



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

EXTRACCIÓN ARTESANAL DE ACEITE DE COCO

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: Martínez Vicente, Lorena

Tutor/a: Clemente Polo, Gabriela

Director/a Experimental: SINISTERRA SOLIS, NELSON KEVIN

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

## **TÍTULO: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE COCO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO**

### **RESUMEN**

El coco (*Cocos nucifera* L.), dado a su alto contenido en grasa, es una especie muy utilizada para producir aceites vegetales, además, es una fuente primaria de alimento. Colombia tiene una producción muy alta de cocoteros, por lo que el desarrollo de productos derivados del mismo puede representar un impulso económico para el país.

El objetivo de este trabajo es determinar los usos potenciales del aceite de coco extraído de forma artesanal. La finalidad es el aprovechamiento del potencial económico del coco, en la subregión de Sanquianga, Colombia.

Se extrajo el aceite de coco de manera manual y se realizaron una serie de determinaciones físico-químicas, estas fueron el índice de yodo, el índice de saponificación, la densidad, la diferencia de color, el índice de peróxidos y los coeficientes de extinción  $k_{270}$  y  $k_{232}$ . Se comparó el aceite extraído en el laboratorio, con otros aceites de marcas comerciales. Además, se establecieron unas condiciones de tiempo y temperatura de maduración del aceite, con el objetivo de analizar la cinética de oxidación del mismo.

El índice de yodo indicaba que el aceite de coco extraído tiene menor número de insaturaciones (dobles enlaces) que el aceite de girasol y el de oliva, mientras que no existían diferencias significativas entre el aceite extraído y los aceites que se encuentran en el mercado.

Se analizó también el índice de saponificación, mostrando que el aceite de coco posee ácidos grasos de cadena larga, además, también indica que el aceite de coco es un buen agente para la elaboración de jabón, debido a la cantidad de fracción saponificable que hay en sus ácidos grasos.

La cinética de los peróxidos y de los coeficientes de extinción específicos  $k_{232}$  y  $k_{270}$ , reflejaron la estabilidad del aceite a la temperatura, debido a su bajo contenido en compuestos de oxidación primaria y compuestos carbonilo, al ser sometido a altas temperaturas en un tiempo elevado.

Como conclusión, se dedujo que el aceite de coco debido a su alta estabilidad y sus diferentes funciones es un producto adecuado para potenciar el valor económico del coco.

**PALABRAS CLAVE:** aceite de coco, análisis físico-químico

**ALUMNA:** Lorena Martínez Vicente, **TUTORA:** Gabriela Clemente Polo,

**DIRECTOR EXPERIMENTAL :** Nelson Kevin Sinisterra Solís

CURSO ACADÉMICO 2021/2022. VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2022

**TITLE: COCONUT OIL EXTRACTION: PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS**

## **ABSTRACT**

Coconut (*Cocos nucifera* L.), given its high fat content, is one of the most used species to produce vegetable oils, and is also a primary source of food. Colombia has a very high production of coconut trees, so the development of products derived from it can represent an economic boost for the country.

The objective of this project is to determine the potential uses of coconut oil extracted in an artisanal way. The purpose is to take advantage of the economic potential of coconut, in the Sanquianga subregion, Colombia.

The coconut oil was extracted handcrafted, and a series of physicochemical determinations were made, these were the iodine value, the saponification value, the density, the color difference, the peroxide value and the extinction coefficients  $k_{270}$  and  $k_{232}$ . The oil extracted in the laboratory was compared with other commercial brand oils, in addition, time and temperature conditions for oil maturation were established, with the aim of analyzing the kinetics of oil oxidation, which leads to its deterioration.

The iodine value indicated that the extracted coconut oil has a lower number of unsaturations (double bonds) than sunflower and olive oil, while there were no significant differences between the extracted oil and the oils found on the market.

The saponification index was also analyzed, showing that coconut oil has long-chain fatty acids, in addition, it also indicates that coconut oil is a good agent for soap making, due to the amount of saponifiable fraction in its fatty acids.

The kinetics of the peroxides and of the specific extinction coefficients  $k_{232}$  and  $k_{270}$ , reflected the stability of the oil at temperature, due to its low content of primary oxidation compounds and carbonyl compounds when subjected to high temperatures in a long time

As a conclusion, it was deduced that coconut oil, due to its high stability and its different functions, is a suitable product to enhance the economic value of coconut.

**KEY WORDS:** coconut oil, physical-chemical analysis

**STUDENT:** Lorena Martínez Vicente, **TUTOR:** Gabriela Clemente Polo, **EXPERIMENTAL DIRECTOR:** Nelson Kevin Sinisterra Solís

ACADEMIC COURSE 2021/2022. VALENCIA, SEPTEMBER 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universitat Politècnica de València la financiación para desarrollar el TFG a través del proyecto “Evaluación de la sostenibilidad del establecimiento de una fábrica artesana de productos de coco en la subregión de Sanquianga (departamento de Nariño, Colombia)” dentro del Programa ADSIDEO - COOPERACIÓN 2020 (AD2011)

También quiero agradecer a Gabriela Clemente, así como a Empar Llorca y a Esperanza Dalmau, toda la ayuda que me han proporcionado a lo largo de la realización del trabajo y la aclaración de todas las dudas que he tenido. Y a los estudiantes de doctorado y personal del laboratorio del grupo ASPA, el apoyo técnico durante el proyecto.

Finalmente quiero agradecer a mi familia la confianza que han depositado en mí y el esfuerzo que ha supuesto para ellos, y a mis amigos, que son lo mejor que me llevo de Valencia.

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	EL COCO.....	1
1.2	Importancia de los aceites .....	3
1.3	Características de los aceites .....	4
1.4	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	6
2	OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....	7
2.1	OBJETIVOS.....	7
2.2	PLAN DE TRABAJO .....	7
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1	MATERIA PRIMA.....	8
3.2	Extracción del aceite de coco.....	9
3.3	Análisis fisicoquímicos.....	10
3.3.1	Índice de Yodo.....	10
3.3.2	Índice de saponificación.....	11
3.3.3	Determinación del color.....	11
3.3.4	Determinación de la densidad .....	12
3.3.5	Índice de peróxidos. ....	12
3.3.6	Absorción específica en la zona ultravioleta: índices $K_{232}$ y $K_{270}$ .....	13
3.3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	13
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4.1	Índice de yodo .....	13
4.2	Índice de saponificación.....	14
4.3	Color .....	15
4.4	Densidad.....	17
4.5	Índice de peróxidos .....	20
4.6	Coeficientes de extinción $K_{232}$ y $K_{270}$ .....	22
4.6.1	$K_{232}$ .....	22
4.6.2	$K_{270}$ .....	24
5	Conclusiones.....	26
6	BIBLIOGRAFÍA.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología del coco. Fuente: deCocOrgánico 2021.....	1
Figura 2 Reacciones del índice de yodo. Larrea Santos, V (2022).....	4
Figura 3 Reacción del índice de saponificación. Fuente: De los Ángeles Hernández, B.M (2017) 4	4
Figura 4 Espacio CIELab. Fuente:Sobre colores (2019) .....	5
Figura 5 Reacción de los peróxidos con IK. Fuente: Menacho, L (2013).....	5
Figura 6 Reacción de la valoración del índice de peróxidos con tiosulfato. Fuente: Menacho, L (2013) .....	6
Figura 7 Diagrama de flujo del plan de trabajo.....	8
Figura 8 Coco abierto y troceado .....	9
Figura 9 Coco triturado .....	9
Figura 10 Aceite de coco decantado .....	9
Figura 11 Aceite separado del agua de coco.....	9
Figura 12 Eliminación del agua excedente por evaporación .....	10
Figura 13 Aceite sin agua, listo para separar .....	10
Figura 14 Aceite madurado el día 1. Quedan reflejadas las temperaturas 80°C, 100°C y 120°C respectivamente .....	10
Figura 15 Índice de yodo .....	14
Figura 16 índice de saponificación .....	15
Figura 17 Análisis de la diferencia de color .....	16
Figura 18 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con aceites de coco de otras marcas de aceite de coco, con aceite de oliva y con aceite de girasol .....	18
Figura 19 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 1.....	18
Figura 20 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 2 .....	18
Figura 21 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 3 .....	18
Figura 22 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 4 .....	19
Figura 23 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 7 .....	19
Figura 24 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 8 .....	19
Figura 25 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 80°C.....	19
Figura 26 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 100°C.....	19
Figura 27 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 80°C.....	19
Figura 28 Evolución cinética del índice de peróxidos .....	20

Figura 29 Comparación del IP con el tiempo a 100°C.....	21
Figura 30 Comparación del IP con el tiempo a 120°C.....	21
Figura 31 Comparación del IP con la temperatura el día 2.....	21
Figura 32 Comparación del IP con la temperatura el día 4.....	21
Figura 33 Comparación del IP con la temperatura el día 8.....	22
Figura 34 Comparación de la k232 con la temperatura el día 4.....	22
Figura 35 Comparación de la k232 con la temperatura el día 8.....	22
Figura 36 Comparación de la k232 con el tiempo a 80°C.....	23
Figura 37 Comparación de la k232 con el tiempo a 100°C.....	23
Figura 38 Comparación de la k232 con el tiempo a 120°C.....	23
Figura 39 Comparación de la k270 con la temperatura el día 4.....	24
Figura 40 Comparación de la k270 con la temperatura el día 8.....	24
Figura 41 Comparación de la k270 con el tiempo a 80°C.....	24
Figura 42 Comparación de la k270 con el tiempo a 100°C.....	24
Figura 43 Comparación de la k270 con el tiempo a 120°C.....	25

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Valores nutricionales del coco.....	2
Tabla 2 Diferencia de color medida de los resultados obtenidos en las determinaciones ópticas del aceite extraído a tiempo 0 .....	16
Tabla 3: Diferencia de color respecto al tiempo. ....	16
Tabla 4: Diferencia de color respecto a la temperatura. ....	17



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 EL COCO

El coco (*Cocos nucifera* L.) pertenece a la familia *Areaceae* (Palmae), a la subfamilia *Cocoideae*. El fruto es una drupa de tres caras, de 20 a 30 cm de diámetro, que pesa alrededor de 1,5 kg (Ríos y Sánchez, 2002). Consta de una corteza fibrosa de color castaño y cáscara dura que reserva una semilla en su interior. La cavidad central de la drupa posee un líquido acuoso o lechoso denominada agua de coco, cuando el fruto madura, este líquido acumula grasas y se denomina leche de coco. La semilla del coco es hueca en su interior y está recubierta por una pulpa de color blanco, aceitosa y comestible (BOTANICAL-ONLINE, 2022). Está constituido por el exocarpio, que es la cáscara exterior gruesa; el mesocarpio, que es la fibra del coco; el endocarpio, que es la cáscara interior dura, vellosa y marrón que tiene adherida la pulpa (endosperma) y el endosperma, que es la pulpa blanca y aromática (DECOCORGÁNICO, 2022). El endosperma carnoso seco se utiliza para producir la copra, de la cual se extrae el aceite de coco. Los frutos requieren de 9 a 10 meses para madurar (Ríos y Sánchez, 2002).

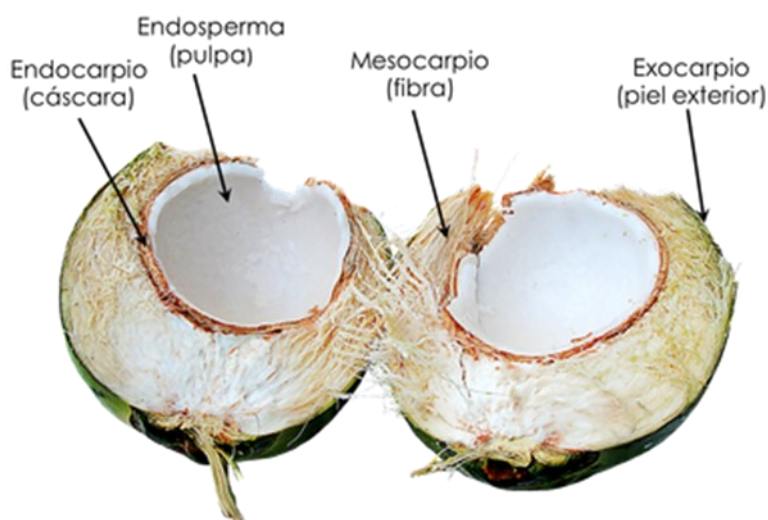


Figura 1 Morfología del coco. Fuente: deCocOrgánico 2021

En la tabla 1 se muestra la composición nutricional del coco que, como se puede observar, es un alimento con gran aporte energético y lipídico (González y González, 2015), siendo los ácidos grasos saturados los mayoritarios, es decir, los que no poseen dobles enlaces en su estructura, siendo el ácido láurico el predominante (Torrejón y Uauy, 2011). Existen reportes de las propiedades antivirales, antibacteriales y antiprotozoarias atribuidas al ácido láurico y su monoglicérido (la mono-laurina) (Mora, 2003). Una alta ingesta de las grasas saturadas se asocia con el aumento en los niveles de colesterol LDL en el cuerpo y a la ganancia de peso (Roe, 2022).

