizador, temperaturas de $60 \pm 4.5^\circ\text{C}$ y diferentes relaciones molares de etanol:aceite, en tiempos de 2, 4 y 6 horas, con agitación constante de 400 rpm; de allí se obtuvieron los ésteres etílicos a los que se le realizaron pruebas como rendimiento en masa, cristalización por enfriamiento y cuantificación por espectrofotometría, con el fin de evaluar su concentración, con lo que se concluyó que las mejores condiciones eran; temperatura de $60 \pm 4.5^\circ\text{C}$, en un tiempo de 4 horas y la relación etanol:aceite de 12:1. Estos ésteres etílicos fueron sometidos a cristalización, donde las concentraciones de este proceso son β -caroteno de 4959.97 ± 70.16 ppm, tocoferoles de 4238.51 ± 72.15 ppm y tocotrienoles de 5254.36 ± 65.09 ppm también se realizó una destilación molecular (Universidad Nacional de Colombia); este proceso se realizó a muy bajas presiones, donde se consiguieron diferentes volatilidades de los componentes, y así mismo se trabajó a una temperatura de 110°C lo que ayudó a lograr la separación de compuestos termolábiles. Las concentraciones obtenidas en este último proceso son β -caroteno de 7540.58 ± 86.83 de ppm, tocoferoles de 7249.53 ± 84.31 ppm y tocotrienoles de 7109.83 ± 85.14 ppm.

Palabras clave: (HCPO, transesterificación, destilación molecular, ésteres etílicos, catalizador)

ABSTRACT

The objective of this study is to recover the β -carotene, tocopherols and tocotrienols present in the crude oil palm hybrid, to produce vitamin E and vitamin A suitable for human consumption, thus helping to combat and prevent health problems and in turn give added value and new uses to HCPO, taking into account its high rate of production. This was carried out by means of transesterification and later a molecular distillation, posing different experimental designs. The process departs with the transesterification of crude palm hybrid oil, for which KOH was used as a catalyst, temperatures of $60 \pm 4.5^\circ\text{C}$ and different molar ratios of ethanol: oil, in times of 2, 4 and 6 hours, with constant agitation of 400 rpm; From there we obtained the ethylic mats that were tested as mass yield, crystallization by cooling and quantification by spectrophotometry, in order to evaluate their concentration, which concluded that the best conditions Were Temperature of $60 \pm 4.5^\circ\text{C}$, in a time of 4 hours and

ethanol:oil ratio 12:1. These ethylic mats were subjected to crystallization, where the concentrations of this process are β -carotene of 4959.97 ± 70.16 ppm, tocopherols of 4238.51 ± 72.15 ppm and tocotrienols of 5254.36 ± 65.09 ppm also a molecular distillation was performed (National University of Colombia); This process was given at very low pressures, where different volatilities were obtained from the components, and it was also worked at a temperature of 110°C , which helped to achieve the separation of thermolabile compounds. The concentrations obtained in this last process are β -carotene of 7540.58 ± 86.83 ppm, tocopherols of 7249.53 ± 84.31 ppm and tocotrienols of 7109.83 ± 85.14 ppm.

Key words: (HCPO, transesterification, molecular distillation, ethyl esters, catalyst)

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el cultivo de la palma de aceite, en cuanto a volumen de producción, es el cuarto a nivel mundial; la palma de aceite tiene participación con aproximadamente el 5% del valor de la producción agrícola y el 8% del valor de la producción de los cultivos permanentes en promedio durante los años 2005 - 2010 (Nacionales, 2012).

El aceite de palma crudo es una de las más grandes fuentes naturales de carotenoides, los cuales contienen vitamina A, carotenos (500-700 ppm) (YAP, CHOO, OOI, ONG, & GOH,1991) y vitamina E (600-1000 ppm) (Goh, Choo, & Ong, 1985). El aceite proveniente de los híbridos inter específicos de palma africana (*Elaeis guineensis*) y palma americana (*Elaeis oleífera*) presenta contenidos de carotenoides entre 1200 y 2400 ppm lo que casi alcanzaría a duplicar el contenido de estos en el aceite de palma crudo tradicional. Una de las principales características del aceite de híbrido de palma es su alto contenido de vitamina E, término utilizado para describir un grupo de ocho isoformas que está conformado por cuatro tocotrienoles y cuatro tocoferoles, estos se diferencian entre sí, por el número y posición de los grupos metilo presentes en su estructura, y por la presencia o ausencia de insaturaciones dentro de esta, es decir, los tocoferoles presentan una cadena saturada mientras que los tocotrienoles tienen tres dobles enlaces en su cadena lateral (Etsuo, 2014). Este aceite retiene más del 90% de los carotenos y vitamina E como tocoferoles y tocotrienoles en el producto final.

La vitamina E es el mayor antioxidante liposoluble en la célula, esto se debe a su capacidad de transferir átomos de hidrógeno a radicales libres para inactivar los. Después de la donación del átomo de hidrógeno se da la aparición de radicales tocoferilo, los cuales se caracterizan por ser relativamente estables y por su capacidad de interactuar con otras moléculas, tales como el ácido ascórbico, para regenerar vitamina E y recuperar sus efectos antioxidantes (fao & who, 2001). Entre sus principales aportes, la vitamina E protege ácidos grasos poli insaturados y otros compuestos lipídicos presentes en la membrana celular de posibles daños oxidativos causados por radicales libres, al inhibir reacciones que dan lugar a procesos de peroxidación lipídica (Febles et al., 2002); además, brinda protección a lipoproteínas de baja densidad contra procesos de oxidación (fao & who, 2001). Dichas moléculas oxidadas se encuentran ligadas con el desarrollo de aterosclerosis (Luc, 1991).

A continuación, en la figura 1 se ve reflejado el contenido de vitamina E del aceite de híbrido de palma comparado con el de otros aceites y grasas vegetales (Firestone, 2006), En esta gráfica se puede evidenciar que el aceite de palma híbrido es la mayor fuente de vitamina E entre las diferentes materias grasas de origen vegetal destinadas al consumo humano.

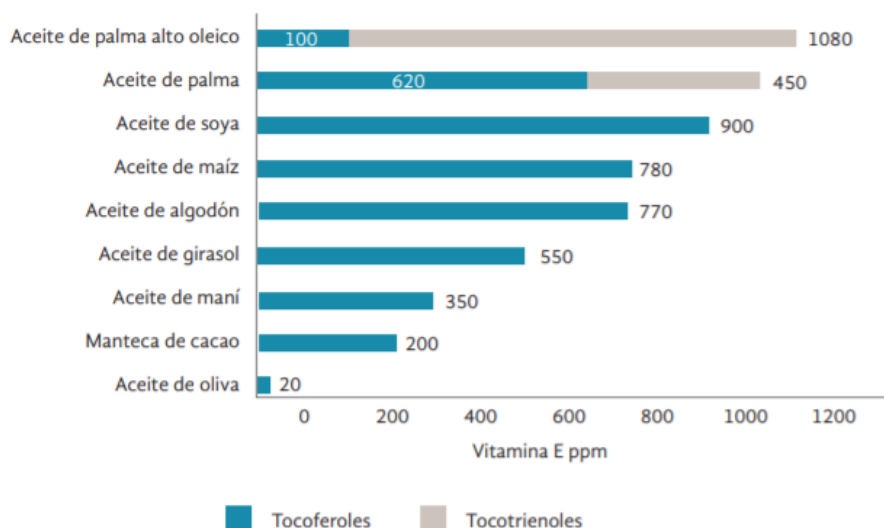


Figura 1. Contenido total de vitamina E (ppm) en diferentes aceites vegetales (Firestone, 2006).

