DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN EL ACEITE DE PALMA DE LA VARIEDAD HÍBRIDA *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis* (OxG) MEDIANTE EL USO DE MICROONDAS, Y SU APLICACIÓN EN UN RECUBRIMIENTO COMESIBLE.

LAURA VALENTINA PRIETO DUQUE

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2024

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa de Ingeniería de Alimentos

Programa de Ingeniería Química

DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN EL ACEITE DE PALMA DE LA VARIEDAD HÍBRIDA *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis* (OxG) MEDIANTE EL USO DE MICROONDAS, Y SU APLICACIÓN EN UN RECUBRIMIENTO COMESIBLE.

Tesis para obtener el grado de:

Ingeniera de Alimentos e Ingeniera Química

Autor:

Laura Valentina Prieto Duque

Dirigido por:

Ingeniera María Patricia Chaparro Gonzales

Bogotá

2024

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Director: Ing. María Patricia Chaparro Gonzales

Jurado: Ing. Germán Andrés Castro Moreno

DEDIDACATORIA

Quiero dedicar este trabajo primeramente a mis Padres Mónica y Leonardo por el amor y el apoyo que me han brindado a lo largo de mi carrera como profesional, quienes me enseñaron que los sueños se alcanzan con esfuerzo, perseverancia y amor.

Además, de ser un pilar importante en el apoyo emocional y económico. Gracias por ser mi mayor fuente de motivación y por inculcarme valores de esfuerzo y dedicación, y a mi hermano por siempre estar para mí.

A mi novio, por su paciencia, compresión y apoyo constante durante todo el tiempo. Su compañía a lo largo de estos años a sido de aliento para poder llegar hasta aquí

Por que este triunfo es tanto mío como de ustedes, que siempre han estado a mi lado

AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesaria para poder sacar adelante este proyecto
- Agradezco a mis padres Mónica y Leonardo quienes fueron mi guía y apoyo para poder sacar adelante mi título profesional, con su apoyo emocional y económico.
- Agradezco a los programas de Ingeniería de Alimentos e Ingeniería química por todo el apoyo brindado durante todos estos años de carrera.
- A la Ingeniera Patricia Chaparro por guiarme a lo largo del desarrollo del proyecto, por ser una gran docente y darnos su gran conocimiento y ser una excelente persona.
- Al Ingeniero Bernay Cifuentes por su apoyo en la realización de este proyecto, por guiarme y ayudarme con el análisis de los datos de la extracción.
- Agradezco a Melissa, Angie y Diego técnicos del CTAS y a Angie técnica de la planta por su apoyo y guía quienes me ayudaron con los espacios de los laboratorios para la realización de la parte experimental
- Agradezco a mi novio por su apoyo emocional a lo largo del desarrollo de este proyecto, al igual que a mis amigos y compañeros, ya que sin su ayuda poder terminar este proyecto hubiera sido más difícil

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo la extracción asistida por microondas utilizando etanol al 96% como solvente para la obtención de compuestos bioactivos presentes en el aceite de palma de la variedad hibrida *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis* (OxG) de origen *Coari x La Mé* con el fin de encontrar las

condiciones más adecuadas para la extracción de estos. Además, se buscó la implementación de los extractos en peras mínimamente procesadas con el fin de poder evaluar la capacidad antioxidante de los compuestos en diferentes concentraciones.

La metodología implementada para la extracción de los compuestos permitió determinar que la extracción más eficiente ocurrió cuando se utilizó una relación de solvente- aceite de 9:1, un tiempo de extracción de 15 segundos con una potencia del microondas del 100%. En cuanto a los compuestos bioactivos extraídos, se encontró que los carotenoides son los compuestos predominantes en esta variedad, con una concentración de 1172,76 $mg*kg^{-1}$, representando el 27% de los compuestos menores del aceite de palma.

En cuanto a los tratamientos implementados en las peras mínimamente procesadas, el recubrimiento dos mostró ser el más eficaz para preservar las propiedades fisicoquímicas, evitando así la oxidación de estas, ofreciendo una alternativa prometedora para la conservación de alimentos frescos. Teniendo en cuenta que este trabajo también busco la evaluación de la capacidad antioxidante del extracto puro, conjunto con los recubrimientos, se midió la capacidad mediante el método de FRAP, donde se encontró que el recubrimiento 2 mostro una mayor capacidad antioxidante en comparación con el extracto puro, lo que puede llegar a sugerir que el proceso de extracción de estos puede reducir la actividad antioxidante.

Palabras clave.

Microondas, extracción, capacidad antioxidante, aceite de palma de variedad OxG, relación solvente, tiempo de extracción, potencia de microondas, recubrimiento, mínimamente procesado, oxidación.

ABSTRAT

The objective of this work was the microwave-assisted extraction using 96% ethanol as solvent to obtain bioactive compounds present in palm oil of the hybrid variety Elaeis oleifera x Elaeis guineensis (OxG) of Coari x La Mé origin in order to find the most suitable conditions for the

extraction of these compounds. In addition, the implementation of the extracts in minimally processed pears was sought in order to evaluate the antioxidant capacity of the compounds at different concentrations.

The methodology implemented for the extraction of the compounds allowed determining that the most efficient extraction occurred when using a solvent-oil ratio of 9:1, an extraction time of 15 seconds with a microwave power of 100%. Regarding the bioactive compounds extracted, it was found that carotenoids are the predominant compounds in this variety, with a concentration of 1172.76 mg*kg-1, representing 27% of the minor compounds in palm oil.

As for the treatments implemented in the minimally processed pears, coating two was shown to be the most effective in preserving the physicochemical properties, thus preventing their oxidation, offering a promising alternative for the preservation of fresh foods. Taking into account that this work also sought to evaluate the antioxidant capacity of the pure extract, together with the coatings, the capacity was measured by the FRAP method, where it was found that coating 2 showed a higher antioxidant capacity compared to the pure extract, which may suggest that the extraction process of these may reduce the antioxidant activity.

Keywords.

Microwave, extraction, antioxidant capacity, OxG palm oil, solvent ratio, extraction time, microwave power, coating, minimally processed, oxidation.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 10

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

3. ANTECEDENTES. 12

4. OBJETIVOS **14**
Objetivo general 14
Objetivos específicos 14
5. MARCO DE REFERENCIA. **14**
5.1. Marco teórico 14
5.1.1. Aceite de palma 14
5.1.2. Extracción del aceite. 15
5.1.3. Producción de aceite de palma 16
5.1.4. Capacidad antioxidante 17
5.1.5. Compuestos bioactivos 17
5.1.6. Vitamina E. 21
5.1.7. Extracción por microondas 21
5.1.8. Cromatografía líquida de alta resolución 22
5.1.9. Recubrimientos comestibles 22
6. MATERIALES Y MÉTODOS **23**
6.1. Extracción de compuestos bioactivos. 23
6.2. Aplicación recubrimiento comestible. 24
6.3. Capacidad antioxidante. 26
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS **28**
7.1. Identificación de compuestos bioactivos 35
7.1.2. Extracción de compuestos bioactivos. 28
7.1.2.1. Carotenoides totales 28
7.1.1.2. Betacarotenos 29
7.1.1.3. Alfa carotenos 30
7.1.2.2. Tocoferoles y tocotrienoles 31
7.2. Capacidad antioxidante 42
7.3. Recubrimiento comestible 36
8. Conclusiones **43**
9. Recomendaciones **44**
10. REFERENCIAS **44**
11. ANEXOS **48**
Extracción compuestos bioactivos 48
Seguimiento vida útil recubrimiento comestible 50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual de los compuestos menores presentes en el aceite de palma crudo. 15
Figura 2. Proceso de extracción del aceite de palma crudo. 16
Figura 3. Distribución zonal de cultivos de palma en Colombia. 17
Figura 4. Estructura química básica de los principales polifenoles. 18
Figura 5. Estructura química de los α y β- carotenos..... 20
Figura 6. Estructura química de la Vitamina E 21
Figura 7.Esquema equipo HPLC. 22
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de extracción de compuestos bioactivos. 24
Figura 9. Diagrama de flujo de proceso recubrimiento comestible en peras mínimamente procesadas 25
Figura 10. Preparación del reactivo FRAP 26
Figura 11. Preparación Reactivo Trolox. 27
Figura 12. Preparación de las muestras a medir capacidad antioxidante..... 27

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.Compuestos bioactivos más comunes..... 17
Tabla 2.Variables de operación propuestas para la extracción de compuestos bioactivos..... 23
Tabla 3.Formulaciones propuestas para la elaboración de los recubrimientos comestibles. 25
Tabla 4.Estándares curva de calibración Trolox. 27
Tabla 5.Condiciones y rendimientos de cada uno de los compuestos bioactivos 35
Tabla 6. Cambios en el color de las peras con respecto al tiempo. 40
Tabla 7. Cambio de luminosidad de las peras a través del tiempo..... 41
Tabla 8. Pasos realizados para la extracción de los compuestos bioactivos 48
Tabla 9. Pasos realizados para el seguimiento y aplicación del recubrimiento comestible 50

INDICE DE GRAFICAS.

Gráfica 1.Efectos principales en la extracción de Carotenoides totales 28
Gráfica 2. Efectos principales en la extracción de β-carotenos 29
Gráfica 3. Efectos principales en la extracción de α-carotenos 30
Gráfica 4. Efectos principales en la extracción de Vitamina E 31
Gráfica 5. Efectos principales en la extracción de α-tocoferol 32
Gráfica 6. Efectos principales en la extracción de β+γ -tocoferol. 33
Gráfica 7.Efectos principales en la extracción de δ-tocoferol 33
Gráfica 8.Efectos principales en la extracción de δ-tocotrienol 34
Gráfica 9. Compuestos menores presentes en el aceite de palma OxG origen Coari x La Mé 36
Gráfica 10. Pérdida de peso a lo largo del tiempo 36
Gráfica 11. Aumento de los sólidos solubles a través del tiempo. 37
Gráfica 12. Comportamiento de la acidez a lo largo del tiempo..... 38
Gráfica 13.Comportamiento del pH en el tiempo 38
Gráfica 14. Tasa de respiración a medida del tiempo de los tratamientos R1 y R2 39
Gráfica 15. Tasa de respiración a medida del tiempo con respecto al recubrimiento con el extracto 39
Gráfica 16. Curva de calibración estándares de Trolox 42
Gráfica 17.Capacidad antioxidante de las muestras evaluadas..... 43

1. INTRODUCCIÓN

El aceite de palma es uno de los aceites vegetales más producidos y consumidos a nivel mundial, con una gran demanda en diversas industrias como la industria cosmética, farmacéutica y la industria alimentaria. Gracias a su versatilidad y bajo costo la industria lo ha convertido en un ingrediente clave para una amplia variedad de productos. Según estudios Según estudios en el mundo se consumen más de 78 millones de toneladas de aceite de palma, es decir más del 30% del aceite consumido a nivel mundial es dicho aceite, lo que lo posiciona como el aceite vegetal más utilizado, seguido de los aceites de soja, colza y girasol.

A nivel mundial, los principales productores de este aceite son Indonesia y Malasia con más del 85% de la producción mundial, siendo Indonesia el líder mundial en producción, con una producción anual de más de 40 toneladas. Malasia se posiciona en el segundo lugar con una producción de 20 millones de toneladas. Por otro lado, Colombia se ha logrado posicionar en el cuarto productor a nivel mundial

de aceite de palma con una producción de más de 130 mil toneladas al año, es decir un 2% de la producción global, logrando se posicionar tanto en mercados locales como en mercados internacionales.

Este aceite es rico en compuestos bioactivos como vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles), carotenoides totales y como compuestos fenólicos, los cuales presentan propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud. Estos compuestos han sido de interés en las diversas industrias debido a la capacidad que presentan de proteger frente al estrés oxidativo y ayudar a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento y el daño celular. Sin embargo, el aceite de palma es una de las materias primas que han tomado importancia para la producción de Biodiesel, haciendo que estas propiedades antioxidantes no se aprovechen, siendo compuestos de interés en diversas aplicaciones en la industria alimentaria. Es por esto por lo que se propone la extracción de los compuestos bioactivos presentes en el aceite de palma para ser aprovechados en matrices alimentarias.

La extracción de estos compuestos suele ser un proceso costoso y lento si se utilizan métodos convencionales. En los últimos años, la extracción asistida por microondas ha surgido como una alternativa eficiente, rápida y económica para la obtención de los compuestos bioactivos que se encuentran en diferentes matrices. Este método utiliza energía electromagnética para el aumento de la temperatura, facilitando la liberación de los compuestos de interés. Este trabajo, busca la cuantificación e identificación de los compuestos mediante el uso de técnicas analíticas avanzadas como la cromatografía liquida de alta resolución (HPLC).

Para este estudio, se utilizó etanol como solvente de extracción, dado que es un solvente ecológico, de bajo costo, y es ampliamente aceptado en la industria alimentaria y farmacéutica. El etanol presenta una buena capacidad para disolver compuestos lipofílicos y polares, lo que lo convierte en una opción adecuada para la extracción de antioxidantes presentes en el aceite de palma.

Además, de la extracción de los compuestos, se buscó su aplicación en matrices alimentarias con el fin de darle un uso a dichos compuestos, para esto se propuso la implementación en recubrimientos comestibles. Dichos recubrimientos son películas delgadas aplicadas en la superficie de frutas y otros alimentos los cuales ayudan a la protección contra la deshidratación, oxidación y la proliferación de microorganismos, ayudando así a prolongar la vida útil del alimento.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia para el cierre del año 2023 la producción de aceite de palma crudo supera los 1,7 millones de toneladas en lo corrido de todo el año, siendo uno de los países con mayor producción de aceite en Latinoamérica. Se destaca que Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América, donde una hectárea sembrada puede llegar a producir entre 6 y 10 veces más aceites que otras oleaginosas (Fedepalma, 2023). Por otro lado, se destaca que el aceite de palma es una de las materias primas que toman importancia para la producción de Biodiesel, lo cual hace que sea un producto clave para la transición energética del país. Pero dicho aceite contiene compuestos bioactivos como: ácidos grasos e insaturados, carotenoides, antioxidantes y vitaminas que no se aprovechan actualmente en el sector agroindustrial. (Serna, 2017)

Estudios han mostrado que el aceite de palma crudo es rico en Vitamina E (26,45% de su composición), la cual es la encargada de proporcionar estabilidad oxidativa al aceite, gracias a sus

propiedades como oxidante; y rico en carotenoides (29,3% de su composición), como los β-carotenos el cual es el principal precursor biológico de la vitamina A. Estos compuestos son catalogados dentro de los aceites y las grasas de origen vegetal como no glicerolípidos, clasificación que incluye a las isoformas α–, β–, γ–, y δ– de tocoferol y a las isoformas α–, β–, γ–, y δ– de tocotrienol (vitamina E), fitoesteroles, carotenoides (α– y β–caroteno, principalmente) y otras vitaminas. El aceite de palma crudo está representado quizás, en la mayor cuantía por moléculas orgánicas con potenciales biológicos, con diversas funciones para la salud Humana. (Gonzalez, 2023) Los cuales pueden ser utilizados y/o implementados en el desarrollo de nuevos productos agroindustriales gracias a sus propiedades antioxidantes.

Cabe mencionar, que la variedad de palma que será estudiada es el hibrido OxG el cual es producto de extracción del fruto de la palma africana de variedad Madres *Noli tipo cerete* y *Padres Pisíferas* tipo Yangambi el cual presenta una alta tolerancia a la pudrición del cogollo, por tal motivo debe ser extraído rápidamente su aceite, para evitar el deterioro por oxidación y la perdida de sus nutrientes.

Pregunta de investigación:

¿Cómo la extracción de compuestos bioactivos mediante el uso de microondas permite obtener un mayor contenido de compuestos, con el fin de poder ser aplicados en matrices alimentarias?

3. ANTECEDENTES.

Tsouko (2019), en su investigación plantea la extracción de compuestos fenólicos del residuo del procesamiento del aceite de palma, en donde plantea la extracción por medio de un baño ultrasónico y una solución acuosa de etanol al 70% acidificada con ácido clorhídrico (0,01% por volumen) como disolvente, el tiempo de extracción empleado inicialmente fue de 20 min, con una relación de líquido-solido de 30:1.Para la determinación de la actividad antioxidante se empleó el método de captación de radicales libres DPPH, el cual consistió en la adición de extracto metanólico diluido con solución de DPPH, dejándose a temperatura ambiente por 90 minutos.

