

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



Una Institución Adventista

**Determinación de características fisicoquímicas,
metabolitos secundarios y capacidad antioxidante en el mesocarpio de
diferentes variedades de palta (*Persea americana*)**

Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias

Autora:

Cinthy Karem Huaman Alvino

Asesor:

Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro

Co-asesora:

Dra. Rosana Chirinos Gallardo

Lima, diciembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Determinación de características fisicoquímicas, metabolitos secundarios y capacidad antioxidante en el mesocarpio de diferentes variedades de palta (*Persea americana*)**” constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Cinthya Karem Huaman Alvino para obtener el título de Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 03 días del mes de febrero del año 2022.



Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 28 días día(s) del mes de diciembre del año 2021 siendo las 15:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección de la Señora Presidente del jurado: MgSc. Carmen Rosa Apaza Humerez, la secretaria: Ph.D. Silvia Pilco Quesada. y los demás miembros: Dra. Amparo Eccoña Sota y el asesor Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Determinación de características fisicoquímicas, metabolitos secundarios y capacidad antioxidante en el mesocarpio de diferentes variedades de palta (Persea Americana)"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ... **CINTHYA KAREM HUAMAN ALVINO** Y
 b).....

.....conducente a la obtención del título profesional de ...**INGENIERO DE ALIMENTOS**
(Nombre del Título Profesional)

con mención
 en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **CINTHYA KAREM HUAMAN ALVINO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	19	A	Excelente	Excelencia

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente
 MgSc. Carmen Rosa
 Apaza Humerez



Secretario
 Ph.D. Silvia Pilco
 Quesada



Asesor
 Dr. Rodrigo Alfredo
 Matos Chamorro



Miembro
 Dra. Amparo
 Eccoña Sota



Candidato/a (a)
 Cinthya Karem
 Huamán Alvino

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por brindarme sabiduría y fuerzas para poder culminar con este trabajo de investigación.
- A mis padres Ulises Huaman y Marisol Alvino, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi formación académica.
- A mi hermano Hairo y abuelo Félix Alvino, por su cariño y motivación para seguir avanzando en mis metas personales y profesionales.
- A mis asesores Dr. Alfredo Matos y Dra. Rosana Chirinos, por guiarme con paciencia y dedicación durante todo el desarrollo de este estudio.
- A las dictaminadoras Dra. Silvia Pilco y Dra. Amparo Eccoña, por las observaciones y recomendaciones realizadas durante la redacción del informe de investigación.
- A la Institución de Biotecnología área de Biotecnología Industrial y Bioprocesos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por darme la oportunidad de desarrollar la investigación en sus instalaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. Introducción.....	3
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2. Revisión de Literatura	5
2.1 Palta	5
2.1.1 Generalidades	5
2.1.2 Composición química y nutricional.....	6
2.1.3 Diversidad genética de palta peruana	8
2.1.4 Producción y exportación	10
2.1.5 Compuestos bioactivos de la palta	11
2.2 Ácidos grasos.....	12
2.3 Fitoesteroles.....	13
2.4 Tocoferoles	15
2.5 Compuestos fenólicos.....	17
2.5.1 Capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos.....	18
3. Materiales y Métodos	20
3.1 Lugar de ejecución.....	20
3.2 Muestra	20
3.3 Materiales, equipos y reactivos	20
3.3.1 Materiales	20
3.3.2 Equipos	20

3.3.3 Reactivos	21
3.3.4 Estándares	21
3.4 Metodología experimental	22
3.5 Diseño experimental	23
3.6 Métodos de análisis	24
3.6.1 Determinación del color	24
3.6.2 Determinación de la firmeza.....	24
3.6.3 Determinación de humedad y materia seca	24
3.6.4 Determinación del contenido de lípidos	25
3.6.5 Determinación de ácidos grasos	25
3.6.6 Determinación de tocoferoles	26
3.6.7 Determinación de fitoesteroles	27
3.6.8 Determinación de los compuestos fenólicos totales	28
3.6.9 Determinación de la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica <i>in vitro</i>	28
3.7 Análisis estadístico	29
4. Resultados y Discusiones	30
4.1 Características fisicoquímicas	30
4.2 Compuestos bioactivos	32
4.2.1 Ácidos grasos.....	32
4.2.2 Fitoesteroles.....	35
4.2.3 Tocoferoles	37
4.2.4 Compuestos fenólicos.....	38
4.2.5 Capacidad antioxidante	39
5. Conclusiones.....	41
6. Recomendaciones	42
Referencias	43

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición proximal, vitaminas y minerales en 100 g de pulpa de palta	7
Tabla 2. Características de las tres razas de palta.....	8
Tabla 3. Producción y exportación de palta	11
Tabla 4. Diseño experimental para la determinación de las características fisicoquímicas, metabolitos secundarios y capacidad antioxidante de cuatro variedades de palta	24
Tabla 5. Características fisicoquímicas en cuatro variedades de palta.....	30
Tabla 6. Composición de ácidos grasos en cuatro variedades de palta	33
Tabla 7. Composición de fitoesteroles en cuatro variedades de palta	36
Tabla 8. Composición de tocoferoles en cuatro variedades de palta.....	37
Tabla 9. Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica en cuatro variedades de palta	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Biosíntesis de los fitoesteroles en las plantas.....	14
Figura 2. Estructura de los tocoferoles	15
Figura 3. Ruta biosintética de los tocoferoles en las plantas	16
Figura 4. Ruta del ácido shikímico: principales reacciones para la síntesis de los polifenoles	18
Figura 5. Flujo de operaciones para la obtención de pulpa en polvo congelado.....	23

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ecuaciones obtenidas de la curva estándar de cada compuesto para la cuantificación	58
Anexo 2. Cuatro variedades de paltas proporcionadas por Centro de Investigación Frutícola Olerícola de la Universidad Hermilio Valdizán.....	59
Anexo 3. Análisis estadístico para evaluar los pesos de las variedades de palta	60
Anexo 4. Análisis estadístico para evaluar las dimensiones de las variedades de palta	60
Anexo 5. Análisis estadístico para evaluar la firmeza de las variedades de palta.....	60
Anexo 6. Análisis estadístico para evaluar los parámetros de color de las variedades de palta	61
Anexo 7. Análisis estadístico para evaluar el contenido de humedad de las variedades de palta	62
Anexo 8. Análisis estadístico para evaluar el contenido de materia seca de las variedades de palta	62
Anexo 9. Análisis estadístico para evaluar el contenido de aceite de las variedades de palta	62
Anexo 10. Análisis estadístico para evaluar el porcentaje de participación de los principales ácidos grasos de las variedades de palta	63
Anexo 11. Análisis estadístico para evaluar el contenido de fitoesteroles de las variedades de palta	64
Anexo 12. Análisis estadístico para evaluar el contenido de tocoferoles de las variedades de palta	65
Anexo 13. Análisis estadístico para evaluar el contenido de compuestos fenólicos de las variedades de palta	66
Anexo 14. Análisis estadístico para evaluar la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica de las variedades de palta.....	66

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar cuatro variedades de palta (Bacon, Hass, Nabal Azul y Super Fuerte) provenientes de la región Huánuco por sus propiedades fisicoquímicas y compuestos bioactivos tales como ácidos grasos, fitoesteroles, tocoferoles y compuestos fenólicos, además de su capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica. Se analizó el mesocarpio de 6 paltas a madurez de consumo (firmeza 4.99 a 5.56 N) por cada variedad. Para determinar las características físicas, químicas y otras se usaron métodos estandarizados. Los resultados mostraron diferencias significativas para las características físicas y químicas en las cuatro variedades de palta. Los contenidos de lípidos y materia seca oscilaron de 10.13 – 20.26 % y 19.05 – 30.52 %, respectivamente. La variedad “Bacon” presentó un alto contenido de lípidos, asociado a un alto porcentaje de materia seca. En todas las variedades analizadas, el ácido oleico fue el principal ácido graso, la cual constituye de 50.40 a 64.90 % del total de ácidos grasos. En cuanto al análisis de la fracción insaponificable, reveló que las cuatro variedades palta contienen principalmente β -sitosterol (165.46 – 235.51 mg/100 g ms) y α -tocoferol (23.94 – 71.29 μ g/g ms). El contenido de compuestos fenólicos totales osciló de 0.61 a 0.80 mg EAG/g ms, siendo la variedad “Nabal Azul” la que presentó el mayor valor. Las variedades “Bacon” y “Super Fuerte” presentaron mayor capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica, respectivamente.

Palabras clave: *Persea americana*, ácidos grasos, compuestos fenólicos, fitoesteroles, tocoferoles, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize four varieties of avocado (Bacon, Hass, Nabal Azul and Super Fuerte) from the Huánuco region for their physicochemical properties and bioactive compounds such as fatty acids, phytosterols, tocopherols and phenolic compounds, in addition to their capacity hydrophilic and lipophilic antioxidant. The mesocarp of 6 avocados was analyzed at consumption maturity (firmness 4.99 to 5.56 N) for each variety. Standardized methods were used to determine the physical, chemical and other characteristics. The results showed significant differences for the physical and chemical characteristics in the four varieties of avocado. The lipid and dry matter contents ranged from 10.13 - 20.26% and 19.05 - 30.52%, respectively. The variety "Bacon" presented a high content of lipids, associated with a high percentage of dry matter. In all the varieties analyzed, oleic acid was the main fatty acid, which constitutes 50.40 to 64.90% of the total fatty acids. Regarding the analysis of the unsaponifiable fraction, it revealed that the four avocado varieties mainly contain β -sitosterol (165.46 - 235.51 mg / 100 g dw) and α -tocopherol (23.94 - 71.29 μ g / g dw). The content of total phenolic compounds ranged from 0.61 to 0.80 mg EAG / g dw, being the variety "Nabal Azul" the one that presented the highest value. The varieties "Bacon" and "Super Fuerte" presented higher hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity, respectively.

Keywords: *Persea americana*, fatty acids, phenolic compounds, phytosterols, tocopherols, antioxidant capacity.

1. Introducción

El Perú, es uno de los principales países con mayor producción y exportación de palta a nivel mundial (MINAGRI, 2019). La diversidad de microclimas y las variedades de paltos cultivados en nuestro país permiten la producción de este fruto en distintas regiones, concentrándose sobre todo en la región de la sierra y costa. Existen alrededor de 500 variedades de palta en el mundo, pero solo la variedad Hass presenta gran demanda en el mercado internacional. En el Perú, la palta de variedad Hass representa un 76 % del área total de paltos, mientras las otras variedades como Fuerte, Bacon, Nabal, etc., constituyen el 24 % del área total, y este último grupo de paltos son destinados al mercado nacional (MINAGRI, 2015).

La palta es una fruta rica en compuestos bioactivos (ácidos grasos, tocoferoles, fitoesteroles, compuestos fenólicos, etc.) que benefician la salud del ser humano. Varios ensayos clínicos han revelado que los ácidos grasos poliinsaturados provocan una disminución del colesterol sérico total (17 %), de las lipoproteínas de baja densidad o colesterol-LDL (22 %) y de los triglicéridos (22 %), mientras que los monoinsaturados (ácido oleico) generan un incremento de las lipoproteínas de alta densidad o colesterol-HDL (11 %) en pacientes hipercolesterolémicos (Cowan y Wolstenholme, 2003; Dreher y Davenport, 2013; Fonseca et al., 2016). El consumo de frutas con altos contenido de compuestos fenólicos está relacionado con la disminución del riesgo a contraer de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes mellitus y enfermedades neurodegenerativas (Chong et al., 2010; Li et al., 2011; Oliver y Villem, 2017). Los tocoferoles presentan efectos antioxidantes previniendo la propagación de radicales libres en las membranas y lipoproteínas del plasma (Bramley et al., 2000; Ross y Preedy, 2008). En cuanto a los fitoesteroles, son componentes que inhiben la absorción del colesterol intestinal, y también regulan la excreción y el balance del colesterol en todo el cuerpo (Dreher y Davenport, 2013; Dutta, 2003; Lin et al., 2009).

Hay pocos reportes sobre palta peruana, se focalizan principalmente en las propiedades funcionales del aceite extraído de palta “Hass” (Guillén, 2016; Vilca, 2018), y recientemente en las características metabolómicas durante la maduración de palta “Hass” sometidas a refrigeración (Terán, 2020) y atmósfera controlada (Martínez, 2020). Sin embargo, hasta el momento no existen estudios profundos respecto al potencial bioactivo de la diversidad de

paltas producidas en nuestro país. Por lo tanto, el presente estudio pretende caracterizar las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos de diferentes variedades de palta (Bacon, Hass, Nabal Azul y Super Fuerte) con la finalidad de generar información crítica y base estudios posteriores de sus propiedades funcionales. Esta investigación permitirá apreciar las características fisicoquímicas y metabolómicas de las diferentes variedades de palta, información que incentivará a los productores a conservar la diversidad de la palta peruana. Asimismo, se espera que los resultados de este estudio contribuyan con la revalorización de las variedades de palta poco consumidas o desconocidas por la población, promoviendo su consumo debido a las diferentes propiedades funcionales capaces de mejorar la salud del consumidor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de cuatro variedades de palta (Bacon, Hass, Nabal Azul y Super fuerte).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas (color, firmeza, humedad, materia seca y lípidos).
- Determinar los compuestos bioactivos (ácidos grasos, fitoesteroles, tocoferoles y compuestos fenólicos).
- Determinar la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica.

2. Revisión de Literatura

2.1 Palta

2.1.1 Generalidades

La especie *Persea americana* pertenece a la familia Lauraceae nativo de México y Centroamérica (Cowan y Wolstenholme, 2003). En la actualidad, el árbol de palta se produce en 57 países del mundo y se desarrolla excelentemente en regiones tropicales y subtropicales alcanzando una altura de 10 a 12 metros, con una copa amplia, cuyo diámetro puede sobrepasar los 14 metros (Dorantes et al., 2004).

En el Perú, los paltos se cultivan desde el nivel del mar hasta los 2700 m.s.n.m., y se distribuyen por la costa peruana, valles interandinos y ceja de selva (MINAGRI, 2015). La temperatura óptima para su desarrollo varía de 15 °C a 25 °C, y puede adecuarse a suelo arenoso o arcilloso, sin embargo, se adaptan mejor a un suelo compacto, bien drenado, ligeramente ácido y rico en materia orgánica (Ataucusi, 2015).

En general, el fruto es grande (7 - 10 cm de largo, 7 - 10 cm de diámetro) y se caracteriza por presentar distintas formas (periforme, ovoide, globular o elíptica alargada). El color de la cáscara (exocarpio) varía del verde oscuro al violeta (violáceo), y la textura puede ser lisa o rugosa. La pulpa (mesocarpio) es firme, aceitosa y de color amarillo-verdoso. La palta posee una semilla grande y redonda con una piel pegada o suelta a la pulpa. Las características morfológicas del fruto como: el color, la forma, estructura y consistencia de la cáscara y la pulpa son determinadas por las condiciones agroclimáticas, procedencia y variedad (Ataucusi, 2015; Schaffer, 2012).

