

**Universidad Zamorano**  
**Departamento de Agroindustria**  
**Ingeniería en Agroindustria Alimentaria**



**Proyecto Especial de Graduación**  
**Evaluación de la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate**  
**criollo (*Persea americana* var. *americana*) en aceite de aguacate**

**Estudiante**

**Cesia Alejandra Alvarado Argueta**

**Asesores**

**Luis Fernando Maldonado Ph.D.**

**Jorge Cardona Ph.D.**

**Honduras, noviembre 2025**

**Autoridades**

**KEITH L. ANDREWS**

Rector i.a.

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ADELA ACOSTA MARCHETTI**

Directora Departamento de Agroindustria

**JULIO NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras .....	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Metodología.....	14
Localización del Estudio .....	14
Materia Prima .....	14
Materiales, Reactivos y Equipos .....	14
Preparación de las Semillas de Aguacate.....	16
Extracción de Compuestos Bioactivos de Semilla de Aguacate.....	16
Cuantificación de Actividad Captadora de Radicales y Compuestos Antioxidantes.....	16
Cuantificación de Polifenoles totales.....	17
Dosificación y Adición al Aceite de Aguacate .....	17
Análisis de Color del Extracto Liofilizado y Tratamientos con y sin Adición de Extracto.....	18
Estabilidad Oxidativa Mediante Ácidos Grasos Libres .....	18
Estabilidad Oxidativa Mediante p-Anisidina .....	19
Diseño Experimental y Análisis Estadístico .....	20
Resultados y Discusión.....	21
Actividad Captadora de Radicales y Cuantificación de Compuestos Antioxidantes en Extracto de Semillas de Aguacate .....	21
Cuantificación de Polifenoles Totales en Extracto de Semillas de Aguacate.....	22
Análisis de Color del Extracto de Semillas de Aguacate .....	23

	4
Análisis de Color del Aceite de Aguacate.....	25
Estabilidad Oxidativa por Ácidos Grasos Libres .....	27
Estabilidad Oxidativa Mediante p-Anisidina .....	29
Conclusiones .....	32
Recomendaciones.....	33
Referencias.....	34
Anexos.....	38

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos planteados. ....	20
Cuadro 2 Actividad captadora de radicales y cuantificación de compuestos antioxidantes del extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado. ....	21
Cuadro 3 Polifenoles totales del extracto de semilla de aguacate criollo y la semilla seca de aguacate criollo. ....	23
Cuadro 4 Valores en la escala L* a* b* del extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado. ....	24
Cuadro 5 Valores en la escala L* a* b* para del aceite de aguacate a distintas dosificaciones de antioxidantes. ....	26
Cuadro 6 Ácidos grasos libres expresado como % de ácido oleico de los distintos tratamientos evaluados antes y después del tratamiento térmico.....	28
Cuadro 7 Índice de p-Anisidina de los distintos tratamientos evaluados antes y después de recibir tratamiento térmico. ....	30

### Índice de Figuras

Figura 1 Mecanismo de extracción asistida por ultrasonido.....	23
Figura 2 Representación visual de los valores L* a* b* del extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado.....	25
Figura 3 Representación visual de los valores en la escala L* a* b* de los distintos tratamientos con y sin dosificación de antioxidantes.....	26
Figura 4 Ácidos grasos libres expresados como % de ácido oleico de los distintos tratamientos antes y después del tratamiento térmico.....	29
Figura 5 Índice de p-Anisidina antes y después de recibir tratamiento térmico.....	31

## Índice de Anexos

Anexo A Distribución de las plantaciones de aguacate en Honduras (SAG, 2020).....	38
Anexo B Semilla rallada antes de secado en horno. ....	39
Anexo C Monitoreo de humedad por termobalanza.....	40
Anexo D Molido de muestra seca. ....	41
Anexo E Separación de la semilla molida y solución del extracto. ....	42
Anexo F Rotovaporado de etanol procedente del extracto. ....	43
Anexo G Proceso de liofilizado.....	44
Anexo H Curva estándar con ácido gálico para análisis de DPPH. ....	45
Anexo I Curva estándar con ácido gálico para análisis de polifenoles totales.....	46
Anexo J Muestras antes de recibir tratamiento térmico. ....	47
Anexo K Muestras después de tratamiento térmico a 100 °C durante 4 horas. ....	48
Anexo L Ácidos grasos libres – Coloración de muestra dosificada con el extracto. ....	49
Anexo M Perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate (Codex Alimentarius, 2024). ....	50

### Resumen

En el presente estudio se planteó revalorizar los compuestos bioactivos obtenidos de co-productos de la industria del aguacate. Ante la falta de información sobre la capacidad antioxidante de las variedades de aguacate criollas en Honduras, se estudió la semilla de aguacate como fuente de antioxidantes naturales. Se realizó un extracto liofilizado de las semillas para conocer su potencial como antioxidante. Mediante el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) se encontró que el extracto liofilizado cuenta con una alta cantidad de compuestos antioxidantes ( $1687.27 \pm 9.04$  ppm EAG), de igual manera, se realizó una cuantificación de polifenoles totales, mostrando  $12.46 \pm 0.05$  mg EAG/g de extracto liofilizado. Para determinar el efecto de la adición de extracto de semillas de aguacate en la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate, se estableció un diseño completamente al azar (DCA) con 5 tratamientos (3 dosificaciones de extracto de semillas de aguacate: 25, 50 y 100 ppm en aceite de aguacate; y 2 controles: aceite de aguacate sin y con TBHQ a 100 ppm), utilizando ANDEVA y una separación de medias DUNCAN, a un nivel de significancia de 0.05. La dosificación a 25 ppm brindó una estabilidad oxidativa similar a la del TBHQ ( $p < 0.05$ ); sin embargo, a comparación del TBHQ, el extracto de semilla generó cambios en el color del aceite, provocando cambios sensoriales.

*Palabras clave:* ácidos grasos libres, antioxidantes naturales, capacidad antioxidante, DPPH, p-Anisidina, polifenoles totales, revalorización.

### Abstract

In this study, the aim was to revalue the bioactive compounds obtained from by-products of the avocado industry. Given the lack of information on the antioxidant capacity of native avocado varieties in Honduras, avocado seeds were studied as a source of natural antioxidants. A freeze-dried extract of the seeds was prepared to determine their antioxidant potential. Using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method, it was found that the freeze-dried extract has a high amount of antioxidant compounds ( $1687.27 \pm 9.04$  ppm EAG). Likewise, total polyphenols were quantified, showing  $12.46 \pm 0.05$  mg EAG/g of freeze-dried extract. To determine the effect of adding avocado seed extract on the oxidative stability of avocado oil, a completely randomized design (CRD) was established with 5 treatments (3 dosages of avocado seed extract: 25, 50 and 100 ppm in avocado oil; and 2 controls: avocado oil without and with TBHQ at 100 ppm), using ANOVA and a DUNCAN means separation, at a significance level of 0.05. The 25 ppm dosage provided oxidative stability similar to that of TBHQ ( $p < 0.05$ ); however, compared to TBHQ, the seed extract generated changes in the color of the oil, causing sensory changes.

*Keywords:* antioxidant capacity, DPPH, free fatty acids, natural antioxidants, p-Anisidine, total polyphenols, upcycling.

## Introducción

Los lípidos son parte de los macronutrientes, estos son susceptibles a procesos de oxidación, actuando esta como una de las principales razones de la disminución de calidad sensorial y nutricional en alimentos, derivando en el desperdicio de alimentos. Este proceso puede desarrollarse en presencia de catalizadores o iniciadores como el calor, la luz, enzimas, oxígeno, algunos metales, microorganismos y el agua. Estos promueven la degradación de las moléculas de ácidos grasos, generando sabores y olores desagradables, al mismo tiempo, que reduce su aporte nutricional (Shahidi y Zhong, 2015).

El proceso de oxidación conlleva tres fases. La primera es la fase de iniciación, aquí por la acción de un catalizador se genera un radical libre. Posteriormente, en la fase de propagación, los radicales libres reaccionan con otras moléculas de lípidos, generando una reacción en cadena, donde se forman nuevos radicales libres y productos primarios de la oxidación como los hidroperóxidos y peróxidos, los cuales son inestables y al descomponerse forman productos secundarios, esto transcurre de manera rápida y da lugar a la formación de malos olores y sabores (rancidez). Finalmente, en la fase de terminación, las reacciones de oxidación se ralentizan hasta finalmente culminar, los radicales libres y los peróxidos son sometidos a reacciones de terminación, dando lugar a los productos secundarios de la oxidación, como aldehídos, cetonas, entre otros (Donoso, 2014).

Para mitigar los efectos negativos de la oxidación, se emplean antioxidantes, los cuales ayudan a prevenir o ralentizar los procesos oxidativos mediante distintos mecanismos de acción. Algunos de ellos ayudan a retrasar la formación de radicales libres, otros inhiben la acción de los radicales libres, mientras, que otros contribuyen a la reparación de la estructura dañada (Armenteros et al., 2012).

Los antioxidantes pueden clasificarse en antioxidantes primarios y secundarios. Los primarios ayudan a controlar el inicio y propagación de la oxidación, estabilizando los radicales libres, esto se da gracias a la donación de electrones; al generar la donación el antioxidante se convierte en un radical estable. En el caso de los antioxidantes secundarios, también conocidos como agentes reductores,

disminuyen la formación de los radicales libres, neutralizando los hidroperóxidos en sustancias no radicales más estables. Entre ellos se encuentran los quelantes, que, al unirse a los metales, evitan que estos formen radicales libres. Por último, están los sinergistas o regeneradores, los cuales reducen los radicales compuestos por los antioxidantes después de donar electrones, retomando estos su forma activa (dos Santos Alves et al., 2023).