Gonzales (2023), en su trabajo de investigación habla sobre el proceso que se lleva en las plantas de beneficio de palma de aceite, donde el aceite de palma crudo es obtenido por medio de extracción mecánica de los frutos maduros producidos por los cultivares de palma de Elaeis guineensis Jacq. Es así como actualmente el aceite de palma es reconocido mundialmente como un material graso rico en biomoléculas de origen natural con propiedades antioxidantes , y en otros fitoquímicos de valor biológico con variadas aplicaciones de salud , que requieren ser preservados durante las etapas de refinación de este tipo de aceite vegetal para potencializar su valor nutricional cuando es transformado en un producto listo para ser consumido, lo anterior, dadas las bondades biológicas de tales compuestos

Tai (2023), plantea la extracción de aceite y compuestos bioactivos, incluidos los carotenos y tococromanoles, del fruto de la palma aceitera mediante propano subcrítico sin usar co-disolventes. Se estudiaron las curvas generales de extracción de aceite de palma con propano subcrítico y se compararon con las extraídas con dióxido de carbono supercrítico. Donde evaluaron carotenos y tococromanoles no solo en el aceite extraído, sino también en el aceite de fibra residual para calcular la eficiencia de recuperación de estos valiosos compuestos. Los resultados experimentales mostraron que se podía obtener un rendimiento de aceite de hasta el 70 % en 120 minutos con propano subcrítico a 50 bares y un caudal de 35 $kg \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1}$.

Huat (1998), En su investigación busca generar un referente teórico con relación a los usos de la tecnología de microondas para las industrias, especialmente para generar procesos de extracción acotando que este método es mucho menos nocivo para el medio ambiente que otros métodos que existen para procesos de extracción siendo usado para procesos de extracción por solvente exponiendo así múltiples estudios que existen relacionados a las aplicaciones de tecnologías de microondas en actividades relacionadas con la industria del aceite de palma en las que puede permitir análisis relacionados con la composición y características de este producto

Tenorio (2024), En su trabajo de investigación sobre los compuestos bioactivos presentes en el aceite de palma encuentra que los tocotrienoles y el β-caroteno, junto con otros compuestos bioactivos del aceite de palma, son conocidos por sus propiedades promotoras de la salud. Estos compuestos están subutilizados en aplicaciones funcionales. La mayor parte de la literatura sobre aceite de palma se centra en la especie Elaeis guineensis, pero en las Américas han surgido los híbridos interespecíficos OxG (cruces de E. guineensis y Elaeis oleífera). Estos híbridos presentan un mayor contenido de ácido oleico y un perfil más rico de compuestos bioactivos, ampliando así las oportunidades de investigación y aplicación. El aceite con un mayor contenido de ácido oleico también es conocido por sus propiedades beneficiosas para la salud.

Manai (2024), En su investigación busca caracterizar los subproductos de la palma datilera los cuales se caracterizan por su abundancia y riqueza en compuestos funcionales valiosos, como fibras dietéticas, fenoles, tocoferoles y carotenoides. Ofrecen un recurso atractivo para múltiples industrias, incluidas las de alimentos, envases, cosméticos y productos farmacéuticos, contribuyendo al desarrollo de una cadena de valor sostenible de la palma datilera a través de un enfoque de economía circular. Aprovechando sus atributos fitoquímicos, nutricionales y promotores de la salud establecidos, los subproductos de la palma datilera y sus compuestos funcionales han encontrado aplicaciones como aditivos en formulaciones de alimentos y sistemas de envasado, mejorando las propiedades funcionales y bioactivas al tiempo que extienden la vida útil de los productos alimenticios. La revisión exhaustiva busca discutir los estudios relevantes sobre los compuestos funcionales y bioactivos clave obtenidos con subproductos de la palma datilera. También aborda las preocupaciones de seguridad y toxicidad asociadas con los subproductos de la palma datilera. La revisión explora varias técnicas de extracción empleadas para la recuperación de compuestos bioactivos, con un enfoque en los métodos de extracción ecológicos, e investiga sus posibles funciones en las formulaciones de alimentos y los sistemas de envasado.

Pérez (2009) en su investigación busca la validación de una metodología analítica mediante el uso de HPLC/UV, para la determinación de β-carotenos presentes en el aceite de palma y otros aceites comestibles. En este estudio se implementó una metodología sencilla y rápida, de fácil aplicación con el fin de poder ser utilizada en pequeños laboratorios donde son analizadas muestras de aceites con presencia de beta- carotenos de manera rutinaria. Para garantizar confiabilidad en los resultados obtenidos, fue validada la metodología según los lineamientos de organismos internacionales reconocidos; de esta forma fueron determinados los parámetros de especificidad/ selectividad, exactitud, precisión, límite de detección, sensibilidad, linealidad y robustez.

Por otro lado, Campo- Vera (2023) en su investigación Efecto del pretratamiento con ultrasonido sobre la calidad del aceite crudo de palma busca la aplicación de cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) para la identificación de los compuestos fenólicos y antioxidantes, para esto se basaron en AOCS Official Method Ce 8-89, el cual es el método para la determinación cuantitativa y simultáneamente para la determinación de tocoferoles, tocotrienoles y carotenos en aceites y grasas vegetales mediante la implementación de HPLC.¿

Doblado (2020) Basa su investigación en las pérdidas de productos hortofrutícolas gracias a el manejo poscosecha y la infección por plagas, en los últimos años se ha buscado el desarrollo y la producción de películas comestibles biodegradables como una forma de protección. Estas películas comestibles por lo general están hechas por carbohidratos, proteínas y/o lípidos, los cuales presentan características físicas y mecánicas similares a los envases no degradables, pero con ventaja de funcionar como barreras bioactivas, pues mediante la adición de extractos vegetales pueden llegar a presentar actividad microbiana, protección a la luz UV y servir como acarreadores de antioxidantes y pigmentos mejorando así mismo características visuales.

Por otro lado, González (2023) en su estudió sobre la actividad antioxidante frente al radical libre DPPH determino el contenido total de compuestos fenólicos, al igual que la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos del aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico, crudo y comercial, por medio del ensayo de Folin- Ciocalteu y del método del radical libre DPPH (2,2-di-fenil-1-picrilhidracilo). Encontrando que los compuestos fenólicos del aceite de palma crudo lograron inhibir el radical libre DPPH en cerca del 77,7 % y del 74,0 %, correspondientemente.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las condiciones de operación para la extracción de compuestos bioactivos asistida por microondas presentes en el aceite de palma de la variedad híbrida *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis* (OxG), y su aplicación en recubrimientos comestibles.

Objetivos específicos

- Evaluar capacidad de extracción de compuestos bioactivos a diferentes condiciones de operación mediante el uso de microondas.
- Evaluar la capacidad antioxidante de los compuestos bioactivos presentes en el aceite de palma, implementado en un recubrimiento alimentario para Pera (*Pyrus communis*) mínimamente procesada

5. MARCO DE REFERENCIA.

5.1. Marco teórico

5.1.1. Aceite de palma

El aceite de palma crudo es el producto obtenido del beneficio del fruto madurado de la palma aceitera de las especies *Elaeis guineensis Jacq*. tipo *tenera* (i.e. Dura × Pisifera (D×P)) o de los híbridos *Elaeis oleífera* Cortés y *Elaeis guineensis* conocidos como híbridos OxG (Gonzalez, 2023), el cual es extraído del mesocarpio del fruto de la semilla, mediante la aplicación de procesos mecánicos como lo es el prensado. Este se encuentra compuesto por una mezcla de triglicéridos, ácidos grasos saturados e insaturados, diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres. Además, tal como se muestra en la figura 1, se evidencia la distribución porcentual de las especies menores que componen el aceite de palma como lo son los carotenos y la Vitamina E.

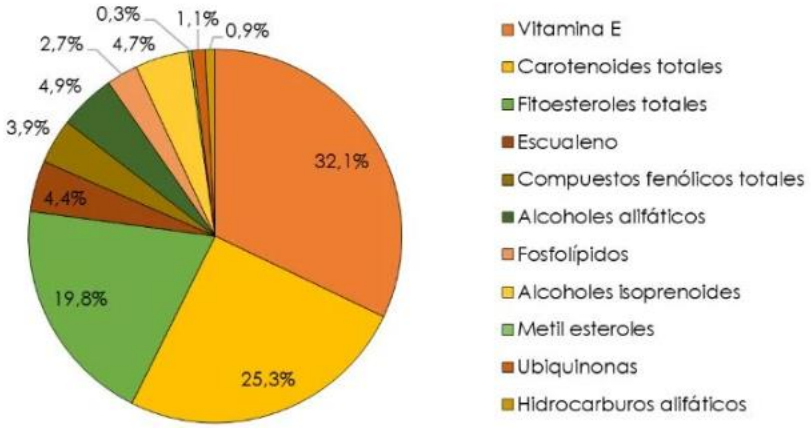


Figura 1. *Distribución porcentual de los compuestos menores presentes en el aceite de palma crudo. Tomado de: González- Diaz & García Núñez, (2023)*

Cabe mencionar que se ha encontrado que el aceite de palma rojo es fuente significativa de carotenoides, con concentraciones entre 400 y 1000 mg/kg, con composiciones entre 55% de α-carotenos,35% de β- carotenos y 6% de licopeno, siendo fuente significativa de antioxidantes. (Bermúdez, 2007)

Se ha mostrado que, gracias a su versatilidad, dada por su composición de ácidos grasos y su aporte nutricional, el aceite de palma y las fracciones de oleína y estearina, es empleado para la elaboración de mezclas de aceites, margarinas para mesa y cocina, grasas de repostería y confitería. (Rincón, 2009). Además, gracias al aumento significativo de la producción mundial, el aceite destaca por ser una de las materias primas que toman importancia para la producción de Biodiesel, detergentes, cosméticos, plásticos, fármacos entre otros.

5.1.2. Extracción del aceite.

El proceso de extracción de aceite no incluye solventes químicos, es netamente un proceso físico, el cual inicia con la esterilización de los frutos la cual se realiza con el objetivo de evitar posible aumento de los ácidos grados libres y facilitar la separación mecánica con el fin de aflojar la fruta que aun de encuentre pegada al racimo. Este proceso se lleva a cabo a presiones de vapor de 276kPa.

Posteriormente los frutos se someten los frutos a un proceso de desfrutado con el fin de separar la fruta esterilizada de los raquis esterilizados. Una vez se realiza el desfrutado se procede a llevar a los frutos a un proceso de digestión donde estos son sometidos a calor para poder pasarlos a la prensa. En este proceso de digestión se hace rotar los frutos con el fin de aflojar el mesocarpio de la nuez y abrir simultáneamente las células del aceite como sea posible. Con el fin de obtener una mayor eficiencia de extracción y un aceite de calidad es importante que al momento de cosechar los frutos estos cuente con la madurez precisa.

Una vez, los frutos han pasado el proceso de digestión estos son pasados a un proceso de prensado en el cual es extraído el aceite mediante el paso de tornillos sinfín, este proceso se puede llevar a cabo en frío y en caliente, siendo el prensado en frío el más común para la extracción del aceite.

Ya extraído el aceite, este es llevado a un proceso de clarificación mediante una separación por diferencia de densidades y temperatura, donde es separado el sedimento (retiro de impurezas), del

aceite extraído el cual es enviado a un deshidratados donde se extraen los restos de humedad, para ser almacenado (Velayuthan, 2012). El proceso descrito, se ilustra en la figura 2.

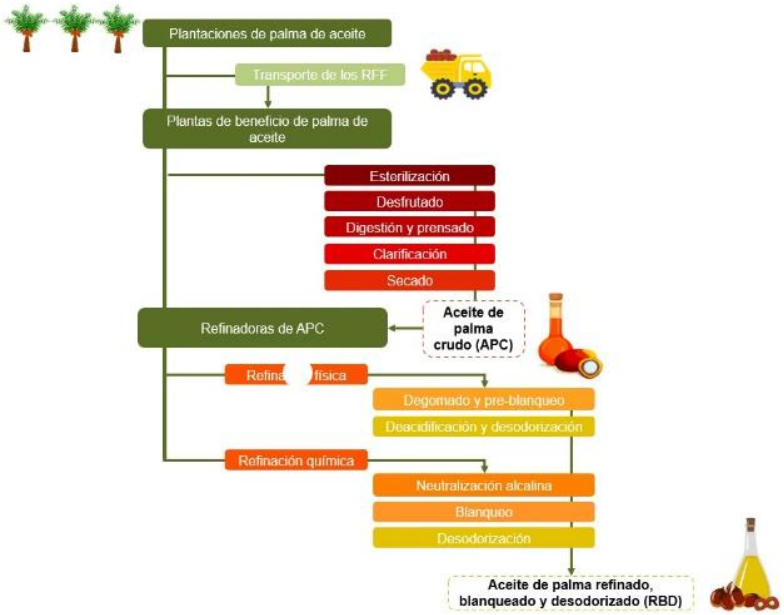


Figura 2. *Proceso de extracción del aceite de palma crudo. Tomado de: González- Diaz & García Núñez, (2023)*

5.1.3. Producción de aceite de palma

La palma de aceite es la oleaginosa más productiva del planeta, pues por cada hectárea cultivada se logra producir entre 6 y 10 veces más aceite a comparación de otras semillas de las cuales también extraído el aceite. La producción del aceite de palma ha tenido un aumento significativo en las últimas décadas gracias a su gran versatilidad y resistencia, pues este tiende a no perder sus características fácilmente, lo que presenta una ventaja frente a otros aceites de fuente vegetal. Además, gracias a su versatilidad y su resistencia este aceite está presente en una gran variedad de productos de uso común, en una gran amplia gama de productos alimenticios y en productos cosméticos.

A nivel mundial Indonesia y Malasia son los mayores productores, exportadores y consumidores de aceite de palma con cerca del 85% de la producción mundial de aceite. Por lo tanto, cualquier cambio que estos países adopten pueden llegar afectar a la industria mundial (Hasan, 2016). Colombia se ha logrado posicionar en el cuarto productor a nivel mundial con el 2% de la producción mundial. Para el primer semestre del año 2024 la producción de aceite ha sido de aproximadamente 130 mil toneladas, contando con 69 plantas extractoras, y casi 600 mil hectáreas distribuidas en cuatro zonas palmetas tal como se ilustra en la figura 3.

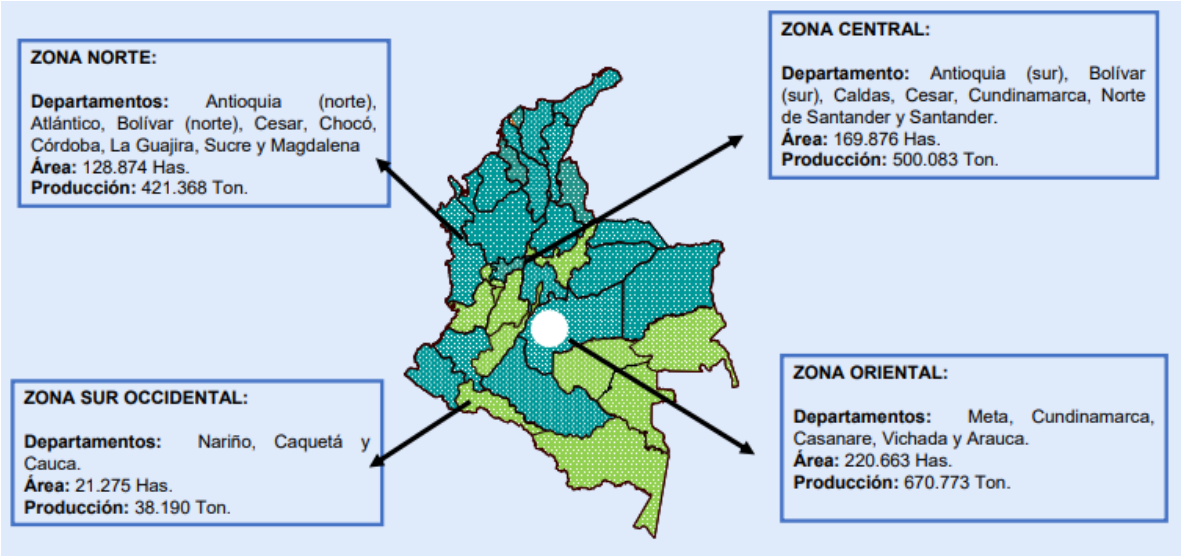


Figura 3. *Distribución zonal de cultivos de palma en Colombia. Tomado de: Ministerio de agricultura, 2019*

5.1.4. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante hace relación a la capacidad de una sustancia para neutralizar a los radicales libres presentes en el cuerpo, además, es la capacidad de contrarrestar el efecto de otras especies reactivas de oxígeno. Se tiene la creencia que dicha capacidad permite retardar la progresión de muchas enfermedades no transmitibles las cuales afectan al ser humano. (Estrada, 2021)

5.1.5. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias químicas las cuales en su mayoría son metabolitos secundarios, los cuales se encuentran presentes en pequeñas cantidades en diferentes alimentos como frutas, verduras, y aceites; plantas y otros organismos los cuales cumplen funciones en el cuerpo para promover la buena salud, influyendo en procesos fisiológicos y metabólicos. (Martínez, 2015). Los compuestos bioactivos tienen influencia directa en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos, por lo que son ampliamente utilizados en el tratamiento de enfermedades y en la fabricación de alimentos funcionales, siendo los más encontrados en la naturaleza. (Tabla 1)

Tabla 1.*Compuestos bioactivos más comunes.*

COMPUESTO		ALIMENTO
Carotenoides	α y β-carotenos	Zanahorias, mango, melón, espinacas, tomates, aceite de palma
	Licopeno	Tomates, sandia, pimiento rojo, pomelo rosado
	β- criptoxantina	Naranja y papaya
	Luteína y zeaxantina	Algas, espinacas, lechuga, apio, tomates, naranjas, maíz, aguacate y melón
Fitoesteroles	Esteroles y estanoles	Aceites de maíz, girasol, soja y oliva, frutos secos, cereales

Polifenoles	Flavonoles: Quercetina, Kamferol, antocianidinas.	Cebolla, puerro, lechuga, tomates, uvas, manzanas, moras, frambuesas, arándanos.
	Catequinas y proantocianidinas	Manzanas, peras, cerezas, uvas, melocotón, vino, té, cereza
	Fitoestrógenos	Soja, cereales integrales, frutos secos, frutos del bosque, ajo y zanahorias.