Sin embargo, en el mercado actual este aceite es sometido a refinación, blanqueo y desodorización, trayendo como consecuencia la pérdida de estos compuestos. Para aprovechar dichos compuestos presentes en este aceite, se han desarrollado diferentes métodos de extracción, entre estos el más viable ambiental y económicamente es la destilación molecular (Hoyos & Hoyos, 2001).

Para facilitar la extracción de las vitaminas se usan procesos por medio de los cuales se alteran las propiedades fisicoquímicas del aceite, como la disminución del punto de ebullición y fusión, un ejemplo de ello es la transesterificación, el cual es un proceso que se realiza en presencia de un catalizador, y en el que los triglicéridos reaccionan con un alcohol (etanol) para la formación de alquil-ésteres y glicerol, dicho proceso se inicia con la conversión de los triglicéridos en diglicéridos y posteriormente monoglicéridos (Meher, Sagar & Naik, 2004), en esta reacción es indispensable el exceso de alcohol, para así desplazar el equilibrio y favorecer la producción de ésteres (Meher, Sagar & Naik, 2004).

En la transesterificación por lo general se usa metanol y como catalizador hidróxido de potasio (KOH), ya que de esta manera se obtienen rendimientos de biodiesel del 93.6%, con un tiempo de reacción de una hora, temperatura de 60°C, agitación a 250 rpm, una relación molar 10:1 de metanol:aceite y una concentración de catalizador de 1.4% p/p (Alkabbashi, Alam, Mirighani & AL-Fusaiel, 2009). En este trabajo, usamos el mismo catalizador, igual temperatura, 400 rpm y una relación molar de 12:1 etanol: aceite, ya que incorporando el etanol en este proceso, las vitaminas obtenidas al final del proceso, serán aptas para el consumo humano. Los rendimientos con etanol, son de máximo 90,16% los cuales son un poco menores, en comparación con la reacción con metanol.

Seguido de la transesterificación se pueden llevar a cabo diferentes métodos para la extracción de las vitaminas; uno de ellos es el fraccionamiento supercrítico el cual utiliza diversidad de combinaciones de presión, tiempo y temperatura, ya que la solubilidad del β -caroteno en el fraccionamiento supercrítico disminuye, aunque no considerablemente al incrementar la temperatura a una presión constante. Por lo cual la mayor concentración de este se encontrará en los fondos del fraccionamiento, donde se encuentran las etapas con menor temperatura de operación. Aparte de esto el fraccionamiento supercrítico es químicamente inerte, no es tóxico, peligroso ni inflamable, no deja trazas de solvente en el producto final y no se generan desperdicios.

Para este estudio se realizó el método de destilación molecular, se evaluaron algunas condiciones de operación, principalmente temperaturas y niveles de vacío, a efectos de optimizar la separación deseada utilizando un destilador molecular de camino corto, el cual fue facilitado por la Universidad Nacional. Se realizó una destilación a la muestra que ya fue sometida a transesterificación, el resultado de esta es la separación de los etil ésteres de un residuo constituido por otros subproductos de distintos tipos y características.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño experimental

El diseño planteado se realizó con base a resultados obtenidos en diferentes publicaciones científicas, por lo tanto se utilizó como catalizador hidróxido de potasio, en una concentración $0.59\% \pm 0.01$ (Zuleta, Bonet, Díaz & Bastidas, 2008) y una relación de etanol: aceite de 9:1, 12:1, 18:1, todo esto se llevó a cabo con una temperatura de $60 \pm 4.5^\circ\text{C}$ dichas reacciones se realizaron durante 2, 4 y 6 horas a 400 rpm.

Se planteó un diseño de experimentos factorial 3^2 (Tabla N°1), obteniendo 9 ensayos por triplicado, para un total de 27 experimentos, en donde se varió la relación molar etanol:aceite y el tiempo de reacción. Las condiciones de operación que no presentaron variación fueron: concentración de catalizador $0.59\% \pm 0.01$, temperatura 60°C , y agitación de 400 rpm. Una vez halladas las condiciones donde se obtenía mayor contenido de etil ésteres de ácidos grasos, se realizaron varias pruebas (14) con el fin de recolectar cierta cantidad de producto deseado para ser llevado a la destilación molecular.

Catalizador	Relación molar etanol: aceite	Tiempo (h)	Experimento
KOH	9:1	2	X3(KOH 9:1 2h)
		4	X3(KOH 9:1 4h)
		6	X3(KOH 9:1 6h)
	12:1	2	X3(KOH 12:1 2h)
		4	X3(KOH 12:1 4h)
		6	X3(KOH 12:1 6h)
	18:1	2	X3(KOH 18:1 2h)
		4	X3(KOH 18:1 4h)
		6	X3(KOH 18:1 6h)

Tabla N°1: diseño experimental primera etapa

2.2 Materiales

El aceite crudo híbrido de palma (HCPO), se obtuvo de la empresa hacienda la cabaña S.A, etanol absoluto de grado analítico (99.9%), hidróxido de potasio grado analítico (>90%), heptadecanoato de metilo (99.98%), sulfato de sodio anhidro (99%), 2,2,4 trimetilpentano grado analítico (99%).

2.3 Métodos

2.3.1 Caracterización del aceite crudo híbrido

Esta caracterización del aceite se lleva a cabo de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC, 2016), dependiendo del parámetro a analizar.

En la tabla N°2 se muestra la norma técnica empleada, y en la tabla N° 3 se observa un resumen de los valores y rangos en los que se deben encontrar las propiedades del aceite.

Análisis	Numero de NTC
Índice de yodo	283
Índice de saponificación	335
Punto de fusión	213
Acidez titulable	218
Índice de peróxidos	236
Índice de refracción	289
Densidad	336
Porcentaje de humedad	262

Tabla N°2 Caracterización aceite Híbrido

Propiedad	Valor ideal
Índice de yodo	Mínimo 67 g yodo/100 g de muestra
Índice de saponificación	290-190
Punto de fusión (rango °C)	Máximo 29 °C
Porcentaje de acidez	Menor 3%
Índice de peróxidos	Máximo 1 mg de O ₂ /kg
Índice de refracción a 40°C	1.459 y 1.462
Densidad (g/cm ³)	0,891g/cm ³ - 0.899 g/cm ³
Índice DOBI	2.99 y 3.24
Porcentaje de humedad	Menor 0,20
Contenido de β-caroteno (ppm)	1100 - 1400 ppm
Contenido de tocoferoles (ppm)	1080 ppm
Contenido de tocotrienoles (ppm)	800-1200 ppm

Tabla N°3: Propiedades ideales aceite crudo híbrido de palma (Boatella, Codony y López, 2004)

2.3.2 Transesterificación del aceite crudo híbrido de palma

Para llevar a cabo este proceso fue necesario el uso de etanol absoluto, esto transcurrió en un tiempo de 4 horas, en un balón de fondo redondo con dos bocas de 250 ml, en este se adicionaron 90.34 gr (100 mL) de aceite crudo híbrido de palma, una de las bocas del balón se utilizó para la adaptación del termómetro de mercurio, para así llevar un control de la temperatura de reacción, en la otra boca se instaló un condensador de reflujo para recuperar el etanol evaporado en el proceso, durante todo el proceso se mantuvo agitación continua de 400 rpm y el calor fue suministrado por una plancha de calentamiento con agitación magnética. Por último, el catalizador KOH, se disolvió previamente en una cantidad determinada de etanol, antes de ser adicionados a la mezcla de etanol y aceite.

La temperatura de operación se mantuvo en $60 \pm 4.5^{\circ}\text{C}$, y considerándose esta como temperatura máxima para evitar la evaporación del etanol, se utilizó una concentración de catalizador de $0.59\% \pm 0.01$ p/p relaciones molares de etanol:aceite de 12:1. Al finalizar la transesterificación, los productos resultantes se dispusieron en un embudo de decantación durante 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se separaron las dos fases formadas, se realizó un lavado para la eliminación de los jabones formados, el etanol que no reaccionó y las trazas de catalizador.