Otra clasificación distingue los antioxidantes entre los sintéticos y naturales. Los antioxidantes sintéticos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria, estos están sometidos a normas, limitando la cantidad que se puede adicionar al alimento. Algunos de estos son el Hidroxianisol butilado (BHA), Hidroxitolueno butilado (BHT) y Butilhidroquinona terciaria (TBHQ) (Valenzuela V y Pérez M, 2016). Actualmente, a pesar de las regulaciones en cuanto a la utilización de estos antioxidantes y su eficacia, la popularidad de estos compuestos ha mermado, ya que, los consumidores están rechazando los alimentos con aditivos sintéticos, puesto que, son vistos como una amenaza a la salud (Valenzuela V y Pérez M, 2016).

En consecuencia, la demanda de antioxidantes naturales aumenta cada vez más, gracias al incremento de consumidores conscientes en su bienestar. Gracias al auge de los productos naturales o de etiqueta limpia, se han investigado distintas fuentes de antioxidantes naturales, como las plantas, microorganismos, hongos, algas e incluso, se ha evaluado el aprovechamiento de subproductos industriales para la extracción de estos compuestos. Actualmente, se está evaluando la adición de estos en distintas matrices lipídicas, para mejorar la estabilidad oxidativa.

Algo a tomar en cuenta, según Shahidi y Zhong (2015) es que “la eficacia de los antioxidantes generalmente está influenciada por una serie de factores, incluyendo sus características estructurales, concentración, temperatura, tipo de sustrato de oxidación y estado físico del sistema”. La adición de antioxidantes en lípidos ayuda a mantener su calidad sensorial y nutricional, prolongando de esta manera su vida útil.

En los últimos años, el consumo de aguacate ha incrementado gracias a su aporte nutricional, otorgando vitaminas liposolubles, como la vitamina E y la vitamina A, así como vitaminas del complejo B y minerales (Rodríguez Otálora y Parra Henríquez, 2021). Ante el alza en consumo, se han desarrollado diversos productos, como el guacamole, pulpa en bolsa, helado y aceite de aguacate.

El aceite de aguacate cuenta con un perfil de ácidos grasos (AG) rico en AG monoinsaturados y poliinsaturados, elevando su popularidad y, en consecuencia, su extracción, situándose el aguacate criollo también conocido como “aguacate mantequilla” bajo la mira, gracias a su contenido de aceite (Yeo et al., 2021). En el 2024 el mercado global de aceite de aguacate representó 637.42 millones de dólares, con una tasa de crecimiento anual de 7.48 %, encontrándose aplicaciones en la industria de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos (Fortune Business Insights, 2025). Sin embargo, para la producción de aceite solo se requiere la pulpa, descartando de esa manera la cáscara y la semilla.

Según Setyawan et al. (2021), la semilla del aguacate representa entre un 13 a 18 % del peso total del fruto, sin embargo, este no es aprovechado. La semilla, es uno de los principales subproductos tanto en la industria de procesamiento de aguacate, como en los hogares. Esta contiene proteína, azúcar, almidón, lípidos, agua, vitamina C, vitamina E, carotenoides, flavonoides, polifenoles, fenoles, taninos, saponinas, oxalatos y alcaloides.

La especie *Persea americana* Mill, cuenta con tres razas, la Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolio*), la Guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*) y la raza Antillana (*Persea americana* var. *americana*). Honduras, principalmente cuenta con plantaciones de la raza Antillano e híbridos de la raza Mexicana x Guatemalteca (Hass), siendo el Antillano también conocido como aguacate criollo (Lavaire, 2020). Las plantaciones se encuentran distribuidas en los departamentos de El Paraíso, Santa Bárbara, La Paz, Intibucá, Comayagua, Copán, Ocotepeque, Yoro, Francisco Morazán, algunas zonas de Cortés y Choluteca (Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG], 2021).

Basado en lo anteriormente expuesto, en este estudio se evaluó el potencial antioxidante del extracto de la semilla de aguacate criollo (*Persea americana* var. *americana*), brindando una solución

para aprovechar un coproducto de la industria, mediante la extracción de compuestos antioxidantes para mejorar la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate.

Se plantearon los siguientes objetivos para el estudio:

Determinar la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales en el extracto de semilla de aguacate criollo.

Evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate dosificado con diferentes concentraciones de extracto de semilla de aguacate criollo versus un antioxidante sintético.

## Metodología

### Localización del Estudio

La preparación del extracto de semillas de aguacate y todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), situándose en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

### Materia Prima

Como materia prima para realizar los análisis se requirió aceite de aguacate comercial y semillas de aguacate criollo. A partir de las semillas de aguacate criollo se realizó la extracción de compuestos antioxidantes para previas evaluaciones.

### Materiales, Reactivos y Equipos

El estudio realizado se dividió en distintas fases:

La primera fase comprendió la extracción de compuestos bioactivos de las semillas de aguacate. Para ello se hizo uso de un rallador reduciendo el tamaño de la semilla y aumentando el área de contacto. La semilla rallada se colocó de manera homogénea en una bandeja de aluminio y así introducir la muestra en un horno para su posterior secado. A fin, de conocer la humedad final de la semilla, se hizo uso de una termobalanza. La semilla seca fue molida en el molino Laboratory Mill 3310. En un Erlenmeyer de 2000 mL, se agregó una solución de 60 % agua desionizada y 40 % etanol. En una balanza analítica se pesaron los gramos requeridos de semilla seca para cada Erlenmeyer, siguiendo una relación de 1 g de semilla seca por cada 25 mL de solución. Cada Erlenmeyer fue introducido en el ultrasonido, para luego ser filtrado y rotovaporado, a fin de extraer el etanol y elevar el punto de congelación. Una vez separado el etanol, el extracto fue colocado en distintos tubos cónicos de centrifuga de 50 mL, los cuales fueron sellados con Parafilm, para luego ser congelados y liofilizados.

En la segunda fase se realizó la cuantificación de compuestos antioxidantes mediante la actividad captadora de radicales, la cuantificación de polifenoles totales y color  $L^*a^*b^*$ . Para la cuantificación de compuestos antioxidantes, se preparó una curva estándar utilizando Ácido Gálico diluido en etanol, además, una parte del extracto liofilizado fue diluido en 70 mL de etanol, dicha dilución fue evaluada con 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Con ayuda de pipetas y micropipetas se preparó la solución siguiendo el método de la AOAC 2012.04, luego, fue evaluado con el espectrofotómetro a 517 nm. Para la cuantificación de polifenoles totales se preparó una curva estándar de Ácido Gálico diluido en etanol. Los reactivos necesarios para dicha evaluación fueron Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_2$ ) al 20 %, Folin-Ciocalteu al 1N y agua desionizada. Las soluciones fueron preparadas en tubos de ensayo haciendo uso de pipetas y micropipetas, posteriormente, las muestras fueron analizadas espectrofotométricamente a 765 nm. Para el análisis de color, el extracto liofilizado fue analizado en el ColorFlex (Hunter  $L^*a^*b^*$ ).

En la tercera fase se evaluó la adición del extracto de semillas de aguacate en el aceite de aguacate. Para ello se realizaron los distintos pesajes para las dosificaciones en una balanza analítica. El aceite fue colocado en beakers con una capacidad de 100 mL, una vez añadido el extracto, se homogeneizó con agitación constante, mediante una plancha magnética. El aceite dosificado fue evaluado por medio del ColorFlex (Hunter  $L^*a^*b^*$ ). A fin de evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate se realizaron mediciones de ácidos grasos libres y p-Anisidina. La medición de ácidos grasos libres se realizó según el método de la AOCS Ca 5a – 40, este análisis se realizó mediante titulación utilizando una plancha magnética, buretas y una probeta, los reactivos utilizados fueron KOH al 0.25M y a 0.1M, fenolftaleína al 1 % y etanol. Finalmente, para la p-Anisidina se aplicó el método AOCS Cd 18 – 90, para ello en un matraz de 100 mL se preparó p-Anisidina diluido en ácido acético glacial, igualmente, en matraces de 50 mL se añadieron las muestras de aceite y se llevó a volumen con isoocetano, en tubos de ensayo se realizaron las soluciones de muestra con p-Anisidina, posteriormente, se evaluaron espectrofotométricamente a 350 nm.

### **Preparación de las Semillas de Aguacate**

Las semillas de aguacate criollo pasaron por un proceso de lavado, con la finalidad de remover residuos de pulpa, posteriormente, fueron ralladas y colocadas en una bandeja. Una vez esparcidas de manera uniforme, se introdujeron en el horno a una temperatura de 45 °C, durante 27 horas, pasando de una humedad inicial de 63.72 % a 9.99 %.

La muestra seca, pasó por un proceso de molienda en el molino Laboratory Mill 3310 (Perkin Elmer), a fin de facilitar el proceso de extracción.

### **Extracción de Compuestos Bioactivos de Semilla de Aguacate**

La extracción se realizó con una solución preparada con 60 % agua desionizada y 40 % de etanol, siguiendo una relación de 1 g de semilla molida en 25 mL de la solución agua: etanol.

Las muestras pasaron por ultrasonido a 25 °C durante 30 minutos, el cual al romper la estructura ayuda a optimizar la extracción de los compuestos antioxidantes. Luego fueron filtrados y pasaron al rotavapor a 40 °C y 80 mbar durante 30 minutos, logrando extraer el etanol de la solución.

El extracto resultante se agregó en tubos cónicos de centrifuga de 50 mL, agregando 35 mL del extracto por tubo. Cada tubo fue congelado a -30 °C. Las muestras congeladas se liofilizaron a 500  $\mu$ bar; una vez deshidratadas se almacenaron en un recipiente sellado de color ámbar.