5.1.5.1. Polifenoles

Los polifenoles o compuestos fenólicos son moléculas naturales del metabolismo secundario de las plantas, el contenido de estos compuestos puede variar debido a diferentes factores como el genotipo, especie, grado de maduración, y condiciones de almacenamiento. Los polifenoles, además, de tener participación en la función fisiológica de los vegetales, estos compuestos son importantes en la dieta humana, debido a sus diferentes funciones como la asimilación de nutrientes, síntesis de proteínas, actividad enzimática, la formación de componentes estructurales y la defensa ante factores adversos como los patógenos. Además, de todas estas funciones los polifenoles son reconocidos gracias a su capacidad antioxidante. (Valencia, 2017)

Estos son clasificados dependiendo al número de anillos fenólicos (Figura 4) y los elementos estructurales, siendo los principales grupos de compuestos fenólicos: los flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, catequinas, antocianinas, lignanos y estilbenos.

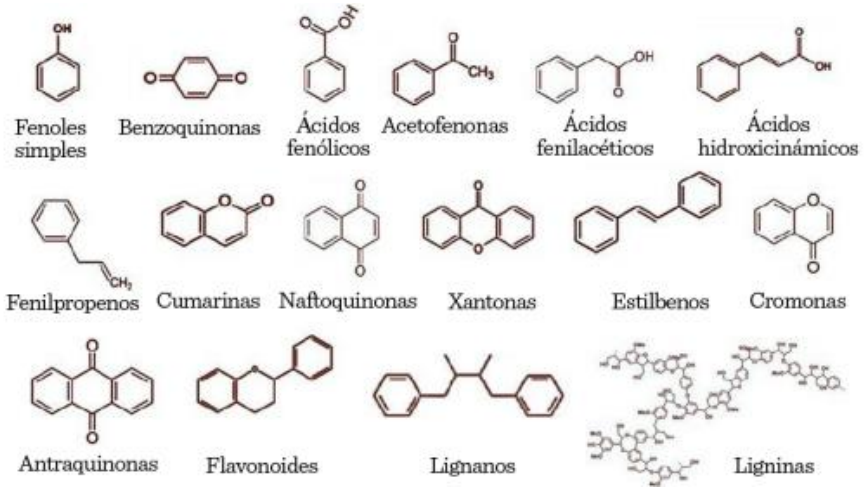


Figura 4. *Estructura química básica de los principales polifenoles. Tomado de: Lizárraga-Velázquez & González Aguilar*

5.1.5.1.1. Flavonoides

Los flavonoides son la clase de polifenoles más común, este es derivado de aminoácidos aromáticos como la fenilalanina y la tirosina. Estos son de bajo peso molecular y son encontrados en vegetales, semillas, frutas y bebidas, los cuales pueden actuar como señaladores químicos y tienen efecto sobre enzimas ligadas a la fisiología vegetal y su metabolismo. Estos son constituyentes de la parte no energética de la dieta humana. Además, se ha demostrado que tienen acción antioxidante y

eliminatoria de radicales libres, sin embargo, se ha evidenciado que estos pueden poseer acción prooxidante, mostrando efectos antiinflamatorios, antivirales y/o antialérgicos, y acción protectora frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y diferentes patologías. (Flórez, 2003)

5.1.5.1.2. Flavonoles

Los flavonoles se caracterizan por ser el grupo más presente de polifenoles presentes en los alimentos (Frutas, verduras, té, vino y algunos granos). Se ha mostrado que estos contienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Además, estos juegan un papel importante en la protección de las células de sufrir daño oxidativo. Uno de los flavonoles más común es la Quercetina. (Quiñones, 2012)

5.1.5.1.3. Antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos hidrosolubles presentes ampliamente en el reino vegetal, estos son los responsables de la gama de colores en varias frutas, vegetales y cereales, los cuales son acumulados en las vacuolas celulares. Estas presentan diversas funciones en las plantas, como la atracción de polinizadores. Al igual que los flavonoles, estas presentan propiedades antioxidantes. (Garzón, 2008).

5.1.5.1.4. Fitoquímicos

Los fitoquímicos son conocidos como una serie de sustancias químicas con actividad biológica y son encontrados en diversas plantas. Su función básica es la protección de los radicales libres, insectos, virus, entre otros factores. También, tienen la capacidad de protegerse del daño que pueden sufrir las plantas a lo largo de su vida útil, así mismo, se ha mostrado que los fitoquímicos tienen efectos beneficiosos para la salud humana, mediante la dieta. (Armas, 2014)

5.1.5.1.5. Terpenos

Los terpenos constituyen uno de los grupos más amplio de los fitoquímicos, se encuentran comúnmente en alimentos verdes, productos de la soja y cereales. Su función principal es la antioxidante, protegiendo a los lípidos, sangre y demás fluidos contra los radicales libres. (Chasquibol, 2003)

5.1.5.2. Carotenoides

Los carotenoides son una subclase de terpenos, y son los encargados de dar el color amarillo, naranja y o rojo a diversas frutas y verduras, esto gracias a la presencia de un cromóforo consistente total o principalmente a la cadena de doble enlaces conjugados (Figura 4). Se encuentran presentes en todos los tejidos fotosintéticos, junto a las clorofilas, al igual que en tejidos vegetales que no son fotosintéticos, como cloroplastos, los cuales han sido considerados como cloroplastos degenerados. (Meléndez, 2004)

Estos son compuestos liposolubles cuya actividad antioxidante ha sido asociada con la reducción directa o modificación de las reacciones oxidativas de los radicales libres. Entre los carotenos se encuentran: Los β-Carotenos, α- Carotenos, licopeno, zeaxantina y la luteína. (Chasquibol, 2003).

Dicha actividad antioxidante depende de diferentes factores, como lo son la estructura química, el tamaño de la molécula, su configuración cis o transas, su concentración, la presión parcial de interacción con el oxígeno o su interacción con otros antioxidantes, sobre todo las vitaminas A y E.

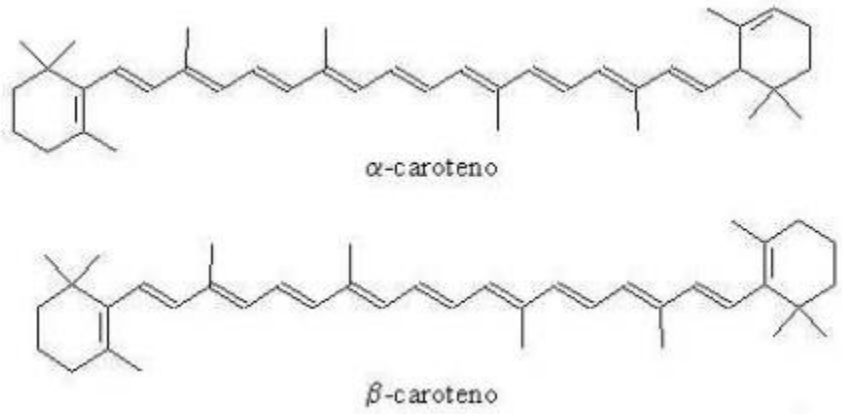


Figura 5. *Estructura química de los α y β- carotenos. Tomado y Adaptado de: Meléndez-Martínez & Vicario (2004)*

5.1.5.2.1. β-Carotenos.

El β-Caroteno es el carotenoide más conocido, y se encuentra en la mayoría de las frutas y hortalizas que poseen colores naranjas, amarillos y en vegetales de hojas verdes. Este es conocido por ser el precursor de la Vitamina A y por sus beneficios para la salud, como su función inmunológica. (Armas, 2014)

5.1.5.2.2. α- Carotenos.

Al igual que los β-Carotenos, los α- Carotenos son precursores de la vitamina A, y se encuentran en diversas frutas y hortalizas, sin embargo, se encuentra en menor proporción en la naturaleza.

5.1.5.2.3. Licopeno.

Los licopenos son el pigmento lipofílico el cual confiere el color rojo característico de los tomates. Debido a su composición de carbonos y enlaces dobles presenta la característica de ser reactivo frente al oxígeno y los radicales libres, lo que le da la característica de ser antioxidante siendo probablemente eficiente como agente quimiopreventivo. (Vitale, 2010)

5.1.5.2.4. Fitoesteroles

Los fitoesteroles son sustancias químicas disueltas en grasas de origen vegetal, considerados el principal nutriente hipocolesterolémico, los cuales pueden proteger el sistema cardiovascular, inhibiendo la absorción del colesterol. (Aguilar, 2011)

5.1.5.2.5. Escualenos

Los escualenos, son un tipo de terpeno hipocolesterolémico proveniente del material insaponificable de las semillas de oleaginosas y grasas animales, son precursores del colesterol y otros esteroles. Estos, presentan propiedades antioxidantes y cardio protectoras, reduciendo el colesterol esterificado, mediante la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad en la sangre. (Aguilar, 2011)

5.1.5.2.6. Lignanos

Los lignanos son un tipo de fitoquímicos los cuales se encuentran en diversas plantas y alimentos, estos son compuestos fenólicos y son sintetizados mediante la ruta del ácido sikímico. Desempeñan

importantes funciones fisiológicas, principalmente de tipo defensivo gracias a su capacidad antioxidante. (Boluda, 2005)

5.1.6. Vitamina E.

La vitamina E agrupa diferentes compuestos, dentro de los cuales son incluidos los tocoferoles y los tocotrienoles, siendo el más importante en la especie humana es el RRR-α- tocoferol, siendo un nutriente esencial para el ser humano. Esta vitamina ha sido atribuida como una de las más importantes gracias a su capacidad antioxidante (Fernández C. F., 2002). La vitamina E se encuentra presente en diferentes proporciones en los alimentos, es encontrada de forma natural en alimentos de origen vegetal, en una gran variedad de alimentos, siendo una de sus principales fuentes las grasas como los aceites y los frutos secos.

La capacidad antioxidante de la vitamina E se basa en la prevención de la oxidación de los ácidos grasos de las membranas celulares y de las proteínas que son ricas en radicales con Azufre. Esta característica antioxidante es gracias a su estructura molecular, ya que se comporta como una molécula liposoluble capaz de fijar los radicales libres del tipo O_2^-, O_2^{2-} y OH gracias a que cuenta con un grupo fenólico, tal como se muestra en la figura 6. Dicha inhibición de oxidación lipídica en las membranas evita la acumulación de hidroperóxidos, ya que los tocoferoles funcionan como un canal molecular, por el cual los radicales abandonan la zona hidrocarbonada de las membranas. (Márquez, 2002)

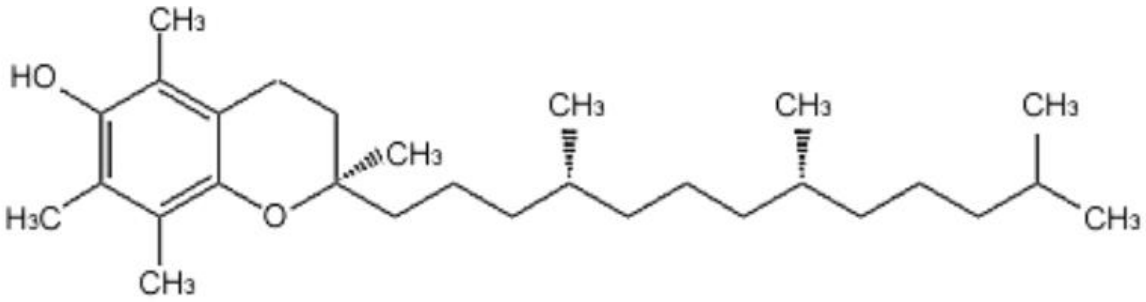


Figura 6. *Estructura química de la Vitamina E. Tomado de: Villaverde (2005)*

5.1.7. Extracción por microondas

La extracción asistida por microondas es considerada un método alternativo a los métodos convencionales para la obtención de compuestos bioactivos en matrices alimentarias. Este presenta ventajas frente a la reducción del consumo de energía, ya que se requiere menor tiempo, el gasto del solvente es menor y genera mayores rendimientos de extracción de los compuestos de interés. La frecuencia de los microondas oscila entre 300 MHz a 300 GHz, son de naturaleza electromagnética no ionizante, presentando dos campos de oscilación perpendiculares, lo que indica frecuencias eléctricas y magnéticas. Este método permite extraer compuestos bioactivos mediante dos métodos, la extracción asistida por microondas y un solvente recubre la muestra y es irradiado por las ondas, lo que permite que las paredes celulares interactúen con las ondas del microondas, obteniendo como resultado un calentamiento en la matriz vegetal, provocando una hinchazón de las paredes celulares gracias a la presión ejercida, provocando un incremento en la transferencia de masa de los solutos, lo

que genera la liberación de los compuestos hacia el disolvente , y la extracción con recipiente cerrado utilizando alta presión y temperatura. (Paz, 2020)

5.1.8. Cromatografía líquida de alta resolución

La cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) es una técnica analítica utilizada para la separación, identificación y cuantificación de componentes presentes en una mezcla, está basada en la transferencia de masa entre la fase estacionaria y la fase móvil. Este método es comúnmente utilizado en Bioquímica y química analítica para la separación de compuestos de una sustancia determinada, basada en diferentes tipos de interacciones químicas. Esta cromatografía es llevada a cabo mediante una columna, la cual se encuentra rellena con una fase fija, a la cual es introducida la muestra en la parte superior, donde se hace fluir la fase móvil a través de la columna. (Yagües, 2008). En la figura 7, se muestra el esquema del HPLC.