La palta es un fruto climatérico, cosechada en su madurez fisiológica (estado verde) para alcanzar su madurez comercial (estado maduro). La fruta después de la cosecha madura entre 5 a 10 días, sin embargo, la maduración de la fruta se puede retrasar con un preenfriamiento (5 – 6 °C) inmediatamente después de la cosecha, esta técnica es utilizada por la mayoría de productores con la finalidad de mantener la calidad de la fruta durante su transporte o exportación (Cowan y Wolstenholme, 2003; Hurtado-Fernández et al., 2018).

Por otro lado, la palta se destaca por sus diferentes aplicaciones: alimento, medicina y cosmética. Como medicina, se utiliza las hojas, cáscaras y semillas, mientras que como cosmético se emplea el aceite de palta extraído de la pulpa y semilla para la elaboración de cremas, mascarillas y shampoo. Sin embargo, su principal uso es como alimento fresco o procesado en forma de guacamole (MINAGRI, 2019).

2.1.2 Composición química y nutricional

La parte comestible de la fruta se compone de agua (67 – 72%), carbohidratos (0,3 – 0,4%), proteínas (1,8 – 2%), lípidos (15 – 24%) y fibra dietaria (6,3 – 6,8). La tabla 1 muestra que el fruto es una fuente rica de minerales (potasio, fósforo, magnesio, calcio, hierro, sodio y zinc) y vitaminas (niacina, riboflavina, piridoxina, ácido fólico, ácido ascórbico y vitamina E) (Dreher y Davenport, 2013; MINAGRI, 2015).

El mesocarpio del fruto es fuente principal de lípidos, contiene ácidos grasos monoinsaturados (71%), poliinsaturados (13%) y saturados (16%) (Dreher y Davenport, 2013; Morais et al., 2017). Además, la palta contiene carotenoides (Lu et al., 2009), esteroides (Plaza et al., 2009), compuestos fenólicos (Golukcu y Ozdemir, 2010), y azúcares de siete carbonos (como la manoheptulosa y su forma reducida, el perseitol) (Meyer y Terry, 2010). Numerosas investigaciones han encontrado relación positiva entre el consumo de la palta y efectos saludables para los seres humanos (mantener el colesterol sérico normal, controlar la diabetes, prevenir el cáncer, etc.), por la presencia de algunos metabolitos (ácidos grasos, fibra dietética, D-manoheptulosa, perseitol, potasio, magnesio, vitaminas del grupo C, E, K y B, carotenoides, fenólicos y fitoesteroides) en la matriz de esta fruta (Dreher y Davenport, 2013; Devalaraja et al., 2011; Roth et al., 2009). El contenido y la composición de los compuestos bioactivos en la fruta depende de varios factores como: la variedad, el grado de maduración, lugar de procedencia, periodo de cosecha, y las condiciones de cultivo y clima (Hurtado-Fernández et al., 2018; Vivero et al., 2019).

Tabla 1. Composición proximal, vitaminas y minerales en 100 g de pulpa de palta

Composición	MINAGRI (2015)	Dreher y Davenport (2013)
Proximal		
Humedad (g)	67,9	72,33
Carbohidratos (g)	0,4	0,3
Proteína (g)	1,88	1,96
Grasa (g)	23,5	15,41
Fibra Cruda (g)	6,33	6,80
Cenizas (g)	ND	1,66
Vitaminas		
Riboflavina (mg)	0,15	0,14
Piridoxina (mg)	0,36	0,29
Niacina (mg)	1,42	1,91
Ácido fólico (µg)	30	89
Ácido ascórbico (mg)	6	8,8
Vitamina E (mg)	1,37	1,97
Minerales		
Potasio (mg)	487	507
Fósforo (mg)	43	54
Magnesio (mg)	30	29
Calcio (mg)	12	13
Sodio (mg)	4,7	8
Hierro (mg)	0,49	0,61
Zinc (mg)	0,40	0,68

ND: No determinado.

2.1.3 Diversidad genética de palta peruana

La palta se clasifica botánicamente en tres razas: mexicana (*Persea americana* var. *Drymifolia*), guatemalteca (*Persea nubigena* var. *Guatemalensis*) y antillana (*Persea americana* var. *Americana*). Cada una de estas razas (subespecies) difiere de la otra en muchos aspectos, sobre todo en las características climáticas y de suelo para su desarrollo (Dorantes et al., 2004). En la tabla 2 se detallan algunas características de las tres razas.

Tabla 2. Características de las tres razas de palta

Características	Razas		
	Mexicana	Guatemalteca	Antillana
Adaptación climática	subtropical	subtropical	tropical
Resistencia al frío	-4,5 a 3°C	-4 a -2°C	-2 a -1°C
Tolerancia a la salinidad	media	alta	baja
Añerismo	poco intenso	intenso	poco intenso
Tamaño de hoja	corta	larga	muy larga
Color de hoja	verde	verde	verde suave
Tamaño de fruto	pequeño	mediano	grande
Color de la piel	morado	negro o verde	verde pálido – guinda
Textura de la piel	fina y lisa	gruesa y rugosa	gruesa y lisa

Fuente: Dorantes et al. (2004).

Existe un número considerable de variedades de paltas, que son el resultado de los cruces de estas tres razas, sin embargo, solo tienen importancia económica, en las zonas subtropicales, las variedades que resultan del cruce entre genes de la raza mexicana y guatemalteca, mientras que en las zonas tropicales predominan las variedades con combinaciones entre la raza antillana y guatemalteca (Schaffer, 2012).

En el Perú, la variedad de palta de mayor relevancia para el mercado internacional es la palta “Hass”, mientras que las variedades “Fuerte”, “Nabal”, “Bacon” y “Ettinger”

tienen mayor aceptación en el mercado interno (MINAGRI, 2015; Pérez et al., 2006). A continuación, se describe cada una de las variedades.

- **Palta Hass:** Es producto del cruce entre la raza guatemalteca con la raza mexicana, proveniente del estado de California (Estados Unidos), y está adaptada a las condiciones ecológicas de la costa y la selva alta. Los frutos son de forma ovoide y de tamaño mediano, alcanzando un peso entre 200 a 300 gramos. La cáscara presenta una superficie gruesa, rugosa y de color púrpura oscuro (estado maduro). Asimismo, posee una pulpa cremosa, sin fibra, y su contenido de aceite varía entre 18 – 22%. La semilla es de tamaño pequeño, de forma esférica y se encuentra adherida a la pulpa. La cosecha de la palta se da entre los meses de noviembre a diciembre por la costa central y en épocas más tempranas por la selva. Respecto al árbol, es muy sensible al frío y de elevada productividad.
- **Palta Fuerte:** Al igual que la variedad “Hass”, es el resultado del cruce de un progenitor de la raza guatemalteca con la raza mexicana, pero es originaria de la ciudad de Atlixco (México). La palta “Fuerte” está adaptada a las condiciones ecológicas de la costa, valles interandinos y selva alta, sin embargo, en la zona costera no es una variedad recomendable. El fruto es piriforme, llegando a pesar entre 300 a 400 gramos. La cáscara es de color verde oscuro (estado maduro), con una superficie ligeramente áspera y un espesor intermedio. La pulpa tiene poca fibra y su contenido de aceite oscila entre 18 – 26%. En cuanto a la cosecha de palta “Fuerte”, se expande de mayo hasta agosto por la costa central, mientras que en otras zonas (valles interandinos y selva alta) ocurre en periodos diferentes.
- **Palta Nabal:** La variedad “Nabal” pertenece a la raza guatemalteca y se cultivan desde el nivel del mar hasta los 1500 m.s.n.m. El fruto es redondo, con un peso aproximado de 300 a 600 gramos. La cáscara es gruesa, lisa y de color verde oscuro. La pulpa es de color amarillo con un contenido de aceite que varía entre 15 – 18%. Esta variedad se adapta mejor en la costa y su cosecha se realiza entre los meses de setiembre y diciembre.

- **Palta Bacon:** Es una variedad híbrida producto del cruce de las razas guatemalteca y mexicana. El fruto pesa entre 198 a 340 gramos. La cáscara es delgada, lisa y de color verde oscuro. La pulpa tiene un contenido de aceite moderado. Esta variedad es resistente a las temperaturas bajas, incluso hasta -4°C. Además, es la variedad que madura más rápido respecto a otros cultivares.
- **Palta Ettinger:** Esta variedad es recientemente introducido a nuestro país. El fruto es de forma ovalada alargada, tamaño mediano, cáscara fina, lisa y de color verde brillante. La pulpa no tiene fibra y es de muy buena calidad. Constituye una de las variedades importantes en Israel, donde ocupa entre el 25 y el 30% de la superficie plantada con paltos.

Además, en el Perú se cultivan otras variedades con mayor aceptación en el mercado interno, como las siguientes variedades: “Criollo”, “Collin Red”, “Dickinson”, “Hall”, “Linda”, “Queen”, “Thompson” y “Villacampa” (MINAGRI, 2015; Pérez et al., 2006).

2.1.4 Producción y exportación

A nivel mundial, México es el primer productor de palta, seguido de Chile, República Dominicana, Estados Unidos, Colombia, Perú, Brasil y Guatemala, entre otros (Dorantes et al., 2004). En el Perú, la producción de la palta es todo el año; sin embargo, la mayor producción se concentra entre los meses de abril a julio de cada año. Las principales regiones productoras de palta son: La Libertad, Lima, Ica, Junín y Ancash (MINAGRI, 2017).

Respecto a la exportación de palta peruana, en los últimos seis años se ha incrementado y los principales destinos son países bajos, Estados Unidos, España, Reino Unido, Chile, China, Japón, entre otros (MINAGRI, 2019; SIICEX, 2020). Las zonas de cultivos de paltos que destinan su producción para la exportación son: La Libertad, Lima e Ica, principalmente. La variedad de exportación es la palta Hass, como se sabe es la variedad más reconocida que domina el 95% del mercado mundial, y su forma de exportación es como fruto fresco entero (MINAGRI, 2019). En la tabla 3 se muestra las cantidades producidas y exportadas de palta desde el 2010 hasta 2019.

Tabla 3. Producción y exportación de palta

Año	Producción (toneladas) ¹	Exportación (toneladas) ²
2010	184370	59521
2011	213662	81544
2012	268525	83576
2013	288387	114544
2014	349317	179093
2015	367110	175715
2016	455394	194121
2017	466796	247364
2018	504517	359428
2019	386200	312073

Fuente: ¹FAOSTAT (2020); ²SIICEX (2020).

2.1.5 Compuestos bioactivos de la palta

En cuanto a la palta, Galvão et al. (2014) y Reddy et al. (2012) identificaron perfiles similares de ácidos grasos en la pulpa de diferentes variedades de palta provenientes de diversos orígenes, sin embargo, el contenido de cada ácido graso varía en función a las variedades estudiadas.

Di Stefano et al. (2017), Hurtado-Fernández et al. (2014) y Lopez-Cobo et al. (2016), investigaron el perfil y los contenidos de compuestos fenólicos en el mesocarpio de diversas variedades de palta, detectando principalmente ácidos hidroxicinámicos (ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido *p*-cumárico) e hidroxibenzoicos (ácido protocatéquico y ácido vanílico) que variaron en función de las variedades y del estado de madurez.

Por otra parte, Espinoza-Alonso et al. (2017) y Fernandes et al. (2018) evaluaron los niveles de tocoferoles, fitoesteroles, compuestos fenólicos y la actividad antioxidante *in vitro* en la pulpa de diferentes variedades de palta, donde los contenidos de los fitoquímicos dependen de la variedad y lugar de procedencia. Asimismo, encontraron una

correlación positiva entre la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos presentes en la palta.

2.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena hidrocarbonada hidrofóbica, que contienen un grupo metilo en un extremo y un grupo carboxilo hidrófilo en el otro. La mayoría de los ácidos grasos tienen de 4 a 22 átomos de carbono, pero los más comunes son de 18 C. Se clasifican por la presencia y el número de dobles enlaces carbono-carbono en tres grupos: ácidos grasos saturados que no tienen doble enlace (ácido esteárico, ácido mirístico, ácido palmítico, etc.), ácidos grasos monoinsaturados que contienen un doble enlace (ácido oleico, ácido palmitoleico, etc.) y ácidos grasos poliinsaturados que presentan dos o más dobles enlaces (ácido linoleico, α -linolénico, etc.) (Kenar et al., 2017; Scrimgeour, 2005). Asimismo, los ácidos grasos insaturados (que incluyen los mono y poli) se pueden clasificar según la estructura de su molécula en “*cis*” o “*trans*”; sin embargo, la mayoría de estos ácidos presentes en los alimentos tienen conformación “*cis*” (Scrimgeour, 2005).

En las plantas, la biosíntesis de los ácidos grasos ocurre en citosol a partir del acetil-CoA, que proviene del piruvato (producto de la glucólisis). Por otra parte, para la producción de ácidos grasos se requiere de dos sistemas enzimáticos: el acetil-CoA carboxilasa (presente en dos formas moleculares distintas: complejo multiproteico y proteína multifuncional) y ácido graso sintasa (es un complejo multienzimático presente en el estroma). Los productos finales de esta síntesis suelen ser ácidos grasos saturados (ácido palmítico y esteárico), y ácidos grasos de cadena larga (a través de procesos de elongación, desaturación y otras modificaciones) (Fatiha, 2019; Yahia, 2018).

Respecto a las fuentes de ácidos grasos, el ácido graso saturado y monoinsaturado más abundante en la naturaleza es el ácido palmítico (16:0) y ácido oleico (18:1, ω 9), respectivamente, y ambos se encuentran principalmente en aceites vegetales como el aceite de palma (40%) y oliva (55 - 80%), respectivamente. Los ácidos grasos poliinsaturados como ácido α -linolénico (18:3, ω 3) y ácido linoleico (18:2, ω 6), son ácidos esenciales que se obtienen a través de la dieta (en semillas, vegetales de hojas verdes, frijoles, nueces y carnes) (Yahia, 2018). Los ácidos grasos insaturados reducen el riesgo a desarrollar enfermedades cardiovasculares, provocando una disminución del colesterol-LDL (lipoproteína de baja

densidad) y manteniendo el colesterol-HDL (lipoproteína de alta densidad) del plasma (Lunn y Theobald, 2006).

En general, las frutas no constituyen una fuente importante de grasas y aceites comestibles porque contienen niveles muy bajos de lípidos (0.1 – 1 %), excepto la palta, palma y el olivo. La palta presenta altos contenidos de aceite (15 – 30%) y la composición principal son ácidos grasos insaturados como el ácido oleico (75 – 80%), ácido linoleico (7 – 10%) y trazas de ácido esteárico. Tanto el contenido como la composición de ácidos grasos dependen de muchos factores como: la variedad, la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y el estado de madurez de la fruta (Kamel y Kakuda, 2008).

2.3 Fitoesteroles

Los fitoesteroles y sus formas reducidas (fitoestanoles) son esteroides vegetales que se encuentran en las plantas. Estructuralmente, los fitoesteroles (compuestos de 28 o 29 átomos de carbono) son similares al colesterol (27 carbonos), pero difieren por la presencia del grupo metilo o etilo en la cadena lateral de la molécula. Se han identificado más de 250 estructuras diferentes de esteroides en diversas especies de plantas, siendo los más abundantes el β -sitosterol (C29), campesterol (C28) y stigmasterol (C29) (Dutta, 2003; Muñoz et al., 2011).