### **Cuantificación de Actividad Captadora de Radicales y Compuestos Antioxidantes**

La actividad captora de radicales se determinó con el radical DPPH, aplicando el método AOAC 2012.04 (Guija-Poma et al., 2015; Plank et al., 2012). Se realizó una curva estándar con Ácido Gálico a 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 160 y 180 ppm. Según el método utilizado, se realizó una solución de DPPH con 4 mg diluidos en 100 mL de metanol; de esta solución, se añadieron 2.95 mL en un tubo para reacción y luego se añadieron 50  $\mu$ L del extracto diluido en 70 mL de etanol. Una vez añadido, se dejó hacer reacción durante 30 minutos a temperatura ambiente en un lugar oscuro. Los datos fueron tomados en un espectrofotómetro UV/VIS a 517 nm.

A partir de los datos de absorbancia se midió el porcentaje de inhibición de radicales, aplicando la ecuación propuesta por Vo et al. (2019).

$$\% \text{ de inhibición DPPH} = \frac{A. \text{ control} - A. \text{ muestra}}{A. \text{ control}} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

A. control = Absorbancia del DPPH al minuto cero.

A. muestra = Absorbancia del DPPH con muestra a los 30 minutos.

La cuantificación de los compuestos antioxidantes se realizó con DPPH, aplicando la ecuación lineal obtenida mediante la curva estándar realizada con ácido gálico, expresando los compuestos antioxidantes como ppm equivalentes a Ácido Gálico.

$$y = -0.0063x + 1.2323 \quad [2]$$

### **Cuantificación de Polifenoles totales**

Para la determinación de polifenoles totales se usó como referencia la metodología propuesta por Vega et al. (2017). Para ello, se mezclaron 3 mL de agua desionizada, 50  $\mu$ L del extracto previamente diluido y 250  $\mu$ L del reactivo Folin-Ciocalteu a 1N, se reservó durante 8 minutos, luego se agregó 750  $\mu$ L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% y 950  $\mu$ L de agua desionizada. Se dejó reposar durante 30 minutos, posteriormente se realizó la toma de datos mediante Espectrofotometría (UV/VIS) a 765 nm. La determinación de los polifenoles totales se realizó con una curva estándar de ácido gálico a 0, 200, 400, 600, 800, 1000 y 1400 ppm, expresando los datos en mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo del extracto de las semillas de aguacate.

### **Dosificación y Adición al Aceite de Aguacate**

Con base en los resultados de la curva estándar de Ácido Gálico y DPPH, se determinó una concentración de inhibición media del radical libre DPPH ( $\text{IC}_{50}$ ) de 98.92 ppm, con base en ello se determinaron las siguientes concentraciones de extracto de semilla de aguacate: 25, 50 y 100 ppm, igualmente, se realizó una dosificación con TBHQ a 100 ppm. Se dosificaron tres repeticiones de 30 g

de aceite de aguacate para cada dosificación. Los recipientes sellados se llevaron a 40 °C en una plancha magnética con agitación constante durante 10 minutos, a fin de facilitar la incorporación del antioxidante.

### **Análisis de Color del Extracto Liofilizado y Tratamientos con y sin Adición de Extracto**

El análisis de color se realizó en base al método AN 1018.00, haciendo uso del equipo Colorflex Hunter Lab. Previo a la toma de datos, el equipo fue calibrado con discos estándar negro y blanco. Se registraron los datos de la escala  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  obtenidos del extracto liofilizado. Para los cinco tratamientos se registraron los valores obtenidos de la escala  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de las 15 unidades experimentales.

Asimismo, se evaluó el  $\Delta E$  de las muestras con respecto a la muestra de referencia (aceite de aguacate sin ningún tipo de adición de antioxidante) siguiendo la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad [3]$$

Donde:

$L_1^*$ ,  $a_1^*$  y  $b_1^*$  = datos de la muestra de referencia

$L_2^*$ ,  $a_2^*$  y  $b_2^*$  = datos de la muestra

### **Estabilidad Oxidativa Mediante Ácidos Grasos Libres**

La evaluación de ácidos grasos libres se realizó siguiendo el método de la AOCS Ca 5a – 40 (American Oil Chemists' Society [AOCS], 2009). Se prepararon soluciones de KOH a 0.25M y a 0.1M. Con ayuda de una probeta se midieron 75 mL de etanol, dicho volumen se pasó a un beaker de 300 mL donde se realizó la neutralización, se añadieron 2 mL de fenolftaleína al 1 %, y luego se procedió a la titulación con KOH al 0.1M hasta llegar a un viraje rosa. De cada muestra se tomaron  $7.05 \pm 0.050$  g a los cuales se añadieron los 75 mL de etanol neutralizado. El recipiente con la muestra fue colocado sobre una plancha magnética a fin de mantener una agitación constante, para luego titular con KOH

a 0.25M. Los datos de los mL de KOH utilizados para titular las muestras fueron registrados para calcular los ácidos grasos libres expresados como ácido oleico.

Para calcular los ácidos grasos libres expresados como ácido oleico se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ácido oleico} = \frac{\text{ml de KOH utilizados} \times M \times 28.2}{g \text{ de muestra}} \quad [4]$$

Donde:

M = molaridad del KOH

Con el objetivo de evaluar la estabilidad oxidativa de las muestras, estas se llevaron a un horno a 100 °C durante 4 horas, posteriormente, se repitió la medición.

#### **Estabilidad Oxidativa Mediante p-Anisidina**

Se tomaron datos de estabilidad oxidativa por medio de p-Anisidina siguiendo el método de la AOCS Cd 18-90 (AOCS, 2024). La solución de p-Anisidina fue preparada siguiendo una relación de 0.25 g del reactivo en 100 mL de ácido acético glacial. Las muestras fueron diluidas en una relación de  $2 \pm 0.001$  g de muestra en 25 mL de isooctano, asegurando que la muestra quedara bien disuelta. Con las muestras diluidas se tomó absorbancia a 350 nm, usando como blanco isooctano. Una vez preparadas las soluciones, en tubos de ensayo se agregaron 5 mL de muestra diluida y se añadió 1 mL de p-Anisidina. Igualmente, en otro tubo de ensayo se añadieron 5 mL de isooctano y 1 mL de p-Anisidina, estos se dejaron reaccionar durante 10 minutos. Pasados exactamente los 10 minutos se tomó absorbancia a 350 nm, sirviendo la muestra de isooctano con p-Anisidina como blanco.

Para conocer el índice de p-Anisidina se aplicó la siguiente ecuación:

$$p - Av = \frac{25 \times (1.2As - Ab)}{m} \quad [5]$$

Donde:

As = absorbancia de la solución aceitosa con p-Anisidina

Ab = absorbancia de la solución aceitosa

m = masa de porción de análisis

A fin de conocer la estabilidad oxidativa brindada por los antioxidantes evaluados, las muestras fueron colocadas en un horno a 100 °C durante 4 horas. Al concluir las 4 horas, se repitió la evaluación con p-Anisidina.

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se evaluaron cinco tratamientos (Cuadro 1), cada uno con tres repeticiones, siendo un total de 15 unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron:

#### Cuadro 1

*Tratamientos planteados con diferentes concentraciones de extracto de semillas de aguacate.*

Tratamiento	Aceite de aguacate con adición de antioxidante
Tratamiento 1 (Control)	Sin adición
Tratamiento 2	Extracto de semilla de aguacate a 25 ppm
Tratamiento 3	Extracto de semilla de aguacate a 50 ppm
Tratamiento 4	Extracto de semilla de aguacate a 100 ppm
Tratamiento 5 (Control)	TBHQ a 100 ppm

Nota. TBHQ: terc-butilhidroquinona.

Los datos obtenidos en cada uno de los análisis para cada tratamiento fueron evaluados en la plataforma SAS en línea, donde se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), haciendo uso de un análisis de varianza y separación de medias DUNCAN, con un nivel de significancia 5 % ( $p < 0.05$ ).

A fin de evaluar el cambio de los tratamientos antes y después del tratamiento térmico (100 °C durante 4 horas), se aplicó el método Muestras Pareadas a través de una prueba T con un nivel de significancia 5 %.

## Resultados y Discusión

### Actividad Captadora de Radicales y Cuantificación de Compuestos Antioxidantes en Extracto de Semillas de Aguacate

El 2,2-diphenyl-1-picrilhidrazilo (DPPH) es un radical libre susceptible a reaccionar con antioxidantes por medio de la donación de átomos de hidrógeno, dicho cambio es observado mediante absorbancia UV-VIS a 517 nm. Este radical puede ser utilizado para determinar la concentración de compuestos antioxidantes (Guija-Poma et al., 2015).

El extracto liofilizado de semilla de aguacate fue diluido en 70 mL de etanol, llegando a una concentración de 82.30 mg de extracto liofilizado/mL de etanol. La dilución fue evaluada por espectrofotometría UV-VIS, presentando un porcentaje de inhibición del radical DPPH de  $70.65 \pm 0.38$  % (Cuadro 2). Adeboyejo Folasade et al. (2016), realizaron una extracción de semilla de aguacate Hass en una solución 70 % etanol y 30 % agua, en dicha investigación reportaron un porcentaje de inhibición del  $50.35 \pm 1.06$  %. La diferencia en cuanto al porcentaje de inhibición con el presente estudio puede atribuirse a la variedad genética de los aguacates y el proceso para lograr la extracción.

A partir del extracto diluido se observó que el extracto puro presentó una concentración de compuestos antioxidantes de  $1687.27 \pm 9.04$  ppm Equivalentes de Ácido Gálico (EAG) en el extracto liofilizado (Cuadro 2), lo cual, equivale a  $88.15 \pm 0.47$  ppm EAG en la semilla fresca. El  $IC_{50}$  encontrado fue de 98.92 ppm EAG, representando un 5.86% de las ppm encontradas en el extracto liofilizado.