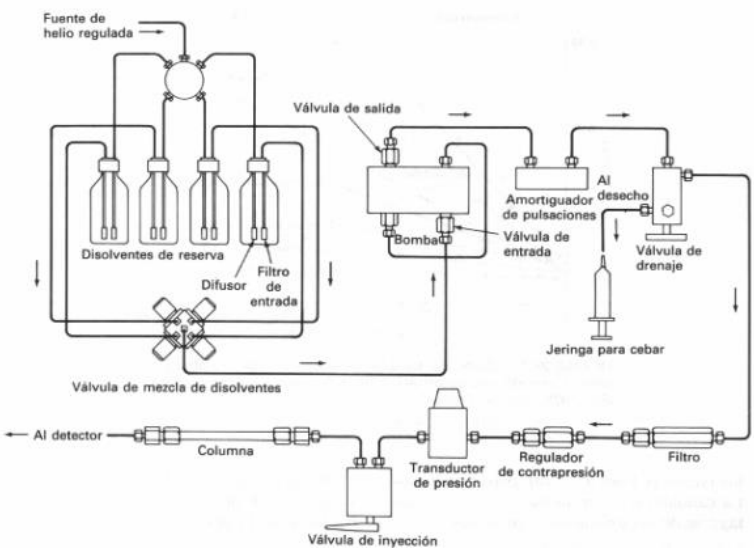


Figura 7.*Esquema equipo HPLC. Tomado de: Yagües (2008)*

5.1.9. Recubrimientos comestibles.

Los recubrimientos comestibles son conocidos como una capa fina de material comestible la cual es colocada en un alimento con el fin de prolongar su vida, reduciendo procesos metabólicos, crecimiento microbiano y servir de barrera protectora para la reducción de la respiración, retardando el proceso de senescencia del producto, inhibiendo así mismo la migración de humedad, la oxidación del producto y la perdida de armas. Dichos recubrimientos se encuentran compuestos de una variedad de macromoléculas las cuales presentan excelentes propiedades mecánicas y estructurales. (Fernández N. M., 2017)

Polisacáridos: Los polisacáridos se encuentran conformados por cadenas largas lineales o ramificadas de unidades de glucosa, las cuales tienen la capacidad de formar puentes de hidrogeno. Estos son utilizados en recubrimientos comestibles gracias a que forman barrera al oxígeno, son incoloros, sin embargo, presentan una baja barrera a la humedad. Entre los polisacáridos más utilizados para la elaboración de recubrimientos se encuentran la celulosa, el almidón, el quitosano, las pectinas, gomas y los alginatos.

Proteínas: Las proteínas son implementadas en la elaboración de recubrimientos comestibles gracias a su capacidad de formar una buena barrera contra el oxígeno y el dióxido de carbono, presentan buenas propiedades mecánicas, sin embargo, son débiles al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica. Las proteínas más utilizadas en la elaboración de recubrimientos son la caseína, el colágeno, y la gelatina. (Palma, 2021)

Lípidos: A diferencia de las proteínas y los polisacáridos, los lípidos son eficientes con respecto a la perdida de agua gracias a que estos son hidrofílicos e hidrofílica, presentando una baja polaridad y permeabilidad al vapor del agua. Sin embargo, los recubrimientos que son a base únicamente de lípidos son frágiles y gruesos debido a su hidrofobicidad.

Con el fin de obtener mejores propiedades mecánicas y mayor barrera, es mejor utilizar un recubrimiento compuesto, ya que permite aprovechar las características funcionales de cada una de las macromoléculas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue desarrollado en las instalaciones de la Universidad de La Salle, en el laboratorio CTAS (Centro Tecnológico de Ingeniería Ambientas y Sanitaria), al igual que en la planta piloto de Ingeniera de alimentos. Los materiales y reactivos que fueron utilizados fueron suministrados por la universidad, adicional el aceite de palma crudo OxG de origen Coari x La Mé fue suministrado por Cenipalma (Centro de Investigación en Palma de Aceite), las peras que fueron utilizadas

A continuación, se presenta de forma específica los materiales y reactivos que fueron empleados con el fin de poder llevar a cabo la fase experimental, de igual forma se describen los procedimientos implementados para el cumplimento de los objetivos planteados en este trabajo.

6.1. Extracción de compuestos bioactivos.

Para la extracción de compuestos bioactivos se dispuso el uso de Microondas modelo AR HM-0.7 PL marca HACEB. Además, se utilizó etanol como solvente y el aceite de palma variedad OxG. La tabla 2 resume las condiciones planteadas para la extracción de los compuestos.

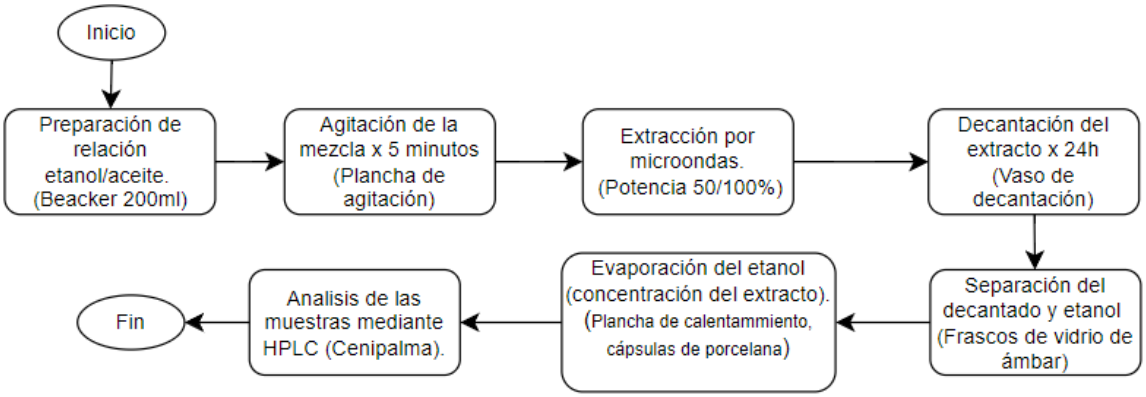
Tabla 2. *Variables de operación propuestas para la extracción de compuestos bioactivos*

Relación	Tiempo	Potencia	
9:1	60s	50%	100%
5:1			
3:1			
9:1	30s	50%	100%
5:1			
3:1			
9:1	15s	50%	100%
5:1			
3:1			

Para la extracción de los compuestos se realizó la preparación de las relaciones aceite: etanol según los tratamientos planteados, las cuales fueron sometidas a un proceso de agitación por 5 minutos. Posterior a esto, se ingresó la mezcla al microondas según el tiempo y la potencia establecida, una vez se sacaron del microondas se sometió a decantar la muestra en embudos de decantación con el fin de separar el aceite y el etanol el cual contiene el extracto de los compuestos presentes en el aceite esto por 24h, las muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio ámbar con el fin de preservar los compuestos fotosensibles.

Seguido se procedió a evaporar el etanol con el fin de concentrar los extractos. Cabe mencionar que todas las muestras se llevaron a cabo, por triplicado. Esta metodología se describe en la figura 8.

Figura 8. *Diagrama de flujo del proceso de extracción de compuestos bioactivos.*



Posterior a la extracción de los compuestos, las muestras fueron enviadas al laboratorio de Cenipalma en Paratebueno, Cundinamarca, Colombia. Donde se realizó la cuantificación de estos mediante el uso de cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) de acuerdo con el método oficial AOCS Ce 8-89, el equipo HPLC (1260 Infinity, Agilent Technologies, EE. UU.) se encontraba equipado con un detector de fluorescencia (FLD) (λ emisión: 330 nm, λ excitación: 290 nm), un detector de arreglo de diodos (DAD) (λ = 450 nm), un horno ajustado a 30 °C y una columna Chromolith® RP-18e en fase reversa (100 mm x 4,6 mm x 5 µm). La fase móvil fue Acetonitrilo:Agua: 90:10 (fase A) y: Acetonitrilo:Isopropanol 65:35 (fase B). El gradiente de elución fue: 0 – 15 min, 30 – 100 % de fase B; 15 – 20 min: 100 % de fase B; 20 – 22 min, 100 – 70 % de fase B; 22 – 35 min, 30 % de fase B con un flujo de 1 mL·min-1. Los estándares utilizados para desarrollar las curvas de calibración para la caracterización incluyeron α-, β-, δ- y γ-tocotrienol, α-, β-, δ- y γ-tocoferol, así como α- y β-caroteno, todos ellos suministrados por Merck Millipore (Millipore Corporation, EE. UU.) con una pureza de ≥ 95 %. Acetonitrilo e isopropanol, ambos de grado HPLC, fueron suministrados por Merck Millipore (Millipore Corporation, EE. UU.). Esto con el fin de poder identificar que condición de extracción que permite la mejor cuantificación de dichos compuestos.

6.2. Aplicación recubrimiento comestible.

Con el fin de demostrar la capacidad antioxidante del aceite, se propuso la aplicación de este en un recubrimiento comestible en un producto mínimamente procesado, específicamente en peras (*Pyrus*

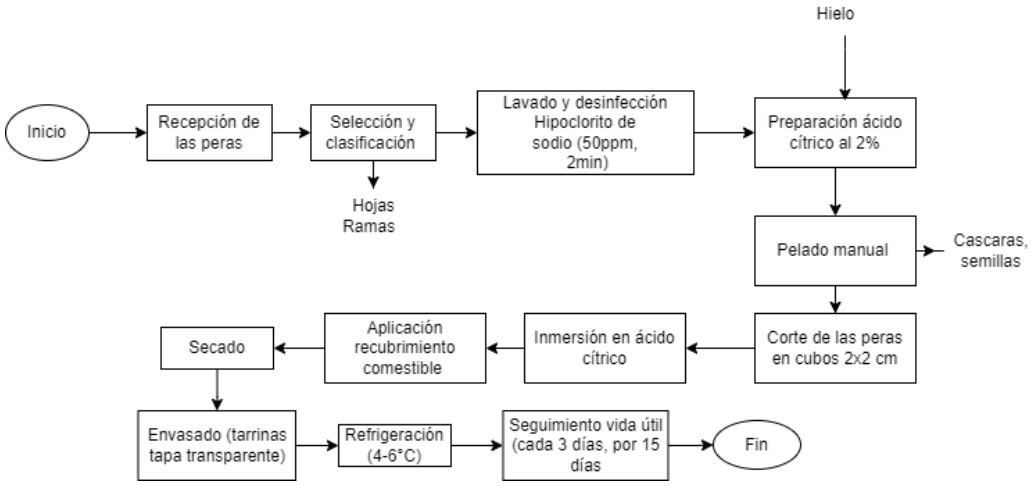
comuunis). Para esto se propusieron dos recubrimientos, con una variación en la cantidad de aceite en los recubrimientos, tal como se ilustra en la tabla 3.

Tabla 3.*Formulaciones propuestas para la elaboración de los recubrimientos comestibles.*

Recubrimiento 1		Recubrimiento 2		Recubrimiento extracto	
Elemento	**Participación (%)**	**Elemento**	**Participación (%)**	**Elemento**	**Participación (%)**
Pectina	2	Pectina	2	Pectina	2
Glicerol	5	Glicerol	5	Glicerol	5
Almidón de yuca	2	Almidón de yuca	2	Almidón de yuca	2
Aceite (OxG)	1	Aceite (OxG)	2	Extracto	1
Agua	89,5	Agua	89	Agua	89,5

Una vez se preparó el recubrimiento se procedió a realizar el mínimamente procesado en peras, siguiendo el procedimiento que se ilustra en la figura 9.

Figura 9. *Diagrama de flujo de proceso recubrimiento comestible en peras mínimamente*



procesadas

Para el seguimiento de la vida útil de las peras, se midieron las siguientes características fisicoquímicas, estas mediciones se realizaron por un tiempo de 15 días, las cuales fueron tomadas cada 3 días.

- **Grado de madurez**: Para la toma de los grados brix, se utilizó un refractómetro de escala (0-30)
- **Acidez titulable:** Para la medida de la acidez titulable en las peras se utilizó NaOH al 1N como base.

Para el cálculo de la acidez titulable se utilizó la ecuación 1. Cabe mencionar que meq hace referencia a los miliequivalentes del ácido más predominante del alimento, este caso las peras.

Ecuación 1. *Cálculo de la acidez titulable.*

$$\%Acidez: \frac{ml\ NaOH * Normalidad\ NaOH * meq}{Volumen\ de\ la\ muestra} * 100$$

- **Peso:** Las peras fueron pesadas con el fin de conocer su pérdida de peso a través del tiempo, mediante el uso de balanza analítica modelo ().
- **pH:** El pH de las peras fue tomado con un pH metro marca Hanna
- **Tasa de respiración:** Para medir la tasa de respiración de las peras se utilizó la cámara de respiración de la Universidad de La Salle, en la cual se dispuso KOH al 0,1N en la trampa de CO_2, una vez se introdujeron las muestras en la cámara, se ingresó Hidróxido de bario en los tubos Petenkoffer los cuales están unidos mediante mangueras de látex a las cámaras de respiración. Pasado una 1h se procedió a titular el Hidróxido de bario con ácido oxálico, y se registró la cantidad de ácido gastado para el cálculo de la tasa de respiración.

Para calcular la tasa de respiración de las frutas hizo mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. *Cálculo de la tasa de respiración .*

$$IR = \frac{(Vb - Vm) * N * 22mg/meq}{W * t}$$

Donde:

- Vb: Volumen de ácido oxálico en ml gastado al titular el blanco
- Vm: Volumen de ácido oxálico en ml gastado al titular la muestra
- N: Normalidad del ácido oxálico
- W: Peso de la muestra
- t: tiempo en horas (flujo continuo de aire a través del sistema)

- **Color:** Para la toma del color se utilizó el colorímetro de la universidad de la Salle, el cual permitió tener los valores de L*, a* y b* para la determinación de la oxidación de las peras a través del tiempo.

6.3. Capacidad antioxidante.

Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante del extracto obtenido y los recubrimientos elaborados, se propuso la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método de FRAP. Para esto se implementó la metodología propuesta por Zavaleta (2017). Cabe mencionar que, para poder llevar a cabo esta prueba, se tuvieron que preparar los reactivos de FRAP, Trolox y TPTZ. Teniendo en cuenta esto, en las 10, 11 y 12 se muestran los diagramas de flujo de la metodología utilizada para la preparación de los reactivos y la aplicación de la metodología.

Figura 10. *Preparación del reactivo FRAP*

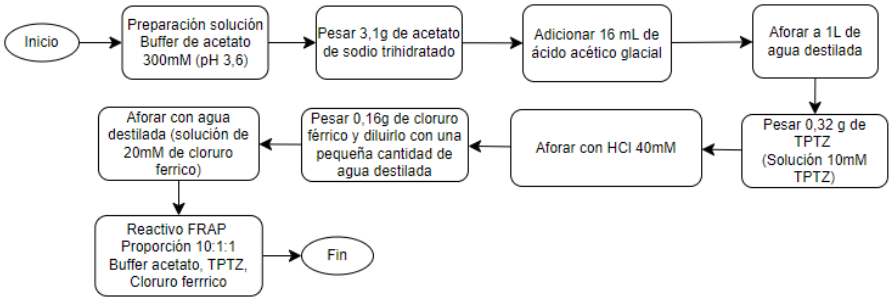


Figura 11. *Preparación Reactivo Trolox.*

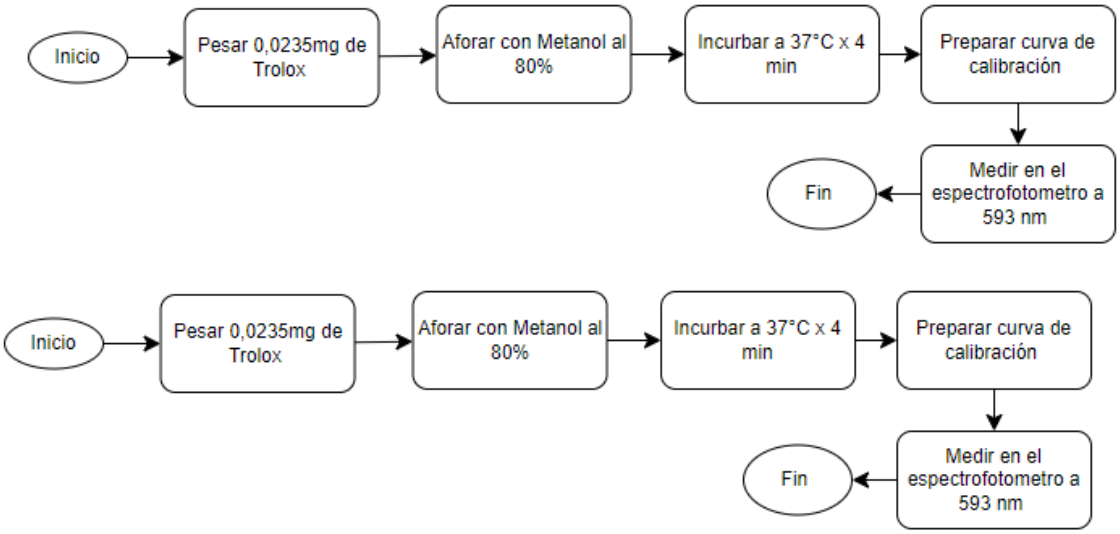
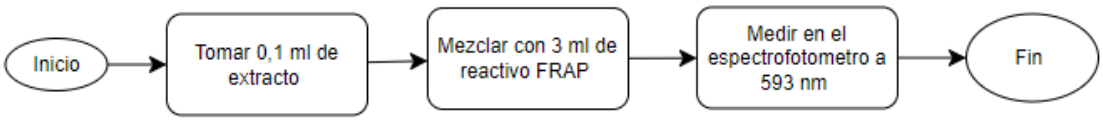


Figura 12. *Preparación de las muestras a medir capacidad antioxidante.*



Para la curva de calibración de estándares de trolox se realizaron las diluciones ilustradas en la tabla 4.