Dentro de los micronutrientes, se puede observar que el coco es rico en vitamina E, la cual actúa coordinada con otras moléculas y enzimas, para la defensa de las células frente a los efectos nocivos producidos por los radicales libres, considerándose un importante antioxidante que aporta sustanciales beneficios al organismo. Puede inducir apoptosis directa o indirectamente

en las células tumorales. En estudios recientes, se ha observado que la vitamina E, puede ayudar a retrasar el inicio de la diabetes mellitus tipo 2 e incluso, mejorar el control de azúcar en sangre (Sayago et al., 2007). Otro micronutriente importante es el ácido fólico, una vitamina que desempeña un papel importante en la síntesis y reparación del ADN. También es esencial para la conversión de homocisteína a metionina (Roe, 2022). El otro micronutriente mayoritario en el coco es el ácido ascórbico, el principal antioxidante no enzimático hidrosoluble presente en el plasma, pero los humanos no poseen la enzima que cataliza el paso final de su biosíntesis, y deben adquirirlo desde la dieta. Las principales funciones de la vitamina C son neutralizar los radicales libres, reducir el hierro, regenerar la vitamina E y actuar como cofactor de enzimas  $\alpha$ -cetoglutarato dioxigenasas (Villagrán et al., 2019).

Por otro lado, los oligoelementos más abundantes son el cloro y el potasio. El cloro tiene como función controlar la composición de los líquidos extracelulares. Y el potasio juega un importante papel en el mantenimiento del balance hidroelectrolítico y de la integridad celular, en la transmisión nerviosa y en la contracción celular (Azcona. 2013).

Tabla 1 Valores nutricionales del coco. Fuente: Interempresas Media, S.L. (2022).

Nota: Composición de peso fresco comestible por 100g. Valores en formato (min. - máx.)	
Energía: <b>363,30-669,00 kcal</b>	Proteínas: <b>3,5-6,00g</b>
Lípidos: <b>36,50-68.8 g</b>	Carbohidratos: <b>4,78-10,70 g</b>
Fibras: <b>9,00-9,00g</b>	
<u>Ácidos grasos</u>	<u>Vitaminas liposolubles</u>
Saturados: <b>59,3-5,3 g</b>	A Retinol: <b>0,00-0,00 µg</b>
Monoinsaturados: <b>3,9-3,9 g</b>	A Carotenoides: <b>0,00-0,00 µg</b>
Poliinsaturados: <b>1,6-1,6 g</b>	E o Tocoferol: <b>0,95-1,40 µg</b>
<u>Minerales</u>	<u>Vitaminas liposolubles</u>
Calcio: <b>3,70-23 mg</b>	B1 o Tiamina: <b>0,030-0,061 mg</b>
Cinc: <b>0,785-1,100 mg</b>	B2 o Riboflavina: <b>0,008-0,050 mg</b>
Cloro: <b>122,00-190,00 mg</b>	B3 o Niacina: <b>0,90-0,90 mg</b>
Fósforo: <b>76,70-170,00 mg</b>	B5 o Ácido Pantoténico: <b>0,20-0,50 mg</b>
Hierro: <b>1,58-3,70 mg</b>	B6 o Piridoxina: <b>0,060-0,060 mg</b>
Magnesio: <b>39,00-73,00 mg</b>	B9 o Ácido Fólico: <b>0,70-2,00 mg</b>
Manganeso: <b>1,31-1,80 mg</b>	C o Ácido Ascórbico: <b>0,70-2,00 mg</b>
Potasio: <b>315,00-650,00 mg</b>	
Selenio: <b>810,00-810,00 µg</b>	
Sodio: <b>25,9-35,00 mg</b>	
Yodo: <b>1,20-1,20 µg</b>	

Del coco fresco se pueden obtener diferentes subproductos, siendo su uso principal el consumo directo del agua como bebida refrescante y de la carne, que también puede ser utilizada como ingrediente para comidas, jugos y para la elaboración de helados. La leche de coco se utiliza para la cocina y como ingrediente en bebidas, helados, leche pasteurizada, yogurt, y para obtener la crema de coco. Tanto del coco fresco, como de la copra (la almendra seca extraída del coco maduro) se puede obtener aceite, utilizado para la cocina, para la industria de la cosmética (para la elaboración de jabones y cremas) y para el uso industrial. De la copra también puede obtenerse la torta de coco, que se utiliza para la alimentación de animales (Zambrano y Zambrano, 2018)

El coco también puede ser utilizado con fines médicos, por ejemplo, como electrolito, debido a que es muy rico en iones orgánicos como el potasio, el sodio, el calcio, el magnesio, el fósforo etc. La concentración de estos electrolitos en el agua de coco genera una presión osmótica similar a la sanguínea, y no tienen efecto en la coagulación del plasma. Se considera que la mayor parte del potasio en el agua de coco disminuye la presión sanguínea. La extracción etanólica del endocardio del *C. nucifera* se ha visto que es un vasoconstrictor con efecto antihipertensivo. También se ha visto, que el agua de coco puede ser utilizada como antídoto ante el envenenamiento de origen mineral (arsénico, mercurio y plomo). El agua de coco ayuda a la rápida absorción del medicamento y ayuda a que su concentración en sangre llegue al pico máximo más fácilmente debido a sus efectos electrolíticos. El agua de coco también contiene L-arginina, un aminoácido libre que le confiere al agua de coco un poder antioxidante, ya que es capaz de reducir significativamente los radicales libres. Además de las propiedades mencionadas, el coco tiene otras cualidades medicinales como la prevención de caries, es anticancerígeno, evitar la arteriosclerosis, es antivírico, antifúngico etc. (DebMandal y Mandal, 2011).

## 1.2 Importancia de los aceites y grasas

Las grasas y los aceites están presentes en todo momento en nuestra vida. Las utilizamos en nuestra alimentación, en nuestro aseo e higiene, en la conservación de nuestra salud, y en innumerables productos y objetos que utilizamos y/o consumimos diariamente. Actualmente, las grasas muestran un gran desarrollo tecnológico y nutricional, aunque su utilización en la alimentación y en usos domésticos comenzó hace muchos siglos. (Valenzuela y Morgado, 2005).

Las grasas y aceites pueden servir como fuente de energía a la mayoría de las células del organismo. Dependiendo de las necesidades energéticas pueden ser utilizadas de manera inmediata o almacenarse en el tejido adiposo en forma de triglicéridos, como fuente energética a largo plazo. También son una fuente importante de vitaminas liposolubles y de ácidos grasos esenciales, como son el linoleico (omega-6) y el  $\alpha$ -linolénico (omega-3) (Cabezas et al., 2016).

Las grasas y los aceites han sido utilizados para la elaboración de productos de panadería, bollería, confitería y coberturas, contribuyendo a la palatabilidad de los alimentos, mejorando su sabor, textura y apariencia y actuando como vehículos de elementos liposolubles que confieren sabor a los alimentos (Cabezas et al., 2016). También se utilizan en la industria, como recubrimientos protectores, formando películas sólidas, adhesivas, impermeable y resistentes a la abrasión. Se emplean también en mezclas de aceites minerales para mejorar las propiedades de los lubricantes. En las cremas, ungüentos y lociones, se utilizan grasas en forma de aceite (almendras, oliva, palma), mantecas hidrogenadas y otras, ya que son de fácil absorción para la piel. El aceite de Palma se emplea en la manufactura de hojalata y láminas de acero reducidas en frío (Bailey, 2020).

Desde un punto de vista industrial, las principales aplicaciones de grasas y aceites se centran en la fabricación de jabones y de polímeros para la preparación de pinturas y barnices, si bien están siendo desplazados por productos derivados del petróleo, que resultan más competitivos (Sanz, 2022).

Como se ha dicho anteriormente, el coco es una semilla con un alto contenido oleaginoso, el cual puede ser utilizado para freír en plancha o sartén y como aliño para ensaladas (Noli y Chamorro, 2019). También se puede utilizar el aceite de coco como producto de higiene personal en la elaboración de jabones exfoliantes (Povis et al., 2019) y desodorantes (Jácome, 2020).

El aceite de coco, en especial, se utiliza ampliamente como aceite de cocina a nivel doméstico, aunque no es adecuado para frituras industriales de temperaturas muy altas. Los aceites de palmiste y coco son la única fuente significativa de ácidos grasos de cadena corta. Una gran parte del aceite de coco va a la industria de los oleoquímicos (Berger y Ong, 1987). También se puede obtener biodiesel a partir del aceite de coco (Marquínez et al., 2020). Hay una gran cantidad de usos para el aceite de coco, por lo que su extracción tiene un importante interés económico.

### 1.3 Características de los aceites

Como se ha dicho anteriormente, las grasas pueden ser **saturadas o insaturadas**. Para conocer el grado de insaturación se recurre al índice de yodo (IY), para ello, la grasa disuelta se hace reaccionar con monobromuro de yodo (reactivo de Hanus) en exceso, ya que el yodo, por sí mismo no reacciona con los dobles enlaces. La reacción de adición se lleva a cabo en oscuridad, para evitar que se produzcan reacciones laterales de radicales inducidos por la luz, y con ello, un gasto aparente de halógeno mayor. La cantidad de monobromuro de yodo que no se adiciona a los dobles enlaces lleva a cabo una reacción de oxidación de una disolución de yoduro a una disolución de yodo. El yodo se determina por valoración con una disolución de tiosulfato sódico. (Larrea, 2022).

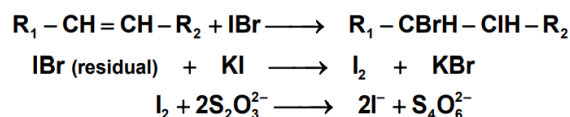


Figura 2 Reacciones del índice de yodo. Larrea Santos, V (2022)

El **poder de saponificación** se determina con el índice de saponificación (IS). Los jabones se obtienen por hidrólisis alcalina de las grasas y aceites, mediante la adición de sosa concentrada (o potasa), agitando y calentando con vapor. Este proceso, que da lugar a la hidrólisis de los grupos éster del triglicérido, recibe el nombre de saponificación. Como resultado, se obtiene una molécula de glicerina (líquido) y tres moléculas de ácidos carboxílicos (los ácidos grasos). A su vez, estos ácidos grasos reaccionan con la sosa, produciendo tres ésteres de sodio o jabones. La pasta resultante se trata con una disolución de cloruro de sodio (salado) para favorecer la precipitación (solidificación) del jabón. Este se separa por filtración de la disolución acuosa, que contiene la glicerina (la solubilidad del jabón disminuye en una disolución acuosa de cloruro de sodio) (Sanz, 2022).

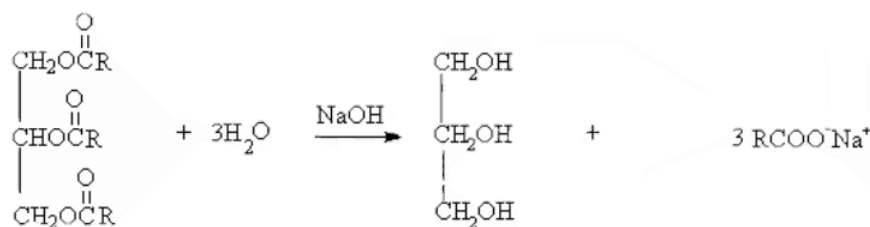


Figura 3 Reacción del índice de saponificación. Fuente: De los Ángeles Hernández, B.M (2017)

El color es un indicador visual del deterioro de los aceites a consecuencia de su oxidación. En 2003, José Ramón Morelló, María José Motilva, María Jesús Tovar y María Paz Romero concluyeron que el oscurecimiento del aceite durante el almacenamiento es consecuencia de la degradación de los compuestos fenólicos presentes en los aceites. Cabe mencionar que la

intensidad de color en los aceites artesanales está relacionada con el mayor contenido de compuestos fenólicos en los mismos (Alodio et al., 2019).