La biosíntesis de los fitoesteroides en las plantas sigue la vía de los isoprenoides, que consiste en más de 30 reacciones enzimáticas secuenciales (Figura 1). En general, la ruta comienza con la reducción del HMG-CoA (seis carbonos) a mevalonato (cinco carbonos). Luego seis unidades de mevalonato se juntan con dos moléculas de farnesildifosfato para formar el escualeno, y posteriormente sintetizar el 2,3-óxido de escualeno que será catalizada por la enzima ciclasa, dando lugar al cicloartenol. El cicloartenol sigue varias reacciones hasta producir el Δ^7 -avenasterol y campesterol. Finalmente, a partir del Δ^7 -avenasterol se forma el β -sitosterol por el proceso de hidrogenación en el C24 y C28. Siguiendo esta vía, la formación de estigmasterol a partir del β -sitosterol se debe a la enzima 22,23-deshidrogenasa (Leyva et al., 2011; Piironen et al., 2000).

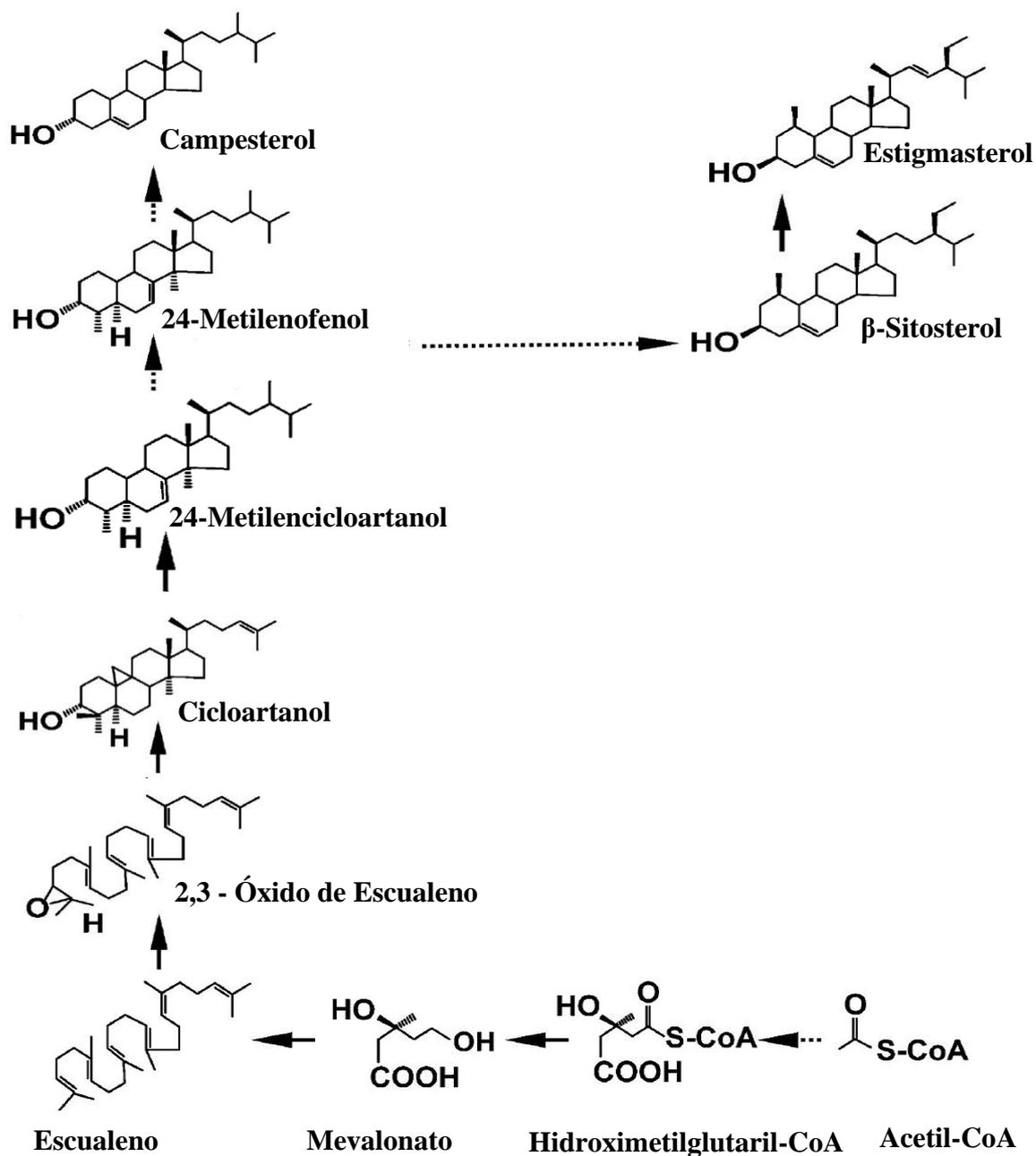


Figura 1. Biosíntesis de los fitoesteroles en las plantas (Chen et al., 2007)

En los tejidos vegetales, los fitoesteroles se encuentran en cinco formas: libres, esterificados con ácidos grasos, glucosilados y como glucósidos acilados (Moreau et al., 2002). Las principales fuentes de fitoesteroles son: aceites vegetales, semillas oleaginosas, cereales, legumbres y frutos secos. Sin embargo, en los vegetales, las frutas y bayas los niveles de fitoesteroles son bajos, pero contribuyen a la ingesta total de esteroles (20 - 25%) como parte de la dieta (Dutta, 2003).

Varios estudios han determinado el contenido y la composición de fitoesteroles en diferentes frutas, encontrando valores muy variables desde 1.3 mg/100 g bh (sandía) hasta 75 mg/100 g bh (palta), donde el β -sitosterol el estero principal de las frutas, seguido del campesterol y stigmasterol (Han et al., 2008; Normén et al., 1999; Piironen et al., 2003). Por otra parte, estudios *in vivo* y ensayos clínicos han demostrado que una alimentación rica en fitoesteroles podría provocar una disminución del colesterol plasmático (15%) y de colesterol-LDL (20%), si se consumen en cantidades que oscilan entre 1.5 a 2 gramos (Katan et al., 2003; Mackay y Jones, 2011; Piironen et al., 2000).

2.4 Tocoferoles

Los tocoferoles son un grupo de moléculas anfipáticas formados por una cola hidrofóbica (cadena lateral saturada) y una cabeza polar (anillo cromanol). Los tocoferoles se clasifican en cuatro formas: alfa (α), beta (β), gamma (γ) y delta (δ), que difieren en el grado de metilación de la cabeza polar (Figura 2). El α -tocoferol con tres grupos metil, presenta mayor actividad biológica, seguido del β -tocoferol, γ -tocoferol y δ -tocoferol (DellaPenna-Pogson, 2006; Falk y Munné-Bosch, 2010).

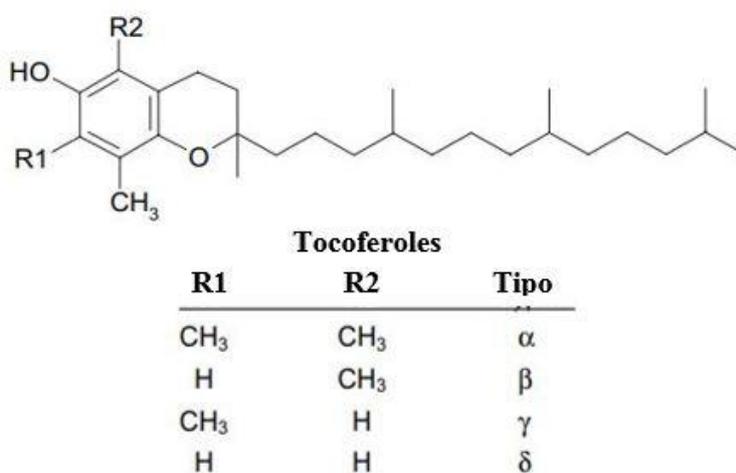


Figura 2. Estructura de los tocoferoles (Falk y Munné-Bosch, 2010)

Los organismos fotosintéticos como las plantas, algas y algunas cianobacterias, son los únicos que pueden sintetizar los tocoferoles. Estos compuestos han sido detectados en hojas, semillas, raíces, tubérculos, frutos, tallos, hipocótilos y cotiledones de plantas superiores, sin embargo, el contenido y la composición de tocoferoles es muy heterogéneo. En general, el α -tocoferol es la forma más predominante en las plantas superiores, mientras que el γ -tocoferol predomina en los aceites vegetales (Mène-Saffrané y DellaPenna, 2010).

La ruta biosintética de los tocoferoles en las plantas, se inicia con dos sustratos: 2,5-dihidroxifenilacetato o HGA (proveniente de la vía del ácido shikímico) y fitildifosfato o PDP (que viene de la ruta plástica de la deoxixilulosa 5-fosfato), que se encargan de formar la cabeza polar y la cola hidrofóbica, respectivamente. El segundo paso es la condensación del HGA con el fitildifosfato mediante la enzima fitiltransferasa (HPT), para formar el 2-metil-6-fitil-benzoquinol (MPBQ) que es el intermediario de todos los tocoferoles. La especificidad del sustrato de la reacción anterior es clave para determinar si se forman tocoferoles, tocotrienoles o ambos. La siguiente reacción es la metilación del MPBQ para formar el 2,3-dimetil-6-fitil-benzoquinol (DMPBQ). Los sustratos MPBQ y DMPBQ son catalizados por la enzima tocoferol ciclasa (TC) para producir δ -tocoferol y γ -tocoferol; respectivamente. Finalmente, la reacción con γ -tocoferol metiltransferasa (γ -TMT) convierte los tocoferoles δ y γ , en β -tocoferol y α -tocoferol, respectivamente (Figura 3) (DellaPenna y Pogson, 2006; Mène-Saffrané y DellaPenna, 2010).

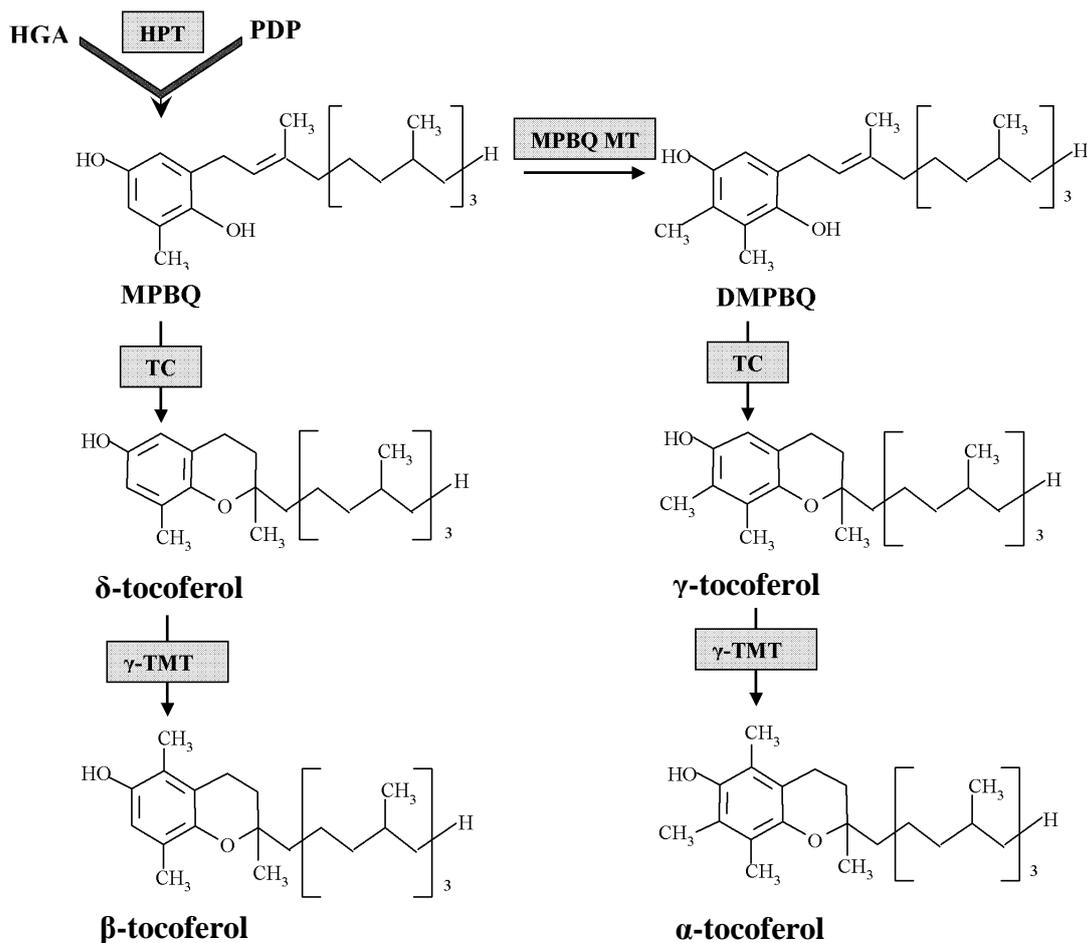


Figura 3. Ruta biosintética de los tocoferoles en las plantas (Lushchak y Semchuk, 2012)

Numerosas investigaciones han demostrado que la función principal de los tocoferoles en las plantas es proteger los lípidos de la membrana fotosintética (principalmente a los ácidos grasos poliinsaturados) del daño oxidativo provocado por los radicales peroxilo y otras especies reactivas, debido a su capacidad antioxidante. Según los estudios *in vivo* cada tocoferol presenta diferente actividad antioxidante, la cual decrece de la siguiente manera $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ (Falk y Munné-Bosch, 2010; Maeda y DellaPenna, 2007).

Las fuentes principales de tocoferoles son los aceites vegetales (de girasol y cártamo), las almendras y avellanas. Asimismo, se han detectado y cuantificado cantidades importantes de α -tocoferol y γ -tocoferol en frutas (grosella negra, palta, moras y aceitunas verde) y vegetales (espinaca, brócoli, pimiento rojo, esparrago y tomate) (Yahia, 2018).

2.5 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, e intervienen en su crecimiento y reproducción. Asimismo, actúan como un mecanismo de defensa de los depredadores, organismos patógenos y la radiación ultravioleta. Por otro lado, contribuyen a las características sensoriales de las frutas y verduras, como el sabor y color natural (De la Rosa et al., 2010; Garde et al., 2017). Estructuralmente, los compuestos fenólicos se componen de uno o más anillos aromáticos unidos a grupos hidroxilo, dando origen a una amplia variedad de estructuras químicas, que varía desde moléculas simples como los ácidos fenólicos (hidroxibenzoicos y hidroxicinámicos) hasta compuestos altamente polimerizados como los taninos (Belitz et al., 2009). Los polifenoles más comunes y abundantes presentes en las frutas son los ácidos fenólicos y flavonoides, y se encuentran principalmente como glucósidos, y una parte como ésteres (Belitz et al., 2009; Cheyner et al., 2013).