Tabla 4.*Estándares curva de calibración Trolox.*

Concentración (µmol)	Trolox (ml)	Metanol 80% (ml)
100	2,5	22,5

200	5	20
400	10	15
600	15	10
800	20	5

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Extracción de compuestos bioactivos.

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico Minitab (módulo DOE, Versión 19), para generar los modelos de regresión que ilustran los efectos que tienen la potencia, el tiempo y la relación con respecto a la extracción de los compuestos. Para esto, se utilizó la metodología de superficies de respuestas, ya que es robusta para la optimización de los procesos, permitiendo evaluar el impacto de diferentes variables sobre una respuesta deseada.

7.1.1. Carotenoides totales

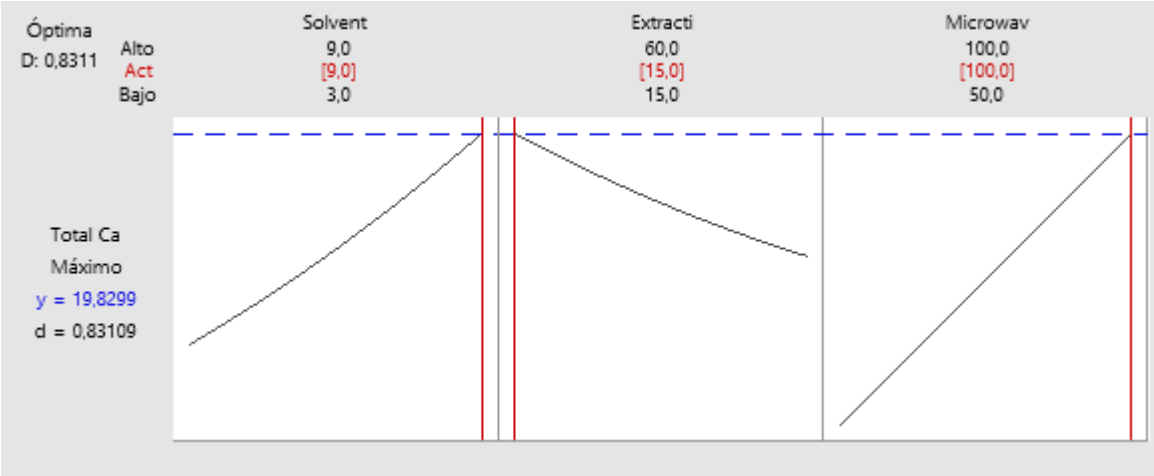
El grafico 1, ilustra los efectos principales que tienen la potencia, el tiempo y la relación frente a la extracción de carotenoides totales, donde se encontró que las mejores condiciones de extracción que permiten obtener un contenido de carotenoides totales mayor fueron relación 9:1, tiempo de extracción 15s y potencia del microondas 100%, según el modelo de optimización reflejado en la ecuación 3. Además, el análisis de varianza (ANOVA) permitió determinar que el aumento en la relación solvente- aceite permite tener un incremento en la respuesta de extracción de manera significativa, al igual que con la potencia del microondas. Por otro lado, también permitió determinar que un aumento del tiempo puede conllevar a una respuesta negativa en el contenido de carotenoides.

Ecuación 3. *Ecuación de regresión extracción de Carotenoides totales.*

$$\begin{aligned} Extracción\ \ Carotenoides\ totales\ (\%) \\ &= 0{,}15 - 1{,}65RS + 0{,}066TE + 0{,}0693MP + 0{,}060RS^2 + 0{,}00081TE^2 \\ &- 0{,}0810RS * TE + 0{,}02847RS * MP - 0{,}001921TR * MP \end{aligned}$$

Donde corresponde a la relación del solvente (ml/ml), MP a la potencia del microondas (%) y TE al tiempo de extracción (s).

Gráfica 1.*Efectos principales en la extracción de Carotenoides totales*



Según el modelo de optimización a las condiciones previamente mencionadas se nota que se obtiene un extracto del 19,83% de carotenoides totales.

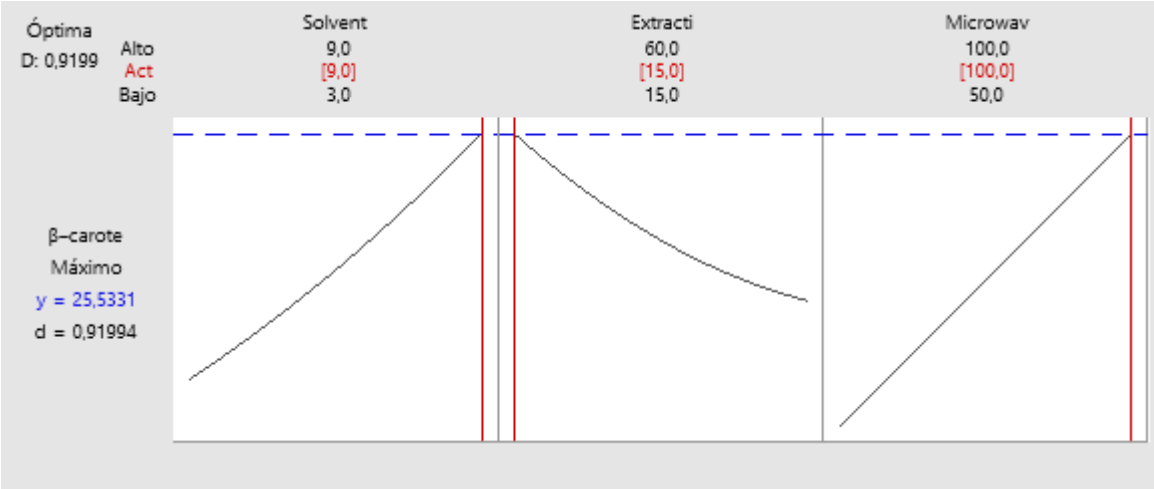
7.1.1.1. Betacarotenos

El β-caroteno es considerado como el precursor biológico del retinol, siendo uno de los compuestos más importantes en el aceite de palma ya que se ha mostrado que este es la fuente con más riqueza en el mudo de retino, llegando a contener 15 veces más equivalentes de retinol que las zanahorias (Diaz & Núñez, 2023). El grafico 2, ilustra los efectos principales que tienen la potencia, el tiempo y la relación frente a la extracción de β-carotenos, donde según el modelo de optimización obtenido (Ecuación 4) el mayor contenido de β-carotenos (25,53%) se logró obtener a una relación solvente-aceite de 9:1, un tiempo de 15s y 100% del microondas. Esto indica que los efectos tienen una relación con la extracción de este compuesto. Además, el ANOVA confirma los resultados obtenidos con un valor de p <<0,05. Sin embargo, se encontró que un aumento en el tiempo puede tener un impacto negativo en la extracción de los β-carotenos.

Ecuación 4. *Ecuación de regresión extracción de* β-carotenos.

$$Extracción\ \beta - caroteno\ (\%) = 0{,}96 - 1{,}68RS - 0{,}022TE + 0{,}0834MP + 0{,}089RS^2 + 0{,}00269TE^2 - 0{,}01867RS * TE + 0{,}03314RS * MP - 0{,}00231TR * MP$$

Gráfica 2. *Efectos principales en la extracción de β-carotenos*



7.1.1.2. Alfa carotenos

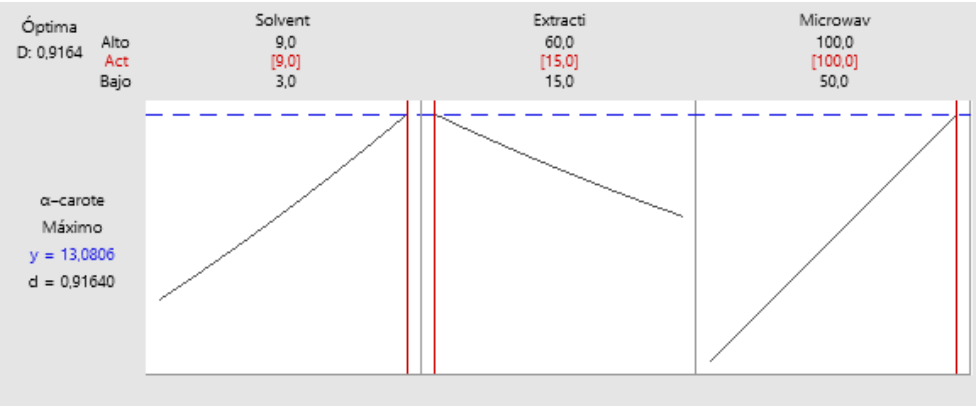
Los α-carotenos son uno de los compuestos bioactivos más importante que se identificaron en los extractos. La grafica 3 ilustra los efectos principales que tienen la potencia, el tiempo y la relación frente a la extracción de α-carotenos, donde al igual que los β-carotenos la extracción se ve afectada por estos factores. El ANOVA confirma estos resultados con un valor de $p < 0{,}05$.

En la ecuación 5, se ilustra el modelo de optimización para la extracción de α-carotenos, lo cual muestra que se logró obtener un contenido máximo de 13,08% de α-carotenos. Además, este modelo indico que las mejores condiciones de extracción fueron relación 9:1, tiempo de extracción 15s y una potencia de microondas del 100%.

Ecuación 5. *Ecuación de regresión extracción de* β-carotenos.

$$\begin{aligned} Extracción\ \alpha - caroteno\ (\%) \\ &= -2{,}09 - 0{,}66RS + 0{,}058TE + 0{,}0600MP + 0{,}0246RS^2 + 0{,}00028TE^2 \\ &- 0{,}00559RS * TE + 0{,}01628RS * MP - 0{,}001152TR * MP \end{aligned}$$

Gráfica 3. *Efectos principales en la extracción de α-carotenos*



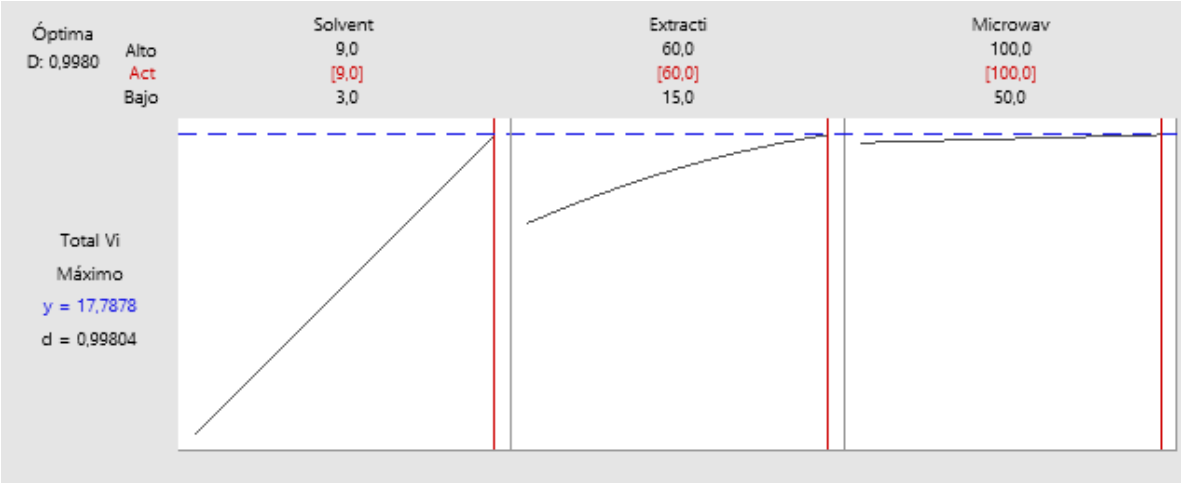
7.1.2. Vitamina E.

La vitamina E en el aceite de palma se encuentra como una mezcla compleja de tocoferoles y tocotrienoles, destacando que los aceites vegetales especialmente los de semilla, son fuentes ricas en tocoferoles (Sundram, 1994). En cuanto a la extracción de la vitamina E, el modelo de optimización (ecuación 6) muestra las condiciones adecuadas para obtener el mayor contenido de vitamina E (17,79%), siendo 9:1 la mejor relación del solvente, 60 s el mejor tiempo de extracción y 100% de potencia. Por otro lado, el grafico 4 ilustra los efectos que tienen la potencia, la relación y el tiempo frente a la extracción de la vitamina E.

Ecuación 6. *Ecuación de regresión extracción de Vitamina E.*

$$Extracción\ Vitamina\ E\ (\%) = -1{,}354 + 1{,}3787RS + 0{,}06615TE - 0{,}00093MP + 0{,}0246RS^2 + 0{,}00028TE^2 - 0{,}00559RS * TE + 0{,}01628RS * MP - 0{,}001152TR * MP$$

Gráfica 4. *Efectos principales en la extracción de Vitamina E*



El ANOVA realizado indica que los factores más relevantes en la extracción de Vitamina E son la relación del solvente y el tiempo de extracción, mostrando así mismo que la potencia del microondas tiene un impacto menor.

7.1.2.1. Tocoferoles y tocotrienoles

En cuanto al contenido de tocoferoles se pudo estimar mediante modelos de optimización las condiciones adecuadas que permitieron obtener la mayor cantidad de α- tocoferol, β+γ- tocoferol, δ-tocoferol y δ-tocotrienol.

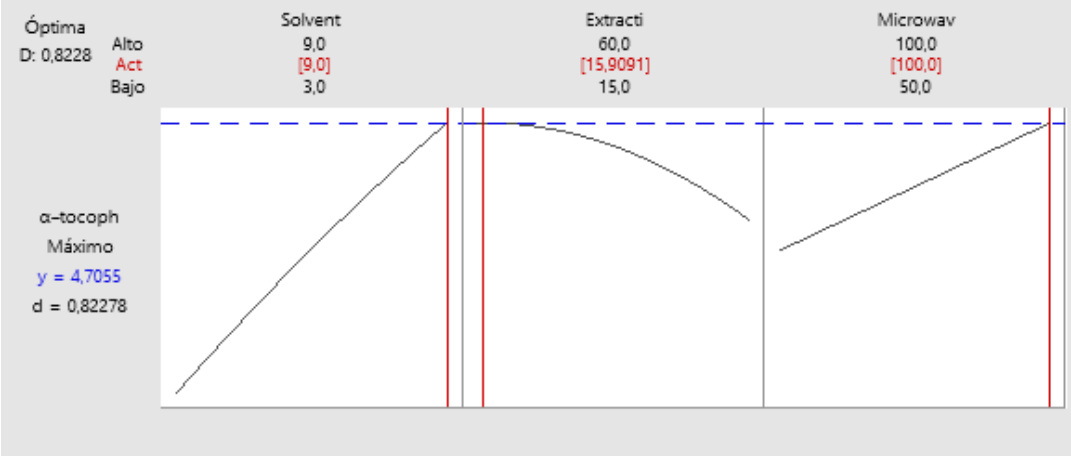
La grafica 5 muestra los efectos principales que tienen la potencia, relación y tiempo sobre la extracción de α- tocoferol, al igual que la ecuación 7 que ilustra el modelo de optimización el cual permitió determinar que para la obtención de este compuesto las mejores condiciones fueron relación 9:1, tiempo de extracción 15s y potencia de microondas 100%. El ANOVA mostró que las condiciones que mayor relevancia tuvieron fueron relación de solvente y el tiempo de extracción, influyendo conjuntamente en una respuesta positiva, mostrando, además, que los resultados son confiables.

Ecuación 7. *Ecuación de regresión extracción de* α-tocoferol.

$$Extracción\ \alpha - tocoferol\ (\%) = -0{,}49 + 0{,}305RS + 0{,}0665TE - 0{,}00342MP - 0{,}0117RS^2 + 0{,}000574TE^2 - 0{,}00308RS * TE + 0{,}00399RS * MP - 0{,}000203TR * MP$$

Mediante el modelo de optimización reflejado en la ecuación 4, se determina que el contenido mayor de α-tocoferol es de 4,7055%.