#### Cuadro 2

*Actividad captadora de radicales y cuantificación de compuestos antioxidantes del extracto de semillas de aguacate criollo liofilizado.*

Análisis con DPPH	
Análisis	Resultado $\pm$ D.E.
Actividad captadora de radicales DPPH (% de inhibición)	$70.65 \pm 0.38$
Compuestos antioxidantes (ppm*)	$1687.27 \pm 9.04$

*Nota.* DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; D.E.: desviación estándar; \*: ppm de compuestos antioxidantes expresados como equivalentes de

ácido gálico (EAG).

### **Cuantificación de Polifenoles Totales en Extracto de Semillas de Aguacate**

Los compuestos polifenólicos son moléculas reactivas, su actividad biológica se encuentra relacionada con su capacidad antioxidante, siendo estos capaz de quelar metales, inhibir la enzima lipooxigenasa y atrapar radicales libres (García et al., 2015).

El reactivo Folin-Ciocalteu está compuesto por ácido fosfomolibdico y ácido fosfotúngstico, la mezcla de estos produce iones de molibdato y tungsteno. En contacto con los polifenoles se genera una reacción de óxido – reducción, lo que da lugar a un cambio de coloración de amarillo a azul (Muñoz-Bernal et al., 2017).

El extracto liofilizado de semilla de aguacate presentó  $12.46 \pm 0.05$  mg EAG/g de extracto liofilizado, siendo  $1.79 \pm 0.007$  mg EAG/g de semilla seca y  $0.65 \pm 0.003$  mg EAG por g de semilla fresca (Cuadro 3). Un estudio realizado con semillas de aguacate criollo proveniente de Puebla, México, mostraron  $30.25 \pm 0.21$  mg EAG/100 g de muestra seca (Cid-Pérez et al., 2021). El contenido de polifenoles totales reportados en dicha investigación fue menor a los obtenidos en la presente investigación, esto, puede ser atribuido a la metodología utilizada para extracción. En dicho estudio, su metodología de extracción consistió en cortar la semilla en trozos y dejar que se secará hasta peso constante a 50 °C, para luego moler y tamizar, posteriormente adicionaron 1 g de semilla en polvo en 25 mL de etanol, luego de 24 horas, el extracto fue filtrado (Cid-Pérez et al., 2021). Para la presente investigación, a fin, de optimizar la extracción se realizó un preliminar evaluando distintas concentraciones de etanol: agua, siendo los extractos evaluados mediante la prueba de DPPH. Como resultado, se obtuvo que una relación 40 % etanol y 60 % agua permitió una mejor extracción de compuesto antioxidantes.

Como metodología para extracción, la semilla fue rallada y secada a 45 °C, para luego pasar por un proceso de molienda. A diferencia del método de extracción planteada por Cid-Pérez et al. (2021) en la presente investigación se incorporó el uso de ultrasonido a 25 °C durante 30 minutos. El ultrasonido transmite ondas que genera microburbujas en el solvente, las células colapsan, liberando

energía capaz de romper la pared celular (Figura 1), por ende, mejora la penetración del solvente, acelera la liberación de los compuestos y aumenta la tasa de extracción (Hidalgo-Sánchez et al., 2025; Shen et al., 2023).

### Cuadro 3

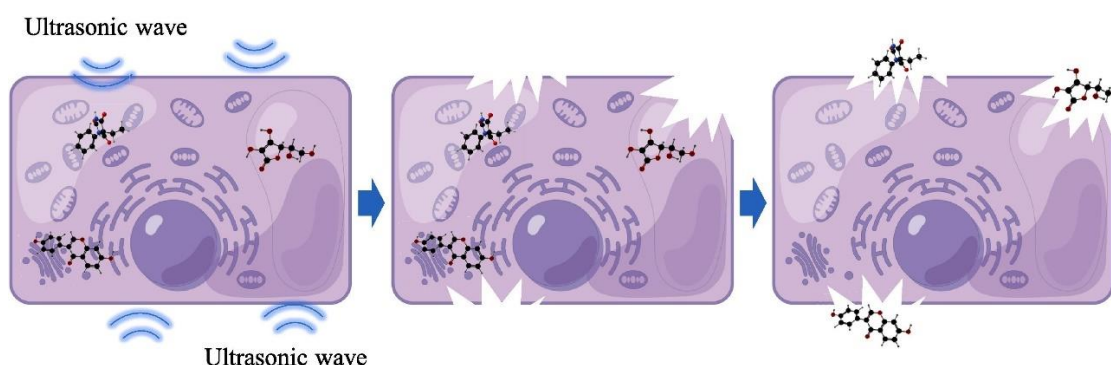
*Polifenoles totales del extracto de semillas de aguacate criollo y la semilla seca de aguacate criollo.*

Polifenoles totales	Resultado $\pm$ D.E.
Extracto liofilizado (mg EAG/g de extracto liofilizado)	12.46 $\pm$ 0.05
Semilla seca (mg EAG/g de semilla seca)	1.79 $\pm$ 0.01

*Nota.* EAG: equivalentes a ácido gálico; D.E.: desviación estándar.

### Figura 1

*Mecanismo de extracción de compuestos bioactivos asistida por ultrasonido.*



*Nota.* Recuperado de "A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies", por Shen et al. (2023), Ultrasonics Sonochemistry, p.3. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>.

### Análisis de Color del Extracto de Semillas de Aguacate

El color es un atributo sensorial de los productos alimenticios, derivado de la absorbancia de ciertas longitudes de onda y la reflectancia de otras. El color puede reflejar el contenido químico de los alimentos y sus derivados, lo cual, puede variar según la fuente y proceso que este recibe (Hasnul Hadi et al., 2021).

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE, por sus siglas en francés) ha establecido un sistema de color que incluye tres coordenadas para la identificación de un color. En el eje L\* se mide la luminosidad, esta da un valor entre 0 y 100, siendo 0 = negro y 100 = blanco. El eje a\* brinda valores

negativos correspondientes al color verde y valores positivos para el color rojo. Finalmente, el eje  $b^*$  da valores negativos para el color azul y positivo para el color amarillo (Hasnul Hadi et al., 2021; Melgar, 2004).

Los resultados en el Cuadro 4 muestran los datos de la escala  $L^*$   $a^*$   $b^*$  obtenidos de las muestras de extracto de semillas de aguacate, correspondientes a  $L^*=65.33 \pm 0.14$ ,  $a^*=15.46 \pm 0.10$ , y  $b^*=29.06 \pm 0.25$ . Se pudo determinar que el extracto liofilizado presentó un color claro con inclinación a colores rojos y amarillos, cuya representación visual se puede observar en la Figura 2.

Avila et al. (2022) menciona que la semilla de aguacate presenta carotenoides y perseorangina, siendo estos responsables de la coloración presente en la semilla, igualmente, ambos presentan propiedades antioxidantes. Los carotenoides aportan un color entre amarillo y anaranjado, estos son ampliamente utilizados en la industria alimentaria como pigmentos naturales (Rubio et al., 2017; Vergara y Pino, 2022). Un estudio realizado por Hatzakis et al. (2019), aisló el principal compuesto que aporta el color anaranjado a la semilla de aguacate, identificando como resultado a la perseorangina que contiene benzotropona glicosilada ( $C_{29}H_{30}O_{14}$ ). Hatzakis et al. (2019) atribuye la aparición de este color al triturar la semilla y exponerla al oxígeno. En este estudio para el proceso de secado, las semillas fueron ralladas; inmediatamente se observó la formación de una coloración anaranjada.

#### Cuadro 4

*Valores en la escala  $L^*$   $a^*$   $b^*$  del extracto de semillas de aguacate criollo liofilizado.*

Extracto de semillas de aguacate		
$L^* \pm$ D.E.	$a^* \pm$ D.E.	$b^* \pm$ D.E.
65.33 $\pm$ 0.14	15.46 $\pm$ 0.10	29.06 $\pm$ 0.25

*Nota.*  $L^*$  (luminosidad) con valores de 0 – 100;  $a^*$  con valores de -60 a 60, siendo rojo los valores positivos ( $a^+$ ) y los valores negativos ( $a^-$ );  $b^*$  con valores de -60 a 60, siendo los valores positivos amarillo los valores negativos ( $b^+$ ) y azul ( $b^-$ ); D.E.: corresponde a la desviación estándar.

## Figura 2

*Representación visual de los valores  $L^*$   $a^*$   $b^*$  del extracto de semillas de aguacate criollo liofilizado.*



## Análisis de Color del Aceite de Aguacate

El color al ser parte de las características sensoriales de un alimento tiene una gran influencia en la percepción de un consumidor, generando un impacto directo en las decisiones de compra (Hatzakis et al., 2019). Guillén-Sánchez y Paucar-Menacho (2020) realizaron mediciones de color para el aceite de aguacate, reportando valores negativos en el eje  $a^*$  y valores positivos para el eje  $b^*$ , mostrando que el aceite mostró una tendencia al color verde y al color amarillo, declarando que estos son colores típicos en el aceite de aguacate.

En el Cuadro 5 se puede observar los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  obtenidos para cada tratamiento evaluado en el presente estudio. Los tratamientos control (sin adición de antioxidantes y con TBHQ) mostraron tendencia al color verde y amarillo, siendo bastantes claros debido a su valor cercano a 100 en el eje  $L^*$  (74.59 - 78.06). Con base en los criterios para la interpretación de  $\Delta E$  planteados por Cerecedo-Cruz et al. (2018) en su investigación, entre el tratamiento con y sin adición de TBHQ se presentó una leve diferencia con un  $\Delta E$  de 4.78, debido a un aumento en  $L^*$  y una disminución del valor de  $b^*$ . Los tratamientos con adición de extracto de semillas de aguacate (25, 50 y 100 ppm) mostraron colores visiblemente diferentes en comparación con el tratamiento control (sin adición de antioxidantes). Se observó que a medida se aumentaba la dosificación de extracto de semillas, el color del aceite de aguacate se hizo más oscuro ( $L^* = 22.98 \pm 0.93$ ), con una intensificación del color rojo ( $a^* = 24.83 \pm 0.28$ ) y una disminución en el eje  $b^*$  ( $b^* = 32.70 \pm 2.23$ ), lo cual indicó una reducción en

la intensidad del color amarillo. Estos cambios en la coloración del aceite pueden observarse en la Figura 3. Dicho cambio en coloración se atribuye a la presencia de carotenos y perseorangina presentes en el extracto.