En las plantas, los polifenoles se forman principalmente por la vía del ácido shikímico, que consta de siete reacciones enzimáticas secuenciales (Figura 4). El proceso se inicia cuando la eritrosa-4-fosfato (de la vía de las pentosas fosfato) se junta con el ácido fosfoenolpirúvico (proveniente del glicólisis) para formar el ácido shikímico, posteriormente, este ácido sintetiza la tirosina y fenilalanina, de este último derivan la mayoría de compuestos fenólicos (Cheyner et al., 2013). La enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la formación de los ácidos hidroxicinámicos y sus derivados (ácido *trans*-cinámico, *p*-cumárico, ferúlico y cafeico), compuestos que se encuentran ampliamente

distribuidos en los alimentos de origen vegetal. En cuanto a la biosíntesis de los flavonoides, esta comienza con la condensación de tres moléculas de malonil-coA (que viene de la vía del ácido malónico) junto a una molécula de *p*-cumaroil-coA. Esta reacción es catalizada por la chalcona sintasa formando la chalcona naringenina (precursor de los flavonoides) (Nollet y Gutierrez, 2018; Soto, 2019).

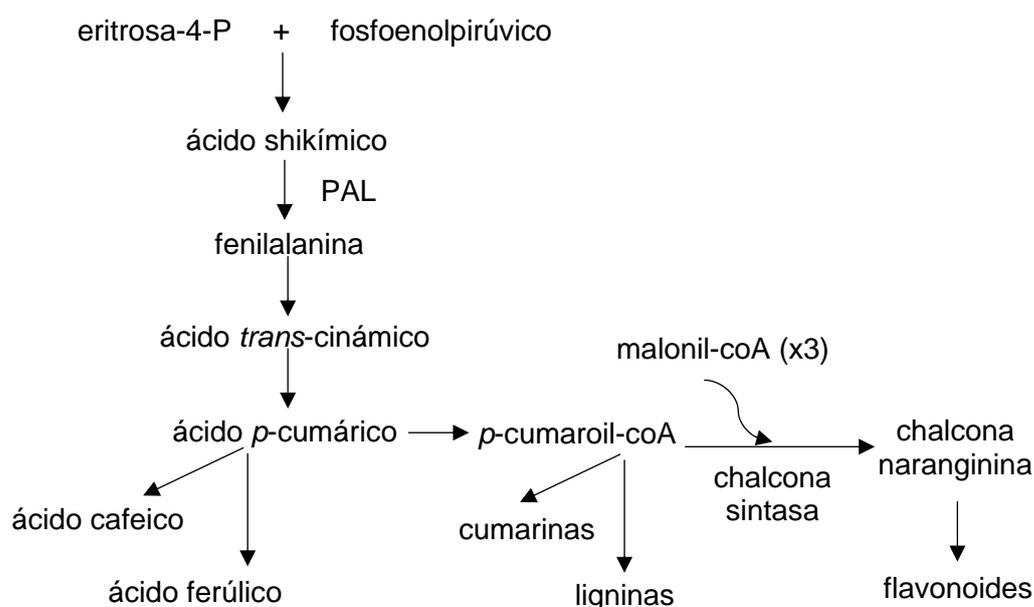


Figura 4. Ruta del ácido shikímico: principales reacciones para la síntesis de los polifenoles (Cheyner et al., 2013)

2.5.1 Capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos

Varios estudios epidemiológicos, *in vitro*, *in vivo* y ensayos clínicos han demostrado que los antioxidantes presentan efectos biológicos relacionados a la salud, previniendo y reduciendo los efectos negativos de las enfermedades causadas por el estrés oxidativo (Apak et al., 2018; Garde et al., 2017, Nollet y Gutierrez, 2018).

Los compuestos fenólicos pueden actuar como “antioxidantes” mediante dos mecanismos: donando átomos de hidrógeno o secuestrando iones metálicos, con la finalidad de inhibir la formación de radicales libres (Nollet y Gutierrez, 2018). La estructura química está relacionada con la actividad antioxidante por el número y la posición de los grupos hidroxilo, y el pH del medio (Belitz et al., 2009).

Respecto a lo anterior, numerosas investigaciones científicas señalan que una dieta rica en frutas y verduras puede disminuir los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes mellitus, entre otros, por la presencia de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante (Chong et al., 2010; Dragsted et al., 2006; Yahia, 2018).

Los diversos ensayos *in vitro* para determinar la capacidad antioxidante de los alimentos han sido estudiados bajo dos mecanismos acción: transferencia de átomos de hidrógeno (HAT): ORAC (oxygen radical absorbance capacity), y transferencia de electrones individuales (SET): FRAP (ferric reducing ability of plasma) y CUPRAC (cupric reducing antioxidant capacity). Sin embargo, los ensayos DPPH y ABTS se estudian mediante ambos mecanismos (HAT y SET) (Apak et al., 2018).

3. Materiales y Métodos

3.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Instituto de Biotecnología (IBT), área de Biotecnología Industrial y Bioprocesos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2 Muestra

Se trabajó con cuatro variedades de palta (Bacon, Hass, Nabal Azul y Super Fuerte) proporcionadas por el Centro de Investigación Frutícola Olerícola de la Universidad Hermilio Valdizan de la región Huánuco. Se analizó seis muestras biológicas (6 paltas, a madurez de consumo) por cada variedad de palta.

3.3 Materiales, equipos y reactivos

3.3.1 Materiales

- Materiales de vidrio: balones, fiolas, probetas, tubos de ensayo, vasos de precipitado, viales, pipetas, baguetas, placas petri, frascos y matraz Erlenmeyer.
- Micropipetas de 20-200, 100-1000 y 500-5000 μL (Transferpette® S/Brand).
- Otros: tubos Eppendorf, tubos falcon, espátulas, cucharas, bolsas de polipropileno de alta densidad, magnetos, jeringas estériles desechables, filtros Millipore (PTFE y PVDF), mortero con pilón, papel filtro y puntas para micropipeta.

3.3.2 Equipos

- Agitador vortex (Wizard & Classic/ Velp Scientific).
- Balanza analítica (Adventurer/ Ohaus).
- Balanza electrónica (Scout/ Ohaus).
- Baño María (1083/ GFL).
- Centrífuga (Rotofix 32 A/ Hettich).
- Colorímetro (CR-400/ Konica Minolta).
- Cromatógrafo gases con detector de ionización de flama (GC-FID) (GC-2010/ Shimatzu).

- Cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) (2695/ Waters) con detector de fluorescencia (2475/ Waters).
- Espectrofotómetro (Genesys 20/ Thermo Spectronic).
- Estufa de vacío (Vacucell/ MMM).
- Extractor Soxhlet.
- Molino de carga (A 11/ IKA).
- Penetrómetro (FT 327/ Fruit Pressure Tester).
- Evaporador rotativo (Laborota 4000/ Heidolph).
- Otros equipos necesarios para los diferentes ensayos.

3.3.3 Reactivos

- Ácido clorhídrico P.A (J.T. Baker, 37 %).
- Butil hidroxitolueno (BHT) P.A (Sigma-Aldrich, PM: 220.35 g/mol).
- Carbonato de sodio P.A (J.T. Baker, PM: 105.99 g/mol).
- Cloruro de sodio P.A (Merck, PM: 58.44 g/mol).
- Etanol P.A (J.T. Baker, 99.9 %).
- Éter de petróleo P.A (J.T. Baker, 99.9 %).
- Folin - Ciocalteu P.A (Merck, 2 N).
- Hidróxido de potasio P.A (Merck, PM: 56.11 g/mol).
- Heptano P.A (J.T. Baker, 99.9 %).
- Hexano grado HPLC (J.T. Baker, 99.9 %).
- Metanol P.A (J.T. Baker, 99.9 %).
- Persulfato de potasio P.A (J.T. Baker, PM: 270,32 g/mol).
- Sulfato de sodio anhidro P.A (J.T. Baker, PM: 142.04 g/mol).
- 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) (ABTS) (Sigma-Aldrich, PM: 548.68 g/mol).

3.3.4 Estándares

- Estándar de compuestos fenólicos totales: ácido gálico (Sigma-Aldrich, ≥ 98 %).
- Estándar de capacidad antioxidante: 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (trolox) (Sigma-Aldrich, 97 %).
- Estándares de fitoesteroles: campesterol, estigmasterol y β -sitosterol (Sigma-Aldrich, ~ 98 %, ~ 95 %, ≥ 95 %, respectivamente).

- Estándares de tocoferoles: alfa (Sigma-Aldrich, ≥ 95.5 %), beta, gamma y delta tocoferol (Supelco).
- Estándares de ácidos grasos: 7 analitos bajo la forma de ésteres metílicos de los ácidos grasos – FAME Mix RM-6 (Supelco).
- Estándar interno (ácidos grasos): metil undecanoato (Sigma-Aldrich, ~ 99 %).
- Estándar interno (fitoesteroles): 5- α -colestano (Sigma-Aldrich, ≥ 97 %).

3.4 Metodología experimental

Una vez cosechadas las paltas fueron enviadas al laboratorio, donde se realizó la limpieza y selección de las paltas por cada variedad. Luego, fueron almacenadas a temperatura ambiente (18 – 20°C) hasta alcanzar su madurez de consumo, que fue determinado con la medida de la firmeza (suave al tacto equivale a un valor de firmeza entre 3.5 – 8 N, según Hernández et al. 2017). Previo al análisis de firmeza, se determinaron los pesos, las dimensiones (longitud y diámetro) y el color de la cáscara. En seguida, se procedió al acondicionamiento de los frutos, para obtener muestras frescas, secas y polvo congelado. El análisis de humedad y materia seca se realizó en la muestra fresca; mientras que para la determinación de ácidos grasos y fitoesteroles se trabajó con el aceite extraído de la muestra seca. En cuanto a la determinación de tocoferoles, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante se empleó las muestras en polvo congelado. La Figura 5 muestra la secuencia de cada una de las operaciones unitarias que siguieron las variedades.

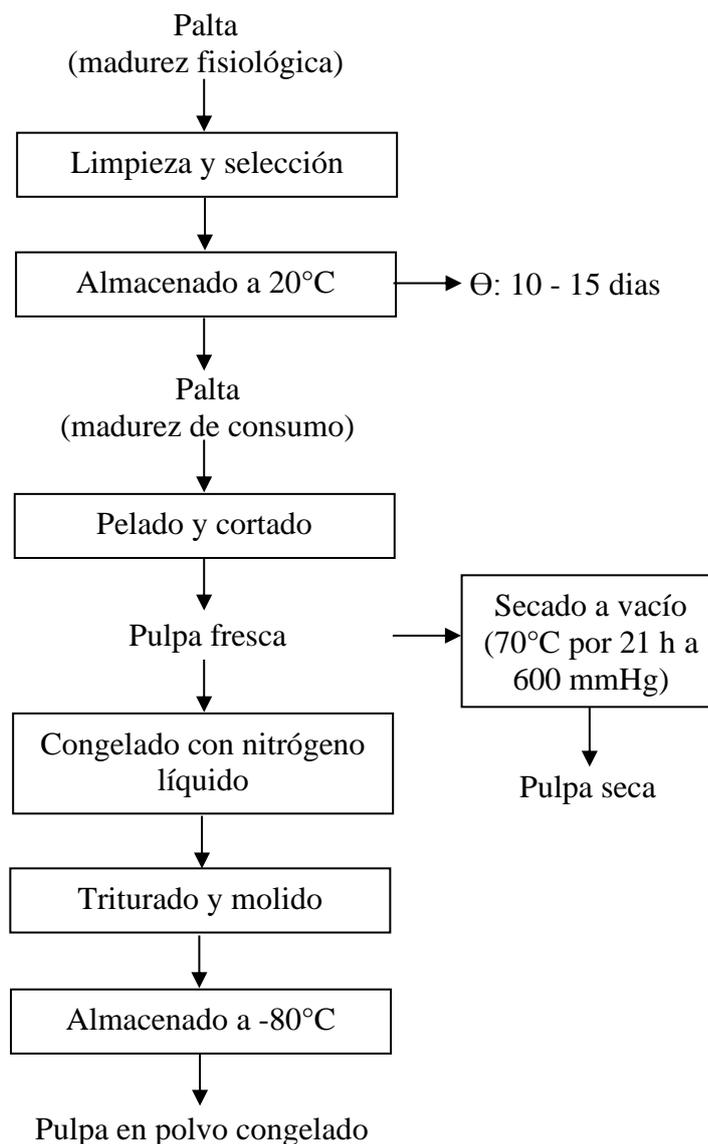


Figura 5. Flujo de operaciones para la obtención de pulpa en polvo congelado

3.5 Diseño experimental

El diseño experimental que se siguió fue el Diseño Completamente al Azar (DCA), donde la unidad experimental es cada palta, con un total de 24 unidades experimentales. La variable independiente en estudio fueron las variedades de palta (4) y las variables respuesta fueron las características fisicoquímicas, los compuestos bioactivos y las capacidades antioxidantes (Tabla 4).

Tabla 4. Diseño experimental para la determinación de las características fisicoquímicas, metabolitos secundarios y capacidad antioxidante de cuatro variedades de palta

Variable independiente (variedades)	Variables respuesta (análisis)		
	Características fisicoquímicas	Compuestos bioactivos	Capacidad antioxidante
Nabal Azul	Color	Ácidos Grasos	
Hass	Firmeza	Fitoesteroles	Hidrofílica
Super Fuerte	Humedad	Tocoferoles	Lipofílica
Bacon	Materia seca	Fenólicos totales	
	Lípidos		

3.6 Métodos de análisis

3.6.1 Determinación del color

Se realizó la medición en la cáscara del fruto con un colorímetro (CR-400/ Konica Minolta) previamente calibrado utilizando la escala CIELAB con iluminante D/65 y un ángulo de 0° propuesto por Márquez y Pretell (2009). Los valores obtenidos fueron la luminosidad (L^*), las coordenadas a^* (+ rojo, - verde) y b^* (+ amarillo, - azul), el ángulo de tono “hue” (h°), la pureza de color “croma” (C^*), y la diferencia de color total “delta E” (ΔE^*) de cada muestra. Las mediciones se repitieron 6 veces en diferentes puntos de cada palta.

3.6.2 Determinación de la firmeza

Se utilizó el método de punción empleando un penetrómetro (FT 327/ Fruit Pressure Tester) con puntal de acero inoxidable de 11.3 mm de diámetro propuesto por Villa-Rodríguez et al. (2011). La medición se realizó en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial de la palta sin cáscara. Los resultados fueron expresados en Newton (N).

3.6.3 Determinación de humedad y materia seca

Se empleó el método de pérdida de peso por secado reportado por la AOAC 984.25 (2005). Seis gramos de muestra fresca fue secada en una estufa al vacío (70°C y 600 mmHg), hasta obtener peso constante. El porcentaje de humedad se determinó con la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

Pi = Peso inicial de la muestra

Pf = Peso final de la muestra

La materia seca se calculó por diferencia del porcentaje de humedad respecto al 100 por ciento.

3.6.4 Determinación del contenido de lípidos

Se determinó con el método Soxhlet recomendado por la AOAC 963.15 (2005). Se pesó 2.5 g de materia seca en el papel filtro y se procedió a formar un cartucho. Luego el cartucho fue introducido a un extractor Soxhlet, donde se mantuvo bajo reflujo (durante 6 h a 30°C) utilizando éter de petróleo como solvente de extracción. Las concentraciones de lípidos (residuo lipofílico) fueron expresadas como porcentaje (w/w) en base húmeda (bh).