Gráfica 5. *Efectos principales en la extracción de α-tocoferol*

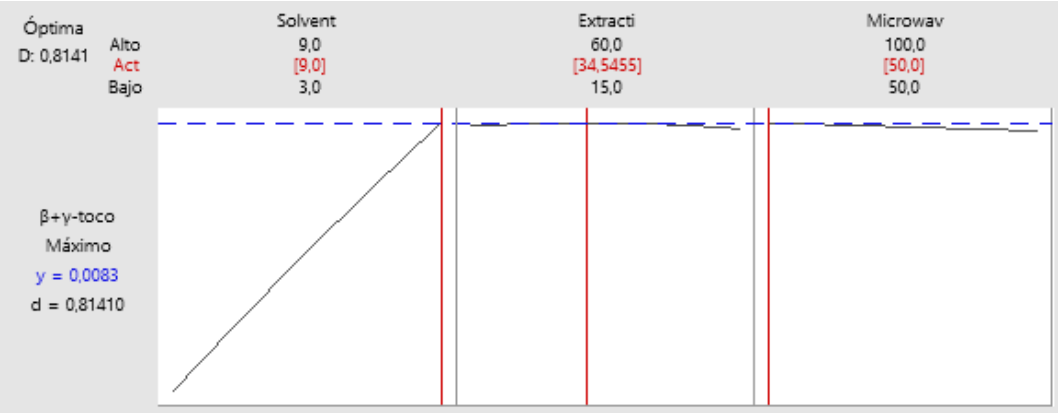


En cuanto al contenido de β+γ- tocoferol, mediante el ANOVA se encontró que la relación del solvente tiene un efecto lineal significativo sobre la respuesta, al igual que el tiempo, sin embargo, la potencia del microondas no presenta un efecto importante en la respuesta. Por otro lado, la gráfica 6 y la ecuación 8 muestra el modelo de optimización el cual indica que las mejores condiciones de extracción para este compuesto fueron relación 9:1, tiempo de extracción 30s y 50% de potencia. Obteniendo un contenido máximo de 0,0083% de α-tocoferol.

Ecuación 8. *Ecuación de regresión extracción de β+γ -tocoferol.*

$$Extracción\ \beta + \gamma\ - tocoferol\ (\%) = -0{,}00091 + 0{,}001076RS + 0{,}000038TE + 0{,}00003MP - 0{,}000012RS^2 - 0{,}000002RS * TE$$

Gráfica 6. *Efectos principales en la extracción de β+γ -tocoferol.*



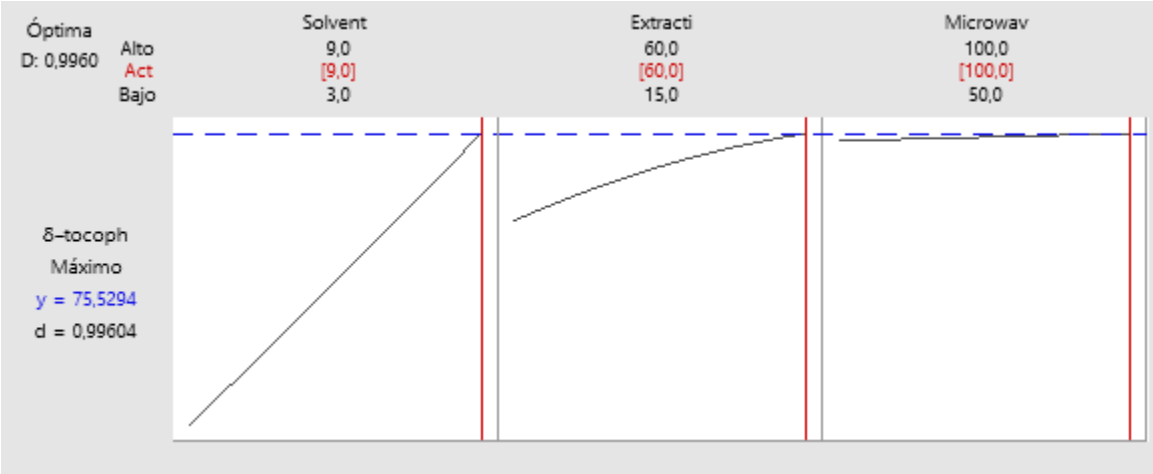
Con relación al contenido de δ-tocoferol se realizó el ANOVA el cual permitió determinar que la relación del solvente es el factor más significativo en la extracción de δ-tocoferol, al igual que las interacciones entre la relación del solvente y el tiempo de extracción, y la relación del solvente y la potencia del microondas. Al igual que para los otros compuestos se realizó un modelo de optimización para identificar las mejores condiciones (ecuación 9).

Ecuación 9. *Ecuación de regresión extracción de δ-tocoferol.*

$$Extracción\ \beta + \gamma\ - tocoferol\ (\%) = -05{,}812 + 5{,}726RS + 0{,}000038TE + 0{,}0367RS^2 - 0{,}003698TE^2 + 0{,}03775RS * TE + 0{,}00294RS * MP$$

A partir de este modelo se determinó que las condiciones que mayor contenido permitió tener de δ-tocoferol (75,53%) fueron relación 9:1, tiempo de extracción 60s y potencia del microondas 100%. El grafico 7 ilustra los efectos que estos tienen sobre la extracción del compuesto.

Gráfica 7.*Efectos principales en la extracción de δ-tocoferol*



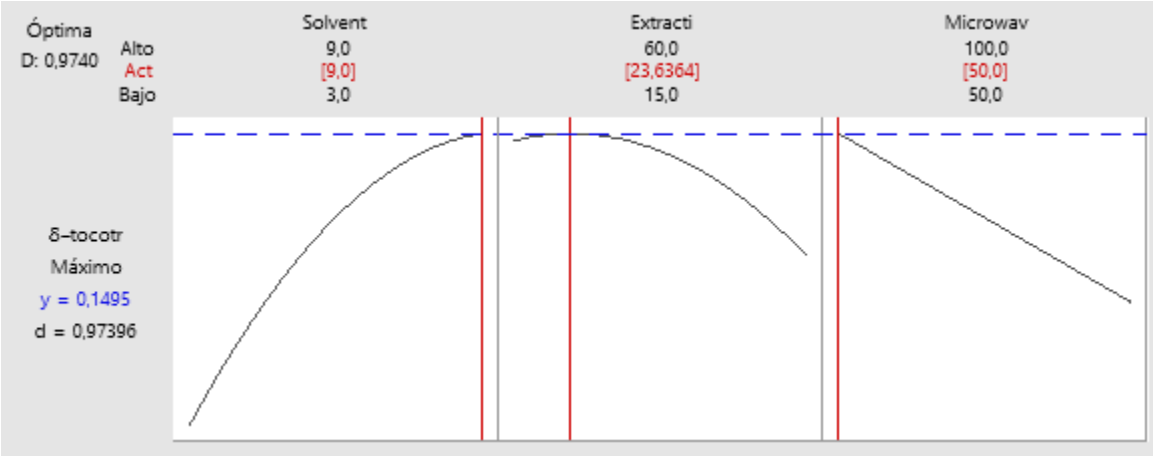
Mediante el modelo de optimización reflejado en la ecuación 4, se determina que el contenido mayor de α-tocoferol es de 4,7055%.

Al igual que los otros compuestos, la gráfica 8 ilustra los efectos que tienen la potencia del microondas, la relación del solvente y el tiempo sobre la extracción de δ-tocotrienol. Mediante un modelo de optimización el cual se ilustra en la ecuación 10, se encontró que las mejores condiciones de extracción fueron relación 9:1, tiempo de extracción 30s y 50% de potencia de microondas, obteniendo 0,149% máximo de δ-tocotrienol

Ecuación 10. *Ecuación de regresión extracción de δ-tocotrienol.*

$$\begin{aligned} Extracción\ \delta - tocotrienol\ (\%) \\ &= -0{,}0036 + 0{,}0318RS + 0{,}00414TE + 0{,}001093MP - 0{,}001571RS^2 \\ &- 0{,}000021TE^2 - 0{,}000252RS * TE + 0{,}000082RS * MP - 0{,}000017TE * MP \end{aligned}$$

Gráfica 8.*Efectos principales en la extracción de δ-tocotrienol*



El ANOVA realizado mostró que para la extracción del δ-tocotrienol los factores más significativos son la relación del solvente y la potencia del microondas.

La tabla 5 muestra las condiciones más adecuadas obtenidas para la extracción de cada uno de los compuestos bioactivos presentes en el aceite de palma.

Tabla 5.*Condiciones y rendimientos de cada uno de los compuestos bioactivos*

COMPUESTO	RELACION SOLVENTE	TIEMPO DE EXTRACCION	POTENCIA DE MICROONDAS	RENDIMIENTO
Carotenoides totales	9	15s	100%	19,83%
β-carotenos	9	15s	100%	25,53%
α-carotenos	9	15s	100%	13,08%
Vitamina E	9	60s	100%	17,79%
α-tocoferol	9	15s	100%	4,71%
β+γ -tocoferol	9	30s	50%	0,008%
δ-tocoferol	9	30s	50%	75,53%
δ-tocotrienol	9	30s	50%	0,149%

De acuerdo con esto, se encontró que al analizar los resultados de manera general se encuentra la potencia del microondas (100%) y la relación solvente-aceite (9:1) son las condiciones que mayor relevancia tienen en la extracción de los compuestos, en concordancia por lo expuesto por García (2000) el cual indica que al usar mayores potencias logra obtener mayor cantidad de extractos. Este fenómeno se da, ya que se provoca una hinchazón de las paredes celulares del aceite gracias a la presión ejercida por las ondas electromagnéticas, provocando un incremento en la transferencia de masa de los solutos, lo que genera la liberación de los compuestos hacia el disolvente. (Paz, 2020). Además, la agitación térmica causada por el calor del microondas provoca una mejor mezcla entre el solvente y el aceite de palma, aumentando el área de contacto entre ambos favoreciendo la migración de los compuestos hacia el solvente.

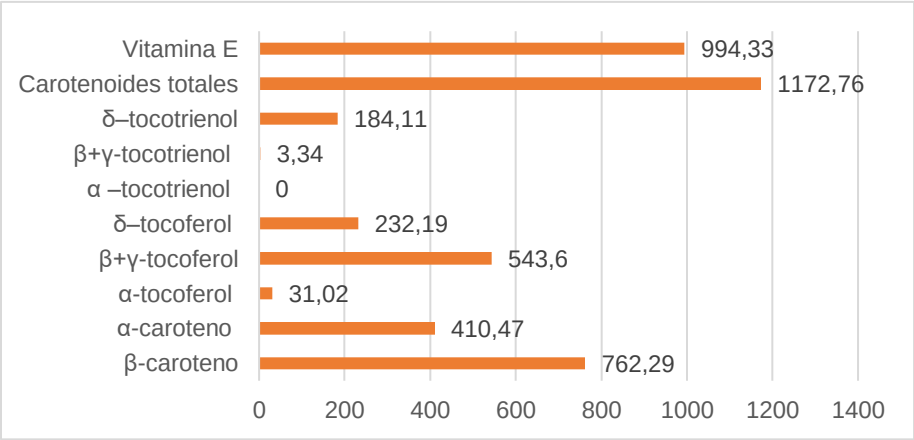
7.1.3. Identificación de compuestos bioactivos

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la extracción por microondas de los compuestos activos del aceite de palma. Se determinaron los fitocompuestos presentes en el aceite, siendo los carotenoides (1172,76 $mg*kg^{-1}$) los compuestos más abundantes en la variedad del aceite estudiado, seguido de los isómeros de la Vitamina E siendo los tocoferoles (806,88 $mg*kg^{-1}$) y los tocotrienoles (187,45 $mg*kg^{-1}$)los más abundantes, tal como se ilustra en el grafico 9. Además, según los resultados obtenidos no se logró detectar ningún α-tocotrienol ya que presentaron concentraciones menores (0,010 $mg*kg^{-1}$).

Según los resultados obtenidos por Gonzales & Núñez (2023) determinaron que el aceite de palma crudo del cultivar hibrido OxG puede llegar a contener concentraciones entre 514 a 1449 $mg*kg^{-1}$ de carotenoides llegando a representar el 29,3% de los compuestos menores del aceite. Por otro lado, Rincón (2013) en su estudio pudo determinar que el aceite hibrido OxG es fuente importante de carotenoides, vitamina E (tocotrienoles y tocoferoles) y fitoesteroles los cuales se presentan en concentraciones de 820, 1316 y 941 $mg*kg^{-1}$, lo que llega a representar aproximadamente el 26% de estos compuestos menores. Además, destaca que la concentración promedio de tocotrienoles representó el 85% de la Vitamina E total y el β-caroteno representó el 73% de los carotenoides totales. Consecuente a esto el estudio realizado mostró que el β- caroteno representa el 55% de los carotenoides totales y los tocoferoles el 81% de la Vitamina E.

Las concentraciones identificadas en las muestras estudiadas se encuentran que estas son coherentes con lo reportado en la literatura. Es importante destacar que dependiendo del tipo de variedad de aceite estudiada estas concentraciones pueden variar al igual que la presencia de estos compuestos, en especial la presencia de los isómeros de la vitamina E. (Diaz & Núñez, 2023).

Gráfica 9. *Compuestos menores presentes en el aceite de palma OxG origen Coari x La Mé*

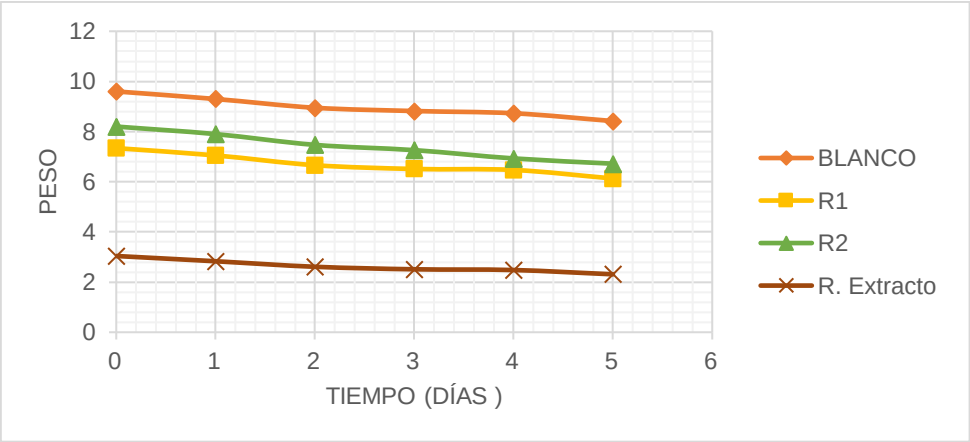


7.2. Recubrimiento comestible

Con el fin de darle una aplicación a los compuestos bioactivos que están presentes en el aceite de palma, tal como se muestra en la tabla 3, se propusieron tres recubrimientos comestibles con una cantidad diferente de aceite y con una porción del extracto, los cuales fueron aplicados en Peras mínimamente procesadas, con el fin de estudiar la capacidad antioxidante del aceite y el extracto. Para esto se realizó seguimiento de las propiedades fisicoquímicas y su comportamiento frente a la oxidación de las peras durante 15 días, cabe mencionar que la toma de los datos se realizó cada tres días y que estas fueron refrigeras a temperatura de 4°C.

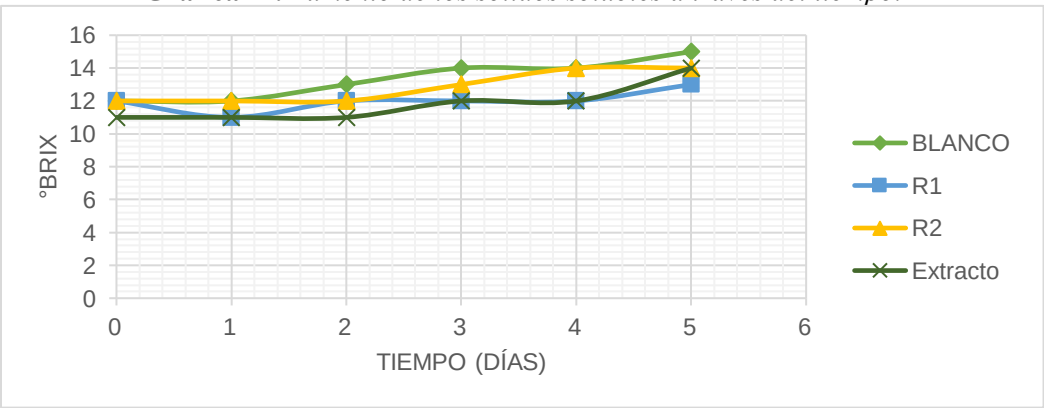
La pérdida de peso es un indicador de la perdida de agua del producto, la cual afecta directamente su calidad y vida útil. En el grafico 10, se evidencia la pérdida de peso a lo largo del tiempo, en donde se muestra que el recubrimiento 2 es el que presenta menos pérdida de peso conjunto con el blanco y el recubrimiento que contiene el extracto, mientras que el recubrimiento 1 presenta mayor pérdida de peso a lo largo de los días.