Fue necesario controlar la formación de jabones a partir de los ácidos grasos libres presentes en el aceite de palma y esto se realizó mediante la metodología propuesta por Choo, utilizando un exceso establecido de KOH para neutralizar dichos ácidos, al tener el aceite un porcentaje de acidez inferior al 5% (Choo, 2004).

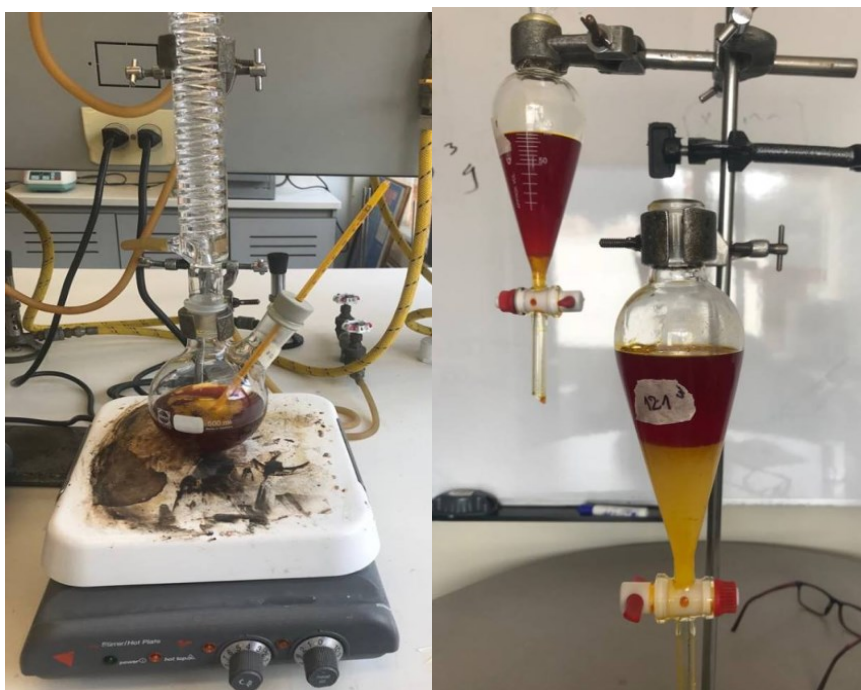


Imagen N°1. Montaje y proceso de transesterificación

2.3.3 Cromatografía para cuantificación de ésteres etílicos

Para conocer el contenido de ésteres etílicos, se realizó en una cromatografía de gases con ayuda del cromatógrafo que se encuentra en las instalaciones de la Universidad Jorge Tadeo Lozano marca SHIMADZU G-C 2014.

Para preparar nuestra muestra a analizar, en primer lugar se centrifugó 1 mL de ésteres en un tubo eppendorf con sulfato de sodio anhidro con una proporción másica 10:1 para asegurar la ausencia de agua en la muestra, se centrifugó a 14000 rpm, en una centrífuga Hettich mikro 185, durante 15 minutos, luego el sobrenadante se pasó por un micro filtro de membranas para jeringa Thermo Scientific Nalgene de 13mm PTFE $0.2\mu\text{m}$ y posteriormente se pesó 0.001 ± 0.0005 g del micro filtrado y se aforó a 10 mL con hexano en un balón aforado. Finalmente se pasaron $500\mu\text{L}$ de muestra, $200\mu\text{L}$ de patrón y $800\mu\text{L}$ de hexano a un vial de 1.5mL, para su posterior agitación y análisis en el cromatógrafo (Laguna & Moreno, 2017).

Luego de obtener los resultados, se estimó el contenido de FAEEs (Fatty acid ethyl esters) presentes en la muestra teniendo en cuenta la metodología propuesta en la norma española UNE-EN14103, por medio de la ecuación 1 (AENOR, 2011).

$$C = \Sigma A - AEI * WEI * W * 100 \quad (1)$$

Dónde:

C= Contenido de etil éster expresado como un porcentaje de masa.

ΣA = Área total de los picos identificados.

AEI= Área del pico correspondiente al heptadecanoato de metilo.

WEI= Peso en miligramos del heptadecanoato de metilo en el vial de 1.5mL.

W= Peso en miligramos de la muestra de ésteres etílicos en el vial de 1.5mL.

A su vez se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Zuleta y colaboradores, donde se tienen en cuenta la masa de ésteres etílicos resultantes del lavado del sobrenadante obtenido en embudo de decantación y considerando la masa de aceite empleada en la transesterificación como se observa en la ecuación 3 (Zuleta et al., 2008).

$$Rb = \frac{m_{EE}}{m_{HCPO}} * 100 \quad (2)$$

Dónde:

mEE= Masa de ésteres etílicos

mHCPO= Masa de aceite crudo híbrido de palma empleada en la transesterificación

2.3.4 Caracterización de los ésteres etílicos

Para la caracterización de los ésteres etílicos, se realizaron pruebas con el fin de verificar los cambios que debían presentarse en el aceite después de la transesterificación.

2.3.4.1 Índice de refracción ésteres etílicos

El índice de refracción es la razón de la velocidad de un rayo de luz en el vacío, a la velocidad de la luz a través de la sustancia a analizar. Este índice varía con la longitud de onda del rayo de luz refractada y la temperatura. El índice de refracción nos permite hacer algunas consideraciones de tipo cuantitativo. Para obtener el índice de refracción de los ésteres etílicos, se realizó la prueba con ayuda del refractómetro Fischer Scientific Abbe a 40°C, y siguiendo la norma NTC 289. (O. Fernandez & A. Toledano, 2013)

2.3.4.2 Punto de fusión

Este hace referencia a la temperatura a la cual una columna de grasa en un tubo capilar abierto comienza a ascender bajo las condiciones especificadas en la norma NTC 213, en el que se puede evidenciar una disminución en el punto de fusión de la muestra inicial, lo que indicaría que en el proceso de transesterificación, se efectuó la producción de ésteres etílicos (Benjumea, Agudelo & Rios, 2009).

2.3.5 Cuantificación de vitaminas por espectrofotometría

Por medio de espectrofotometría, es posible llevar a cabo la cuantificación de los precursores de vitaminas con ayuda de la ley de Beer como se muestra en la ecuación número 3, donde la absorbancia de la muestra es directamente proporcional a la longitud de la celda, al coeficiente de extinción propia del compuesto de interés y a la concentración de este como se observa en la siguiente ecuación (Brunatti y Martin, 2010).

$$A = \varepsilon * B * C \quad (3)$$

Dónde:

A= Absorbancia de la muestra

B= Ancho de la celda (cm)

C= Concentración en ppm del compuesto de interés

ε = Coeficiente de extinción

Para la cuantificación del β -caroteno se utilizó como solvente 2,2,4 trimetilpentano (isooctano), ya que en este se registran los mayores valores de absorbancia y por lo tanto de concentración de muestra, en comparación con solventes más comunes como hexano, heptano y éter de petróleo (O'Connor, Heinzelman y Jefferson, 1946).

Para la cuantificación de tocotrienoles y tocoferoles se utilizó como solvente etanol absoluto, ya que en este se registran altos niveles de absorbancia y concentración de estos compuestos y se cuentan con los valores experimentales de su coeficiente de extinción (Yamauchi, Kato y Ueno, 2014; Jondiko y Pattenden, 1989). Las longitudes de onda a las cuales se midió la absorbancia de las muestras se encuentran en la tabla N° 4 (R. Barbosa, L. Ramirez & M. Pedraza, 2014)

Longitud de onda (nm)	Reactivo	Muestra
242	Etanol	α -Tocoferol
230	Etanol	δ - Tocoferol
236	Etanol	γ - Tocoferol
297	Etanol	δ - Tocotrienol
Longitud de onda (nm)	Reactivo	Muestra
446	2,2,4 trimetilpentano	β - Caroteno
465	2,2,4 trimetilpentano	β - Caroteno
477	2,2,4 trimetilpentano	β - Caroteno

Tabla N°4: Longitudes de onda y reactivos empleados

2.3.6 Destilación molecular

La destilación molecular presenta importantes ventajas, fundamentalmente por trabajar en alto vacío y bajos tiempos de residencia, además es un proceso limpio, ya que no es necesario el uso de solventes influyendo en la calidad y pureza del producto.