### Cuadro 5

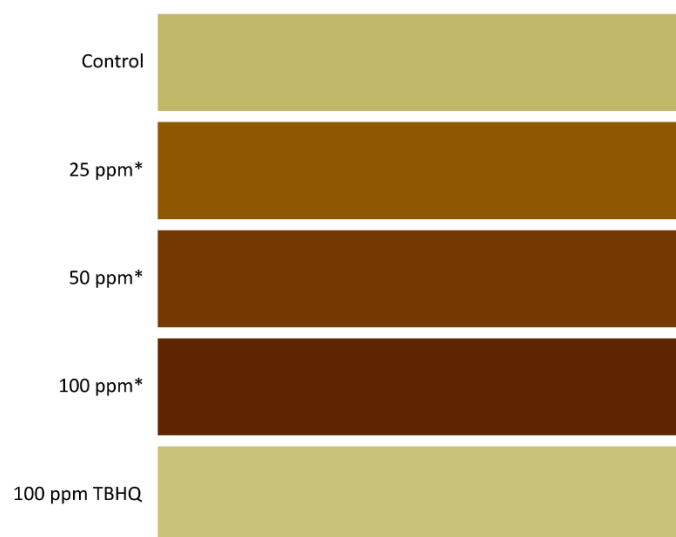
Valores en la escala  $L^*$   $a^*$   $b^*$  para del aceite de aguacate a distintas dosificaciones de antioxidantes.

Tratamiento	$L^* \pm$ D.E.	$a^* \pm$ D.E.	$b^* \pm$ D.E.	$\Delta E$
Control	$74.59 \pm 0.23^a$	$-5.34 \pm 0.01^c$	$41.21 \pm 0.23^{bc}$	-
25 ppm*	$42.52 \pm 3.40^b$	$19.12 \pm 1.87^b$	$54.23 \pm 0.26^a$	42.39
50 ppm*	$31.29 \pm 4.46^c$	$23.45 \pm 1.34^a$	$45.17 \pm 5.90^b$	52.15
100 ppm*	$22.98 \pm 0.93^d$	$24.83 \pm 0.28^a$	$32.70 \pm 2.23^d$	60.38
100 ppm TBHQ	$78.06 \pm 0.22^a$	$-5.50 \pm 0.11^c$	$37.92 \pm 0.66^c$	4.78
CV (%)	4.24	8.56	6.41	

Nota.  $L^*$  (luminosidad) con valores de 0 – 100;  $a^*$  con valores de -60 a 60, siendo rojo los valores positivos y verde los valores negativos;  $b^*$  con valores de -60 a 60, siendo amarillo los valores positivos y azul los valores negativos( $b^*$ ); D.E.: desviación estándar;  $\Delta E$ : diferencia de color entre los tratamientos con antioxidantes y muestra de referencia (aceite de aguacate sin adición de antioxidantes); Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH; <sup>a-d</sup>: Letras diferentes en la misma columna significa diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ).

### Figura 3

Representación visual de los valores en la escala  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de los distintos tratamientos con y sin dosificación de antioxidantes.



*Nota.* Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH.

### **Estabilidad Oxidativa por Ácidos Grasos Libres**

Los ácidos grasos libres (AGL) comprenden a aquellos ácidos carboxílicos que no se encuentran unidos a un triglicérido (Vázquez-Jiménez et al., 2017). Los AGL son considerados un indicador de calidad en el aceite, entre mayor es el nivel de acidez menor es la calidad del aceite (Green y Wang, 2022).

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de ácidos grasos libres para los tratamientos evaluados. El aceite sin adición de antioxidantes y sin tratamiento térmico presentó valores de  $0.1174 \pm 0.0291\%$  de ácido oleico, similar al tratamiento con adición de TBHQ ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, los tratamientos con adición de extracto de semillas de aguacate mostraron un mayor contenido de ácidos grasos libres. Estos valores incrementaron a medida se aumentó la dosificación, alcanzando valores de AGL de 0.20 %, 0.40 % y 0.54 % para las dosificaciones de 25, 50 y 100 ppm, respectivamente. Todos los tratamientos con adición de extracto de semilla de aguacate fueron diferentes estadísticamente entre ellos ( $p < 0.05$ ) y asimismo en comparación con el tratamiento control ( $p < 0.05$ ).

Después de calentar las muestras a 100 °C durante cuatro horas, se observó un leve aumento de los AGL en el tratamiento sin adición de antioxidantes ( $0.13 \pm 0.03$  % ácido oleico) y el tratamiento con TBHQ ( $0.15 \pm 0.03$  % ácido oleico), sin embargo, estos no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellos, ni antes y después del tratamiento térmico ( $p > 0.05$ ). El aceite de aguacate dosificado con 25 ppm de extracto presentó el mismo valor de AGL antes y después del tratamiento térmico durante 4 horas ( $p > 0.05$ ). Caso contrario con los tratamientos dosificados con 50 y 100 ppm de extracto de semillas de aguacate que presentaron una disminución en el índice de acidez, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Estos cambios se pueden asociar con la coloración que el extracto impartió al aceite, dificultando la visibilidad del viraje rosa, no obstante, esta dificultad solo se observó antes del tratamiento térmico, ya que, luego del calentamiento el extracto se torna de

color oscuro y se precipita. Un estudio realizado por Restrepo Duque et al. (2012) evaluó el aceite de aguacate Hass, donde se encontraron valores de  $0.48 \pm 0.35$  % ácido oleico. En comparación con esos datos, los valores encontrados en el presente estudio fueron menores, a excepción del valor observado en el aceite dosificado con 100 ppm de extracto de semilla antes de ser calentado a 100 °C.

Como se puede observar en la Figura 4, las muestras con adición del extracto presentaron un aumento en el índice de acidez, dicho comportamiento se asemeja al expuesto por Yeo et al. (2021), donde el aceite dosificado con extracto de semilla mostró un leve aumento de la acidez.

Si bien los datos obtenidos de las muestras dosificadas con el extracto de semilla de aguacate fueron mayores que el tratamiento dosificado con TBHQ, estos siguen cumpliendo los parámetros de calidad establecidos por España, según el Real Decreto 564/2025 (BOE-A-2025-9738 Real Decreto 351/2025, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad de los aceites vegetales comestibles, 2025) para los aceites refinados, donde se declara que el aceite de aguacate debe tener un % ácido oleico  $\leq 0.3$ .

## Cuadro 6

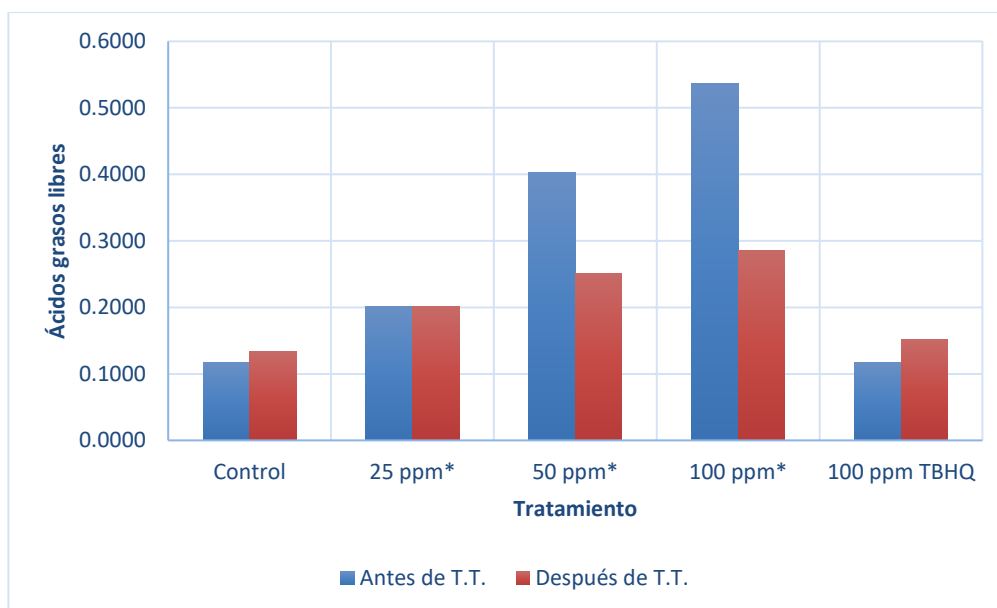
*Ácidos grasos libres expresado como % de ácido oleico de los distintos tratamientos evaluados antes y después del tratamiento térmico.*

Tratamiento	AGL antes de T.T. (%) $\pm$ D.E.	AGL después de T.T. (%) $\pm$ D.E.
Control	$0.1174 \pm 0.0291$ <sup>dx</sup>	$0.1342 \pm 0.0291$ <sup>dx</sup>
25 ppm*	$0.2013 \pm 0.0001$ <sup>cx</sup>	$0.2014 \pm 0.0001$ <sup>cx</sup>
50 ppm*	$0.4025 \pm 0.0001$ <sup>bx</sup>	$0.2517 \pm 0.0002$ <sup>by</sup>
100 ppm*	$0.5369 \pm 0.0581$ <sup>ax</sup>	$0.2851 \pm 0.0291$ <sup>ay</sup>
100 ppm TBHQ	$0.1175 \pm 0.0290$ <sup>dx</sup>	$0.1510 \pm 0.0291$ <sup>dx</sup>
CV (%)	8.83	7.79

*Nota.* AGL: ácidos grasos libres; T.T.: tratamiento térmico; D.E.: desviación estándar; Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH; <sup>a-d</sup>: Letras diferentes en la misma columna significa diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). <sup>x-y</sup>: Letras diferentes en la misma fila indica diferencias significativas antes y después del tratamiento térmico ( $p < 0.05$ ); CV: coeficiente de variación.