Gráfica 10. *Pérdida de peso a lo largo del tiempo*



Los grados brix son la medida que indica el contenido de azúcar en un alimento. En las frutas es utilizado para evaluar la madurez del producto. Por lo que, en el grafico 11 muestra como es el aumento de los sólidos solubles (brix) a lo largo del tiempo, es decir cómo va madurando las peras a medida de los 15 días, donde se encuentra que el recubrimiento 2 tiene un comportamiento adecuado ya que a pesar de que hay aumento en los sólidos solubles, estos son más estables con respecto a los demás tratamientos. Sin embargo, cabe mencionar que el recubrimiento con el extracto muestra menor incremento en los brix, lo que puede llegar a significar un menor desarrollo de azucares favoreciendo a la maduración rápida del producto.

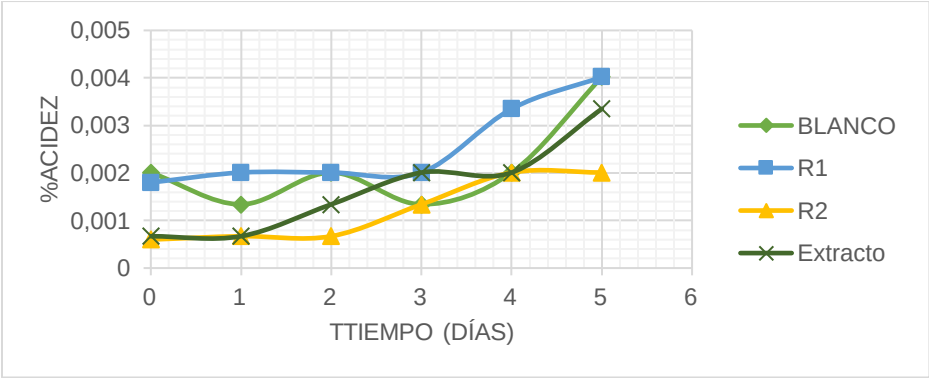
Gráfica 11. *Aumento de los sólidos solubles a través del tiempo.*



Por otro lado, la acidez es un parámetro clave en la determinación del sabor, estado de maduración y la estabilidad del producto. La acidez en las frutas está ligada principalmente a la presencia de ácidos orgánicos, en el caso de las peras el ácido orgánico más predominante es el ácido málico y el cítrico.

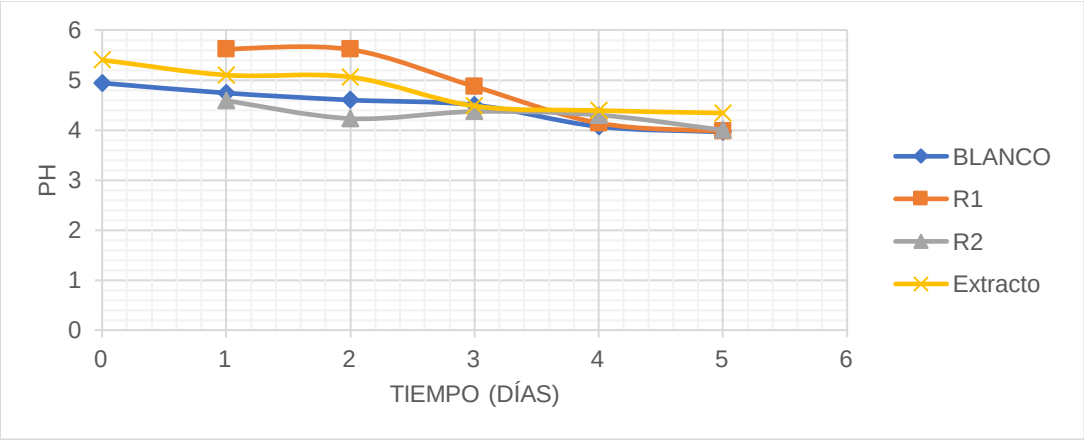
Por lo tanto, en el grafico 12, se muestra el comportamiento de la acidez con respecto al tiempo, los resultados muestran que el recubrimiento 2 al igual que el recubrimiento con extracto permite que la acidez en la fruta sea más estable, es decir que no aumente de forma significativa, mientras que el recubrimiento 1 y el blanco tienen un aumento más rápido de la acidez con respecto a los días.

Gráfica 12. *Comportamiento de la acidez a lo largo del tiempo*



Además, el pH es un indicador de la acidez, y son inversamente proporcionales, es decir a medida que el pH aumenta, la acidez disminuye y viceversa. La medida del pH permite conocer únicamente la concentración de iones de hidrógenos (acidez activa), lo que ayuda a indicar que tan ácido o básico es un alimento. Teniendo en cuenta esto, en el grafico 13 se muestra como aumento o disminuyo el pH de las frutas a medida del transcurso del tiempo, donde se puede determinar que los tratamientos que mejor mantienen el pH (menor acidez en la fruta) son el recubrimiento con extracto y el recubrimiento 2, por el contrario, al recubrimiento 1 y el blanco los cuales muestran un bajo pH (acidez elevada) lo que puede conllevar a una descomposición más rápida de las peras.

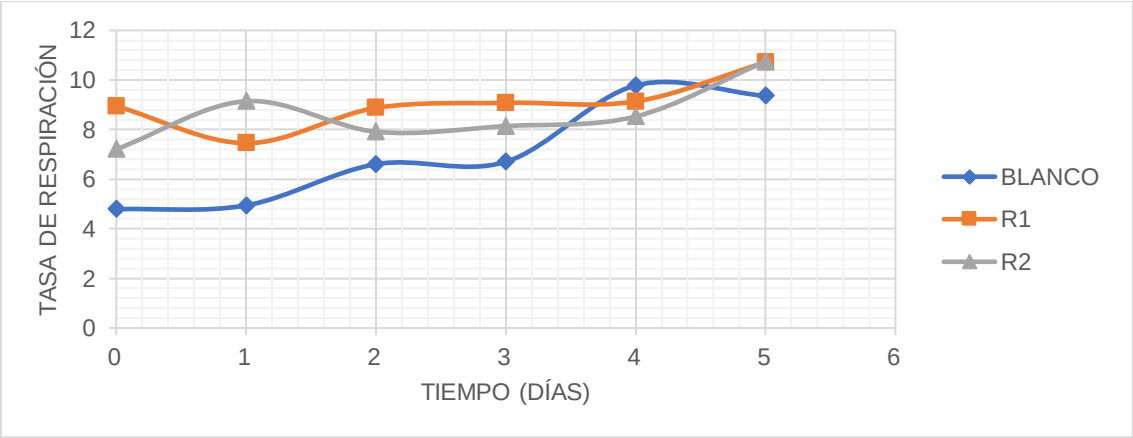
Gráfica 13.*Comportamiento del pH en el tiempo*



Uno de los factores que se busca disminuir con la aplicación de recubrimientos es la tasa de respiración del alimento, pues al ser un proceso metabólico que ocurre en las células del alimento en donde las moléculas orgánicas son oxidadas en presencias de oxígeno liberando energía. La tasa de respiración se ve impactada por diferentes factores como la temperatura, la exposición de oxígeno y dióxido de carbono y el etileno el cual es una hormona gaseosa la cual ayuda a la aceleración de la respiración de la fruta haciendo que esta llegue pronto a su senescencia.

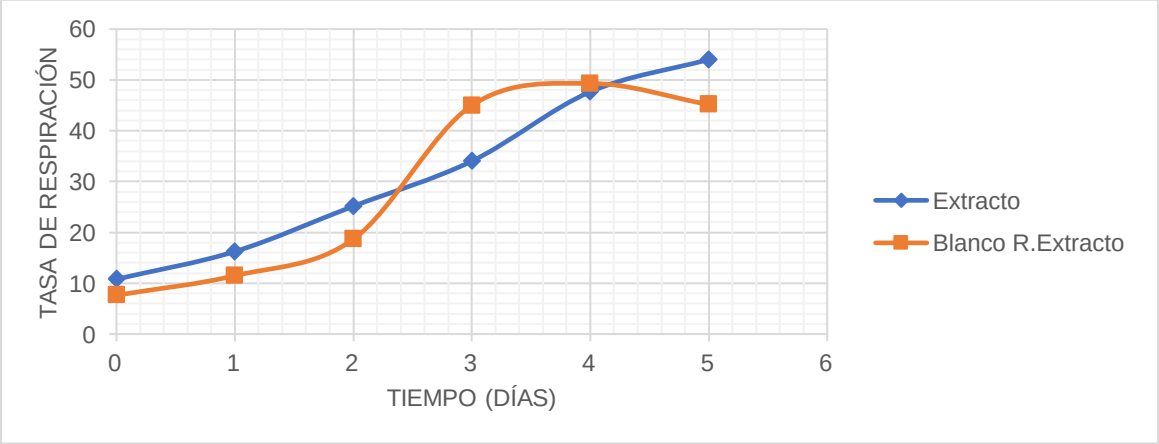
Teniendo en cuenta esto, en los gráficos 14 se muestra como es el cambio de respiración de la fruta en cuanto a los recubrimientos 1 y 2 donde se nota que el recubrimiento 1 y el blanco son los que más pérdida de peso tienen, lo que está relacionado con un mayor estrés metabólico, al igual el recubrimiento 2 presenta una tasa de respiración elevada, sin embargo, es más estable que los otros dos tratamientos.

Gráfica 14. *Tasa de respiración a medida del tiempo de los tratamientos R1 y R2*



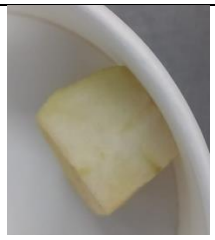
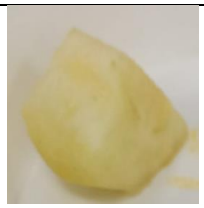
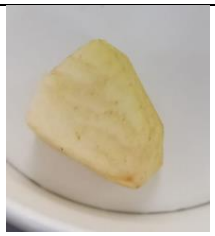
Por otro lado, en el grafico 15 se muestra como es la tasa de respiración de las peras cuando se les aplico el recubrimiento que contenía el extracto, donde se puede evidenciar que la tasa de respiración del extracto es similar al blanco, mostrando un aumento más drástico a comparación de los demás tratamientos. Esto se puede ver directamente relacionado a la ausencia de lípidos en el recubrimiento, ya que este en su composición no contiene aceite, únicamente el extracto. Los lípidos han mostrado ser una barrera contra el agua gracias a su capacidad hidrofóbica, evitando la perdida de agua y el aumento del metabolismo de la fruta (Rosero, 2020), lo que se ha visto reflejado en los recubrimientos 1 y 2, pues a pesar de que su tasa de respiración es alta, no presenta el aumento drástico que representa el recubrimiento con extracto.

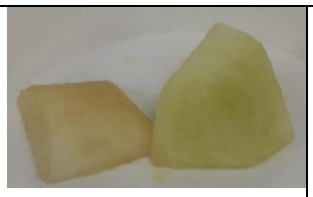
Gráfica 15. *Tasa de respiración a medida del tiempo con respecto al recubrimiento con el extracto*



Por otro lado, en la tabla 6 se muestra fotográficamente como es el cambio que van teniendo las peras a lo largo de los días, esto con el fin de poder observa cómo se va oxidando la fruta con respecto a los tratamientos realizados. Cabe destacar que el aceite al contar con carotenoides en su composición tiene un pigmento naranja, el cual fue otorgado a las peras.

Tabla 6. *Cambios en el color de las peras con respecto al tiempo.*

Día	**Blanco**	**Recubrimiento 1**	**Recubrimiento 2**	**Recubrimiento extracto**
0				
1				
2				
3				
4				

5				

Una de las características más importantes para el seguimiento de la oxidación de las peras es la medida del color, ya que este es un indicador visual que influye en la percepción del consumidor, ya que se ve relacionado con la frescura, madurez y calidad del producto. El seguimiento del color se realizó mediante la escala Cielab, donde L* relaciona la luminosidad del producto, a* relaciona los colores verde-rojo y b* relaciona los colores azul-amarillo. Teniendo en cuenta esto la tabla 7 muestra el cambio de color que van teniendo las peras de acuerdo con los diferentes tratamientos aplicados.

Tabla 7. *Cambio de luminosidad de las peras a través del tiempo.*

COLOR	Días					
L	0	1	2	3	4	5
Blanco	44	53,32	47,66	41,09	53,46	50,05
R1	52,69	48,61	47,97	47,93	50,21	56,07
R2	55,4	50,26	43,16	43,09	49,9	55,2
R. Extracto	46,62	49,27	42,32	39,58	53,19	61
a*	0	1	2	3	4	5
Blanco	-3	-4,58	-2,93	-0,59	-0,86	-0,64
R1	-2,47	1,36	-1,34	-0,78	-0,79	-0,01
R2	-4,38	-4,29	-3,25	-3,06	-1,14	-1,45
R. Extracto	-2,43	-1,31	-3,71	-0,56	-0,68	-0,44
b*	0	1	2	3	4	5
Blanco	7,98	21,06	15,42	10,68	18,47	13,21
R1	10,86	12,52	12,45	12,83	14	16,71
R2	17,2	20,68	16,79	16,83	15,52	17,71
R. Extracto	10,86	12,8	17,41	10,27	15,8	19,07

Según con los resultados obtenidos los recubrimientos 1 y 2 presentan un buen mantenimiento de la luminosidad, lo que puede que representa ser favorable para la apariencia de las peras, sin embargo, el recubrimiento con extracto presenta mayor inestabilidad en el componte a* tendiendo hacia colores más rojos al igual que el recubrimiento 1. Además, el recubrimiento 2 muestra una mejor estabilidad, manteniendo una tendencia mínima hacia los colores rojos. Es decir, que el recubrimiento 2 presenta menor oxidación de las peras con respecto al demás tratamientos.

De acuerdo con lo observado en el seguimiento se puede evidenciar que a pesar de que las frutas se van oxidando, en el día 15 las peras que fueron tratadas con el recubrimiento 2 presentan menor oxidación, esto se debe a que el recubrimiento tiene una mayor concentración de aceite así mismo

que compuestos bioactivos, sin embargo, con respecto al blanco el recubrimiento 1 también tiene menor oxidación.

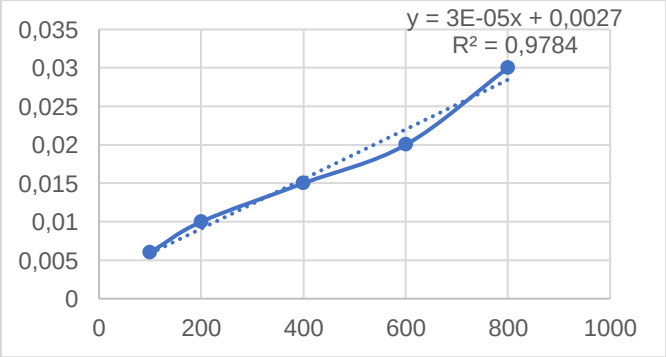
Teniendo en cuenta todos los factores fisicoquímicos medidos el tratamiento que mejores resultados mostró fue el recubrimiento 2, ya que combina una buena estabilidad en los cambios y un menor deterioro en las propiedades de las peras, lo que puede mostrar que entre mayor contenido de aceite sea utilizado en la formulación del recubrimiento, permitirá reducir los cambios metabólicos de la fruta, evitando que esta llegue más rápido a su senescencia.

7.3. Capacidad antioxidante

Se midió la capacidad antioxidante de los extractos y los recubrimientos mediante el método de FRAP el cual se basa en el principio de que los antioxidantes son sustancias capaces de reducir el ion férrico en estado ferroso; en esta forma el ion forma un complejo con el compuesto TPTZ. En otras palabras, este método no evalúa la capacidad de neutralizar los radicales libres en la muestra.

El grafico 17, muestra la capacidad antioxidante medida a absorbancia de 593nm. Para esto se realizó la curva de calibración de los estándares de trolox (grafico 16). A partir de esta se obtuvo la ecuación de la recta con la cual se calculó la capacidad antioxidante (ecuación 11).