Esta destilación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), el equipo contaba con rodillos giratorios de velocidad constante, 4 bombas, dos que generaban el vacío, una de membrana y una turbo molecular, dos trampas para evitar el paso de muestra hacia las bombas, alimentación de agua refrigerada, y generador de temperatura hacia el destilador. Se alimentó el equipo de forma manual, mediante una válvula disponible en el alimentador con 400 ml de muestra a destilar, el resultado de esta destilación es la separación de los etil-ésteres de un residuo constituido por otros subproductos de distintos tipos y características. La residencia de la muestra a través de la torre es de aproximadamente 30 segundos, y la alimentación debía ser lenta, para asegurar una buena separación, el tiempo total de operación fue de 2 horas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del aceite crudo híbrido de palma

Como primera medida fue importante conocer las propiedades de nuestro material a trabajar (aceite de palma crudo), para así determinar que fuera una buena fuente del producto final que se desea obtener, y a su vez saber los medios y procesos a usar, para obtener dicho resultado. (J. Guil, 2013).

Propiedad	Valor obtenido
Índice de yodo	67.174±0.050
Índice de saponificación	204.43±3.017
Peso molecular promedio (g/mol)	823.23±2.110
Punto de fusión (rango °C)	22.5±0.2 – 28.5±0.2
Porcentaje de acidez	1.4614±0.021
Índice de peróxidos	0.3691±0.0003
Índice de refracción (a 40°C)	1.4603±0.0051
Densidad (g/cm ³)	0.8934±0.0011
pH	5.4312±0.0018
Índice DOBI	3.1931±0.0021
Porcentaje de humedad	0.1984±0.0012
Contenido de β-caroteno (ppm)	1406.49±18.408
Contenido de tocoferoles (ppm)	1093.3±19.940
Contenido de tocotrienoles (ppm)	1169.5±7.7526

Tabla N°5: Propiedades aceite crudo híbrido de Palma

Estas propiedades que encontramos en la tabla N°5, corresponden al aceite crudo híbrido de palma con el que se llevó a cabo el proyecto. La información fue suministrada por el productor del aceite (Hacienda La Cabaña S.A)

El índice de yodo es el que nos brinda información sobre el grado de instauración de un aceite (Boatella, Codony y López, 2004), se encuentra dentro del rango reportado, con lo cual, se infiere que el aceite durante su transporte y almacenamiento no sufrió reacciones de degradación, como la oxidación, que llegaran a alterar sus propiedades fisicoquímicas (Ezquivel, Castañeda y Ramírez, 2014).

Teniendo en cuenta que los aceites son mezclas de triglicéridos, estos no tienen un punto de fusión específico, en cambio presentan un rango de fusión, que comprende desde la aparición de la primera gota, hasta la desaparición del último cristal en el capilar (Lamarque et al., 2008), en el caso del HCPO presenta una mezcla de ácidos grasos, entre los que se destacan el ácido oleico y el palmítico, el primero es un ácido graso insaturado con punto de fusión menor al del ácido palmítico el cual es un ácido graso saturado (Berg, Tymoczko y Stryer, 2007).

El índice de saponificación se emplea para estimar la longitud de las cadenas de ácidos grasos presentes en el aceite (Boatella, Codony y López, 2004), y a su vez se define como el número de mg necesarios de KOH, para lograr saponificar 1 gr de grasa.

El porcentaje de humedad y porcentaje de acidez resultan ser las principales propiedades a tener en cuenta a la hora de transesterificar un aceite, ya que una elevada concentración de estos resulta en una disminución significativa en el rendimiento de la reacción, siendo el contenido de agua el mayor generador de inconvenientes, además se recomienda trabajar con aceites con un porcentaje de acidez menor al 3% (Meher, Sagar & Naik, 2004)

El índice de peróxidos se utiliza como una medida del estado oxidativo de un aceite, ya que los peróxidos son los productos primarios en la oxidación de los aceites y está relacionado directamente con la cantidad de oxígeno absorbido, por esto se considera un parámetro de calidad (Porrás, Cabrera y Soriano, 1995).

El índice DOBI está asociado al deterioro del blanqueabilidad y se considera otro parámetro de calidad del aceite, este mide la relación entre los productos antioxidantes y los productos de la oxidación secundaria (Mejía et al., 2008), una alta concentración de carotenos indica un estado óptimo del aceite, como lo enuncia Ureta en su estudio, quien determinó que un DOBI mayor a 3.24 es evidencia de un aceite de excelente calidad, mientras que un DOBI menor a 1.68 es un indicio de un aceite de pésima calidad.

Con los valores obtenidos de las propiedades medidas al aceite crudo híbrido de palma, y comparándolos con los reportados en la tabla N°3, se puede concluir que el aceite empleado en la experimentación cumple con los estándares de calidad establecidos, lo que nos garantiza la obtención de buenos rendimientos para nuestro estudio.

3.2 Cuantificación de ésteres etílicos

Por medio de cromatografía de gases para la cuantificación de ésteres etílicos se obtuvieron 3 picos de ésteres etílicos, los cuales se estima que corresponden a los ácidos grasos mayoritarios del HCPO a (palmitato, oleato y estearato) empleando patrones comerciales de ésteres metílicos, debido a que no se contó con patrones de ésteres etílicos. De acuerdo al tiempo de retención de cada metil éster comercial, se identificaron los picos obtenidos y sus áreas, posteriormente se estimó el contenido de FAEs (Fatty acid ethyl esters) presentes en la muestra teniendo en cuenta la metodología propuesta en la norma española UNE-EN14103, por medio de la ecuación 1 (AENOR, 2011).

También se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Zuleta y colaboradores, donde se tienen en cuenta la masa de ésteres etílicos resultantes del lavado del sobrenadante obtenido en embudo de decantación y considerando la masa de aceite empleada en la transesterificación como se observa en la ecuación 3 (Zuleta et al., 2008). De acuerdo a los resultados de rendimiento de ésteres etílicos y al análisis estadístico realizado se obtiene que la relación molar etanol:aceite, y el tiempo de procesos de transesterificación, son claves, para obtener mayores rendimientos, ya que en los diferentes ensayos realizados modificando estos dos factores se obtuvo que en menores relaciones y menores tiempos de proceso, el rendimiento era demasiado bajo; y por otro lado si sobre pasábamos la relación 12:1 y el tiempo de 4 horas, el aumento en el rendimiento era insignificante, lo que no justificaba el aumento en costos que dichas condiciones generaba.

En cuanto a la temperatura a pesar de como lo señala Arteaga y colaboradores, esta tiene una relación directa con la producción de ésteres, es decir, a mayor temperatura, mayor producción de ésteres, especialmente en temperaturas cercanas al punto de ebullición (Arteaga et al., 2010);teniendo en cuenta que trabajamos con etanol, y conociendo su punto de ebullición (78,37 °C), a esta temperatura no se evidencian cambios significativos, por lo que es más rentable realizar la transesterificación a 60°C. (Plentz, 2006).