3.6.5 Determinación de ácidos grasos

Se utilizó el método propuesto por Meurens et al. (2005) con ligeras modificaciones. El procedimiento se inicia con la etapa de metilación, para ello se mezcló 250 mg residuo lipofílico (aceite obtenido previamente por el método Soxhlet) con 5 mL de KOH 0.1 M en metanol. La mezcla fue llevado a baño maría a 70°C durante 60 min (se aplicó agitación a los 5, 20 y 40 min). Luego, se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente y se adicionó 2 mL de HCl 1.2 N en metanol, se agitó y nuevamente se llevó a baño maría a 70°C por 20 min (se aplicó agitación a los 10 min). La segunda etapa fue la extracción de los ácidos grasos metilados, añadiendo 10 mL de hexano y 5 mL de agua Milli-Q. La mezcla homogeneizada se llevó a refrigeración (4°C) durante una noche. Posteriormente, en una fiola de 5 mL se añadió 150 µL de la fase hexano (parte superior de la mezcla) con 500 µL de estándar interno (metil undecanoato; 4 mg/mL), y se enrazó con hexano. La mezcla homogeneizada fue transferida a un falcon, y se conservó a -20°C hasta su posterior análisis. En cada una de las operaciones realizadas las muestras fueron protegidas de la luz.

La identificación y cuantificación de los ésteres metílicos de ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de ionización de flama (GC-FID). Previo a la inyección, los extractos de las muestras fueron filtrados con filtros Millipore (0.2 μm de tamaño de poro, 13 mm de diámetro, membrana PTFE). Un volumen de 1 μL fue inyectado en una columna Zebron ZB-FAME (20 m L * 0.18 mm DI, 0.15 μm EP, Phenomenex) en modo Split 20:1. Se usó helio de alta pureza como gas portador y la velocidad de flujo en la columna fue de 1 mL/min. La temperatura del horno se mantuvo inicialmente a 80 °C durante 1.5 min, luego aumentó a 160 °C a una velocidad de 40 °C/min, seguidamente se incrementó a 185 °C a una velocidad de 6°C/min, y finalmente se elevó a 260 °C a una velocidad de 18 °C/min manteniéndose durante 2 min. Las temperaturas del puerto de inyección y detector fueron 250 °C y 260 °C, respectivamente. Los ésteres metílicos de ácidos grasos se identificaron comparando el tiempo de retención de los picos detectados en las muestras de palta con los estándares puros. La cuantificación de los ácidos grasos se realizó mediante las curvas de calibración, y los resultados fueron expresados en porcentaje de participación de cada pico respecto al total de picos de ácidos grasos encontrados en el aceite de palta.

3.6.6 Determinación de tocoferoles

Se realizó con el método propuesto por Amaral et al. (2005) con algunas modificaciones. Una cantidad de 2 g de palta en polvo congelado fue mezclada con 1 mL de una solución de BHT (10 mg BHT/mL de hexano). En seguida se agregó 4 mL de etanol, 8 mL de hexano (solvente de extracción) y 4 mL de solución saturada de NaCl (después de la adición de cada uno de los reactivos mencionados se homogeneizó por 1 min con ayuda de un vortex). La mezcla fue centrifugada a 6000 rpm durante 4 min a 4 °C, y la parte superior (transparente) se retiró a otro falcon. El extracto obtenido fue llevado a sequedad con una corriente de nitrógeno gaseoso y se obtuvo un residuo lipofílico (aceite). Luego, 50 mg del residuo lipofílico fue reconstituido en 1.5 mL de hexano. El extracto fue secado con 0.5 g de sulfato de sodio anhidro, filtrado con filtros Millipore (PTFE) y transferido a un vial ámbar para su análisis. Durante el desarrollo de cada una de las operaciones las muestras fueron protegidas de la luz.

El análisis cualitativo y cuantitativo de los tocoferoles se desarrolló mediante un cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) acoplado a un detector de fluorescencia. La separación cromatográfica se realizó en una columna YMC-Pack Silica

(250 mm L * 4.6 mm DI, 3 µm TP, Waters). Se aplicó un programa de elución isocrático con una fase móvil que contenía hexano/2-propanol/ácido acético (1000/6/5, v/v/v) a una velocidad de flujo de 1.4 mL/min. El efluente fue monitoreado con el detector de fluorescencia a longitudes de onda de 290 nm (excitación) y 330 nm (emisión). La identificación se logró comparando el tiempo de retención de los picos detectados en las muestras con los estándares puros, mientras que la cuantificación se realizó mediante curvas de calibración. Los resultados fueron expresados en µg de tocoferol por g de muestra seca (ms).

3.6.7 Determinación de fitoesteroles

Se empleó el método recomendado por Da Costa et al. (2010) y Duchateau et al. (2002) con ligeras modificaciones. Una cantidad determinada (100 mg) de aceite obtenido previamente por el método Soxhlet fue saponificado con 1 mL de KOH al 12 % (w/p) en etanol a 60°C durante 90 min bajo agitación constante y lenta. Se adicionó 500 µL de estándar interno (0.2 mg de β-colestano/mL de heptano) a la muestra antes de la saponificación. La fracción insaponificable fue extraída mediante partición líquido-líquido, agregando 1 mL de agua destilada y 5 mL de heptano. Para recuperar la fracción de heptano (parte superior) se usó una pera de decantación. Luego, se repitió la extracción en la fracción acuosa (parte inferior) dos veces más con 5 mL y 4 mL de heptano. Los extractos de heptano recuperados se juntaron y homogeneizaron. Finalmente, el extracto total fue secado con 3.3 g de sulfato de sodio anhidro, concentrado a 1 mL y filtrado con filtros Millipore (PTFE) antes de su análisis. Cada uno de las operaciones fueron realizadas bajo oscuridad.

La determinación del perfil y contenido de fitoesteroles se realizó en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de ionización de flama (GC-FID). Para la separación cromatográfica se inyectó 2 µL del extracto en una columna SACTM-5 (30 mL * 0.25 mm DI, 0.25 µm EP, Supelco) en modo Split 20:1. Se utilizó helio de alta pureza como gas portador y la velocidad de flujo en la columna fue de 0.7 mL/min. La temperatura del horno se mantuvo inicialmente a 250°C por 3 min, luego se incrementó a 285 °C a una velocidad de 45 °C/min manteniéndose por 35 min. Las temperaturas del puerto de inyector y detector fueron 300 °C. Los fitoesteroles fueron identificados comparando el tiempo de retención de los picos detectados en las muestras con los estándares puros. La cuantificación de estos compuestos se realizó mediante curvas de

calibración, y los resultados fueron expresados en mg de fitoesterol por 100 g de seca (ms).

3.6.8 Determinación de los compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales fueron obtenidos con la metodología propuesta por Shivashankara et al. (2004) con algunas modificaciones. Dos gramos de palta en polvo congelado fue mezclada con 10 mL de metanol al 80 % (v/v), y llevado a agitación durante 1 hora a temperatura ambiente. La mezcla homogeneizada fue centrifugada a 4000 rpm durante 15 min, el sobrenadante fue recuperado y refrigerado a 4°C. Sobre el residuo se realizó una segunda extracción con 5 mL de metanol al 80 % y una agitación de 30 min. Nuevamente la mezcla homogeneizada se centrifugó bajo las mismas condiciones y se recuperó el segundo sobrenadante. Ambos sobrenadantes (extracto hidrofílico) fueron mezclados y almacenados a -20 °C hasta su análisis. Considerar que todo el procedimiento se desarrolló bajo oscuridad.

El contenido de compuestos fenólicos totales fue determinado utilizando el método de Folin - Ciocalteu propuesto por Singleton y Rosi (1965). La siguiente reacción se realizó bajo oscuridad: 500 µL de extracto diluido (1:5) fue mezclado con 250 µL del reactivo de Folin - Ciocalteu 1 N, y 1250 µL de una solución acuosa de carbonato de sodio 0.7 N. Se dejó reposar durante 30 minutos y a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 755 nm frente a un blanco que contenía agua destilada en lugar de muestra, utilizando un espectrofotómetro. La cuantificación de los compuestos fenólicos totales se determinó por medio de una curva de calibración con ácido gálico. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por g de muestra seca (ms).

El residuo final se utilizó para obtener el extracto lipofílico y evaluar la actividad antioxidante. El residuo fue mezclado con 15 mL de diclorometano, y se llevó a agitación por 30 min a temperatura ambiente. La mezcla homogeneizada fue centrifugada a 1770 g durante 4 min a 4 °C. El sobrenadante (extracto lipofílico) fue recuperado y almacenado a -20 °C hasta su análisis.

3.6.9 Determinación de la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica *in vitro*

La capacidad antioxidante se determinó en extractos hidrofílicos y lipofílicos previamente obtenidos (ítem 3.4.8) empleando el método TEAC recomendado por Arnao

et al. (2001) con ligeras modificaciones. La siguiente reacción se realizó en ausencia de luz: 150 μ L del extracto hidrofílico o lipofílico se mezcló con 2850 μ L de una solución diluida de ABTS. Se dejó reaccionar bajo agitación constante y lenta durante 1 hora para extractos hidrofílicos y 3 horas para extractos lipofílicos. La absorbancia fue medida a 734 nm en un espectrofotómetro. La capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica fueron calculados por medio de curvas de calibración con trolox. Los resultados fueron expresados en μ mol de equivalentes trolox (ET) por g de muestra seca (ms).

3.7 Análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como promedio \pm desviación estándar. Los datos de las variables paramétricas fueron sujetos a un análisis de varianza (ANVA), seguido de un test de Tukey para la comparación de medias a un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Cuando la variable fue no-paramétrica los datos fueron sometidos a la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de medianas. El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XVIII (StatPoint Technologies, Estados Unidos).

4. Resultados y Discusiones

4.1 Características fisicoquímicas

En la tabla 5 se muestran las características fisicoquímicas de las cuatro variedades de palta que incluyen el peso, las dimensiones, los parámetros de color, la firmeza, el contenido de humedad, materia seca y lípidos.

Tabla 5. Características fisicoquímicas en cuatro variedades de palta

Características	Variedades			
	Bacon	Hass	Nabal Azul	Super Fuerte
Peso (g)	230.4 ± 30.84 ^{ab}	158.62 ± 32.67 ^c	268.17 ± 47.69 ^a	192.20 ± 8.10 ^{bc}
Longitud (cm)	10.77 ± 0.75 ^a	9.25 ± 0.81 ^b	8.43 ± 0.63 ^b	11.30 ± 0.84 ^a
Diámetro (cm)	6.67 ± 0.35 ^b	6.27 ± 0.23 ^b	8.22 ± 0.51 ^a	6.50 ± 0.30 ^b
Firmeza (N)	5.56 ± 0.59 ^a	4.99 ± 0.20 ^a	5.40 ± 0.62 ^a	5.32 ± 0.37 ^a
L*	45.24 ± 2.26 ^a	28.05 ± 2.54 ^c	41.14 ± 1.43 ^b	38.94 ± 0.48 ^b
a*	-16.10 ± 1.66 ^d	3.78 ± 1.75 ^a	-13.74 ± 0.87 ^c	-10.08 ± 0.50 ^b
b*	28.32 ± 3.46 ^a	5.91 ± 2.38 ^c	21.62 ± 1.99 ^b	18.34 ± 0.88 ^b
C*	32.58 ± 3.82 ^a	7.44 ± 1.45 ^d	25.63 ± 2.15 ^b	20.94 ± 0.95 ^c
h (°)	119.71 ± 0.61 ^a	54.85 ± 20.03 ^b	122.54 ± 0.86 ^a	118.73 ± 0.86 ^a
ΔE*	3.55 ± 2.63 ^a	23.87 ± 4.20 ^b	1.41 ± 0.97 ^a	4.56 ± 1.30 ^a
Humedad (%)	69.48 ± 1.92 ^c	71.34 ± 1.42 ^c	74.48 ± 1.09 ^b	80.95 ± 1.62 ^a
Materia seca (%)	30.52 ± 1.92 ^a	28.67 ± 1.42 ^a	25.52 ± 1.09 ^b	19.05 ± 1.62 ^c
Lípidos (%)	20.26 ± 0.81 ^a	17.49 ± 1.12 ^b	14.26 ± 0.87 ^c	10.13 ± 0.86 ^d

Los resultados son el promedio ± DE; n = 6. Las letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre variedades (P < 0.05).

Los pesos de los frutos oscilaron de 158.62 a 268.17 g, donde la variedad con mayor peso fue la “Nabal Azul”, mientras que la variedad “Hass” presentó el menor peso. La longitud y el diámetro de los frutos variaron de 8.43 a 11.30 cm y 7.27 a 8.22 cm,

respectivamente, donde las variedades “Super Fuerte” y “Nabal Azul” fueron los de mayor longitud y diámetro, respectivamente. Los valores encontrados de firmeza de las cuatro variedades fueron cercanos a 5 N, encontrándose dentro del rango (3.5 a 8 N) para clasificarlo como palta lista para consumir (Hernández et al., 2017). Los valores de firmeza obtenidos en el presente estudio son comparables con los reportados por Martínez (2020) y Terán (2020) (4.9 N y 5.9 N, respectivamente) en paltas Hass peruanas maduras a 20°C y son más bajos que los reportados por Villa-Rodríguez et al. (2011) (7.33 N en palta Hass mexicana), Márquez et al. (2014) (8 N en palta Hass colombiana) y Sandoval-Sandoval (2017) (8.3 N en palta Hass colombiana) en frutos madurados entre 15 y 20°C. Sin embargo, tanto los valores de firmeza encontrados en este estudio como los reportados por otros investigadores, confirmarían el rango de firmeza (3.5 – 8 N) que debería tener una palta lista para consumir. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto de la variedad, en el peso (Anexo 3), la longitud y el diámetro (Anexo 4), excepto en la firmeza (Anexo 5).

En general, la cáscara de los frutos presenta colores oscuros ($L^* = 28.05$ a 42.24) con componentes verdes ($a^* = -16.10$ a -10.08 y $b^* = 18.34$ a 28.32) y rojizos ($a^* = 3.78$ y $b^* = 5.91$). Los valores de ángulo de tono confirmarían que los frutos de las variedades “Bacon”, “Nabal Azul” y “Super Fuerte” (119.71 , 122.54 y 118.73° , respectivamente) presentan coloraciones verdes, mientras que la variedad “Hass” (54.85°) presenta coloración rojiza. Los valores de saturación en todas las variedades son bajos ($C^* < 33$), indicando que los tonos de la cáscara son opacos (apagados). El color de la cáscara de diversos frutos es un importante indicador de madurez para los consumidores, en el caso de la palta se puede evidenciar mejor en la variedad “Hass” ya que presenta el mayor valor del diferencial de color total (23.87), es decir, cuando cambia de estado inmaduro (verde) a maduro (rojizo). Según los resultados del análisis estadístico (Anexo 6), todos los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C^* y h°) presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto de la variedad de palta.