Gráfica 16. *Curva de calibración estándares de Trolox*



Ecuación 11. *Ecuación de la recta para el cálculo de la capacidad antioxidante por el método de FRAP*

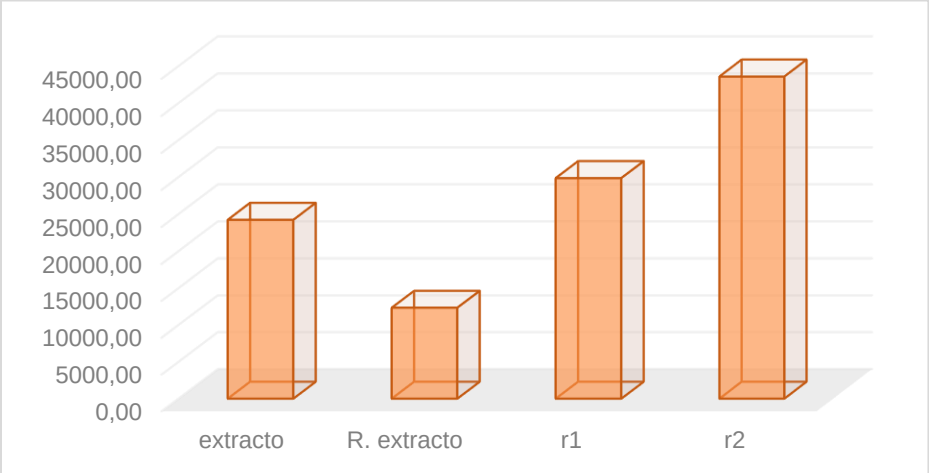
$$Capacidad\ antioxidante = \frac{Absorbancia\ de\ la\ muestra - 0{,}0027}{3x10^{-5}}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que los recubrimientos 1 y 2 tienen mayor capacidad para reducir el ion férrico a hierro ferroso, es decir que contienen más antioxidantes activos, lo que se puede traducir en una mayor capacidad para neutralizar radicales libres y proteger contra el

estrés oxidativo. Esto se puede ver reflejado en que los recubrimientos 1 y 2 están elaborados directamente con el aceite de palma OxG

Teniendo en cuenta esto, se esperaba que los tratamientos que contenían los extractos puros mostraran mejores resultados. La disminución en la capacidad antioxidante en los extractos se puede ver reflejada en la extracción de estos de forma negativa generando que al momento de extraerlos se pierda una cantidad significativa en los compuestos bioactivos que están presentes en el aceite de palma.

Gráfica 17.*Capacidad antioxidante de las muestras evaluadas.*



La literatura ha reportado que el aceite de palma crudo tiene la capacidad de inhibir más del 70% de los radicales libres de DPPH (González-Díaz, 2023), lo que se podría relacionar con los resultados obtenidos en cuanto a que el recubrimiento 2 muestra mayor capacidad ya que es el tratamiento que mayor contenido aceite tiene.

8. Conclusiones

– De acuerdo con la metodología de extracción de compuestos bioactivos por medio del uso de microondas como tecnología de extracción implementada se determinó que las condiciones que mayor rendimiento tuvo fueron relación solvente- aceite (9:1), tiempo de extracción 15 segundos, con una potencia de 100% de microondas.

- Se encontró que los carotenoides (1172,76 mg*kg^{-1}) son los compuestos bioactivos que en mayor proporción se encuentran en el aceite de palma de la variedad hibrida *Elaeis oleífera x Elaeis guineensis* (OxG) de origen Coari x La Mé, representando aproximadamente el 27% de los compuestos menores de este.
- Mediante la implementación del método de FRAP para medir la capacidad antioxidante de los recubrimientos y el extracto rico en compuestos bioactivos. Se encontró que el recubrimiento 2 presenta mayor capacidad antioxidante a pesar de que se esperaba que el extracto puro tuviera mayor capacidad, lo que puede reflejar que al extraer los compuestos bioactivos pueden perder su capacidad antioxidante.
- En cuanto a los tratamientos realizados a las peras mínimamente procesadas, se encontró que el recubrimiento 2 permitió preservar las propiedades fisicoquímicas de las peras. Además, de presentar la menor oxidación de estas.

9. Recomendaciones

- Se debe considerar las condiciones de almacenamiento al momento de la extracción de los compuestos bioactivos con el fin de que no pierdan su capacidad antioxidante, ya que se a mostrado que estos son compuestos fotosensibles y con una alta volatilidad.
- Se recomienda que para futuros se estudien otros valores de potencia de microondas con el fin de comprobar si este es el factor más relevante para la extracción por medio de esta tecnología.
- Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante del extracto de compuestos bioactivos, se recomienda realizar el estudio en otro tipo de matriz alimentaria.

10. REFERENCIAS

Aguilar, Y. M. (03 de 2011). *Fitoesteroles y escualeno como hipocolesterolémicos en cinco variedades de semillas de Cucurbita maxima y Cucurbita moschata (calabaza).* Obtenido de Revista Cubana Plant Med Vol.16: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962011000100008&script=sci_arttext&tlng=pt

Armas, D. (2014). *Estado de salud y frecuencia de consumo de alimentos fuentes de fitoquímicos en pacientes que acuden a consulta externa del Hospital San Vicente de Paúl en Ibarra.* Obtenido de Universidad Técnica del Norte: https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3800/1/06%20NUT%20150%20%20TESIS.pdf

Bermúdez, A. S. (2007). La Palma de Aceite, fuente de antioxidantes. *Revista Palmas Vol.28*. Obtenido de Revista Palmas.

Boluda, C. J. (2005). *Lignanos: Estructura y funciones en las plantas.* Obtenido de Revista de Fitoterapia: https://static1.1.sqspcdn.com/static/f/1381323/18832419/1340082460950/lignanos+I.pdf

Chasquibol, N. (2003). *Alimentos funcionales o fitoquímicos, clasificación e importancia.* Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4822/3893

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). (29 de 04 de 2015). Obtenido de Universidad de Pamplona : https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_154/recursos/general/29042015/elecromatografia.pdf

Diaz, A. G., & Núñez, J. A. (25 de 06 de 2023). *Pigmentos carotenoides en el aceite de palma crudo: un grupo de compuestos biológicamente activos responsables directos del color rojo intenso característico de este aceite vegetal.* Obtenido de Revista El Palmicultor : https://elpalmicultor.com/pigmentos-carotenoides-aceite-de-palma-crudo/

Doblado, L. G. (12 de 2020). *Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados.* Obtenido de Revista especializada en ciencias químico- biológicas: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2018000421203#:~:text=El%20uso%20de%20pel%C3%ADculas%20y,que%20influye%20en%20la%20estabilidad

Estrada, A. B. (05 de 03 de 2021). *Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP).* Obtenido de Revista especializada en ciencias químico-biológicas: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2020000100103#:~:text=Los%20antioxidantes%20son%20mol%C3%A9culas%20capaces,Sun%20%26%20Johnson%2C%202015).

Fedepalma. (11 de 12 de 2023). *La producción de aceite de palmacrudo supera los 1,7 millones de toneladas en lo corrido del año.* Obtenido de Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite: https://fedepalma.org/noticias/la-produccion-de-aceite-de-palma-crudo-supera-los-17-millones-de-toneladas-en-lo-corrido-del-ano/

Fernández, C. F. (2002). *Funciones de la vitamina E. Actualización* . Obtenido de Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75072002000100005&script=sci_arttext

Fernández, N. M. (2017). *ESTADO ACTUAL DEL USO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRUTAS Y HORTALIZAS.* Obtenido de Revista biotecnología en el sector Agropecuario y agroindustrial : http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612017000200015&script=sci_arttext

Flórez, S. M. (05 de 02 de 2003). *Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes.* Obtenido de Universidad de León : https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1583/1238

García, J. A. (01 de 2000). *El Proceso Asistido por Microondas (MAP™)1: aplicaciones para la extracción de aceite de palma* . Obtenido de Revista Palmas Vol. 21: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/854

Garzón, G. A. (12 de 2008). *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisón.* Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-548x2008000300002&script=sci_arttext

González, A. (30 de 09 de 2023). *Actividad antioxidante frente al radical libre DPPH● y contenido total de compuestos fenólicos en el aceite de palma con mayor contenido de ácido oleico (Coari × La Mé).* Obtenido de Revista palmas vol 44.: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/14081/13936#toc

Gonzalez, A. (06 de 07 de 2023). *Fitoquímicos en el aceite de palma: una mirada general al grupo menor de compuestos con valor biológico en el aceite de palma crudo.* Obtenido de El palmicultor: https://elpalmicultor.com/fitoquimicos-aceite-palma-compuestos-biologico/

Hasan, F. (13 de 09 de 2016). *Estado actual de la agroindustria del aceite de palma en Indonesia.* Obtenido de Revisata Palmas vol 37: https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_3_1_-Estado-actual-de-la-agroindustria.pdf

Huat, O. T. (1998). *Usos de las tecnologías de microondas y su asimilación potencial en la industria del aceite de palma.* Obtenido de Revista palmas vol 19.: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/636

Manai, S. (04 de 2024). *Recovering functional and bioactive compounds from date palm by-products and their application as multi-functional ingredients in food.* Obtenido de Journar sutainable chemestry and pharmacy : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554124000500

Márquez, M. (09 de 2002). *Aspectos básicos y determinación de las vitaminas antioxidantes E y A.* Obtenido de Revista de investigación clínica: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0535-51332002000300006&script=sci_arttext

Martínez, E. (2015). *Compuestos bioactivos y salud: mitos y realidades.* Obtenido de Archivos Latinoamericanos de nutrición : https://www.alanrevista.org/ediciones/2015/suplemento-1/art-47/

Meléndez, A. (06 de 2004). *Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides.* Obtenido de Revista Latinoamircanos de Nutrución : https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200003

Navarrete, N. M. (2008). *Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud.* Obtenido de Departamento de Tecnología de Alimentos (ETSIA). Universidad Politécnica de Valencia. España.: https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-nutricion-humana-dietetica-283-articulo-los-compuestos-bioactivos-las-frutas-sus-efectos-13131455

Palma, R. M. (2021). *Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas* . Obtenido de Revista multidisciplinar Ciencia Latina vol 5: https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/644

Paz, J. E. (02 de 10 de 2020). *Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los resifuos de frutps cítricos.* Obtenido de Tecnológico Nacional de México, México: https://www.redalyc.org/journal/432/43266574023/html/

Pérez, T. (2009). *IV. VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE BETA-CAROTENO EN ACEITE DE PALMA POR HPLC CON DETECTOR UV.* Obtenido de Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano: https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/12650/VALIDACI%c3%93N%20DE%20UN%20M%c3%89TODO%20PARA%20LA%20DETERMINACI%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quiñones, M. (24 de 01 de 2012). *Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular.* Obtenido de Universidad Complutense de Madrid: https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n1/09_revision_08.pdf

Rincón, S. M. (2009). *Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria.* Obtenido de Revista Palmas : https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432/1432

Serna, A. M. (28 de 11 de 2017). *Aceite de Palma: Sauld, nutrición e innovación.* Obtenido de Fedepalma: https://fedepalma.org/noticias/aceite-de-palma-salud-nutricion-e-innovacion/#:~:text=El%20aceite%20de%20palma%20contiene,tocoferoles%20y%20tocotrienoles%2C%20potentes%20antioxidantes

Tai, H. P. (2023). *Extraction of oil, carotenes and tocochromanols from oil palm (Elaeis guineensis) fruit with subcritical propane.* Obtenido de Revista grasas y aceites vol 74: https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1976/3020

Tenorio, M. L. (08 de 2024). *Bioactive compounds in palm oil: A comprehensive review of recent advances in physicochemical characteristics, health-promoting properties and technologies for extraction, concentration, fractionation, encapsulation and funtional food applications.* Obtenido de Journal of food composition and analysis : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157524003405

Tosne, Z. L. (12 de 2014). *EFECTO DE RECUBRIMIENTO DE ALMIDÓN DE YUCA Y CERA DE ABEJAS SOBRE EL CHONTADURO.* Obtenido de Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200004

Tsouko, E. (03 de 2019). *Extracción de compuestos fenólicos de residuos del procesamiento del aceite de palma y su aplicación como antioxidantes.* Obtenido de Revista de Tecnología de alimentos y biotecnológia : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6600295/

Valencia, E. (31 de 01 de 2017). *Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas.* Obtenido de Revista de la Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo : https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1583/1238

Velayuthan, A. (23 de 01 de 2012). *Procesamiento y control del aceite de palma.* Obtenido de Revista Palmas vol.19: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/142/142

Velázquez, E. L. (31 de 01 de 2018). *Propiedades antioxidantes e inmunoestimulantes de polifenoles en peces carnívoros de cultivo [Imagen].* Obtenido de Revista Ciencia UAT: https://www.researchgate.net/publication/322973439_Propiedades_antioxidantes_e_inmunoestimulantes_de_polifenoles_en_peces_carnivoros_de_cultivo

Vera, Y. C. (08 de 2023). *Efecto del pretratamiento con ultrasonido sobre la calidad del aceite crudo de palma (Elaeis guineensis).* Obtenido de Universdidad de Pamplona : https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v34n4/0718-0764-infotec-34-04-57.pdf

Villaverde, C. (13 de 12 de 2005). *El papel de la vitamina E en la inmunidad en porcino.* Obtenido de Revista argentina 3tres3: https://www.3tres3.com/es-ar/print/833

Vitale, A. A. (2010). *Carotenoides en quimioprevención: Licopeno.* Obtenido de Revista de Bioquímica Clínica: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0325-29572010000200005&script=sci_arttext

Yagües, V. G. (2008). *Cromatogragfía de líquidos de alta resolución* . Obtenido de Universidad de Alicante: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8248/4/T4cromatliquid.pdf

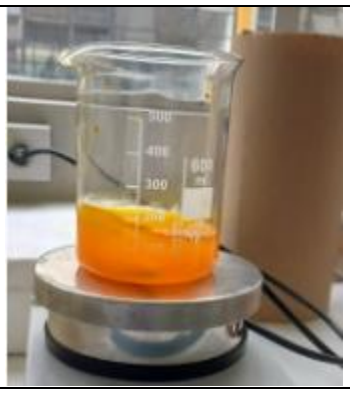
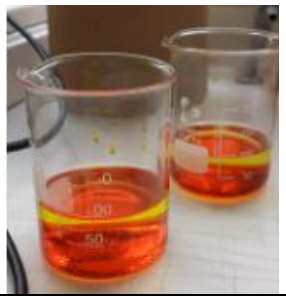
Zavaleta, T. M. (2017). *Actividad antioxidante y biológica de extractos de maíz azul (Zea mays L.).* Obtenido de Universidad Veracruzana: https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46795/AlarconZavaletaTaniaMargarita2d2.pdf;jsessionid=4A3C4A88509F507C0EA814F7D6BC73C4?sequence=3

11. ANEXOS

Extracción compuestos bioactivos

Tabla 8. *Pasos realizados para la extracción de los compuestos bioactivos*

ETAPA	MAGEN
Aceite OxG	
Mezcla etanol-aceite	
Agitación	

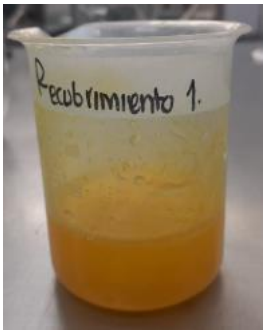
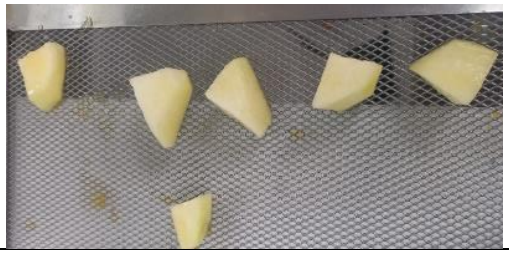
	
Extracción por microondas	
Decantación	
Evaporación del etanol	

Recolección de muestras	

Seguimiento vida útil recubrimiento comestible

Tabla 9. *Pasos realizados para el seguimiento y aplicación del recubrimiento comestible*

PROCEDIMIENTO	IMAGEN
Compra de las peras	
Peras desinfectadas	

Recubrimientos preparados	
Acondicionamiento de las peras- inmersión en ácido cítrico	
Aplicación del recubrimiento por inmersión/ Escurrido	
Toma de pH y acidez	

Cámara de respiración	