En la figura N° 2 se observan los ésteres etílicos obtenidos mediante la transesterificación del HCPO a 60 ± 4.5 °C, con relación molar etanol:aceite 12:1, utilizando KOH como catalizador con una concentración de 0.59% ± 0.01 p/p, durante 4 horas con agitación constante, los tiempos estimados de elución de los ésteres fueron 9.574 min para el palmitato, 11.572 min para el estearato y 12.126 min para el oleato, se encontró presencia de la transesterificación solo de los tres ácidos grasos principales del HCPO. Con estos resultados se cuantificó también la cantidad de ésteres etílicos, de este se obtuvo que el mayor rendimiento se dio por las condiciones de transesterificación 60°C, KOH como catalizador y una relación etanol aceite 12:1 (86.45% Sd=2.254).

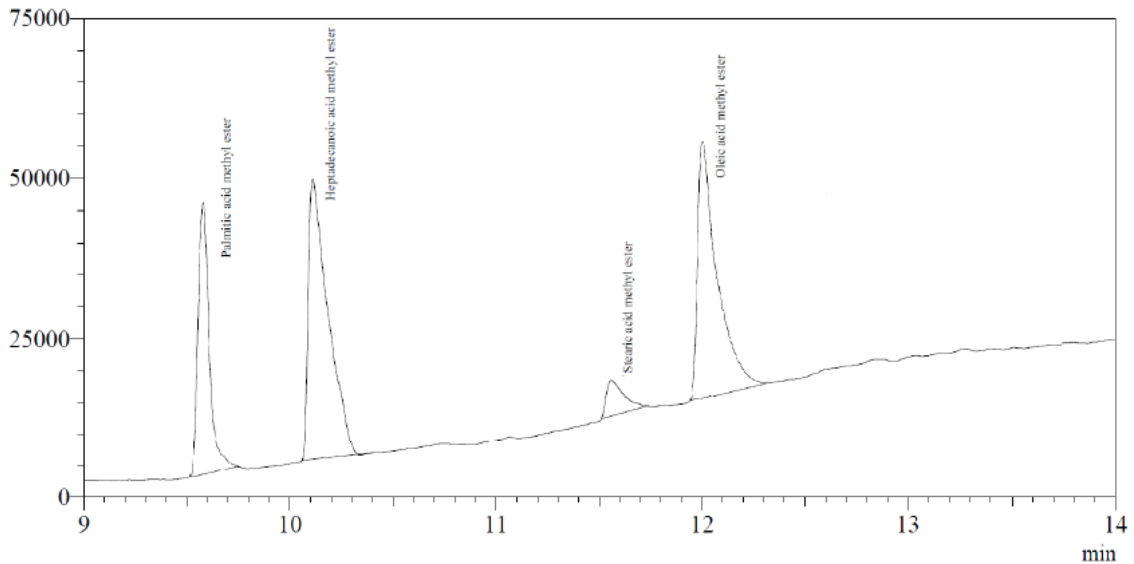


Figura N°2. Cromatografía de gases, relación etanol:aceite 12:1- KOH

Con el fin de tener otro método de referencia para conocer el contenido de ésteres etílicos, se realizó el rendimiento en masa, con el que los mejores resultados se evidenciaron en la relación etanol:aceite 18:1 tiempo de 6 horas y con KOH como catalizador. Comparando los resultados obtenidos en la transesterificación con relación etanol: aceite 9:1 12:1 y 18:1, se puede observar que a mayor concentración y mayor tiempos de proceso, los rendimientos de ésteres etílicos son mayores; el aumento en los rendimientos que se evidencian en la relación 18:1 etanol aceite, a comparación con los obtenidos en la relación 12:1 no son muy significantes, y por el contrario si generan altos costos de materia prima y energético. Los resultados se evidencian en el gráfico N° 1

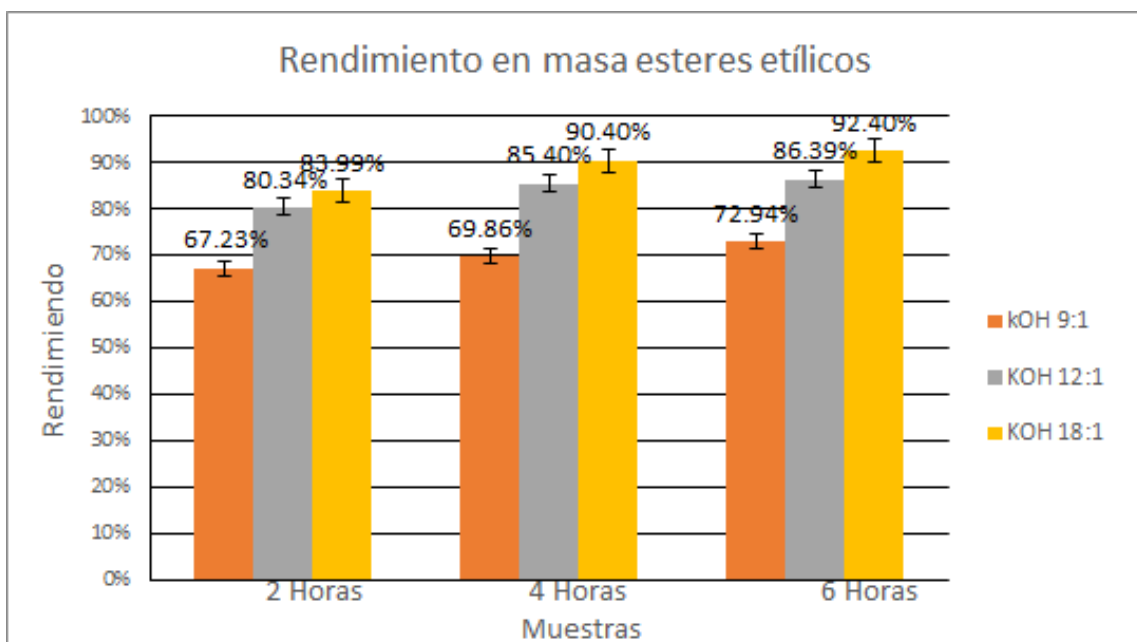


Gráfico N°1: Rendimiento en masa ésteres etílicos analizados a diferentes rangos de tiempo y relación molar.

3.3 caracterización de ésteres etílicos

En el gráfico N°2 se observan los resultados obtenidos de las mediciones del índice de refracción de la muestra tratada. Los mejores rendimientos arrojaron en las pruebas efectuadas anteriormente, es decir relación etanol:aceite 18:1, tiempo de 6 horas y usando como catalizador KOH. Sin embargo dicha disminución no justifica el aumento energético y de materia prima ya que no es a gran escala por lo tanto se sigue con los parámetros mencionados inicialmente en la transesterificación (Coha & Rojas, 2009).

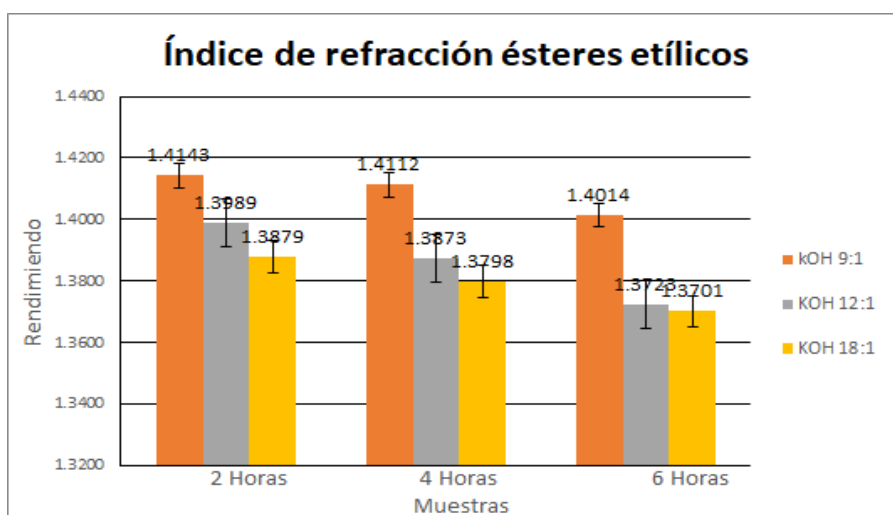


Gráfico N°2: Índice de refracción ésteres etílicos a diferente rango de tiempo y relación molar.