**Figura 4**

Ácidos grasos libres expresados como % de ácido oleico de los distintos tratamientos antes y después del tratamiento térmico.



Nota. T.T.: tratamiento térmico; Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH.

### Estabilidad Oxidativa Mediante p-Anisidina

La p-Anisidina (p-Av) mide los compuestos de la oxidación secundaria, como son los aldehídos y cetonas (Talbot, 2016). Para que un aceite comestible se considere como aceptable, este debe presentar un valor de p-Av < 10 (Gharby et al., 2025). Entre mayor sea el valor de p-Av mayor es la oxidación del aceite, lo que representa sabores y olores desagradables, propios de la rancidez (Gharby et al., 2025).

Investigaciones encontradas reportan datos de p-Anisidina en aceite de aguacate de 0.2057 a 0.22 (Cerecedo-Cruz et al., 2018; Machado da-Costa et al., 2021). En base a los valores reportados en el Cuadro 7, se observó que el tratamiento control previo al tratamiento térmico son mayores a los

reportados en dichos estudios, esto puede atribuirse al tiempo que las muestras estuvieron almacenadas, por lo que se puede observar que las muestras con dosificación del extracto obtuvieron un índice menor. Después de recibir el tratamiento térmico se pudo observar un aumento en el índice de p-Anisidina, sin embargo, solo los tratamientos con dosificación de 25 y 50 ppm de extracto de semillas de aguacate presentaron una diferencia significativa en los valores reportados antes y después del tratamiento térmico (Figura 5). Se pudo observar que las dosificaciones con el extracto a 25 ppm y 100 ppm, son iguales estadísticamente a el tratamiento dosificado con TBHQ a 100 ppm. Sin embargo, el tratamiento 3 (dosis con extracto a 50 ppm), mostró actividad prooxidante, situándose cerca del límite aceptable.

Algunos compuestos antioxidantes pueden actuar como prooxidantes a altas concentraciones. En el caso de los flavonoides como la quercetina, ácido tánico y silibinina presentan propiedades prooxidantes, de igual manera, los flavonoides pueden actuar de esta manera ante la presencia de metales de transición (Maliar et al., 2023).

Si bien no se conoce la totalidad de los compuestos presentes en el extracto, es posible que a 50 ppm algunos compuestos fenólicos se asocien a los metales creando compuestos inestables, provocando estos actúen como prooxidantes, mientras que a 100 ppm se logra contrarrestar ese efecto al estabilizar los compuestos formados.

## Cuadro 7

*Índice de p-Anisidina de los distintos tratamientos evaluados antes y después de recibir tratamiento térmico.*

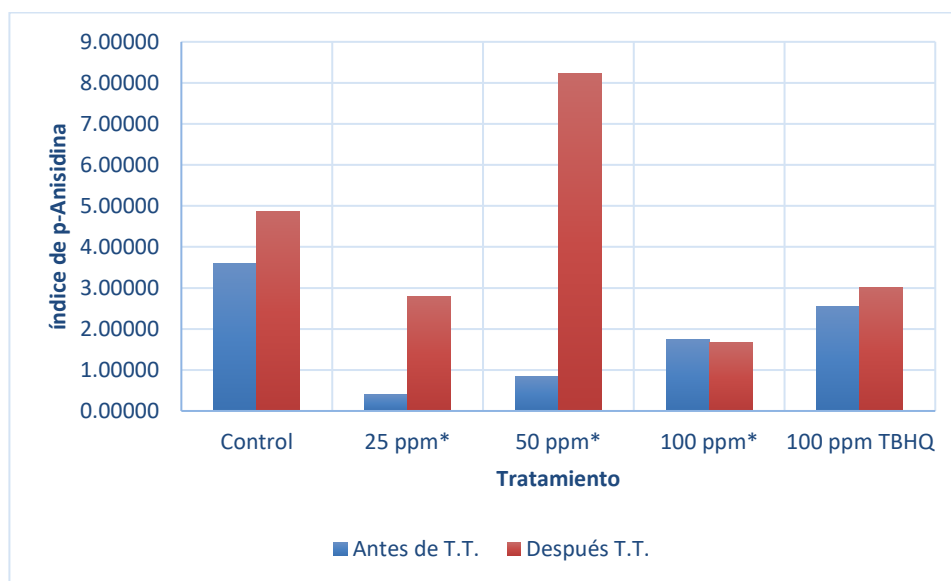
Tratamiento	p-Av antes de T.T. ± D.E.	p-Av después de T.T. ± D.E.
Control	3.58 ± 0.82 <sup>ax</sup>	4.87 ± 0.83 <sup>bx</sup>
25 ppm*	0.40 ± 0.73 <sup>cy</sup>	2.79 ± 0.60 <sup>cx</sup>
50 ppm*	0.85 ± 0.80 <sup>cy</sup>	8.23 ± 0.65 <sup>ax</sup>
100 ppm*	1.74 ± 0.55 <sup>b<sub>cx</sub></sup>	1.67 ± 0.54 <sup>cx</sup>
100 ppm TBHQ	2.56 ± 0.04 <sup>ab<sub>x</sub></sup>	3.01 ± 0.58 <sup>cx</sup>
CV (%)	39.10	16.85

*Nota.* p-Av: índice de p-Anisidina; T.T.: tratamiento térmico; D.E.: desviación estándar; Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a

los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH. <sup>a-c</sup>: Letras diferentes en la misma columna significa diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). <sup>x-y</sup>: Letras diferentes en la misma fila indica diferencias significativas antes y después del tratamiento térmico ( $p < 0.05$ ); CV: coeficiente de variación.

### Figura 5

*Índice de p-Anisidina antes y después de recibir tratamiento térmico.*



*Nota.* T.T.: tratamiento térmico; Control: aceite de aguacate sin adición de antioxidantes; TBHQ: terc-butilhidroquinona; \*: tratamientos dosificados con el extracto de semilla de aguacate criollo liofilizado en base a los compuestos antioxidantes cuantificados en el análisis de DPPH.

### **Conclusiones**

El extracto obtenido de la semilla de aguacate criollo demostró una alta capacidad antioxidante y alto contenido de polifenoles totales, demostrando que el método de extracción fue adecuado.

El aceite de aguacate dosificado con el extracto de semilla de aguacate criollo o con TBHQ mejoraron la estabilidad oxidativa del aceite.

La dosificación a 25 ppm con el extracto de semilla de aguacate criollo demostró ser la mejor dosificación en el aceite de aguacate, mostrando una mejora en la estabilidad oxidativa del aceite, igualándose al poder antioxidante del TBHQ. Sin embargo, el extracto imparte color al aceite de aguacate induciendo cambios sensoriales.

### **Recomendaciones**

Realizar un perfil de los compuestos presentes en el extracto mediante un análisis de HPLC.

Evaluar distintos reactivos para la extracción de los compuestos antioxidantes a fin de lograr extraer la mayor cantidad de compuestos antioxidantes posibles.

Purificar el compuesto, a fin de obtener un compuesto más concentrado, reducir la cantidad necesaria del extracto para realizar las dosificaciones y disminuir el cambio de color en el aceite.

Realizar un análisis toxicológico del extracto.

## Referencias

- Adeboyejo Folasade, O., Aderibigbe Olaide, R. y Ademoyegun Olufemi, T. (2016). Antioxidant Properties Of Persea Americana M. Seed As Affected By Different Extraction Solvent. *AFSAT*, 3(2), 101–106. <https://ikprress.org/index.php/JAFSAT/article/view/3501/3281>
- American Oil Chemists' Society. (2009). *AOCS Official Method Ca 5a-40 Free Fatty Acids*. [https://kupdf.net/download/ca-5a-40-ffa\\_5af5eb87e2b6f5e4290b25c5\\_pdf?utm\\_source](https://kupdf.net/download/ca-5a-40-ffa_5af5eb87e2b6f5e4290b25c5_pdf?utm_source)
- American Oil Chemists' Society (Ed.). (2024). *AOCS Official Method Cd 18-90: p-Anisidine Value*.
- Armenteros, M., Ventanas, S. y Morcuende, D. (2012). *Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos* [Boletín, Universidad de Extremadura, España]. [eurocarne.com. https://eurocarne.com/daal/a1/boletin\\_imagenes/a2/20705.pdf](https://eurocarne.com/daal/a1/boletin_imagenes/a2/20705.pdf)
- Avila, N. d. D., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M. O. y Cambero Campos, O. J. (2022). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:2607](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607)
- Cerecedo-Cruz, L., Azuara-Nieto, E., Hernández-Álvarez, A. J., González-González, C. R. y Melgar-Lalanne, G. (2018). Evaluation of the oxidative stability of Chipotle chili (*Capsicum annum* L.) oleoresins in avocado oil. *Grasas Y Aceites*, 69(1), e240. <https://doi.org/10.3989/gya.0884171>
- Cid-Pérez, S. T., Hernández-Carranza, P., Ochoa-Velasco, C., Ruiz-López, I. I., Nevárez-Moorillón, G. y Ávila-Sosa, R. (2021). Avocado seeds (*Persea americana* cv. Criollo sp.): Lipophilic compounds profile and biological activities. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3384–3390. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.087>
- Codex Alimentarius (2024). *Norma para Aceites Vegetales Especificados CXS 210-1999*. (Internacional de Alimentos, CXS 210-1999). [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS\\_210s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS_210s.pdf)
- Donoso, S. (2014). *Vista de Determinación de Deterioro de Lípidos en Alimentos* [Ficha técnica, Universidad de Cuenca, Ecuador]. [publicaciones.ucuenca.edu.ec. https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/144/143?utm\\_source](https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/144/143?utm_source)
- dos Santos Alves, M. J., Dalsasso, R. R., Valencia, G. A [Germán Ayala] y Monteiro, A. R. (2023). Natural Antioxidants. En G. A. Valencia (Ed.), *Natural Additives in Foods* (pp. 33–67). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-17346-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17346-2_2)
- Fortune Business Insights. (2025). *Avocado Oil Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Extra Virgin Oil, Virgin Oil, Pure/Refined Oil, and Blend), Application (Food and Beverages, Pharmaceuticals and Medicinal Formulations, Personal Care and Cosmetics, and Cosmetics, and Others), and Regional Forecast, 2024-2032*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/avocado-oil-market-101938>
- García, E., Fernández, I. y Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu* [Material docente, Universitat Politècnica de València]. [riunet.upv.es. https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/af9f94fb-a13c-4e00-82a1-deda62eac0e3/content](https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/af9f94fb-a13c-4e00-82a1-deda62eac0e3/content)