El espacio de color CIELAB, también referido como espacio CIEL\*a\*b\*, es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes usados para evaluar el color en el área de alimentos. Es un sistema cartesiano formado por 3 ejes, un eje vertical (L\*), que varía desde 0 para un negro hasta 100 para un blanco. Y dos ejes horizontales a\* y b\*. Si un color tiene rojo, a\* será positiva, mientras que, si un color tiene verde, será negativa. Valores positivos de b\* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b\* indican contenido de azul. (Talens, 2017).

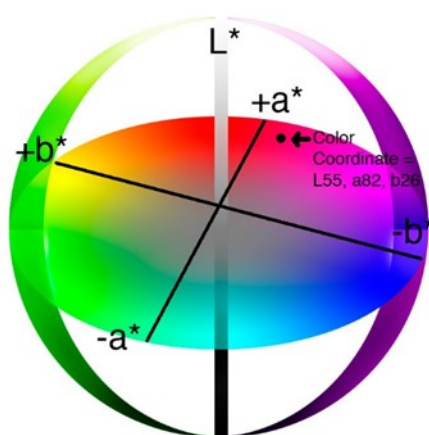


Figura 4 Espacio CIELab. Fuente: Sobre colores (2019)

La determinación de la **densidad** de los aceites ofrece información en relación con su identidad, pureza, fraude etc., estos datos son de mucha importancia durante el procesamiento, control de calidad y diseño de equipos destinados al procesamiento de aceites y grasas (Menacho, 2013).

También es importante la **estabilidad de los aceites** en cocina, es decir, que sean poco reactivos, por lo que es importante determinar el índice de peróxidos, ya que, durante el almacenamiento de los aceites y grasas, los enlaces insaturados absorben oxígeno y reaccionan analógicamente a los peróxido: los peróxidos reaccionan con el yoduro de potasio (IK) en una solución acida (Menacho, 2013):



Figura 5 Reacción de los peróxidos con IK. Fuente: Menacho, L (2013)

El iodo liberado se titula con tiosulfato de sodio. La reacción es relativamente lenta, pero se acelera al aumentar la concentración del ácido (Menacho, 2013).

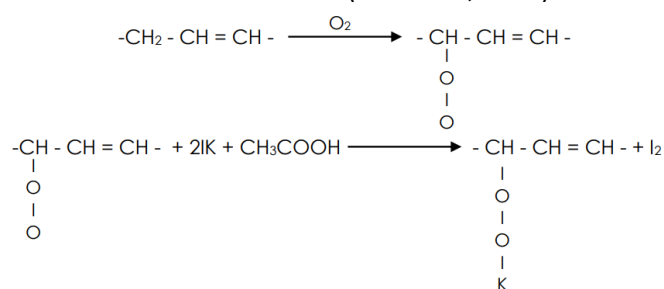


Figura 6 Reacción de la valoración del índice de peróxidos con tiosulfato. Fuente: Menacho, L (2013)

La calidad de un alimento comienza a alterarse cuando se producen compuestos volátiles secundarios, a los cuales pertenecen sustancias con gran intensidad aromática, que inclusive, a las pequeñas concentraciones en que normalmente se encuentran, modifican muy fuertemente el olor y el sabor. Entre los productos secundarios destacan los compuestos monocarbonilo volátiles, el hexanal, el aldehído malónico, los derivados del furano y los compuestos oxo, epóxido y trihidroxi (Larrea, 2022).

El  $K_{232}$  se utiliza para detectar la presencia de dienos conjugados (hidroperóxidos), permitiendo hacer una estimación de la oxidación inicial del aceite. El  $K_{270}$  se utiliza para detectar trienos conjugado (productos de oxidación secundaria) (Martínez, 2021). Este parámetro se basa en la absorción en el ultravioleta de los dobles enlaces conjugados y productos de oxidación primaria que van apareciendo en la estructura de la molécula, como consecuencia del calentamiento (Larrea, 2022).

#### 1.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada objetivo tiene metas específicas.

Este proyecto contribuye a los objetivos 8 y 12 de desarrollo sostenible establecidos por la ONU, dado que el fin del objetivo 8 es promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos. Se pretende llegar a él mediante el cumplimiento de una serie de metas, entre las que se encuentran: 8.1 Mantener el crecimiento económico per cápita de conformidad con las circunstancias nacionales y, en particular, un crecimiento del producto interno bruto de al menos el 7% anual en los países menos adelantados; 8.4 Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados. 8.a Aumentar el apoyo a la iniciativa de ayuda para el comercio en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, incluso mediante el Marco Integrado Mejorado para la Asistencia Técnica a los Países Menos Adelantados en Materia de Comercio (ONU, 2015).

El objetivo 12 de desarrollo sostenible se focaliza en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Siendo una de las metas la 12.2, con el que se pretende que de aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales (ONU, 2015).

El propósito del programa ADSIDEO es la evaluación de la sostenibilidad del establecimiento de una fábrica artesana de productos de coco en Sanquianga, una subregión de Nariño, que tiene una población muy ruralizada (más de la mitad de la población pertenece al sector rural), siendo uno de los principales cultivos el coco (Sanguiangá, 2012). Por tanto, la posible implantación de una fábrica artesana generaría puestos de trabajo de calidad, cuyo producto final generaría un consumo sostenible y responsable, ya que no sería necesario la exportación de los cocos, lo que conllevaría un menor impacto de la huella de carbono.

## 2 OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

### 2.1 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es determinar los usos potenciales del aceite de coco extraído de forma artesanal, ya que como se ha visto anteriormente, el coco puede ser utilizado tanto para cocina, como higiene y en la industria. La finalidad es el aprovechamiento del potencial económico del coco, en la subregión de Sanquianga, Colombia.

Para lograr el objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Extracción del aceite de coco.
- Determinar los parámetros físico-químicos del aceite extraído: el índice de yodo, índice de saponificación, la diferencia de color, la densidad, el índice de peróxidos y la absorción específica en la zona del ultravioleta 270 y 232.
- Determinar la evolución de la densidad, la diferencia de color, el índice de peróxidos y la absorción específica en la zona del ultravioleta 270 y 232a tres temperaturas 80°C, 100°C Y 120°C durante los días 1, 2, 3, 4, 7 y 8 de maduración.

### 2.2 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo que se llevó a cabo, con el fin de conseguir los objetivos propuestos se muestra en la figura 6. En primer lugar, se extrajo el aceite de coco y se establecieron las temperaturas y tiempos de maduración según la bibliografía consultada (Elodio et al., 2019) y (Larrea, 2022). Después se realizaron los análisis fisicoquímicos determinando el color, la densidad, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de saponificación y la absorción específica en la zona ultravioleta. Finalmente, el aceite extraído se comparó con aceites de coco comerciales, de girasol y de oliva.

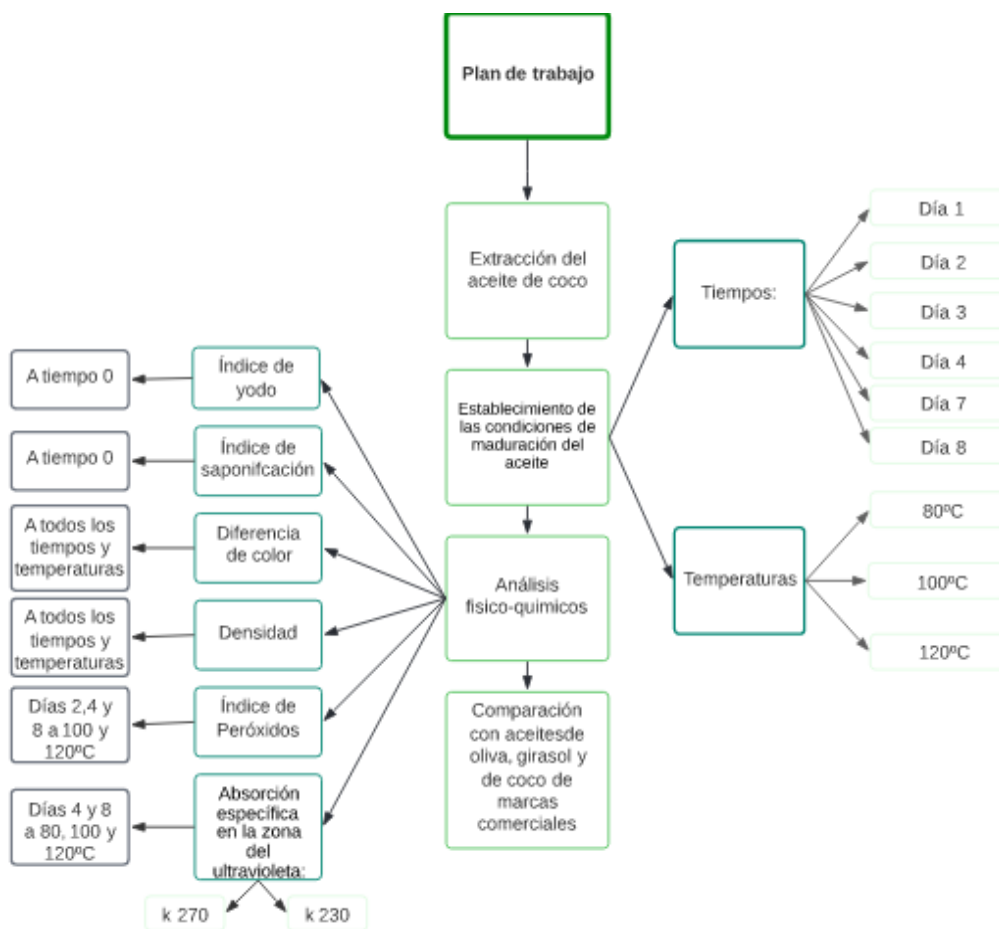


Figura 7 Diagrama de flujo del plan de trabajo

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIA PRIMA

La materia prima para la extracción del aceite, fueron los cocos (*Cocos nucifera* L.), que se obtuvieron en un comercio cercano a la Universitat Politècnica de València, provenientes de la Costa de Marfil. Los cocos iban en cajas, con una capacidad de unos 10 cocos por caja y una vez en la Universidad se almacenaron en una cámara frigorífica a 5°C y se mantuvieron en la misma hasta que fueron utilizados para extracción del aceite, con el fin de garantizar que estos se encontraran en el mejor estado posible.



### 3.2 Extracción del aceite de coco

Para la extracción del aceite de coco, primero se abrió uno de los ojos del coco con un sacacorchos, para que pudiera salir el agua de coco con facilidad. Se apartó el agua de coco para su posterior uso. A continuación, se procedió a extraer el endocarpio, para obtener la pulpa, con ayuda de un martillo. Se le golpeó suave y constantemente hasta que se quebró el tejido leñoso y se pudo abrir el coco. Seguidamente se troceó y trituro la pulpa, como se puede ver en las figuras 8 y 9, adicionando agua potable y el agua del coco tibia (40-50°C) para una mayor extracción del aceite. Tras la trituration se separó la pulpa de la leche exprimiendo la pulpa húmeda con ayuda de una gasa, ejerciendo suficiente presión. El líquido exprimido se depositó en botellas de plástico. Para una mayor extracción de aceite, a la pulpa se le volvió a añadir agua tibia para volver a tritararlo y exprimirlo, repitiendo el proceso hasta cinco veces.



Figura 8 Coco abierto y troceado



Figura 9 Coco triturado

Una vez se obtuvo el líquido extraído de la pulpa, se llevó a refrigeración durante 24 horas para decantar el aceite (un bloque blanco suspendido en el agua), que se separó del resto del líquido, esto se realizó efectuando una pequeña incisión para que el líquido salga suavemente, sin generar burbujas de aire que puede hacer que se vuelva a mezclar el aceite con el agua, o con una cuchara, como muestra las figuras 9 y 10.