Posteriormente se vuelve a analizar el índice de refracción como se observa en el gráfico N° 3 a una muestra con relación etanol:aceite 12:1, tiempo de 4 horas, catalizador KOH y temperaturas de 60°C, 63°C y 65°C dando como resultado una mayor concentración de ésteres etílicos en el punto de menor índice de refracción es decir a 60°C esto se debe a que a mayor temperatura aumenta la evaporación del etanol y se puede presentar una degradación de estas (Coha & Rojas, 2009).

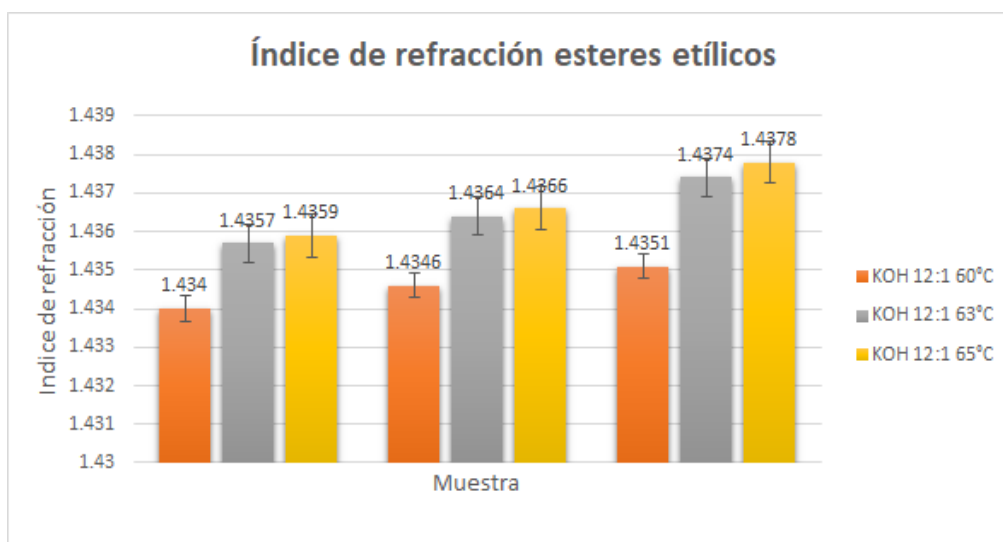


Gráfico N°3: Índice de refracción ésteres etílicos a diferente rango de temperatura.

3.4 Punto de fusión

En la tabla N°6, se observan los resultados obtenidos de la medición de los puntos de fusión de los ésteres etílicos producidos mediante las variaciones de relaciones molares que se presentaron en la transesterificación, este también se considera un parámetro de evaluación de la eficiencia de la transesterificación, ya que al igual que el índice de refracción, una eventual disminución del punto de fusión es prueba de la transformación de los ácidos grasos en ésteres el punto de fusión más bajo de registro a una relación de 18:1, tiempo de 6 horas y usando como catalizador KOH dando un valor de 12.2 ± 2.01 , lo cual quiere decir que a estas condiciones se registra una mayor concentración de ésteres etílicos. (Querini, 2006).

TRATAMIENTO	TIEMPO (h)	R. FUSIÓN (°C)
X3 (KOH 9:1)	2	13.7 ± 2.13
X3 (KOH 9:1)	4	13.4 ± 2.10
X3 (KOH 9:1)	6	13.2 ± 2.11
X3 (KOH 12:1)	2	12.7 ± 2.08
X3 (KOH 12:1)	4	12.5 ± 2.05
X3 (KOH 12:1)	6	12.3 ± 2.03
X3 (KOH 18:1)	2	12.5 ± 2.05
X3 (KOH 18:1)	4	12.3 ± 2.04
X3 (KOH 18:1)	6	12.2 ± 2.01

Tabla N°6: Rango de fusión de la muestra a diferentes tiempos y relaciones molares

Sin embargo como se mencionó en el índice de refracción las condiciones de operación para nuestra muestra final fueron diferentes por cuestiones energéticas y consumo de etanol ya que este es de alto costo monetario. Por lo tanto se midió nuevamente el punto de fusión a una muestra con relación etanol:aceite 12:1, tiempo de 4 horas, catalizador KOH y temperaturas de 60°C, 63°C y 65°C dando como resultado una mayor concentración de ésteres etílicos en un punto de fusión menor es decir a 60°C como se observa en la tabla N°7 lo cual coincide con los resultados obtenidos anteriormente.

TRATAMIENTO	R. FUSIÓN (°C)
KOH (12:1) 60°C X3	12.4 ± 2.04
KOH (12:1) 63°C X3	12.8 ± 2.07
KOH (12:1) 65°C X3	13.2 ± 2.11

Tabla N°7: Rango de fusión de la muestra a diferentes temperaturas

3.5 Cristalización

Es una técnica que se usa para separar constituyentes de algunas esencias que tengan un punto de fusión relativamente bajo, en resumen, este método se basa en el enfriamiento y separación de las grasas que precipitan, aunque el método se realizó de forma poco convencional, los resultados obtenidos presentaron un aumento en la concentración de vitaminas como se observa en la tabla N°8. (M, Olivera. 2014)

CONCENTRACIÓN(ppm)		
TOCOFEROLES	α -Tocoferol	5031.35
	δ -Tocoferol	5601.13
	γ -Tocoferol	5130.60
TOCOTRIENOL	δ -Tocotrienol	4238.51
β -CAROTENOS	β -Carotenos	4959.97

Tabla N°8: Concentración de vitaminas por cristalización

Durante este proceso fue importante tener en cuenta las variables que determinan la velocidad de crecimiento de los cristales que son la temperatura y la viscosidad. En el momento que comienzan a crecer los cristales de la fase sólida, aumenta progresivamente la viscosidad de la muestra, lo que afecta la transferencia de temperatura. Por esto es necesario que el equipo donde se lleva a cabo la cristalización cuente con un sistema de agitación continua, que pueda ser ajustado según la etapa del proceso y el producto a obtener. La agitación permite mantener condiciones homogéneas, y por lo tanto hace que la cristalización se produzca de manera continua y uniforme. El resultado obtenido fue una separación, fase líquida y fase sólida, la cual fue sometida a cuantificación de vitaminas por espectrofotometría, arrojando concentraciones más altas que las obtenidas en la muestra antes de cristalizar. (M,Parzanese. 2017) (Y, Benavides. P, Benjumedá. J, Agudelo. 2007)