- Gharby, S., Asbbane, A., Nid Ahmed, M., Gagour, J., Hallouch, O., Oubannin, S., Bijla, L., Goh, K. W., Bouyahya, A. y Ibourki, M. (2025). Vegetable oil oxidation: Mechanisms, impacts on quality, and approaches to enhance shelf life. *Food Chemistry: X*, 28, 102541. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102541>
- Green, H. S. y Wang, S. C. (2022). Extra virgin grade avocado oil can be achieved using whole fruits or only mesocarp. *Applied Food Research*, 2(2), 100190. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100190>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M., Ponce-Pardo, J. y Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Guillén-Sánchez, J. y Paucar-Menacho, L. (2020). Oxidative stability and shelf life of avocado oil extracted cold and hot using discard avocado (*Persea americana*). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 127–133. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.14>
- Hasnul Hadi, M. H., Ker, P. J., Thiviyathan, V. A., Tang, S. G. H., Leong, Y. S., Lee, H. J., Hannan, M. A., Jamaludin, M. Z. y Mahdi, M. A. (2021). The Amber-Colored Liquid: A Review on the Color Standards, Methods of Detection, Issues and Recommendations. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(20). <https://doi.org/10.3390/s21206866>
- Hatzakis, E., Mazzola, E. P., Shegog, R. M., Ziegler, G. R. y Lambert, J. D. (2019). Perseoragin: A natural pigment from avocado (*Persea americana*) seed. *Food Chemistry*, 293, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.064>
- Hidalgo-Sánchez, M. A., Pérez-Cuesta, A. M., Montesdeoca-Eraza, R. V. y Casigña-Guamán, N. S. (2025). Influencia del ultrasonido en la extracción de compuestos bioactivos de *Piper aduncum* L. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E1), 2273–2288. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/815>
- Lavaire, L. (2020). *Manual Técnico del Cultivo de Aguacate en Honduras*. Secretaria de Agricultura y Ganadería. <https://dicta.gob.hn/files/2020-Manual-Tecnico-del-Cultivo-de-Aguacate-en-Honduras.pdf>
- Machado da-Costa, F., Feksa-Frasson, S., Dellinghausen-Borges, C., Döring-Krumreich, F., Zambiasi, R. C. y Barboza-Mendonça, C. R. (2021). Thermal stability of avocado oil: A comparative study with rice bran and olive oils. *Revista Chilena De Nutrición*, 48(4), 556–568. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000400556>
- Maliar, T., Maliarová, M., Blažková, M., Kunštek, M., Uváčková, Ľ., Viskupičová, J., Purdešová, A. y Beňovič, P. (2023). Simultaneously Determined Antioxidant and Pro-Oxidant Activity of Randomly Selected Plant Secondary Metabolites and Plant Extracts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(19). <https://doi.org/10.3390/molecules28196890>
- Melgar, H. (2004). *Desarrollo de una escala colorimétrica digital de trible estímulo para grano de frijol rojo centroamericano* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/828900c5-7e23-46c6-833d-c9c6b6adf2f4/content](https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/828900c5-7e23-46c6-833d-c9c6b6adf2f4/content)

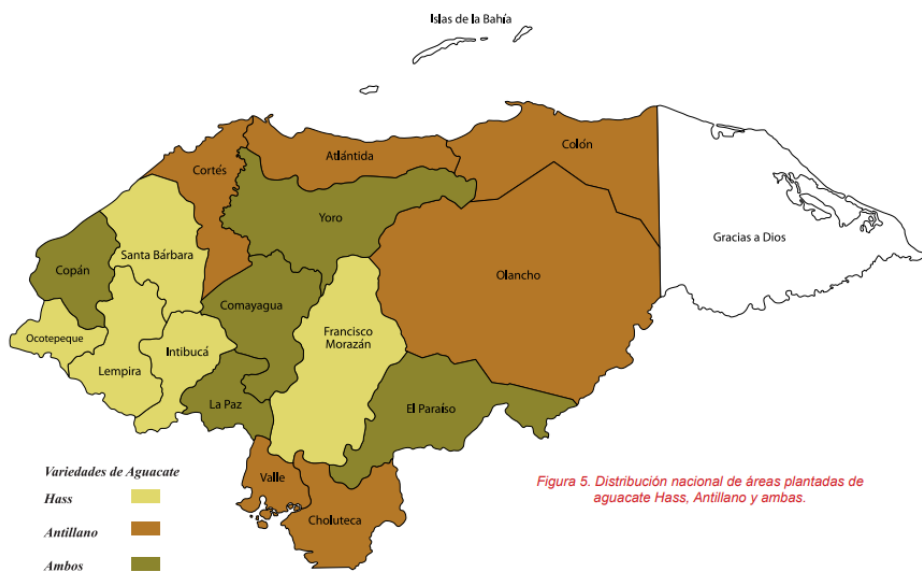
- BOE-A-2025-9738 Real Decreto 351/2025, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad de los aceites vegetales comestibles (2025). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2025-9738>
- Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., La Rosa, L. A. de, Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F. y Álvarez-Parrilla, E. (2017). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- Plank, D. W., Szpylka, J., Sapirstein, H., Woollard, D., Zapf, C. M., Lee, V., Chen, C. Y. O., Liu, R. H., Tsao, R., Dusterloh, A. y Baugh, S. (2012). Determination of antioxidant activity in foods and beverages by reaction with 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH): Collaborative study First Action 2012.04. *Journal of AOAC International*, 95(6), 1562–1569. [https://doi.org/10.5740/jaoacint.CS2012\\_04](https://doi.org/10.5740/jaoacint.CS2012_04)
- Restrepo Duque, A., Londoño-Londoño, J., González Álvarez, D., Benavides Paz, Y. y Cardona Salazar, B. (2012). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 151–161. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69525875005>
- Rodríguez Otálora, L. N. y Parra Henríquez, L. S. (2021). *Desarrollo y caracterización de galletas funcionales a partir de harina de semilla de aguacate* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Colombia]. [repositorio.uniandes.edu.co](https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/06401eaf-b388-4a0d-9d5f-9f67a1eeac3d). <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/06401eaf-b388-4a0d-9d5f-9f67a1eeac3d>
- Rubio, D., Barrera, N., Fonseca, L. y Jaimes, C. (2017). Aspectos Teóricos de la Extracción de Carotenoides a Partir de Microalgas. *Semilleros Formación Investiga*, 3(1), 35–48. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/274486e0-5431-4091-9b81-3e1f9355b38d/content>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería. (2021). *Aguacate Análisis de Coyuntura*. Secretaría de Agricultura y Ganadería. <https://www.uepg.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/03/AC-AGUACATE-V21.3.pdf>
- Setyawan, H. Y., Sukardi, S. y Puriwangi, C. A. (2021). Phytochemicals properties of avocado seed: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1), 12090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012090>
- Shahidi, F. y Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H. y Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>
- Talbot, G. (2016). The Stability and Shelf Life of Fats and Oils. En *The Stability and Shelf Life of Food* (pp. 461–503). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00016-2>

- Valenzuela V, C. y Pérez M, P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena De Nutrición*, 43(2), 12. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200012>
- Vázquez-Jiménez, J. G., Roura-Guiberna, A., Jiménez-Mena, L. R. y Olivares-Reyes, J. A. (2017). El papel de los ácidos grasos libres en la resistencia a la insulina. *Gaceta Medica De Mexico*, 153(7), 852–863. <https://doi.org/10.24875/gmm.17002714>
- Vega, A., León, J. A. de y Reyes, S. M. (2017). Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá. *Información Tecnológica*, 28(4), 29–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005>
- Vergara, C. y Pino, M. (2022). *Colorantes y antioxidantes naturales en la industria de alimentos: tecnologías de extracción y materias primas dedicadas (Boletín INIA/N° 455)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/d6719713-0098-4b26-bb3f-eab1fad67a2d/content#page=29>
- Vo, T., Le, P. y Ngo, D. (2019). Free radical scavenging and anti-proliferative activities of avocado (*Persea americana* Mill.) seed extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 9(3), 91. <https://doi.org/10.4103/2221-1691.254602>
- Yeo, J.-Y., Lee, C.-H. y Park, S.-Y. (2021). Antioxidant Effects of Avocado Seeds and Seed Husks as a Potential Natural Preservative. *Korean Journal of Pharmacognosy*, 52(1), 49–54. <https://doi.org/10.22889/KJP.2021.52.1.49>