Figura 10 Aceite de coco decantado



Figura 11 Aceite separado del agua de coco

El aceite se llevó a una olla y se le aplicó calor para evaporar el agua. Cuando dejó de evaporarse el agua se separó el aceite de los grumos que surgieron y se introdujo el aceite en tarros, como se puede ver en las figuras 11 y 12.



Figura 12 Eliminación del agua excedente por evaporación



Figura 13 Aceite sin agua, listo para separar

Una vez listo el aceite se preparó para sus análisis. Se depositó en diferentes tarros para la realización de un análisis cinético a diferentes tiempos y temperaturas y su posterior análisis físico-químicos.



Figura 14 Aceite madurado el día 1. Quedan reflejadas las temperaturas 80°C, 100°C y 120°C respectivamente

### 3.3 Análisis físicoquímicos

Se realizaron una serie de análisis físico-químicos para comprobar la calidad del aceite extraído, así como para compararlo con aceites de marcas comerciales y otros tipos de aceite, además de contrastarlo con otros estudios previos de aceite de coco.

A continuación, se explican los análisis.

#### 3.3.1 Índice de Yodo

Primero se pesó en un Erlenmeyer entre 0,2 y 0,3g de muestra, al que se le añadió 10mL de cloroformo para disolver la materia orgánica (Rodríguez, 2013) y 25mL de Hanus, un reactivo halogenado, que se añade en exceso para que reaccione con los dobles enlaces de los ácidos grasos (Sanz, 2008). Se agitó la disolución y posteriormente se envolvió en papel de aluminio para impedir el paso de la luz durante 20 minutos, después se añadió 20mL de disolución yoduro

potásico al 10% de pureza para que reaccionase con los dobles enlaces del ácido graso y 100mL de agua destilada, se agitó y se añadió 5 gotas de indicador de almidón. El indicador de almidón es un indicador ácido-base que tienen un intervalo de viraje de unas dos unidades de pH, en la que cambian la disolución en la que se encuentran de un color marrón a incoloro (Sosa, 2010). Finalmente se valoró con disolución de tiosulfato 0,1N para poder llevar a cabo la reacción ácido-base de la valoración. Se realizó paralelamente un ensayo en blanco para calibrar el análisis. La determinación del índice de yodo se calculó mediante la ecuación 1 (Rodríguez, 2013):

$$IY = V_B - V_M * N (\text{tiosulfato}) * 0.127 * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$V_B$ = Volumen de tiosulfato de sodio en mL gastado en la valoración del blanco.

$V_M$ = Volumen de tiosulfato de sodio en mL gastado en la valoración de la muestra.

$N$ = Normalidad de la disolución de tiosulfato 0,1N

$IY$ = Índice de yodo, expresado en gramos de yodo absorbido/100g muestra.

### 3.3.2 Índice de saponificación

Se comenzó pesando 1,5 g de muestra, al que se le añadió 20mL disolución de KOH para saponificar la grasa (Palomino, 2015). y se agitó en caliente durante 30 minutos para que se pudiese hacer el jabón, se dejó enfriar y se adicionó 2mL de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína, un indicador ácido-base que tienen un intervalo de viraje de unas dos unidades de pH, en la que cambian la disolución en la que se encuentran de un color rosa a incoloro (Sosa, 2010). Finalmente se valoró con ácido clorhídrico para poder llevar a cabo la reacción ácido-base hasta que la disolución virase a rosa. Al mismo tiempo se realizó un ensayo en blanco para calibrar el análisis. El índice de saponificación se calculó mediante la ecuación 2:

$$IS = \frac{56.1 \times N \times (V - V')}{m} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo:

$N$ = Normalidad de la disolución de ácido clorhídrico utilizada.

$V$ = Volumen utilizado en ml de disolución de ácido clorhídrico en el ensayo en blanco.

$V'$ =Volumen utilizado en ml de disolución de ácido clorhídrico en el ensayo de la muestra.

$IS$ = Índice de saponificación, expresado en n equivalentes de yodo/gramos de disolución

### 3.3.3 Determinación del color

Para la determinación del color se utilizó un colorímetro modelo CM-2500d, KONICA MINOLTA, Japan, y se hizo la medición con el aceite a temperatura ambiente, es decir, sólido. La calibración se realizó con un fondo de color negro y otro blanco. Posteriormente, se midió el color del aceite. El colorímetro da los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  del espacio CIELab y con los datos se calculó el tono y el color del aceite a tiempo 0 y se analizó la diferencia global de color ( $\Delta E$ ) entre los distintos aceites, que se calculó mediante la ecuación 3 a temperatura ambiente (Talens, 2017):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (L^*)^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$L^*$ = Representa la medida de luminosidad de un color.

$a^*$ = Representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color.

$b^*$ = Representa una medida del contenido de amarillo o de azul de un color.

El color de un alimento debe describirse en base a los 3 atributos de color: luminosidad, tonalidad y pureza de color. Se calculó la tonalidad y la pureza para el tiempo 0. La luminosidad es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie emite más o menos luz; el tono es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores percibidos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y púrpura; y la pureza es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece mostrar más o menos tonalidad, o lo que es lo mismo, contenido de color de una superficie evaluado en proporción a su luminosidad. (Talens, 2017):

$$Tonalidad = h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Pureza = C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$h^*$  es el ángulo que mide la tonalidad, indicando la orientación relativa del color respecto al origen  $0^\circ$ . Si el círculo  $a^*b^*$  entero se divide en  $360^\circ$  grados, como toda circunferencia y se define el origen  $0^\circ$  en la posición  $a^*$  positiva y  $b^*=0$ , es decir, donde se situaría un color estrictamente rojo, podemos desplazarnos en sentido contrario a las agujas de un reloj de tal forma que un color estrictamente amarillo se encontraría en el ángulo  $90^\circ$ , un verde estricto en  $180^\circ$  y un azul estricto en  $270^\circ$ . Así, la especificación del tono a partir de la ecuación 3 requiere la correspondiente corrección del cuadrante con las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 Talens Oliag, P. (2017):

$$\alpha_1 = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{b^*}{a^*} + 180^\circ \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\alpha_3 = \arctan \frac{b^*}{a^*} + 180^\circ \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\alpha_4 = \arctan \frac{b^*}{a^*} + 360^\circ \quad (\text{Ecuación 9})$$

### 3.3.4 Determinación de la densidad

Para su determinación, se utilizó un picnómetro. Se midió el peso del picnómetro vacío, el peso del picnómetro con aceite y el peso del picnómetro con el líquido de referencia, líquido del cual se conoce su densidad, que en este caso fue agua, utilizado para saber cuál es el volumen del picnómetro. Finalmente se calcula la densidad real directamente, que se hace mediante la ecuación 6 expresada en g/mL Talens Oliag, P. (2020):

$$\rho_{aceite} = \frac{m_{p+a} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_{lr} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$m_p$ = masa del picnómetro en g

$m_{p+a}$ = masa del picnómetro con aceite en g

$m_{p+w}$ = masa del picnómetro con agua en g

$\rho_{lr}$ = densidad del líquido de referencia, que en este caso es el agua en g/mL

### 3.3.5 Índice de peróxidos.

Para determinar el índice de peróxidos se cogió un Erlenmeyer de 250mL y se adicionó 2g de muestra, a lo que se añadió 100mL de  $CHCl_3$  (cloroformo), para disolver la muestra, que se debe hacer rápidamente con agitación. Una vez disuelta la grasa se agregó 15mL de ácido acético

glacial (solventes no acuosos) (Romero et al., 2014) y 1ml de disolución acuosa saturada de ioduro potásico (IK) para que reaccionase con los peróxidos (Menacho, 2013), se cerró el matraz y se mantuvo en agitación durante un minuto imprimiéndole un suave movimiento de agitación. El matraz se conservó posteriormente durante 5 minutos en oscuridad. Seguidamente se añadió 75mL de agua destilada y se valoró con tiosulfato sódico 0,002N, compuesto que permitió llevar a cabo la reacción ácido-base agitando vigorosamente utilizando solución de almidón como indicador. Se realizó paralelamente un ensayo en blanco para calibrar el análisis. El cálculo del índice de peróxidos se realizó mediante la ecuación 7, y se expresó como miliequivalentes de oxígeno activo por kg de grasa mediante la ecuación 7:

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{VxNx1000}{M} \quad (\text{Ecuación 11})$$

V = Volumen de tiosulfato consumido en la valoración en mL.

N= Normalidad de la disolución de tiosulfato.

M= Masa de la muestra de aceite en g.

### 3.3.6 Absorción específica en la zona ultravioleta: índices $K_{232}$ y $K_{270}$

Primero se pesó exactamente 0,02g de aceite en el matraz y se disolvió en ciclohexano, completándose con agua destilada hasta el enrase y se midió la absorbancia a 232nm y 270nm en un espectrofotómetro. Se realizó también un patrón comparación, siendo este de ciclohexano, el cálculo de los coeficientes específicos  $K_{232}$  y  $K_{270}$  se realizó mediante la ecuación 8 (Larrea, 2022):

$$K\lambda = \frac{A\lambda}{p} \times 100 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Siendo:

$A\lambda$ = Absorbancia leída en espectrofotómetro a 232 o 270 nm.

P= Peso de la muestra en mg.

### 3.3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Para el análisis estadístico de los resultados se empleó StatGraphics Centurión XVIII.

Para ello, se realizó un análisis de la varianza con un ANOVA simple.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Índice de yodo

El índice de yodo (IY) es una medida de la insaturación (número de dobles enlaces que posee el ácido graso) en aceites y grasas. Cuanto mayor es el grado de insaturación, mayor es el IY (dos Santos et al., 2020).

Los ácidos grasos saturados tienen un punto de fusión elevado, es decir, son sólidos a temperatura ambiente y poco reactivos, lo que les confiere una mayor estabilidad (Larrea, 2022). Así no sufren reacciones propias de los ácidos grasos insaturados, como la adición de hidrógeno (que cambia el comportamiento a la fusión), de oxígeno (oxidación) o de yodo, (Sanz, 2008).

Los resultados obtenidos en las determinaciones del IY realizadas en el aceite de coco extraído y en los aceites comerciales, así como en el aceite de oliva y de girasol se encuentran reflejados en la figura 15.

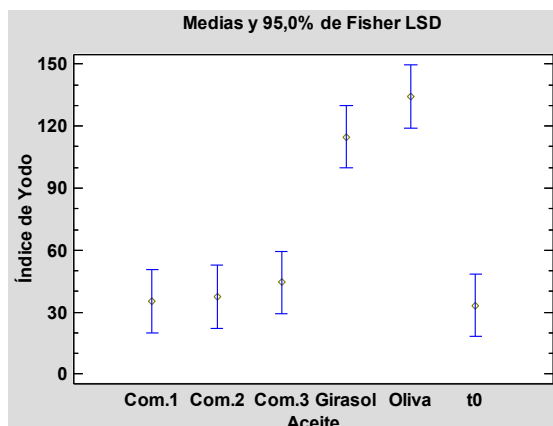


Figura 15 Índice de yodo

Com.1= Aceite de coco hacendado

Com.2= Aceite de coco Masia

Com. 3= Aceite de coco Gutbio

t0= aceite recién extraído en el laboratorio

Tras la obtención de los resultados se pudo comprobar que existían diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los IY de los aceites de oliva y de girasol con los aceites de coco. Esto se debe a que el aceite de coco tiene menor número de insaturaciones (dobles enlaces) que el aceite de girasol y el de oliva. Esto es debido a que el ácido graso presente en el aceite de coco es el láurico (o ácido dodecanoico), un ácido saturado de cadena de doce átomos de carbono, mientras que el ácido graso mayoritario del aceite de oliva y girasol es el oleico, un ácido graso monoinsaturado de la serie omega9 (Larrea,2022) lo que lo hace menos reactivo y, por tanto, es un aceite con menor tendencia al enranciamiento.