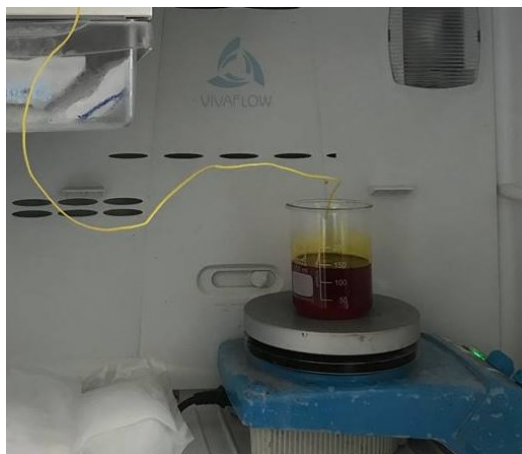


Imagen N°2 Proceso de cristalización escala laboratorio

3.6 Cuantificación de vitaminas por espectrofotometría

Las concentraciones obtenidas en las muestras después del proceso de transesterificación son β -caroteno de 3686.85 ± 60.69 ppm, tocoferoles de 3295.71 ± 57.39 ppm y tocotrienoles de 3048.28 ± 55.20 ppm. Deseando aumentar y separar estas concentraciones se realiza el proceso de cristalización el cual presentó los siguientes resultados β -caroteno de 4959.97 ± 70.16 ppm, tocoferoles de 4238.51 ± 72.15 ppm y tocotrienoles de 5254.36 ± 65.09 ppm, este proceso se realizó a bajas temperatura entre 0°C y -4°C y presión atmosférica, encontrando diferentes valores de quienes evaluaron algunos métodos de recuperación de carotenoides desde ésteres metílicos, como adsorción de fase inversa por Carbón 18 (8000-9000 ppm), adsorción por carbón (5000-7000 ppm), destilación al vacío (>20784 ppm) o destilación molecular (>80000 ppm) (Choo et al., 1989), se ve que este método no resulta tan viable, por lo tanto se realizó posteriormente una destilación molecular la cual nos permite llegar a concentraciones más elevadas, En cuanto a tocoferoles y tocotrienoles se tienen unos valores de 7109.87 ± 84.31 ppm y $7249.53 \pm$

85.14 ppm respectivamente, los cuales son valores considerablemente mayores a los obtenidos por Hock y Seok, quienes en su patente obtuvieron una concentración de 1045 ppm de tocoferoles y tocotrienoles al aplicar a ésteres metílicos de aceite de palma adsorción de fase inversa con sílica gel, 3315 ppm con alúmina como adsorbente y 423 ppm con Carbono 18 como adsorbente (Hock y Seok, 1988), aunque nuevamente no es comparable con los altos contenido de tocotrienoles y tocoferoles obtenidos mediante destilación molecular, que llegan a ser hasta de 374980 ppm luego de someter el destilado a cromatografía de columna (Lenfant y Thyron, 1996)

3.7 Destilación molecular

Se realizaron experiencias de destilación molecular de aceite de palma híbrido, después de una transesterificación, este es un proceso de alto vacío y de temperaturas alrededor de los 110 °C para poder realizar una evaporación. con los resultados obtenidos se puede confirmar que esta temperatura es adecuada para tener una cantidad considerable de destilado total. (M. Pramparo, 2005)

Esto se debe a que a una temperatura alta se produce una mejor transferencia de calor, ocasionando una evaporación más elevada de sustancias, por otro lado, a mayor temperatura, no solo se evapora más cantidad de los componentes volátiles, si no también se evaporan otras sustancias de alto punto de ebullición.

El aumento de la cantidad de ácidos grasos libres que se evaporan ocasiona un aumento en la concentración de tocoferoles y tocotrienoles en el residuo, lo cual es deseable para obtener un producto de mayor pureza total. (S. Prizzon, M.A. Martinello, 2005)

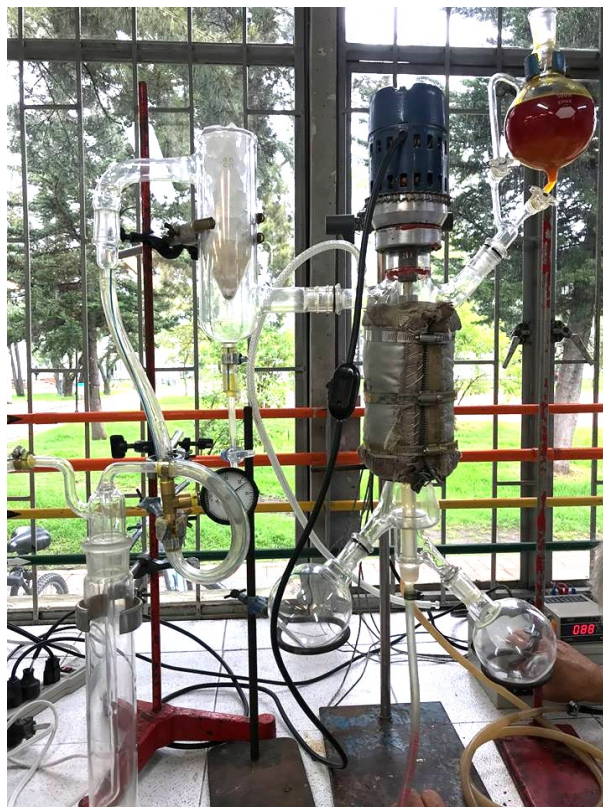


Figura N°4: Destilador molecular (Universidad Nacional de Colombia)

El rendimiento porcentual en el destilado (masa destilado/ masa de alimentación) es de 98.54% lo cual indica una alta concentración de vitaminas. Se observa en los resultados obtenidos tabla N°9 un aumento significativo en la concentración de tocoferoles, tocotrienoles y β - carotenos con respecto a cristalización esto se debe a que es un método más elaborado ya que al trabajar a vacío y con altas temperaturas se realiza una mayor destilación.

CONCENTRACION(ppm)		
TOCOFEROLES	α -Tocoferol	7151.58
	δ - Tocoferol	7038.77
	γ - Tocoferol	7139.28
TOCOTRIENOL	δ - Tocotrienol	7249.53
β - CAROTENOS	β - Carotenos	7540.58

Tabla N°9: Concentración de vitaminas por destilación molecular.

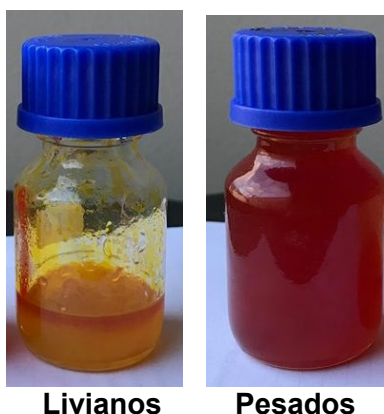


Figura N°5: Fracciones obtenidas en destilación molecular.

4. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una alta concentración de vitaminas por el método de destilación molecular (Universidad Nacional de Colombia) a partir de aceite de palma crudo híbrido.
- Se determinó el rendimiento porcentual en el destilado el cual dio un valor de 98.54% esto indica una alta concentración de vitaminas, evaluado con la metodología de destilación molecular con la diferencia de masas en el destilado y en la alimentación.
- El proceso de cristalización, resulta ser una opción a la hora de concentración de vitaminas, pero no en la magnitud deseada. Esto se concluye teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la cuantificación de vitaminas por espectrofotometría, para la muestra luego de ser sometida a cristalización a escala laboratorio.
- La destilación molecular, es efectivamente el método más eficiente para lograr mayores concentraciones de β -caroteno, tocoferoles, tocotrienoles en comparación con el fraccionamiento supercrítico con CO₂ o con el método de cristalización.

- El catalizador óptimo para este proceso es el KOH ya que presenta un alto rendimiento con respecto al proceso de transesterificación de aceite de palma crudo híbrido.
- Las condiciones a las que se realizó la transesterificación son las apropiadas ya que el porcentaje masa en este proceso da un valor de 95.40%, con una relación de 12:1 (etanol:aceite), temperatura de $60 \pm 4.5^{\circ}\text{C}$, tiempo reacción de 4 h y 400 rpm.

5. RECOMENDACIONES

- Ya que el tiempo de residencia es bajo se recomienda realizar una doble destilación molecular de la muestra y así poder tener una mejor separación y una mayor concentración de tocoferoles, tocotrienoles y β - carotenos
- La cristalización se debe hacer de una manera más elaborada con equipos diseñados para este proceso.
- Confirmar la concentración de β -caroteno, tocotrienoles y tocoferoles, mediante cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), para el aceite, los ésteres etílicos y las fracciones obtenidas en la destilación molecular.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero que todo a Dios, ya que gracias a él llegamos a este punto, a pesar de las dificultades que se nos presentaron a lo largo del camino, a nuestra directora Ligia Rodríguez, y nuestra co-directora Lizeth Ospina, porque nos acompañaron, guiaron y compartieron sus conocimientos para llevar a cabo este proyecto de tal manera que fuera una etapa más de aprendizaje para culminar nuestra carrera.