## Anexos

### Anexo A

*Distribución de las plantaciones de aguacate en Honduras (SAG, 2020).*



*Figura 5. Distribución nacional de áreas plantadas de aguacate Hass, Antillano y ambas.*

**Anexo B**

*Semilla rallada antes de secado en horno.*



## Anexo C

*Monitoreo de humedad por termobalanza.*



**Anexo D**

*Molido de muestra seca.*



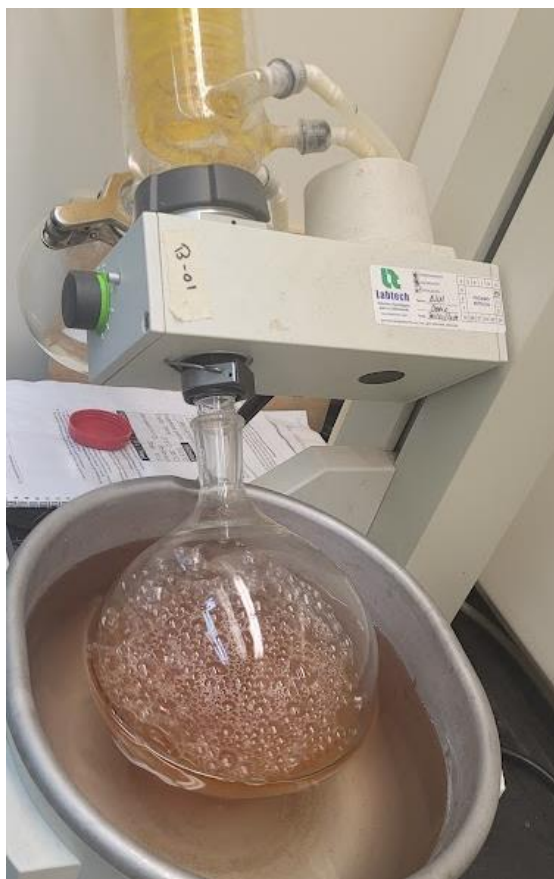
**Anexo E**

*Separación de la semilla molida y solución del extracto.*



**Anexo F**

*Rotovaporado de etanol procedente del extracto.*



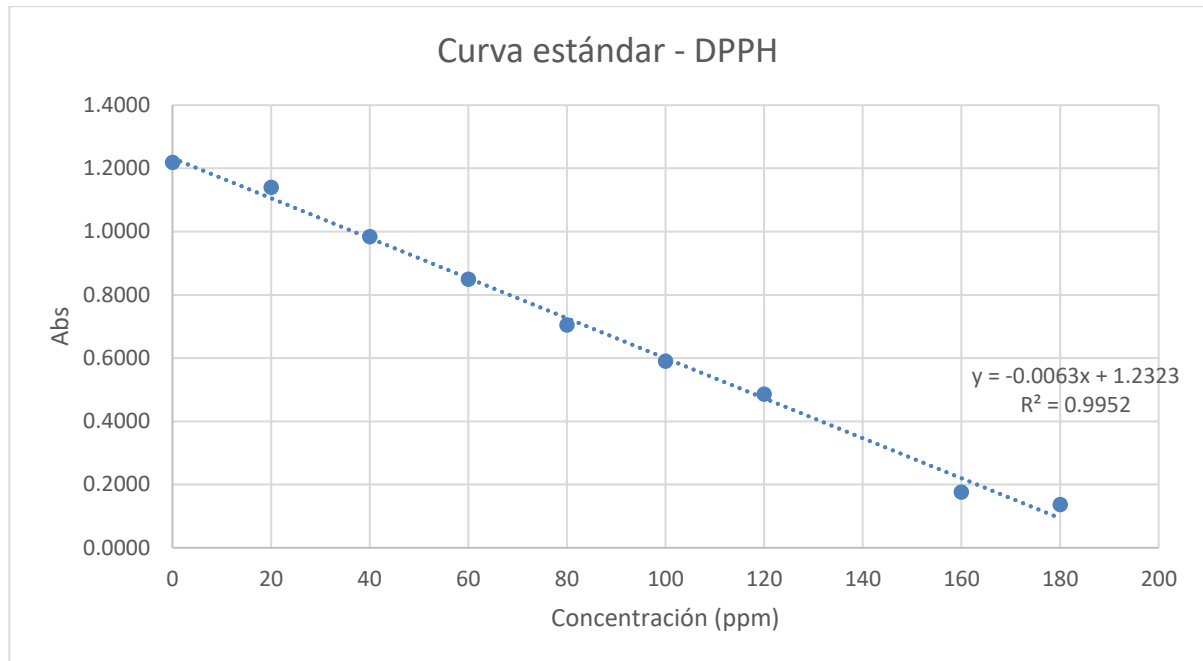
## Anexo G

*Proceso de liofilizado.*



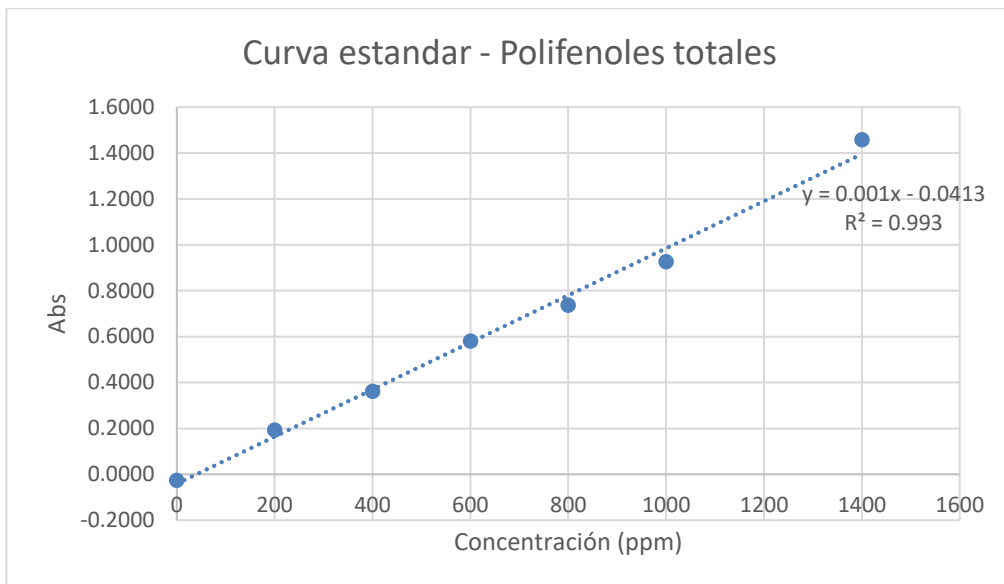
## Anexo H

*Curva estándar con ácido gálico para análisis de DPPH.*



Anexo I

Curva estándar con ácido gálico para análisis de polifenoles totales.



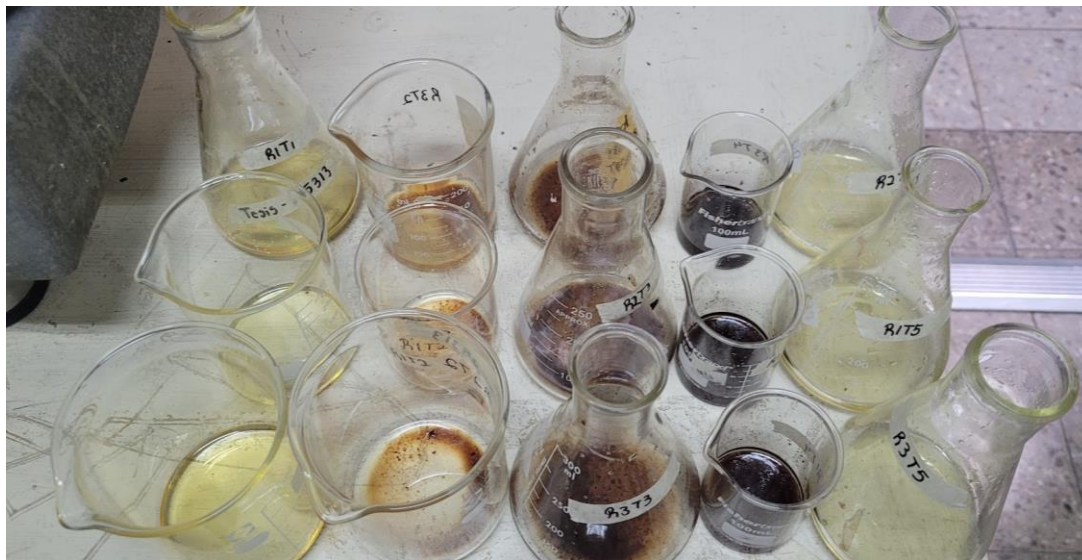
**Anexo J**

*Muestras antes de recibir tratamiento térmico.*



**Anexo K**

*Muestras después de tratamiento térmico a 100 °C durante 4 horas.*



**Anexo L**

*Ácidos grasos libres – Coloración de muestra dosificada con el extracto.*



**Anexo M**

*Perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate (Codex Alimentarius, 2024).*

Ácido graso	Nombre	Presencia %
C14:0	Ácido mirístico	ND - 0.3
C16:0	Ácido palmítico	11.0 - 26.0
C16:1	Ácido palmitoleico	4.0 - 17.1
C17:0	Ácido margárico	ND - 0.3
C17:1	Ácido heptadecenoico	ND - 0.1
C18:0	Ácido esteárico	0.1 - 1.3
C18:1	Ácido oleico	42.0 - 75.0
C18:2	Ácido linoleico	7.8 - 19.0
C18:3	ácido linolénico	0.5 - 2.1
C20:0	Ácido araquídico	ND - 0.7
C20:1	Ácido gadoleico	ND - 0.3
C22:0	Ácido behénico	ND - 0.5
C24:0	ácido legnocérico	ND - 0.2