Comparando los resultados con los de otros estudios, el índice de yodo del aceite de oliva da valores de 85, el de girasol 185 (Larrea,2022) y el de coco 29,87 (Camacho et al., 2005)

## 4.2 Índice de saponificación

El índice de saponificación (IS) ofrece una medida del peso molecular promedio de los triglicéridos que constituye la grasa. Las grasas que contienen ácidos grasos de cadena corta consumen más KOH en su saponificación, mostrando IS más grandes, y las que poseen ácidos grasos de cadena larga consumen menos álcali exhibiendo valores pequeños de IS (Chatterjea y Shinde, 2012).

Los resultados obtenidos en las determinaciones del IS realizadas en el aceite de coco extraído y en los comerciales, así como en el aceite de oliva y de girasol se encuentran reflejados en la figura 16.

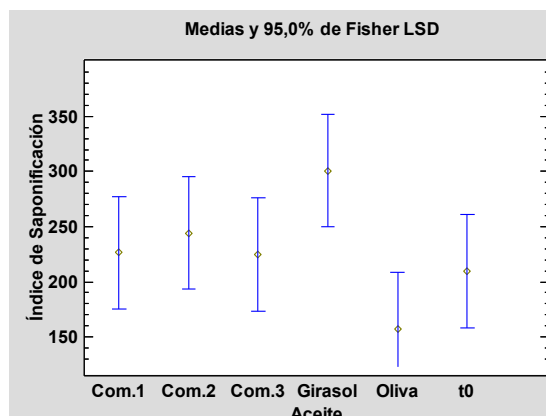


Figura 1610 Índice de saponificación

Com.1= Aceite de coco hacendado

Com.2= Aceite de coco Masia

Com. 3= Aceite de coco Gutbio

t0= aceite recién extraído en el laboratorio

En vista de los datos, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre los aceites de girasol y oliva, viéndose así, que el aceite de oliva tiene ácidos grasos de cadena más larga que la de girasol, siendo este el aceite que tiene ácidos grasos de cadena más corta. Comparando los aceites de coco, se puede observar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre estos ni con los aceites de oliva y girasol.

Para la elaboración de un jabón de tocador el IS debe ser de alrededor de 216. (Tovagliari, 2000), por lo que se puede decir que, de los aceite analizados, el óptimo para la realización de jabón es el aceite de coco, pero los aceites de girasol y el de oliva también son aptos. Según otros estudios, el aceite de coco da unos valores de índice de saponificación de 222,296 y 247,32 (Valderrama et al.,2020). 247,2 250,7 255,0 248,6 254,5 (Londoño, 2018).

### 4.3 Color

Tras obtener los valores medios de coordenadas CIEL\*a\*b\*, se observó que el aceite de coco recién extraído tenía una pureza de  $1,028 \pm 0,040$ , un tono de  $179,583 \pm 0,010$  y una luminosidad de  $72,52 \pm 0,374$ . Esto indica que es un color muy blanco, con tonalidades amarillas ligeramente verdosas, con muy poca pureza de color.

En la tabla 2 se muestran las medidas de las diferencias de color entre el aceite de coco recién extraído y de los aceites de coco comerciales.

Se calculó la diferencia de color ( $\Delta E$ ) de todos los aceite madurados aceite del día 0, reflejado en la tabla 3. También se calculó la diferencia de color entre los distintos tiempos de maduración con el día anterior, es decir la  $\Delta E$  del día 1 a 80°C, 100°C y 120°C con el día 0, la del día 2 a 80°C, a 100°C y a 120°C con el día 1 a 80°C, a 100°C y a 120°C respectivamente, etc.

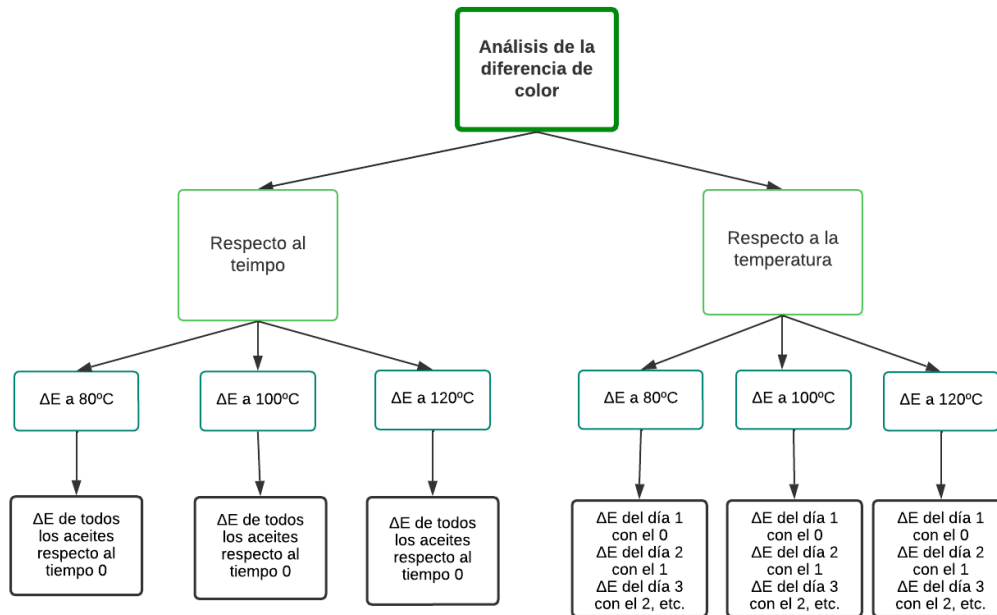


Figura 17 11Análisis de la diferencia de color

Tabla 2 Diferencia de color de los aceites comerciales con el aceite extraído en el laboratorio a tiempo 0

Com.1	2,476 ± 0,418
Com.2	1,433 ± 0,413
Com.3	1,798 ± 0,270

Com.1 = Aceite de coco Hacendado Com.2 =Aceite de coco Masia Com.3= Aceite de coco extraído en el laboratorio

Tabla 3: Diferencia de color respecto al tiempo.

Temperatura \ Día	80°C	100°C	120°C
1	3,298 ± 2,224	6,327± 0,550	6,908 ± 0,091
2	0,967 ± 0,569	4,799 ± 0,536	9,304 ± 0,193
3	1,203 ± 0,295	6,857± 0,459	4,922 ± 0,118
4	0,510 ± 0,309	6,516 ± 0,178	7,014 ± 0,075
7	1,015 ± 0,411	6,077 ± 0,797	4,685 ± 0,328
8	1,380 ± 0,170	9,428 ± 0,283	6,592 ± 0,280



Tabla 4: Diferencia de color respecto a la temperatura.

Temperatura Día	80°C	100°C	120°C
1	3,298 ± 2,224	6,327± 0,550	6,908 ± 0,091
2	3,815 ± 2,754	2,220 ± 0,866	3,410 ± 0,725
3	1,982 ± 0,731	4,010± 1,660	5,753 ± 0,393
4	1,318 ± 0,931	8,060 ± 1,223	2,520 ± 0,309
7	1,220 ± 0,664	3,055 ± 3,613	5,087 ± 0,520
8	1,436 ± 1,073	6,145 ± 0,943	3,902 ± 2,073

Un valor de  $\Delta E$  por encima de  $\pm 3$  indica una pequeña diferencia de color, a partir de  $\pm 5$ , la diferencia de color es perceptible por el ojo humano con claridad Redondo García, N (2021). Como puede observarse en la tabla 2, no existe diferencia de color apreciable entre el aceite obtenido en el laboratorio y los aceites disponibles en el mercado.

Leyendo de arriba hacia abajo la tabla 3, se puede observar que, a lo largo del tiempo, el aceite no tiene diferencias de color apreciables por el ojo humano, mientras que en las temperaturas 100°C y 120°C, las diferencias de color son apreciables por el ojo humano desde el día 1 de maduración.

Nuevamente, leyendo de arriba hacia abajo en la tabla 4, a 80°C apenas hay diferencia de color entre el aceite con el día anterior de maduración, mientras que a 100°C y 120°C si se encuentran diferencias de color apreciables por el ojo humano.

La temperatura es un factor clave en el deterioro del color del aceite y, como hemos visto en las tablas 3 y 4, a la temperatura más baja, siendo 80°C, no hay cambios apreciables en el color, mientras que a 100°C y a 120°C, las diferencias son más acusadas, debido a las altas temperaturas. También se puede observar, que a las temperaturas de 100°C y 120°C, las diferencias del aceite respecto del día anterior son apreciables. Con todo esto se deduce que, a mayor temperatura y mayor tiempo de exposición del aceite a temperaturas altas, el color del aceite experimentará mayor deterioro.

#### 4.4 Densidad

La densidad, o densidad absoluta, es una magnitud intensiva que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia líquida o un objeto sólido (Talens, 2020). Es una propiedad característica, significa que es específica de cada materia y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella, lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades. (Illa, 2019).

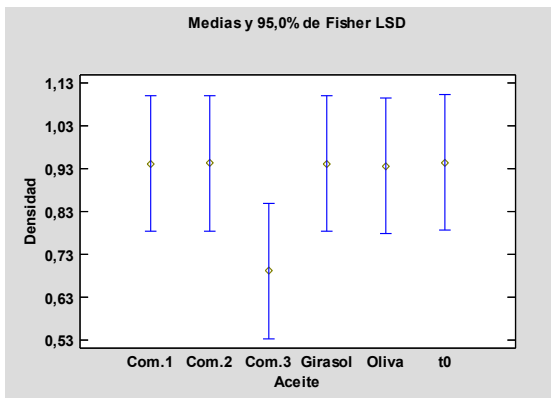


Figura 18 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con aceites de coco de otras marcas de aceite de coco, con aceite de oliva y con aceite de girasol