A nuestros padres y hermanos quienes a lo largo de la vida han sido un apoyo incondicional e indispensable, no solo económico, sino también emocional, intelectual, lleno de diversos valores, lo que nos ha ayudado a formarnos como personas, y como profesionales. A Camilo Herrera, quien ha sido parte importante en el desarrollo y evolución de la carrera, gracias a sus consejos, acompañamiento y motivación.

A la universidad Jorge Tadeo Lozano, por abrirnos sus puertas para culminar este proceso tan importante en nuestras vidas, por ayudar a nuestro desarrollo e inculcar conocimientos y valores indispensables para lograrlo, y porque gracias a sus maravillosas instalaciones y laboratorio, profundizamos conocimientos y se logró realizar la mayoría de ensayos y pruebas necesarias para la elaboración de esta tesis. Por último, al ingeniero Ignacio Rodríguez y su colaboración para hacer uso de las instalaciones y equipos de la Universidad Nacional, los cuales fueron indispensables para la finalización de este proyecto.

7. REFERENCIAS

Andreu-Sevilla, & Benefits, A. H. (2009). Using Red Palm Oil in Deep-frying Potatoes: Low Acrolein Emissions and High Intake of Carotenoids Food Science and Technology International. 15(1), 15-22.

Auer, H., & Hofmann, H. (1993). Pillared clays: characterization of acidity and catalytic Properties and comparison with some zeolites. 97(1), 23-38. From [http://dx.doi.org/10.1016/0926-860X\(93\)80064-W](http://dx.doi.org/10.1016/0926-860X(93)80064-W)

Bastidas, S. (2013). Híbrido OxG Corpoica Elmira de palma de aceite. Avances en el desarrollo de materiales genéticos resistentes a la PC. Palmas, 135-141.

B. Reina, R. Jiménez, M Pedraza (2014) Obtein of Biodiesel (ethyl-ester) by Basic Catalysis to Level Pilot Plant Oils Derived Food Industry.

Chiu, M. C., Coutinho, C. d., & Guaraldo, L. A. (2009). Concentration of palm oil using Membrane technology. Desalination. 783-786.

Choo Y, M., & Gaport M, T. (1990). Minor Components from Palm Methyl Esters.

Choo, Y. M. (1996). Carotenoids from palm oil. Revista Palmas, 17(1). From <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/534/534>

Coha, P., & Rojas, L. (2009). Obtención Y Caracterización De Biodiesel Por Medio De La Transesterificación En Medio Básico Del Aceite De Higuierilla Con Diferentes Alcoholes (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. PP. 11.

Cuellar, M. (2016). Experiencias en la producción y mercadeo del aceite de palma alto oleico. Palmas. 37(2): 322-330.

Davarnejad, R., Ahmad, Z., Sata, S., Keshavarz, M., & Ahmadloo, F. (2010). Mutual Solubility Study in Supercritical Fluid Extraction of Tocopherols from Crude Palm Oil Using CO2 Solvent. Int J Mol Sci. 11(10): 3649–3659

Etsuo, N. (2014). Role of vitamin E as a lipid-soluble peroxy radical scavenger: In vitro and In vivo evidence. Free Radical Biology and Medicine. 3-12.

FAO & WHO. (2001). Human vitamin and mineral requirements.

FAO. (2017). Anteproyecto De Revisión De La Norma Para Aceites Vegetales Especificados (Codex Stan 210-1999), Inclusión Del Aceite De Palma Con Alto Contenido De Ácido Oleico (OXG). Retrieved May 04, 2017, from: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-709-25%252FWD%252Ffo25_6s.pdf

Fedepalma. (2013). Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones. 22-31.

- Fedepalma. (Julio de 2016). Desempeño del sector palmero colombiano. From http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/18072016_Desempen%CC%83o_sector_2015_2016.pdf
- Freedman, B., Pryde, E., & Mounts, T. (1984). Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *AOCS*. 61 (10); 1638-1643.
- Fukuda, H., Konda, A., & Noda, Hideo. (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and bioengineefxng*. 92 (5) 405-416
- Gapor, A., & Top, M. (1995). Palm vitamin E: a value-added tocotrienols-rich fraction (TRF) from palm oil. *Palm Oil Dev Palm Oil Res Inst Malays*. 22: 7-17.
- Garnica, J. A., & Molano, L. M. (2007). Producción y purificación de biodiesel y glicerina, a partir de aceites vegetales y cinética de la reacción de transesterificación. From <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6325/2/124978.pdf>
- Gaviria, L. E., & Calderon, C. E. (s.f.). Manual de métodos analíticos para el control de calidad en la industria alimentaria. Universidad Nacional de Colombia.
- Goh, S., Choo, Y., & Ong, A. (1985). Minor Constituents of Palm Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 62, 237-240.
- Hoyos, V. M., & Hoyos, D. M. (2001). Efecto de campos eléctricos sobre la concentración de carotenos del aceite crudo de palma. From <http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/5103/129989.pdf?sequence=1>
- Icontec. (2011). Norma técnica colombiana 262: Grasas y aceites comestibles vegetales y animales. Aceite de palma.
- Lacouture, L. F. (2014). Palma de aceite: Compromiso con el progreso. 1-3.
- Leung, D., Wu, X., & M. K. H. Leung. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Appl. Energy*, 1083–1095.
- M. Parzanese (2017). Cristalización fraccionada: alternativa a las grasas trans pág. 72
- M. Olivera (2014). Aceites de oliva, semillas y de origen animal. pág. 56-57
- M. Mingo, O. Fernández, A. Toledano (2008) Estudio químico- analítico del aceite de semillas de naranja. pág. 15-16.
- Mozzon, M., Pacetti, D., Lucci, P., Balzano, M., & Giuseppe, N. (2013). Crude palm oil from Interspecific hybrid *Elaeis oleifera*. 245-252.
- N.Z. Logar, V. K. (2006). Nanoporous materials: from catalysis and hydrogen storage to Wastewater treatment. *Acta Chim. Slov*, 117-135.

Nacionales, D. d. (Octubre de 2012). Palma en desarrollo, en producción y su primer nivel de transformación. DANE. From https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/metodologia_agroindustria.pdf

Narang, D., Sood, S., Thomas, M. K., Dinda, A. K., & Maulik, S. K. (2004). Effect of dietary Palm olein oil on oxidative stress associated with ischemia reperfusion injury in isolated rat Heart. *BMC Pharmacology*, 4(29).

Ooi, C., CHOO, Y., YAP, S., & MA. A. (1998). Refining of red palm oil. *PALMAS*, 19(1).

P, G., & M, U. (2013). Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG-Coari x La Mé: Esperanza para el trópico. 105-152.

Romero, F. E. (2003). Cinética de la reacción de transesterificación del aceite de higuera en la obtención de biodiesel. Universidad Nacional De Colombia, Manizales. From

Sundram, K. S. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 355-362.

Uribe, G. (1 de Septiembre de 2011). Análisis teórico práctico del proceso de extracción de aceite crudo de palma en la planta de beneficio de palmas del César S.A., ubicado en el corregimiento de minas, sur del Cesar. From.

YAP, S., CHOO, Y., OOI, C., ONG, A., & GOH, S. (1991). Quantitative analysis of Carotenoids from different oil palm sources. 3, 309-378.

Zuleta, E. (2010). Situación y perspectivas del aceite de palma alto oleico OxG en Colombia. *PALMAS*, 31(2), 349-353.