El contenido de materia seca y lípidos oscilaron de 19.05 a 30.52 % y 10.13 a 20.26 %, respectivamente. La variedad que presentó los mayores valores de materia seca y lípidos fue “Bacon”, mientras que la variedad “Super Fuerte” presentó los valores más bajos. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de materia seca (Anexo 8) y lípidos (Anexo 9) por efecto de la variedad de palta. Según el análisis de

correlación de Pearson, se encontró una correlación positiva significativa ($r = 0.9546$, $P < 0.05$) entre el contenido de materia seca y lípidos, indicando que los frutos con altos porcentajes materia seca tendrían mayores contenidos de lípidos. En otras investigaciones también demostraron correlaciones similares entre ambos factores (Carvalho et al., 2015, Espinosa-Alonso et al., 2017; Mardigan et al., 2019). Los valores de materia seca y lípidos encontrados en este estudio son comparables con los reportados por Ali et al. (2020) (16.80 – 33.2% materia seca y 11.40 – 25 % lípidos), Galvão et al. (2014) (20.50 – 27.80 % materia seca y 11.90 – 16.20 % lípidos), Gómez-López (2002) (17.15 – 29.59 % materia seca y 11.23 – 18.80 % lípidos) y Nnaji y Okereke (2016) (30.65 – 32.67 % materia seca y 14.63 – 18.77 % lípidos) en diferentes variedades de palta procedentes de Estados Unidos, Brasil, Venezuela y Nigeria, respectivamente, y son más altos que los reportados por Mardigan et al. (2019) (16.94 – 23.77 % materia seca y 8.80 – 14.10 % lípidos) y Mooz et al. (2012) (16.53 – 20.63 % materia seca y 4.80 – 10.15 % lípidos) en diferentes variedades de paltas brasileñas. El contenido lipídico de la palta puede variar por efecto de la variedad, localización geográfica, condiciones climáticas y estado de desarrollo del fruto (Kruger et al., 1999; Salas et al., 2000). En general, la pulpa de las frutas contiene niveles muy bajos de lípidos (0.1 – 1.0 %), sin embargo, hay algunas excepciones como la palta, palma y aceituna que son una fuente importante de grasas y aceites comestibles o industriales (Kamel y Kakuda, 2016).

4.2 Compuestos bioactivos

4.2.1 Ácidos grasos

En la tabla 6 se observa los contenidos de ácidos grasos detectados por GC-FID en las cuatro variedades de palta. Los ácidos grasos de mayor a menor concentración en el aceite de palta fueron el ácido oleico (50.40 – 64.90 %), ácido palmítico (16.87 – 27.71 %), ácido linoleico (8.94 – 13.02 %), ácido palmitoleico (4.24 – 12.27 %) y ácido α -linolénico (0.61 – 0.97 %). Respecto al análisis estadístico de los ácidos grasos (Anexo 10), la variedad influyó significativamente ($P < 0.05$) en el contenido de cada ácido graso detectado. La variedad “Super Fuerte” presentó los mayores valores de ácido oleico (64.90 %), ácido linoleico (13.02 %) y ácido α -linolénico (0.97 %). La variedad “Nabal Azul” presentó alto contenido de ácido palmítico (27.71 %) y la variedad “Hass” presentó mayor contenido de ácido palmitoleico (12.27 %). En cuanto a la composición de ácidos grasos en palta peruana, Campos et al. (2020) y Donetti y Terry (2014) detectaron

similares perfiles de ácidos grasos en palta “Hass” de diferentes temporadas de cosecha. Asimismo, otros autores han identificado similares perfiles de ácidos grasos en diferentes variedades de paltas, pero provenientes de distintos países (Ali et al., 2020; Fernandes et al., 2018; Mardigan et al., 2019; Mpai y Sivakumar, 2020; Nasri et al., 2021).

Tabla 6. Composición de ácidos grasos en cuatro variedades de palta

Ácidos grasos (%)	Variedades			
	Bacon	Hass	Nabal Azul	Super Fuerte
Ácido palmítico	18.82 ± 1.58 ^c	24.78 ± 1.74 ^b	27.71 ± 0.74 ^a	16.87 ± 1.38 ^c
Ácido palmitoleico	7.32 ± 0.82 ^b	12.27 ± 0.98 ^a	8.42 ± 0.53 ^b	4.24 ± 0.57 ^c
Ácido oleico	64.22 ± 1.76 ^a	50.40 ± 1.90 ^c	54.26 ± 0.59 ^b	64.90 ± 3.65 ^a
Ácido linoleico	8.94 ± 0.52 ^b	11.80 ± 0.67 ^a	9.00 ± 0.14 ^b	13.02 ± 1.80 ^a
Ácido α-linolénico	0.71 ± 0.07 ^b	0.75 ± 0.07 ^b	0.61 ± 0.04 ^b	0.97 ± 0.12 ^a
AGI (AGM + AGP) / AGS	4.35 ± 0.48 ^a	3.05 ± 0.28 ^b	2.61 ± 0.09 ^b	4.96 ± 0.47 ^a
AGP / AGS	0.52 ± 0.08 ^b	0.51 ± 0.05 ^b	0.35 ± 0.02 ^c	0.83 ± 0.04 ^a
n-6 / n-3	12.69 ± 0.73 ^b	15.81 ± 0.88 ^a	14.78 ± 0.76 ^{ab}	13.58 ± 2.16 ^b

Los resultados son el promedio ± DE; n = 6. Las letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre variedades (P < 0.05). AGI (Ácidos Grasos Insaturados). AGM (Ácidos Grasos Monoinsaturados). AGP: (Ácidos Grasos Poliinsaturados). AGS (Ácidos Grasos Saturados).

Los valores encontrados de ácido oleico (50.40 – 64.90 %) en el presente estudio son comparables con lo reportado por Fernandes et al. (2018) (57.39 – 64.62 %) en cuatro variedades de palta de origen español. Asimismo, Mpai y Sivakumar (2020) (50.29 – 65.73 %) y Nasri et al. (2021) (54.53 – 61.18 %) reportaron rangos similares de ácido oleico en diferentes variedades de palta provenientes de África y Marruecos, respectivamente. Por otro lado, Ali et al. (2020) (29.84 – 45.14 %), Ge et al. (2017) (30.42 – 34.74 %) y Mardigan et al. (2019) (34.67 – 49.93 %) encontraron menores valores de ácido oleico en distintas variedades de palta procedentes de Estados Unidos, China y Brasil, respectivamente. En este estudio, la variedad “Hass” presentó el menor contenido de ácido oleico (50.40 ± 1.90 %), sin embargo, Campos et al. (2020) (37.32 – 45.30 %) y Donetti y Terry (2014) (40 – 47 %) reportaron valores inferiores de ácido oleico en palta

Hass peruana provenientes de diferentes tiempos de cosecha. Mientras que Dreher y Davenport (2013), Meyer y Terry (2008) y Villa-Rodríguez et al. (2011) encontraron valores superiores de ácido oleico en la palta “Hass” (65.96, 58.26, 70.16 %, respectivamente) de distintas procedencias. Las diferencias encontradas entre el contenido de ácido oleico de la variedad “Hass” de este estudio respecto a los reportados por otros autores en palta Hass peruana, estarían relacionados con las condiciones geográficas y climáticas de siembra (Guzmán-Maldonado et al., 2017). En relación a los contenidos de ácido palmítico (16.87 – 27.71 %) obtenidos en el presente estudio, son comparables con los reportados por Mpai y Sivakumar (2020) (15.17 – 27.76 %) y Nasri et al. (2021) (15.23 – 20.91 %) en distintas variedades de palta provenientes de África y Marruecos, respectivamente, y son superiores a lo reportado por Fernandes et al. (2018) (12.16 – 16.93 %) en distintas variedades de palta de origen español. Por el contrario, Mardigan et al. (2019) encontraron mayores niveles de ácido palmítico en las variedades “Ouro verde” (29.58 %) “Breda” (31.51 %) y “Quintal” (28.03 %) de origen brasileño. Los ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico y ácido α -linolénico) presentan valores inferiores al 15 %, estos resultados son consistentes con lo reportado por otros autores en diferentes variedades de palta de distintos países (Fernandes et al., 2018; Mardigan et al., 2019; Nasri et al., 2021). Mientras que Ge et al. (2017) (24.72 – 26.50 %) reportaron valores superiores de ácidos grasos poliinsaturados en dos variedades de palta provenientes de China. Las diferencias encontradas en la composición de ácidos grasos en el presente trabajo respecto a los reportados por otros investigadores, están relacionadas con varios factores como la variedad, localización geográfica y las condiciones climáticas (Kamel y Kakuda, 2016).

La relación entre los ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) y ácidos grasos saturados (AGI/AGS) es de 2.61 a 4.96 (Tabla 6), siendo la variedad “Super Fuerte” la que presentó mayor relación. En este estudio se encontró una mayor relación AGI/AGS para la variedad “Hass” (3.05) comparado con lo reportado por Campos et al. (2020) en palta Hass peruana (2.20). Por otro lado, los valores de relación AGI/AGS encontrados en el presente estudio, son comparables con los reportados por Mardigan et al. (2019) (2.10 – 3.18) para cinco variedades de palta brasileña, e inferiores con lo reportado por Fernandes et al. (2018) (6.38 – 6.91) para dos variedades de palta de origen español. Mientras que Ali et al. (2020) (1.41 – 1.52) y Ge et al. (2017) (1.69 – 2.13) reportaron menores valores de relación AGI/AGS en distintas variedades de palta

provenientes de Estados Unidos y China, respectivamente. En cuanto a la relación de ácidos grasos poliinsaturados entre ácidos grasos saturados (AGP/AGS), los valores se encuentran entre 0.35 y 0.83, donde la variedad “Super Fuerte” se destacó por presentar el mayor valor. La relación entre el ácido linoleico y α -linolénico (n-6/n-3) osciló de 12.69 a 15.81, donde la variedad “Hass” presentó la mayor relación. Ramos-Aguilar et al. (2021) (7.55 – 12.40) encontraron valores de relación n-6/n-3 inferiores a lo reportado en este estudio, para diferentes variedades de palta tipo Hass provenientes de México. En la palta, las relaciones de AGI/AGS, AGP/AGS y n-6/n-3 son indicadores de valor nutricional (Villa-Rodríguez et al., 2011). Berasategi et al. (2012) analizaron el aceite de palta y oliva, y encontraron que el aceite de palta tiene mayor relación de AGP/AGS y n-6/n-3 que el aceite de oliva extra virgen, a temperatura ambiente (control) e incluso cuando son sometidos a altas temperaturas (180°C). Una alta relación de AGP/AGS (el valor mínimo recomendado es 0.4) y n-6/n-3 están asociados con la prevención de enfermedades cardiovasculares (Richard et al., 2008; Wood et al., 2004). Varios estudios han demostrado que el consumo de ácidos grasos monoinsaturados, principalmente ácido oleico, disminuyen los riesgos a padecer enfermedades cardiovasculares, asimismo, mejoran el perfil lipídico y la función endotelial en pacientes con diabetes tipo 2 (Tabeshpour et al. 2017; Wang et al., 2015).

4.2.2 Fitoesteroles

Los contenidos de fitosteroles detectados por GC-FID en las cuatro variedades de palta, se muestran en la tabla 7. El β -sitosterol fue el más abundante (165.46 – 235.51 mg/100 g ms), seguido del campesterol (17.26 – 29.16 mg/100 g ms), siendo las variedades “Super Fuerte” (235.51 mg/100 g ms) y “Hass” (29.16 mg/100 g ms) las que presentaron los más altos valores de β -sitosterol y campesterol, respectivamente. Mientras que las variedades “Bacon” (165.46 mg/100 g ms) y “Super Fuerte” (17.26 mg/100 g ms) presentaron los valores más bajos de β -sitosterol y campesterol, respectivamente. Según el análisis estadístico de los fitoesteroles (Anexo 11), existe diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de β -sitosterol y campesterol por efecto de la variedad.

Tabla 7. Composición de fitoesteroles en cuatro variedades de palta

Fitoesteroles (mg/100 g ms)	Variedades			
	Bacon	Hass	Nabal Azul	Super Fuerte
β -sitosterol	165.46 \pm 22.34 ^c	207.5 \pm 17.57 ^{ab}	194.81 \pm 6.33 ^{bc}	235.51 \pm 30.19 ^a
Campesterol	18.64 \pm 2.50 ^{bc}	29.16 \pm 2.74 ^a	21.91 \pm 1.27 ^b	17.26 \pm 2.22 ^c

Los resultados son el promedio \pm DE; n = 6. Las letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre variedades (P < 0.05).

Respecto a los contenidos de fitoesteroles, Nasri et al. (2021) reportaron rangos similares de β -sitosterol (168.64 a 203.34 mg/100 g ms) y rangos más bajos de campesterol (11.30 a 14.81 mg/100 g ms), cuando evaluaron paltas de diferentes variedades provenientes de Marruecos. Por otra parte, los valores encontrados de β -sitosterol (207.50 \pm 17.57 mg/100 g ms) y (29.16 \pm 2.74 mg/100 g ms) y campesterol en la variedad “Hass” son similares con lo reportado Campos et al. (2020) (197.76 \pm 17.57 mg/100 g ms y 25.24 \pm 2.79 mg/100 g ms, β -sitosterol y campesterol, respectivamente) para palta Hass peruana que pertenece a la primera época de cosecha, y superiores a lo reportado por Villa-Rodríguez et al. (2020) (35.6 mg/100 g ms y 1.5 mg/100 g ms, β -sitosterol y campesterol, respectivamente) para palta Hass de origen mexicano. Las diferencias encontradas en los contenidos de fitoesteroles podrían estar relacionados con la localización geográfica y las condiciones climáticas. Otros investigadores, han reportado niveles muy bajos de estigmasterol (< 3 %) en paltas de diferentes variedades y procedencias (Campos et al., 2020; Dos Santos et al., 2014; Dreher & Davenport, 2013; Nasri et al. 2021).

El β -sitosterol es el fitoesterol más predominante en los alimentos (representa más del 75 % respecto al contenido total de fitoesteroles), especialmente en la palta (Mooz et al., 2012; Plaza et al., 2009). El β -sitosterol presente en la palta posee un efecto especial sobre la inmunidad, contribuyendo con el tratamiento de enfermedades como el cáncer, VIH e infecciones (Bouic, 2002). Por otro lado, diversos autores señalan que una dieta rica en fitoesteroles reduce el colesterol total y colesterol-LDL, sin alterar los niveles de colesterol-HDL en la sangre (Bhuyan et al., 2019; Lottenberg, 2002).

4.2.3 Tocoferoles

En las cuatro variedades evaluadas se ha encontrado α , β y γ tocoferol, como se presenta en la tabla 8. El más abundante fue el α -tocoferol (23.94 – 71.29 $\mu\text{g/g ms}$), seguido del β -tocoferol (7.25 – 20.27 $\mu\text{g/g ms}$) y γ -tocoferol (4.58 – 6.10 $\mu\text{g/g ms}$). La variedad “Hass” se destacó por presentar el mayor contenido de α y β tocoferol; mientras que la variedad “Super Fuerte” presentó el valor más alto de γ -tocoferol. Según el análisis estadístico de los tocoferoles (Anexo 12), la variedad influyó significativamente ($P < 0.05$) en los contenidos de α , β y γ tocoferol.

Tabla 8. Composición de tocoferoles en cuatro variedades de palta

Tocoferoles ($\mu\text{g/g ms}$)	Variedades			
	Bacon	Hass	Nabal Azul	Super Fuerte
α -tocoferol	23.94 \pm 1.84 ^d	71.29 \pm 3.30 ^a	47.16 \pm 3.59 ^c	63.13 \pm 7.65 ^b
β -tocoferol	11.85 \pm 0.51 ^b	20.27 \pm 1.69 ^a	7.25 \pm 0.45 ^c	11.72 \pm 1.15 ^b
γ -tocoferol	4.58 \pm 0.41 ^c	5.53 \pm 0.26 ^{ab}	5.36 \pm 0.32 ^b	6.10 \pm 0.69 ^a

Los resultados son el promedio \pm DE; n = 6. Las letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas entre variedades ($P < 0.05$).