Com.1= Aceite de coco hacendado

Com.2= Aceite de coco Masia

Com. 3= Aceite de coco Gutbio

t0= aceite recién extraído en el laboratorio

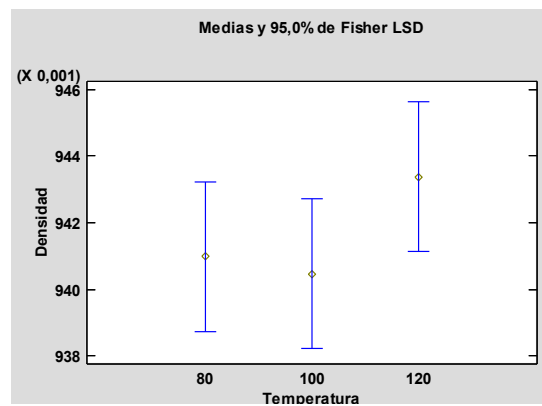


Figura 19 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 1

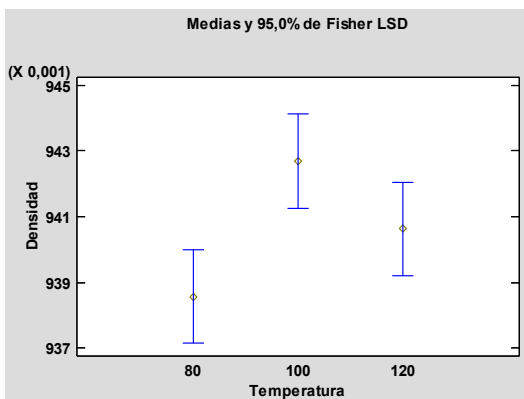


Figura 20 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 2

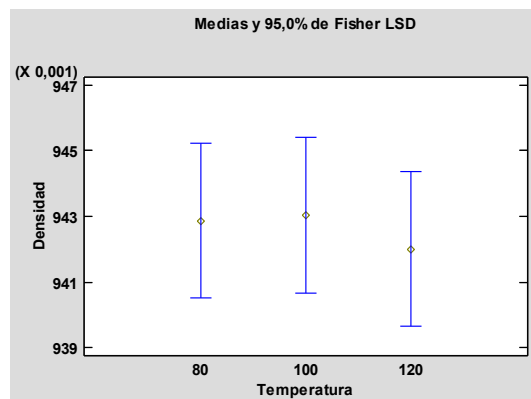


Figura 21 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 3

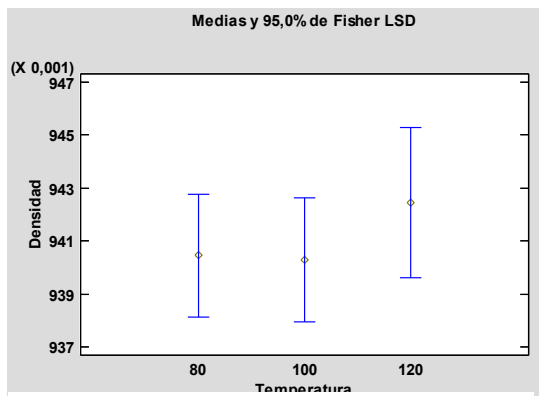


Figura 22 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 4

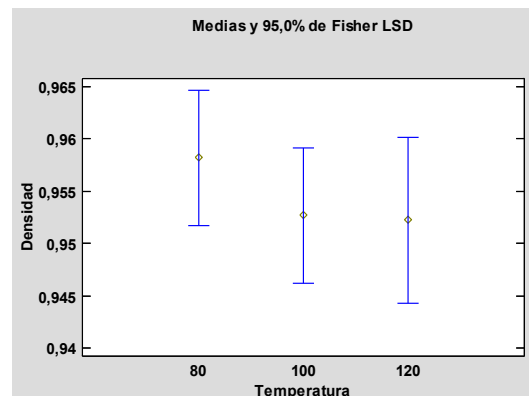


Figura 23 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 7

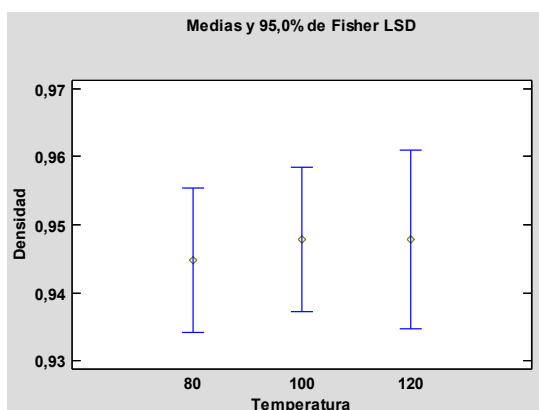


Figura 24 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con la temperatura el día 8

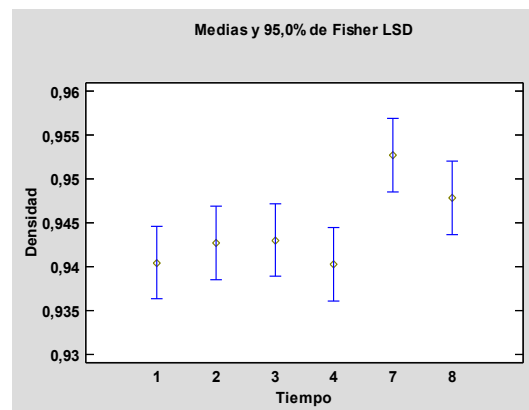


Figura 25 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 80°C

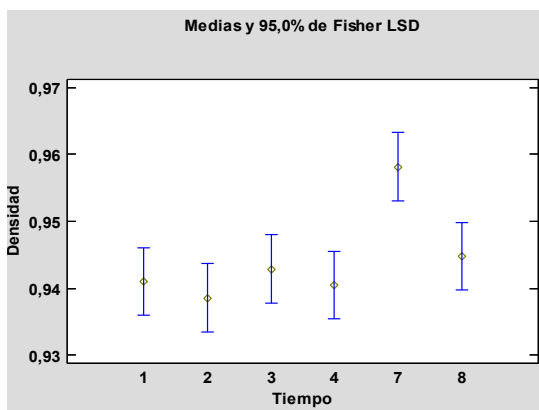


Figura 26 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 100°C

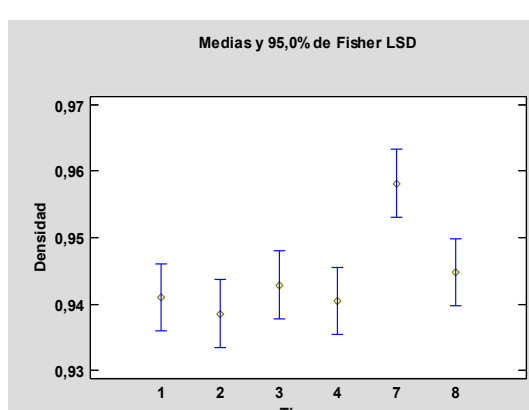


Figura 27 Comparación de la densidad del aceite de coco extraído con el tiempo a 80°C

Viendo las figuras 24, 25 y 26, se observa que la densidad a tiempo 7 incrementa, lo que puede ser debido un error experimental, como puede ser un mal pesaje del picnómetro con el aceite. En los demás valores no se observan diferencias estadísticamente significativas.

Como se puede observar en las figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las tres temperaturas de maduración. Comparando los resultados con los de otros estudios: 0,942; 0,959; 0,950; 0,987 y 0,958 (g/mL) (Londoño, 2018) se aprecia que los valores de la densidad del aceite de coco son similares.

## 4.5 Índice de peróxidos

El índice de peróxido (IP) es un método estándar para medir la concentración de peróxidos e hidroperóxidos formados en la etapa inicial de la oxidación de los lípidos y es utilizado como un indicador de la estabilidad oxidativa de los aceites (Alodio et al., 2019). Los productos de oxidación de los lípidos modifican las características organolépticas de los alimentos, dan lugar a alteración de las propiedades funcionales debido a la desnaturalización proteica y provocan un descenso en el valor nutritivo de los alimentos. Además, los derivados de los hidroperóxidos son tóxicos y los peróxidos pueden facilitar la aparición de tumores y de aterosclerosis. Las grasas oxidadas también aumentan el trabajo hepático, ya que entre las funciones del hígado se encuentra el metabolismo de las grasas, y la de detoxificación de elementos nocivos de la sangre (Escriche, 2022).

Teóricamente, el aceite de coco debe mostrar una velocidad lenta de oxidación debido a su elevado contenido de ácidos grasos saturados. De acuerdo con el Codex Alimentarius (2003), el valor máximo de IP para aceites vírgenes es de  $15 \text{ meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$  aceite. Los aceites con valores de IP mayores a los señalados por el Codex Alimentarius (2003) son inestables y se enrancian con facilidad (Alodio et al., 2019).

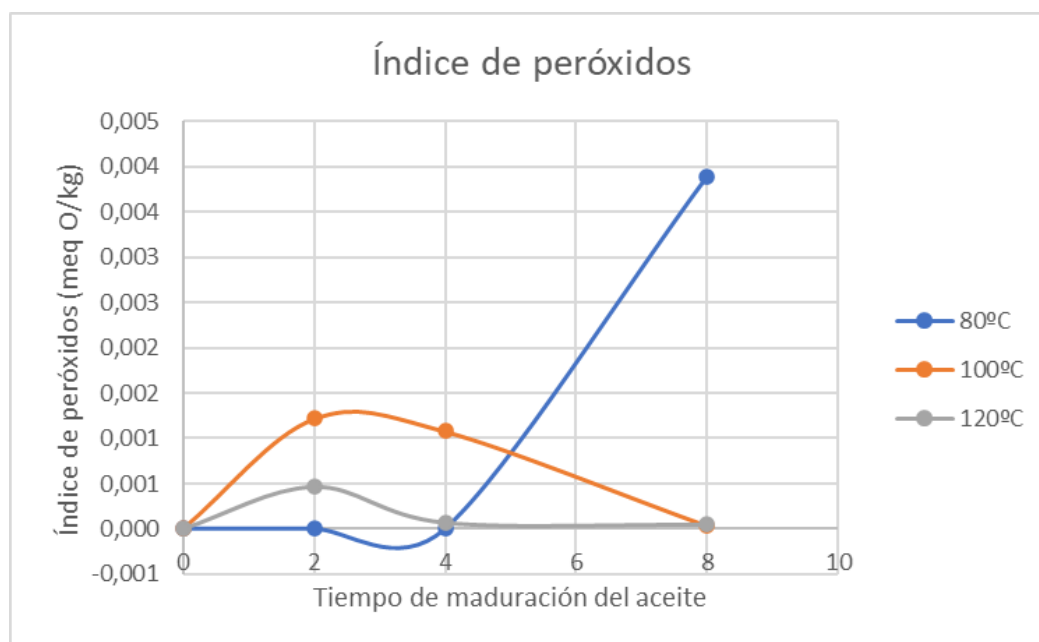


Figura 28 Evolución cinética del índice de peróxidos

Como se puede observar en la figura 27, el crecimiento del índice de peróxidos de la maduración muestra una velocidad lenta de oxidación, como se supone que pasa en los aceites de coco, pero, sin embargo, en la maduración a  $80^\circ\text{C}$  se puede apreciar una rápida velocidad de oxidación, aunque aparece más tarde que en los demás aceites, comenzando a aparecer tras el día 4. Además, también se puede apreciar en las temperaturas  $100^\circ\text{C}$  y  $120^\circ\text{C}$  una disminución del índice de peróxidos. Este fenómeno refleja la conversión de los hidroperóxidos a otros compuestos más reactivos como aldehídos, cetonas y lactonas, productos de oxidación secundaria. (Alodio et al., 2019).

En los datos también se puede observar que el IP es muy inferior a  $15 \text{ meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$ , por lo que se puede decir que el aceite elaborado es bastante estable y es complicado que sufra enranciamiento, por lo que este aceite puede ser apto para el cocinado. Además, los derivados

de los hidroperóxidos son tóxicos, ya que afectan a las membranas celulares y al transporte de sustancias a través de ellas.

Al examinar los IP comparados respecto a la temperatura en las figuras 27 y 28, se puede ver que a 100°C no hay diferencias estadísticamente significativas los días 2 y 4, mientras que a 120°C no hay diferencia significativa los días 4 y 8. Por otro lado, examinando los IP comparados respecto al tiempo, figuras 29, 30 y 31, los IP a 80°C no aparecen hasta el día 8, además, los IP a 100°C y 120°C no tienen diferencias significativas. Esto se debe a que uno de los factores que influyen en la oxidación de lípidos es la temperatura (Escriche, 2022). De modo que se puede decir que, una de las consecuencias de la detección de IP el día 8 puede ser el mayor tiempo de exposición del aceite a esa temperatura, mientras que los días 2 y 4 solo se detecta a temperaturas 100°C y 120°C, debido a que son más altas y, en consecuencia, aparece antes los productos de oxidación.

Según otros estudios, los índices de peróxidos obtenidos al analizar el aceite de coco son de valores de 4,643, 8,614 y 7,951 (meq O<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>) (dos Santos et al., 2020) y rangos de 1,98 a 398; 2,00 a 11,95 y 1,99 a 8,00 (meq O<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>) (Alodio et al., 2019).

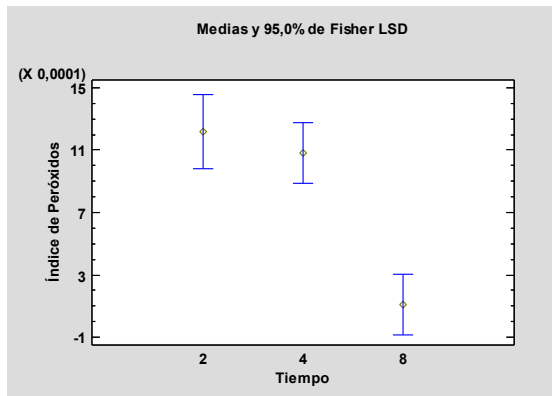


Figura 15 Comparación del IP con el tiempo a 100°C

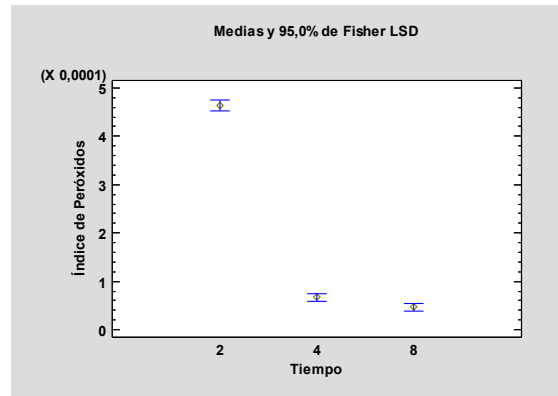


Figura 13 Comparación del IP con el tiempo a 120°C

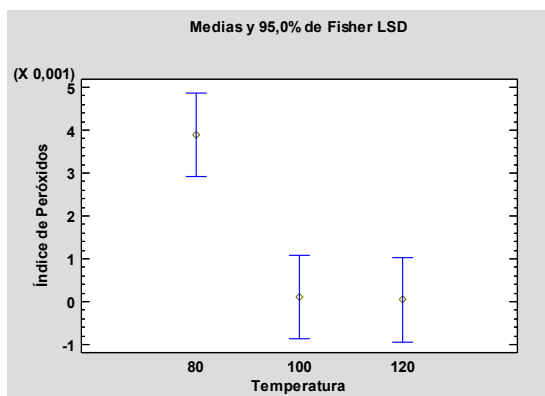


Figura 16 Comparación del IP con la temperatura el día 2

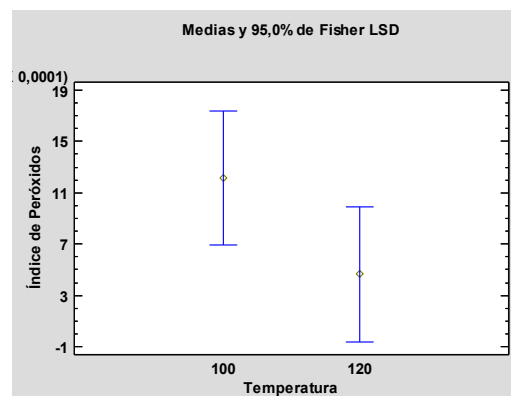


Figura 3214 Comparación del IP con la temperatura el día 4

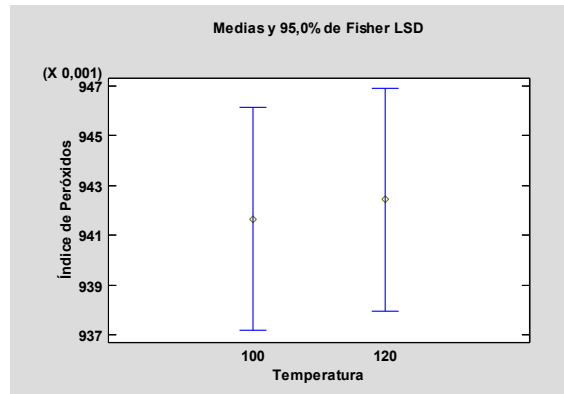


Figura 33 Comparación del IP con la temperatura el día 8

#### 4.6 Coeficientes de extinción $K_{232}$ y $K_{270}$

Este parámetro se basa en la absorción en el ultravioleta de los dobles enlaces conjugados y productos de oxidación primaria, que van apareciendo en la estructura de la molécula como consecuencia del calentamiento (Larrea, 2022). Los coeficientes de extinción  $K_{232}$  y  $K_{270}$  son un indicador de la presencia de dienos conjugados y compuestos carbonilos, respectivamente.

Los valores del IP y de  $K_{232}$  representan la presencia de **compuestos de oxidación primaria**. Los dienos conjugados se forman a partir de los hidroperóxidos derivados de los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite.

Por otro lado, el valor de  $K_{270}$  representa los compuestos de oxidación secundaria, formados a partir de los hidroperóxidos antes mencionados. Debido a que la degradación de los compuestos de oxidación primarios produce compuestos de oxidación secundaria, se espera una relación inversa entre estos dos tipos de compuestos (Elodio-et al., 2019).

##### 4.6.1 $K_{232}$

En la figura 33 se muestra la evolución de la  $k_{232}$  respecto a la temperatura el día 4, y en la figura 34 respecto al día 8.

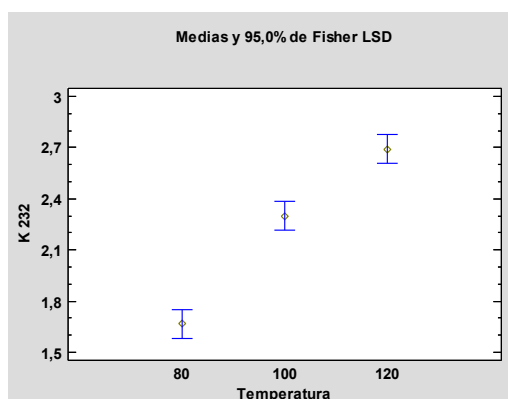


Figura 18 Comparación de la  $k_{232}$  con la temperatura el día 4

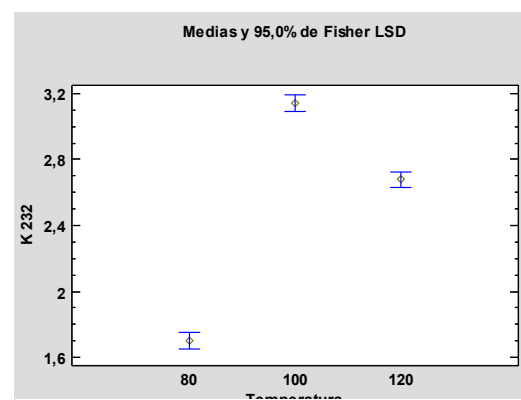


Figura 175 Comparación de la  $k_{232}$  con la temperatura el día 8

En la figura 35 se muestra la evolución de la k232 con el tiempo a 80°C, en la figura 36 a 100°C y en la 37 a 120°C.

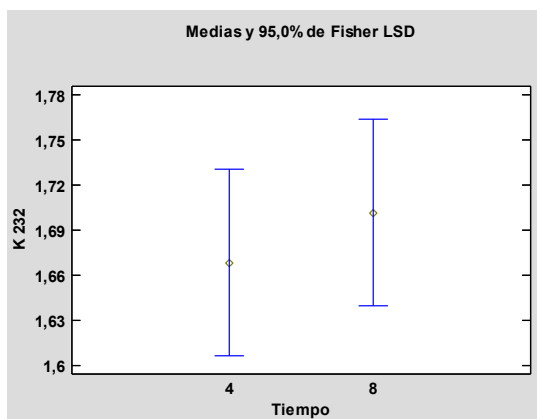


Figura 20 Comparación de la k232 con el tiempo a 80°C

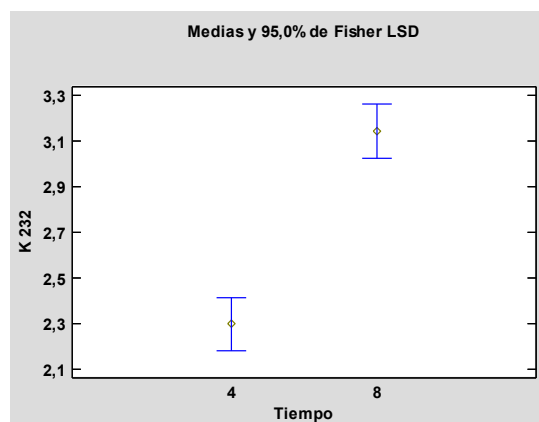


Figura 3719 Comparación de la k 232 con el tiempo a 100°C

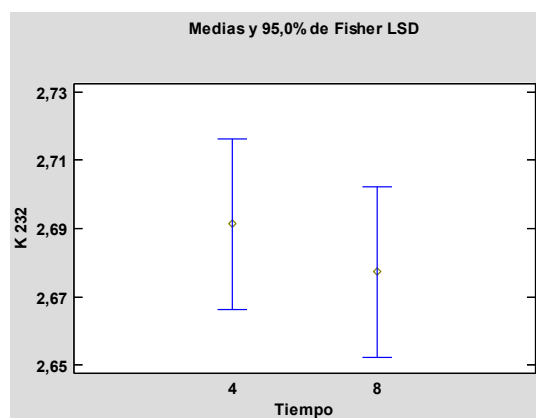


Figura 38 Comparación de la k232 con el tiempo a 120°C

Como se ha dicho, los dobles enlaces conjugados y productos de oxidación primaria van apareciendo en la estructura de la molécula, como consecuencia del calentamiento, dando lugar a la oxidación de la grasa.

En las figuras 33 se puede observar cómo la temperatura juega un papel importante en la formación de dienos conjugados, ya que se aprecia diferencias estadísticamente significativas en cada una de las temperaturas de maduración del aceite, poniendo atención a que el valor de K232 más bajo es el de la temperatura de 80°C, mientras que el más alto es el de 120°C. En la figura 34 también se observan cambios estadísticamente significativos, pero en este caso, el valor de K232 no aumenta con la temperatura, si no que a 120°C descendiendo, esto es debido a que, como se ha dicho antes, los compuestos de oxidación primaria se oxidan a compuestos de oxidación secundaria.

Por otro lado, al analizar las figuras 35, 36 y 37, tan solo hay diferencias estadísticamente significativas a 100°C entre el día 4 y 8, esto se debe a que es una velocidad de reacción intermedia entre la que se da a 80°C y 120°C, por lo que la formación de dienos conjugados da

un salto del día 4 al 8. Es decir, a 80°C (figura 35), tanto el día 4 como el día 8 tienen valores de k232 bajos en comparación a las temperaturas de 100°C (imagen 36) y 120°C(imagen 37), debido a que a 80°C, la oxidación no es tan agresiva, por lo que la formación de dienos conjugados es menor, al contrario que a la temperatura de 120°C, que hay una mayor oxidación y, por tanto, mayor cantidad de productos de oxidación primarios. Como se aprecia a 100°C.

Según otros estudios, el aceite de coco da unos valores de k232 de alrededor de 1 a 80°C; de 1 a 3 a 100°C y valores desde 1,2 hasta 3 a 120°C (Elodio-et al., 2019).

#### 4.6.2 K270

En la figura 38 se muestra la evolución de la k270 respecto a la temperatura el día 4, y en la figura 39 respecto al día 8.

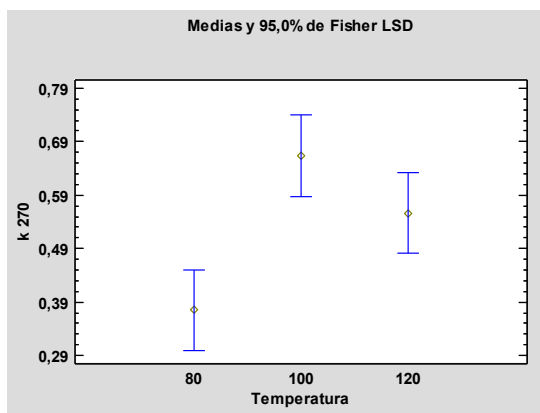


Figura 39 Comparación de la k270 con la temperatura el día 4

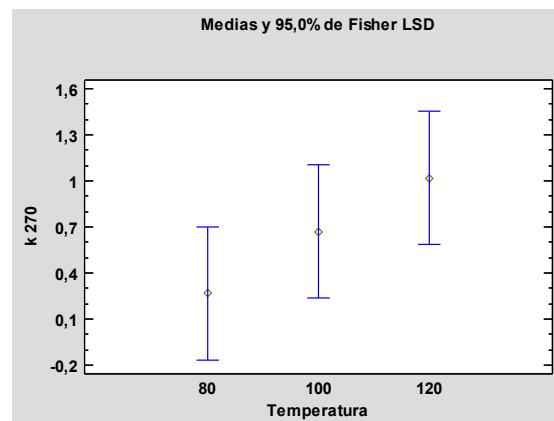


Figura 40 Comparación de la k270 con la temperatura el día 8

En la figura 40 se muestra la evolución de la k27 con el tiempo a 80°C, en la figura 41 a 100°C y en la 42 a 120°C.