Los valores de α -tocoferol determinados en este estudio, son ligeramente menores a lo reportado por Nasri et al. (2021) para paltas “Hass” (89.02 $\mu\text{g/g ms}$) y “Fuerte” (79.50 $\mu\text{g/g ms}$) provenientes de Marruecos, pero superiores a los reportados por Jorge et al. (2015) (18.18 – 19.89 $\mu\text{g/g ms}$) y Manaf et al. (2018) (15.41 – 16.27 $\mu\text{g/g ms}$) para diferentes variedades de palta provenientes de Brasil e Indonesia, respectivamente. Respecto al contenido de α -tocoferol de la variedad “Hass” encontrado en este trabajo, Campos et al. (2020) (55.87 $\mu\text{g/g ms}$) reportaron un valor inferior α -tocoferol para palta Hass peruana perteneciente a la primera temporada de cosecha, mientras que Dreher & Davenport (2013) (71.12 $\mu\text{g/g ms}$) reportaron un valor similar de α -tocoferol en palta Hass proveniente de Estados Unidos. Por otro lado, los niveles de β y γ -tocoferol encontrados en este trabajo, son superiores a lo reportado por Manaf et al. (2018) (0.29 – 0.78 $\mu\text{g/g ms}$ y 0.13 – 1.51 $\mu\text{g/g ms}$, β y γ -tocoferol, respectivamente) en cinco variedades de paltas provenientes de Indonesia; mientras que, Jorge et al. (2015) no detectaron β y γ -tocoferol en dos variedades de palta brasileña. Calderón-Vásquez et al. (2013) y Peraza-

Magallanes et al. (2017), analizaron el contenido α -tocoferol en paltas de diferentes variedades, y a través de un estudio genético concluyeron que las diferencias en el contenido de α -tocoferol se debe a factores genéticos asociados con las biosíntesis de estos compuestos, mientras que Flores et al. (2019) y Manaf et al. (2018) señalan que las diferencias encontradas en la composición de tocoferoles, además de las características genéticas dependen de la localización geográfica, condiciones climáticas y período de cosecha.

El mesocarpio de la palta es una fuente importante de α -tocoferol (mayor actividad biológica). En general, los tocoferoles son potentes captadores de radicales lipo-peroxilo, que participan en la oxidación de lípidos dañando las membranas celulares y lipoproteínas de baja densidad (Cerretani et al., 2010). Existen estudios *in vitro* donde demuestran que el α y γ -tocoferol presentes en la palta inhiben el crecimiento de células de cáncer de próstata (Lu et al., 2005). Asimismo, los tocoferoles poseen un alto poder antioxidante capaces de proteger al organismo contra diversas enfermedades como el cáncer, el envejecimiento, las cataratas y la artritis (Rizvi et al., 2014).

4.2.4 Compuestos fenólicos

Los contenidos de compuestos fenólicos totales (de mayor a menor concentración) determinados en las variedades “Nabal Azul”, “Bacon”, “Super Fuerte” y “Hass” fueron 0.80, 0.68, 0.64 y 0.61 mg EAG/g ms, respectivamente. Según los resultados del análisis estadístico (Anexo 13), la variedad influyó significativamente ($P < 0.05$) en el contenido de compuestos fenólicos totales. Respecto al rango encontrado de fenólicos totales en este estudio, Di Stefano et al. (2017) y Golukcu y Ozdemir (2010) reportaron rangos inferiores (< 0.1 mg EAG/g ms) de compuestos fenólicos en paltas de distintas variedades provenientes de Italia y Turquía, respectivamente. Mientras que Ge et al. (2017) (2.59 – 6.66 mg EAG/g ms) y Wang et al. (2010) (> 2 mg EAG/g ms) reportaron valores superiores de compuestos fenólicos en paltas de distintas variedades procedentes de China y del Sur de Florida. Por otro lado, el contenido de compuestos fenólicos totales de la variedad “Hass” encontrado en el presente trabajo, es inferior a lo reportado por Campos et al. (2020) (1.86 ± 0.15 EAG/g ms) en palta Hass peruana cultivada en condiciones geográficas/climáticas diferentes, previamente almacenadas en refrigeración después de la cosecha hasta su maduración (lista para el consumo), donde las diferencias encontradas con la palta Hass evaluada en este trabajo, pueden deberse a las condiciones

climáticas. Las diferencias en los contenidos de fenólicos totales de las diferentes variedades de palta estaría influenciado por factores genéticos relacionados con actividades de fenilalanina amoniaco liasa y lipoxigenasa que influyen en el contenido de compuestos fenólicos (Ramos-Aguilar et al., 2021).

4.2.5 Capacidad antioxidante

La tabla 9 muestra los resultados de capacidad antioxidante hidrofílica (CA-H) y lipofílica (CA-L), determinados en las cuatro variedades de palta. La capacidad antioxidante hidrofílica osciló de 10.41 a 13.22 $\mu\text{mol ET/g ms}$, mientras que la capacidad antioxidante lipofílica varía de 2.87 a 6.44 $\mu\text{mol ET/g ms}$. La variedad “Bacon” presentó mayor capacidad antioxidante hidrofílica; mientras que, “Super fuerte” tuvo el mayor contenido de capacidad antioxidante lipofílica. El análisis estadístico (Anexo 14) reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) en la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica por efecto de la variedad.

Tabla 9. Capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica en cuatro variedades de palta

Variedades	Capacidad antioxidante	
	Hidrofílica ($\mu\text{mol ET/g ms}$)	Lipofílica ($\mu\text{mol ET/g ms}$)
Bacon	13.22 \pm 1.18 ^a	2.87 \pm 0.37 ^c
Hass	10.41 \pm 1.31 ^b	3.72 \pm 0.41 ^b
Nabal Azul	11.87 \pm 1.22 ^{ab}	2.92 \pm 0.33 ^{bc}
Super Fuerte	13.05 \pm 1.83 ^a	6.44 \pm 0.74 ^a

Los resultados son el promedio \pm DE; n = 6. Las letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre variedades ($P < 0.05$).

Los valores encontrados de capacidad antioxidante hidrofílica en el presente estudio, son superiores con lo reportado por Mardigan et al. (2019) (0.44 – 0.79 $\mu\text{mol ET/g ms}$) para cinco variedades de palta brasileñas bajo el mismo método de análisis (ABTS). Respecto a los valores encontrados de CA-H y CA-L para la variedad Hass en el presente trabajo, Campos et al. (2020) reportaron valores superiores de CA-H (21.96 $\mu\text{mol ET/g ms}$) y similares de CA-L (3.08 $\mu\text{mol ET/g ms}$) en palta Hass peruana, proveniente de la primera época de cosecha. Mientras que, Corral-Aguayo et al. (2018)

reportaron menores valores de CA-H (6.46 $\mu\text{mol ET/g ms}$) y CA-L (0.93 $\mu\text{mol ET/g ms}$) en palta Hass mexicana. En general, los valores de CA-H fueron mayores respecto a la CA-L en todas las variedades, siendo consistentes con los reportados por otros investigadores. Las diferencias encontradas en la capacidad antioxidante dependerían, además de la variedad y las condiciones geográficas/climáticas, de los métodos de extracción y cuantificación (Corral-Aguayo et al., 2018; Pérez-Jiménez et al., 2008).

Por otro lado, se ha encontrado una correlación moderada ($r = 0.42$) entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la CA-H, lo cual indicaría que los compuestos fenólicos estarían contribuyendo de forma positiva en la CA-H. En otros estudios donde analizaron diferentes frutas incluida la palta, también demostraron alta correlación ($r = 0.84$) entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la CA-H (Corral-Aguayo et al., 2008). Asimismo, se encontraron altas correlaciones positivas entre la CA-L y el contenido de ácido linoleico ($r = 0.81$), ácido α -linolénico ($r = 0.84$), γ -tocoferol ($r = 0.73$) y β -sitosterol ($r = 0.73$). Por último, se encontró una correlación moderada ($r = 0.54$) entre el contenido de α -tocoferol y CA-L. Según los resultados encontrados, los compuestos lipofílicos podrían aportar en mayor grado a la capacidad antioxidante de la palta; sin embargo, los valores encontrados de CA-L son más bajos que la CA-H, y esto puede deberse a posibles efectos antagonistas de los compuestos lipofílicos presentes en la palta (Hidalgo et al., 2010).

5. Conclusiones

- Las variedades de palta analizadas presentaron diferencias significativas en sus características fisicoquímicas tales como peso, longitud, diámetro, color, humedad, materia seca y lípidos, excepto en la firmeza.
- Las variedades “Bacon”, “Nabal Azul” y “Super Fuerte” presentaron similares tonalidades de color (verde) en la cáscara, mientras que la variedad “Hass” presentó un tono morado. Por otro lado, la variedad “Bacon” se destacó por presentar el mayor valor de materia seca (30.52 %) y lípidos (20.26 %), mientras que la variedad “Super fuerte” presentó bajos contenidos de materia seca (19.05 %) y lípidos (10.13 %).
- Existen diferencias significativas entre el contenido de ácidos grasos, tocoferoles, fitoesteroles, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante para las cuatro variedades de palta.
- El ácido graso mayoritario fue el ácido oleico (50.40 – 64.90 %), seguido del ácido palmítico (16.87 – 27.71 %), ácido linoleico (8.94 – 13.02 %), ácido palmitoleico (4.24 – 12.27) y ácido α -linolénico (0.61 – 0.97 %). Las variedades “Super fuerte” y “Bacon” se destacaron por presentar los mayores valores de ácido oleico.
- Dentro de las cuatro variedades de palta, el tocoferol más predominante fue el α -tocoferol, seguido del β -tocoferol y γ -tocoferol. La variedad “Hass” presentó el mayor contenido de α -tocoferol (71.29 $\mu\text{g/g ms}$). En cuanto a los fitoesteroles, el β -sitosterol fue el más representativo, seguido del campesterol. La variedad “Super Fuerte” presentó un alto contenido de β -sitosterol (235.51 mg/100 g ms).
- El contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica estuvieron entre un rango 0.61 – 0.80 mg EAG/g ms, 10.41 – 13.22 $\mu\text{mol ET/g ms}$ y 2.87 – 6.44 $\mu\text{mol ET/g ms}$, respectivamente. Las variedades “Nabal Azul”, “Bacon” y “Super Fuerte” destacan por su alto contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica, respectivamente.

6. Recomendaciones

- Continuar la investigación identificando y cuantificando otros metabolitos primarios y secundarios.
- Realizar un estudio metabolómico de las variedades de palta producidas en diferentes épocas de cosecha y/o lugares de producción durante la maduración poscosecha.

Referencias

- Ali, S., Plotto, A., Scully B.T., Wooda, D., Stover, Ed., Owens, N., Pisani, C., Ritenour, M., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S. & Bai, J. (2020). Fatty acid and volatile organic compound profiling of avocado germplasm grown under East-Central Florida conditions. *Scientia Horticulturae*, 261, 1 - 8. doi: 10.1016/j.scienta.2019.109008
- Amaral, J., Casal, S., Torres, D., Seabra, R. & Oliveira, B. (2005). Simultaneous determination of tocopherols and tocotrienols in hazelnuts by a normal phase liquid chromatographic method. *Analytical Sciences*, 21(12), 1545 - 1549.
- Apak, R., Capanoglu, E. & Shahidi, F. (2018). Measurement of antioxidant activity and capacity: Recent trends and applications. Estados Unidos. Editorial Office. 354 p. doi: 10.1002/9781119135388
- Arnao, M., Cano, A. & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution tototal antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 73, 239 - 244.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2005). Official methods of analysis of AOAC International. Ed. W. Horwitz. 18th ed. Washington, Estados Unidos. 1694 p.
- Ataucusi, S. (2015). Manejo técnico del cultivo de palta. Perú. Cáritas del Perú. 38 p.
- Belitz, H., Grosch, W. & Schiebere, P. (2009). Food Chemistry. 4ta ed. Editorial Springer. 1114 p.
- Berasategi, I., Barriuso, B., Ansorena, D. & Astiasarán, I. (2012). Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil. *Food Chemistry*, 132, 439 - 446. doi: :10.1016/j.foodchem.2011.11.018
- Bhuyan, D.J., Alsherbiny, M., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O.A., Barooah, M.S., Li, C.G. & Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8 (426), 1 - 53.

- Bramley, P.M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F.J., Manios, Y., Roxborough, H.E., Schuch, W., Sheehy, P.J.A. & Wagner, K.H. (2000). Review: Vitamin E. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 913 - 938.
- Bouic, P.J.D. (2002). Sterols and sterolins: new drugs for the immune system?. *Drug Discovery*, 7 (14), 775 - 778.
- Calderón-Vázquez, C., Durbin, M.L., Ashworth, V.E., Tommasini, L., Meyer, K.K., Clegg, M.T. (2013). Quantitative genetic analysis of three important nutritive traits in the fruit of avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138 (4), 283 - 289. doi: 10.21273/JASHS.138.4.283
- Campos, D., Teran, F., Chirinos, R., García, D., Pacheco, A. & Pedreschi, R. (2020). Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (*Persea americana*) throughout the harvest seasons. *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 2208 - 2218. doi: 10.1111/ijfs.14474
- Carvalho, C., Bernal, J., Velásquez, M. & Cartagena, J. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 220 - 227. doi: 10.15446/agron.colomb.v33n2.49902
- Cerretani, L., Lerma-García, M.J., Herrero-Martínez, J.M., Gallina-Toschi, T. & Simó-Alfonso, E. F. (2010). Determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils by nanoliquid chromatography with ultraviolet-visible detection using a silica monolithic column. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 757 - 761. doi: 10.1021/jf9031537
- Chen, Q., Steinhauer, L., Hammerlindl, J., Keller, W. & Zou, J. (2007). Biosynthesis of phytosterol esters: identification of a sterol o-acyltransferase in arabidopsis. *Plant Physiology*, 145, 974 - 984.