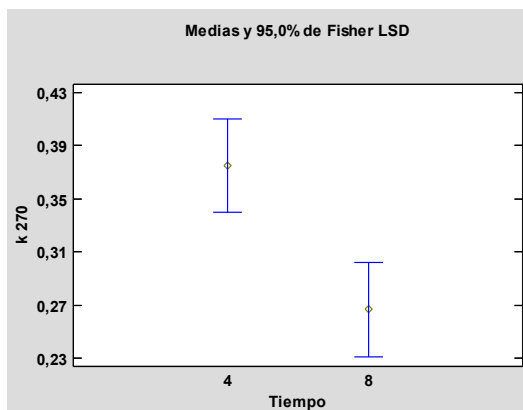


Figura 22 Comparación de la k270 con el tiempo a 80°C

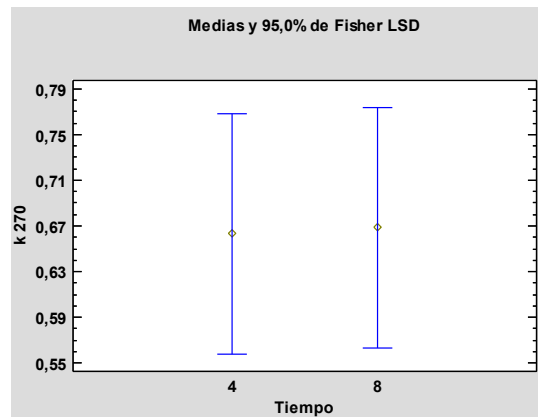


Figura 4221 Comparación de la k270 con el tiempo a 100°C



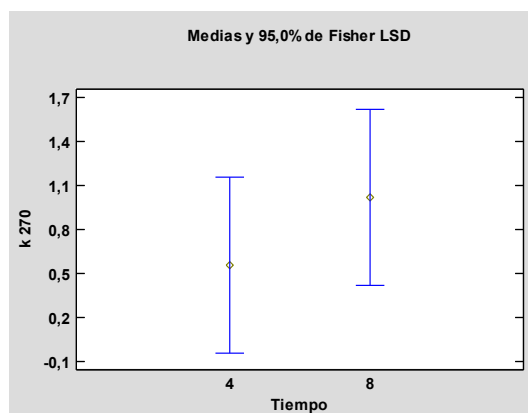


Figura 43 Comparación de la  $k_{270}$  con el tiempo a  $120^{\circ}\text{C}$

Al continuar calentando los dienos conjugados, se siguen oxidando, dando lugar a los compuestos carbonilo. Como se puede observar, en la figura 37, hay mucha diferencia entre los  $k_{270}$ , mientras que en la figura 38 no hay diferencia estadísticamente significativa. Esto se debe a que, en el aceite, el día 8 ya no quedan dienos conjugados que se puedan oxidar, por lo que cesa la reacción de oxidación. Esto mismo se puede observar en la figuras 39, 40 y 41, ya que en la comparación a  $80^{\circ}\text{C}$ , existe una gran diferencia estadística, lo cual no ocurre en las temperaturas  $100^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ , dado que el factor de oxidación de los lípidos es la temperatura, por lo que, al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad de reacción.

Según otros estudios, el aceite de coco da unos valores de  $k_{270}$  de alrededor de 0,1 a  $80^{\circ}\text{C}$ ; de 0 a 0,3 a  $100^{\circ}\text{C}$  y valores desde 0,1 hasta 0,7 a  $120^{\circ}\text{C}$  (Elodio-et al., 2019).

## 5 Conclusiones

En el presente estudio se ha evaluado la viabilidad de la extracción de aceite de coco de forma artesanal, analizando los parámetros de calidad del aceite obtenido y evaluando sus posibles funciones, con la finalidad de potenciar el valor económico del coco, en la subregión de Sanquianga, Colombia.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo han permitido establecer las siguientes conclusiones:

- El aceite de coco es un producto que se puede obtener de forma artesanal, ya que las características físico-químicas del aceite extraído de esta forma, son muy similares a las de los aceite comerciales.
- El aceite de coco es un producto apto para la elaboración de jabones, tal y como muestran los resultados del índice de saponificación.
- El aceite de coco es un producto apto para el cocinado de alimentos, debido a la saturación de sus ácidos grasos y la escasa tendencia que tienen a la oxidación.
- El consumidor podría descartarlo el uso del aceite de coco para cocinar, dado que los compuestos del aceite que le confieren color se ven deteriorados con la temperatura.
- Como conclusión, final el aceite de coco debido a su alta estabilidad y sus diferentes funciones es un buen producto para potenciar el valor económico del coco.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN, P., GARAY, F., DI BACCO, V., GONZÁLEZ, M., TERESCHUK, M., CHAUVET, S. y GENTA, H. (2010). Estudios de caracterización de aceites usados en frituras para ser utilizados en la obtención de jabón. *Investigación y desarrollo*, 32, 1-7:

BAILEY, A. E. (2020). Aceites y grasas industriales. Reverte.

BELÉN-CAMACHO, D. R., LÓPEZ, I., GARCÍA, D., GONZÁLEZ, M., MORENO-ÁLVAREZ, M. J. y MEDINA, C. (2005). Evaluación fisico-química de la semilla y del aceite de corozo (*Acrocomia aculeata* Jacq.). *Grasas Aceites*, 56(4), 311-316.

BERGER, K. G. y ONG, A. S. (1987). Usos industriales de los aceites de palma y coco. *Revista Palmas*, 8(4), 13-21.

BOTANICAL-ONLINE, 2022. Características Del Cocotero. Visto el 2 de septiembre de 2022 <https://www.botanical-online.com/botanica/cocotero-caracteristicas>

DEBMANDAL, M. y MANDAL, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.: *Areaceae*): in health promotion and disease prevention. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 4(3), 241-

247. 25/08/2022

DE LOS ÁNGELES HERNÁNDEZ, B. M. (2017). Determinación del índice de saponificación en aceite de maíz usando una lipasa de procedencia nacional (Doctoral dissertation, Universidad de los Andes).

DOS SANTOS FURTADO, M. C., CASTRO, V., OLIVEIRA, A. M., SANTOS, J. C. E., DA SILVA, E. F., BERMÚDEZ, V. M. S. y DO NASCIMENTO, V. L. V. (2020). Caracterización fisicoquímica de aceites de frutos secos de coco (*Cocos nucifera* L.). *Research, Society and Development*, 9(9), e301997211-e301997211.

ELODIO-POLICARPO, F., PEÑALOZA-HERRERA, B., MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I., JIMENEZ-HERNANDEZ, J., FLORES-CASAMAYOR, V., ARÁMBULA-VILLA, G. y SALAZAR, R. (2019). estabilidad térmica de aceite virgen de coco obtenido de dos cultivares crecidos en guerrero, México. *Revista fitotecnía mexicana*, 42(2), 101-109.

ESCRICHE ROBERTO, i. (2022). Tóxicos derivados de los procesos de elaboración, manipulación y conservación de los alimentos.

GOBIERNO DE NARIÑO (2012). Secretaría de educación departamental. Visto el 2 se septiembre de 2022: <http://www.sednarino.gov.co/SEDNARINO12/index.php/es/sanguianga/18-sednarino/planes-y-proyectos/planes/plan-de-desarrollo/subregionesb>

GONZÁLEZ CANAL, I. y GONZÁLEZ UBIERNA, J. A. (2015). Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. Aguasresiduales. *Info*, 1-8. 25/08/2022

ILLA CUTIPA, M. Y. (2019). Cinética y caracterización fisicoquímica de la extracción de aceite de la copra de coco (*Cocos nucifera* L.) con dos solventes orgánicos.

INTEREMPRESAS MEDIA, S.L. (2022). FRUTAS & HORTALIZAS: coco, cocos nucifera / *Palmae*. Visto el 2 de septiembre de 2022: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Coco.html>

- JÁCOME MUÑOZ, M. P. (2020). Estudio de prefactibilidad de una planta productora de desodorante natural a base de aceite de coco (Bachelor's thesis, Quito).
- LARREA SANTOS, V (2022). Obtención del grado de insaturación de distintas grasas y aceites
- LARREA SANTOS, V (2022). Práctica: química de la fritura
- LONDOÑO GÓMEZ, M. D. M. (2018). Estudio de pre-factibilidad del proceso productivo de carbón activado, aceite y agua de coco a partir del fruto del cocotero.
- MARQUÍNEZ, A. N. M., MOLINA, N. S. L., MARQUÍNES, C. W. G., VÉLEZ, J. A. V., PÁRRAGA, K. M. S., COBEÑA, J. K. R. y RIERA, M. A. (2020). Obtención de biodiesel a partir de aceite de coco (*Cocos nucifera* L.). *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 9-14.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, M. (2021). efecto del filtrado y la inertización en la conservación de las características físicoquímicas del aceite de oliva virgen
- MENACHO, L. (2013). Guía práctica de tecnología de aceites y grasas.
- MORA, G., y OLGA, L. (2003). Lauric acid: bioactive component of the palm kernel oil. *Coco - Información general* (frutas-hortalizas.com).
- NACIONES UNIDAS, 2015. Objetivos de desarrollo sostenible. Visto el 6 de septiembre de 2022: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>
- NOLI ALVA, A. D. y CHAMORRO CHÁVEZ, C. J. (2019). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de aceite de coco.
- PALOMINO DÍAZ, G. E. (2015). Fabricación de jabones a partir de residuos de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) y su relación con el impacto ambiental en la empresa Olamsa, Ucayali 2015.
- POVIS LÓPEZ, R. A., SANCHEZ SOLIS, P. C., DIAZ CHUGNAS, C., CARTHY RAVELLO, C. P. y RIEGA SALAZAR, Z. G. (2019). Plan de negocio para la comercialización de jabón exfoliante artesanal con aceite de coco y cacao.
- PRODUCTOS DECOCORGÁNICO, 2022. ocotero o Palma de Coco (*Cocos Nucifera*). Visto el 2 de septiembre de 2022: <https://www.decocorganico.com/cocotero-o-palma-de-coco-cocos-nucifera/>
- RÍOS, G. L. y SÁNCHEZ, D. G. (2002). Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 8(1), 39.
- RODRÍGUEZ, M. Y. A. y IBARRA-MOJICA, D. M. (2018). Saponificación artesanal de aceites de cocina usados, provenientes del municipio de Charalá. *Documentos de trabajo ECAPMA*, (1).
- Rodríguez Vinasco, J. A. (2013). Implementación del análisis cuantitativo de índice de yodo para aceite de palma, aceite de pescado y sebo, en la compañía industrial de productos agropecuarios (CIPA SA).
- ROE, E (2022). Buena nutrición.
- ROMERO, G. A. Á., SILVA, M. T. R., y HERNÁNDEZ, A. R. (2014). La química ácido-base en solventes no acuosos: Ácido acético glacial. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 1(2). 28/08/2022
- SANZ BERZOSA, I. (2008). Aceites y grasas: Determinación del índice de Yodo.

- SANZ TEJEDOR, A (2022). Tecnología de grasas, aceites y ceras. Visto el 2 de septiembre: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>
- SOSA, G. G. (2010). Indicadores de pH. Química Analítica I, Facultad de Química UNAM.
- TALENS OLIAG, P. (2020). Detección de adulteraciones en alimentos a través de medidas de densidad.
- TALENS OLIAG, P. (2020). Determinación experimental de densidad y porosidad en alimentos sólidos y líquidos.
- TALENS OLIAG, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.
- TORREJÓN, C. y UAUY, R. (2011). Calidad de grasa, arterioesclerosis y enfermedad coronaria: efectos de los ácidos grasos saturados y ácidos grasos trans. *Revista médica de Chile*, 139(7), 924-931.
- TOVAGLIERI, P. (2000). Utilización de los aceites de palma y palmiste en la fabricación de jabones. *Revista Palmas*, 21(especial,), 343-352
- TURIZO, A. V. (2004). Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces (No. 139). Convenio Andrés Bello.
- VALDERRAMA, M. M. P., MUÑOZ, M. D., TORRES, M. A. P., MONSALVE, N. J. F., y APONTE, D. A. A. (2020). Propiedades fisicoquímicas del aceite y del biodisel producidos de la Cocos Nucifera en el municipio de Barranacbermeja. *Revista citecsa*, 12(20), 73-82.
- VALENCIANA, G. (2021). Investigación para el Desarrollo Humano. Programa ADSIDEO-Cooperación (2014-2017).
- VILLAGRÁN, M., MUÑOZ, M., DÍAZ, F., TRONCOSO, C., CELIS-MORALES, C., & MARDONES, L. (2019). Una mirada actual de la vitamina c en salud y enfermedad. *revista chilena de nutrición*, 46(6), 800-808.
- ZAMBRANO, L. R. D., y ZAMBRANO, N. M. (2018). La diversificación relacionada de la producción del coco en riochico–ecuador the related diversification of the coconut production in riochico–ecuador.