- Cheynier, V., Comte, G., Davies, K., Lattanzio, V. & Martens, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 1 - 20. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009
- Chong, M., Macdonald, R. & Lovegrove, J. (2010). Fruit polyphenols and CVD risk: A review of human intervention studies. *British Journal of Nutrition*, 104, 28 - 39.
- Corral-Aguayo, R.D., Yahia, E.M., Carrillo-Lopez, A. & González- Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (22), 10498 - 10504. doi: 10.1021/jf801983r
- Cowan, A. & Wolstenholme, B. (2003). Avocados. Editorial Elsevier Science 348 - 352.
- Da Costa, P., Augusto, C., Teixeira-Filho, J. & Teixeira, H. (2010). Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Research International*, 43(6), 1603 - 1606.
- DellaPenna, D. & Pogson, B. (2006). Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 711 - 738.
- De la Rosa, L., Alvarez, E. & González, G. (2010). Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value, and stability. Editorial Office. 382 p. ISBN: 9780813803203
- Devalaraja, S., Jain, S., & Yadav, H. (2011). Exotic fruits as therapeutic complements for diabetes, obesity and metabolic syndrome. *Food Research International*, 44, 1856 - 1865. doi: 10.1016/j.foodres.2011.04.008
- Di Stefano, V., Avellone, G., Bongiorno, D. & Indelicato, S. (2017). Quantitative evaluation of the phenolic profile in fruits of six avocado (*Persea americana*) cultivars by ultra-high-performance liquid chromatography-heated electrospray-mass spectrometry, *International Journal of Food Properties*, 20(6), 1302 - 1312. doi: 10.1080/10942912.2016.1208225

- Donetti, M. & Terry, M.L. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28.
- Dorantes, L., Parada, L. & Ortiz, A. (2004). Avocado: Post-harvest operation. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 60 p.
- Dos Santos, M., Alicieo, T., Pereira, C., Ramis-Ramos, G. & Mendonça. (2014). Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: influence of the drying processes and extraction Methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91, 19 - 27.
- Dragsted, L., Krath, B., Ravn-Haren, G., Vogel, U., Vinggaard, A., Bo-Jensen, P., Loft, S., Rasmussen, S., Sandstrom, T. & Pedersen, A. (2006). Biological effects of fruits and vegetables. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65, 61 - 67.
- Dreher, M. & Davenport, A. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738 - 750. doi: 10.1080/10408398.2011.556759
- Duchateau, G., Bauer-Plank, C., Louter, A., Van der Ham, M., Boerma, J., Van Rooijen, J. & Zandbelt, P. (2002). Fast and accurate method for total 4-desmethyl sterol(s) content in spreads, fat-blends, and raw materials. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(3), 273 - 278.
- Dutta, P. (2003). Phytosterols as functional food components and nutraeuticals. Nueva York. Editorial Marcel Dekker. 465 p. ISBN: 082474750X
- Espinosa-Alonso, G., Paredes-López, O., Valdez-Morales, M. & Oomah, D. (2017). Avocado oil characteristics of mexican creole genotypes. *Lipid Science and Technology*, 119, 1 - 12.
- Falk, J. & Munné-Bosch, S. (2010). Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. *Journal of Experimental Botany*, 61 (6), 1549 - 1566. doi:10.1093/jxb/erq030

- Fatiha, A. (2019). Plant lipid metabolism. En *Advances in Lipid Metabolism*. 18 p.
- Fernandes, G., Gómez-Coca, R., Pérez-Camino, M., Moreda, W. & Barrera-Arellano, D. (2018). Chemical characterization of commercial and single-variety avocado oils. *Grasas y Aceites*, 69 (2), 243 - 256. doi: 10.3989/gya.0110181
- Flores, M., Saravia, C., Vergara, C., Avila, F., Valdés, H. & Ortiz-Viedma, J. (2019). Avocado oil: characteristics, properties, and applications. *Molecules*, 24, 1 - 21. doi: 10.3390/molecules24112172
- Fonseca, P., Alves, M., Dellinghausen, C. & Barboza, C. (2016). Avocado: Characteristics, health benefits and uses. *Food Technology*, 46(4), 747 - 754. doi: 10.1590/0103-8478cr20141516
- Galvão, M.D.S., Narain, N. & Nigam, N. (2014). Influence of different cultivars on oil quality and chemical characteristics of avocado fruit. *Food Science and Technology*, 34, 539 - 546. doi: 10.1590/1678-457X.6388
- Garde, T., Gonzalo, A. & Pérez, E. (2017). Phenolic compounds: types, effects and Research. Nueva York. Editorial Nova. 258 p. ISBN: 9781536120547
- Ge, Y., Si, X., Cao, J., Zhou, Z., Wang, W. & Ma, W. (2017). Morphological characteristics, nutritional quality, and bioactive constituents in fruits of two avocado (*Persea americana*) varieties from Hainan province, China. *Journal of Agricultural Science*, 9 (2), 1 - 10. doi: 10.5539/jas.v9n2p8
- Golukcu, M. & Ozdemir, F. (2010). Changes in phenolic composition of avocado cultivars during harvesting time. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(1), 96 - 98.
- Gómez López, V.M. (2002). Fruit characterization of high oil content avocado varieties. *Scientia Agricola*, 59 (2), 403 - 406.
- Guillén, J. (2016). Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de palta hass (*persea americana*) extraído por método en frío (prensado) y caliente (soxhlet). (Tesis de

Ingeniero Agroindustrial). Asesora: Dra. Luz María Paucar. Perú: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa. 142 p. Defendido en 2016.

Guzmán-Maldonado, S.H. Osuna-García, J.A. & Herrera-González, J.A. (2017). Effect of locality and maturity on the fatty acid profile of avocado 'Hass' fruit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3885 - 3896.

Han, J.H., Yang, Y.X. & Feng, M.Y. (2008). Contents of phytosterols in vegetables and fruits commonly consumed in China. *Biomedical And Environmental Sciences*, 21, 449 - 453.

Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J., Poblete-Echeverría, C., Defilippi, B., González-Agüero, M., Campos-Vargas, R., Lurie, S., Pedreschi, R. (2017). Effects of heat shock and nitrogen shock pre-treatments on ripening heterogeneity of Hass avocados stored in controlled atmosphere. *Scientia Horticulturae*, 225, 408 - 415.

Hidalgo, M., Sánchez-Moreno, C. & Pascual-Teresa, S. (2010). Flavonoid–flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 121, 691 - 696. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.097

Hurtado-Fernández, E., Pacchiarotta, T., Mayboroda, O., Fernández-Gutiérrez, A. & Carrasco-Pancorbo, A. (2014). Quantitative characterization of important metabolites of avocado fruit by gas chromatography coupled to different detectors (APCI-TOF MS and FID). *Food Research International*, 62, 801 - 811. doi: 10.1016/j.foodres.2014.04.038

Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A. & Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado – *Persea americana*. Exotic fruits reference guide. España. Editorial Elsevier. 12 p. doi: 10.1016/B978-0-12-803138-4.00001-0

Jorge, T., Carregari, T., Silva, L., Jorge, N. & Telis-Romero, J. (2015). Physicochemical and rheological characterization of avocado oils. *Ciência e Agrotecnologia*, 39 (4), 390 - 400.

- Kamel, B. & Kakuda, Y. (2008). Fatty acids in fruits and fruit products. En fatty acids in foods and their health implications. Editorial Taylor & Francis. 263 - 301 p.
- Katan, M., Grundy, S., Jones, P., Law, M., Miettinen, T. & Paoletti, R. (2003). Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings*, 78, 965 - 978.
- Kenar, J., Moser, B. & List, G. (2017). Naturally occurring fatty acids: source, chemistry, and uses. Editorial Elsevier. 23 - 82 p. doi: 10.1016/B978-0-12-809521-8.00002-7
- Kruger, F.J., Claassens, N.J.F., Kritzinger, M. & Claassens, V.E. (1999). A short review of recent research on the impact of climatic conditions on the postharvest quality of south african export avocados. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5: 339 - 345.
- Leyva, E., Navarro-Tovar, G., Loredó-Carrillo, S. & Santos, M.S. (2011). Biosíntesis y actividad biológica de fitoestrógenos y fitoesteroides. *Boletín de la Sociedad Química de México*, 5(2,3), 35 - 43.
- Li, F., Bo-Tao, X., Xiang-Rong, X., Ren-You, G., Yuan, Z., En-Qin, X. & Hua-Bin, L. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129, 345 - 350.
- Lin, X., Ma, L., Racette, SB., Spearie, CL. & Ostlund, RE. (2009). Phytosterol glycosides reduce cholesterol absorption in humans. *Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology*, 296, 931 - 935. doi: 10.1152/ajpgi.00001.2009
- López-Cobo, A., Gómez-Caravaca, A.M., Pasini, F., Caboni, M.F., Segura-Carretero, A. & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic and other polar compounds in the edible part and by-products of avocado. *Food Science and Technology*, 1 - 33. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.049.
- Lottenberg, A., Nunes, V., Nakandakare, E., Neves, M., Bernik, M., Santos, J. & Quintão. (2002). Plant sterol ester efficiency on the plasma lipid reduction in moderate

- hipercolesterolemia subjects. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 79 (2), 139 - 142.
- Lu, Q.-Y., Arteaga, J.R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V.L.W. & Heber, D. (2005). Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16, 23 - 30. doi: 10.1016/j.jnutbio.2004.08.003
- Lu, Q.-Y., Zhang, Y., Wang, Y., Lee, R.-P., Gao, K., Byrns, R. & Heber, D. (2009). California hass avocado: profiling of carotenoids, tocopherols, fatty acids, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10408 - 10413. doi:10.1021/jf901839h
- Lunn, J. & Theobald, H.E. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. British Nutrition Foundation. *Nutrition Bulletin*, 31, 178 - 224 p.
- Lushchak, V.I. & Semchuk, N.M. (2012). Tocopherol biosynthesis: chemistry, regulation and effects of environmental factors (Review). *Acta Physiologiae Plantarum*, 34 (5), 1607 - 1628.
- MacKay, D. & Jones, P. (2011). Phytosterols in human nutrition: type, formulation, delivery, and physiological function. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 1427 - 1432. doi: 10.1002/ejlt.201100100
- Maeda, H. & DellaPenna, D. (2007). Tocopherol functions in photosynthetic organisms. Department of Biochemistry and Molecular Biology. Michigan State University. USA, 10, 260 - 265. doi: 10.1016/j.pbi.2007.04.006
- Manaf, Y., Rahardjo, A., Yusof, Y., Desa, M. & Nusantoro, B. (2018). Lipid characteristics and tocopherol content of the oils of native avocado cultivars grown in Indonesia. *International Journal of Food Properties*, 21 (1), 2758 - 2771. doi: 10.1080/10942912.2018.1564761

- Mardigan, L., Santos, V., Silva, P., Visentainer, J., Gomes, S. & Matsushita, M. (2019). Investigation of bioactive compounds from various avocado varieties (*Persea americana* Miller). *Food Science and Technology*, 39(1), 15 - 21. doi: 10.1590/fst.34817
- Márquez, L. & Pretell, C. (2009). Efecto de las coberturas biodegradables y temperatura sobre el color, firmeza y pérdida de peso en palta (*Persea americana* Mill) Hass, durante el almacenamiento. *Revista Pueblo Continente*, 20 (2), 379 - 389.
- Márquez, C., Yepes, D., Sanchez, L. & Osorio, H. (2014). Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* mill. cv. "Hass") en poscosecha para dos municipios de antioquia. *Temas Agrarios*, 29 (1), 32 - 47.
- Martínez, S. (2020). Evaluación de marcadores físico-químicos y metabolómicos con mayor incidencia en la maduración heterogénea de la palta (*Persea americana*) variedad Hass". (Tesis de Ingeniero en Industrias Alimentarias). Asesora: Dra. Rosana Sonia Chirinos Gallardo. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 154 p. Defendido en 2020.
- Mpai, S. & Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at 'ready-to-eat stage'. *Scientia Horticulturae*, 265, 1 - 13. doi: 10.1016/j.scienta.2019.109159
- Mène-Saffrané, L. & DellaPenna, D. (2010). Biosynthesis, regulation and functions of tocopherols in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 301 - 309. doi: 10.1016/j.plaphy.2009.11.004
- Meurens, M., Baeten, V., Yan, SH., Mignolet, E. & Larondelle, Y. 2005. Determination of the conjugated linoleic acids in cow's milk fat by Fourier transform Raman spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(15), 5831 - 5835. doi: 10.1021/jf0480795
- Meyer, M. & Terry, L. (2010). Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend

storage life. *Food Chemistry*, 121, 1203 - 1210. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.02.005

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). La palta peruana “producto estrella de exportación”. 81 p.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2017). La palta peruana, una coyuntura favorable. 5 p.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2019). La Situación del Mercado Internacional de la Palta. 40 p.

Mooz, E., Gaino, N., Shimano, M., Amancio, R. & Spoto, M. (2012). Physical and chemical characterization of the pulp of different varieties of avocado targeting oil extraction potential. *Ciencia Tecnología de Alimentos*. 32(2), 274 - 280. doi: 10.1590/S0101-20612012005000055

Morais, D., Rotta, E., Sargi, S., Bonafe, E., Suzuki, R., Souza, N., Matsushita, M. & Visentainer, J. (2017). Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(2), 308 - 318.

Moreau, R.A., Whitaker, B.D. & Hicks, K.B. (2002). Phytosterols, phytosterols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. *Progress in Lipid Research*, 41, 457 - 500.

Muñoz, A., Alvarado-Ortíz, C. & Encina, C. (2011). Fitoesteroles y fitoestanoles: propiedades saludables. *Revista Horizonte Médico*, 11(2), 93 - 100.

Nasri, C., Halabi, Y., Harhar, H., Mohammed, F., Bellaouchou, A., Guenbour, A. & Tabyaoui, M. (2021). Chemical characterization of oil from four avocado varieties cultivated in Morocco. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 1 - 11.

- Nnaji, J.C. & Oereke, O.B. (2016). Proximate composition and physico-chemical properties of three avocado (*Persea americana*) varieties in Umuahia, Nigeria. *Journal of Applied Chemical Science International*, 5(4), 195 - 200.
- Nollet, L. Gutierrez, J. (2018). Phenolic compounds in food: Characterization and analysis. Editorial Taylor & Francis. ISBN: 9781498722964
- Normén, L., Johnsson, M., Andersson, H., van Gameren, Y. & Dutta, P. (1999). Plant sterols in vegetables and fruits commonly consumed in Sweden. *European Journal of Nutrition*, 89, 84 - 89.
- Oliver, P. & Villem, A. (2017). Phenolic compounds: Structure, uses and health benefits. Nueva York. Editorial Nova Science. 170 p. ISBN: 9781536128826
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – División de Estadística (FAOSTAT). (2020). Datos estadísticos sobre producción de paltas en el Perú (en línea). Consultado el 14 de diciembre 2020. Disponible en www.fao.org/faostat/es/#home
- Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., De Pascual-Teresa, S., De Ancos, B. & Cano, M.P. (2009). Fatty acids, sterols, and antioxidant activity in minimally processed avocados during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 3204 - 3209
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz- Rubio, E., Serrano, J., Goñi, I. & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41, 274 – 285. doi: 10.1016/j.foodres.2007.12.004
- Pérez, V., Albengrin, E., Roncal, Z., Berrospi, L. & Quispe, E. (2006). Estudio de mercado de los frutos: granadilla, palta, lúcuma y chirimoya. Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza Programa Selva Central. 29 p.

- Piironen, V., Lindsay, D., Miettinen, T., Toivo, J. & Lampi, A.M. (2000). Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 939 - 966.
- Piironen, V., Toivo, J., Puupponen-Pimia, R. & Lampi, A.M. (2003). Plant sterols in vegetables, fruits and berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 330 - 337. doi: 10.1002/jsfa.1316.
- Ramos-Aguilar, A.L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L.M., Gardea-Béjar, A.A., Yahia, E.M., Ornelas-Paz, J.J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C. & Ibarra-Junquera, V. (2021). Comparative study on the phytochemical and nutrient composition of ripe fruit of Hass and Hass type avocado cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97, 1-13.
- Reddy, M., Moodley, R. & Jonnalagadda, S. (2012). Fatty acid profile and elemental content of avocado (*Persea americana* Mill.) oil - effect of extraction Methods. *Environmental Science and Health*, 47, 529 - 537. doi: 10.1080/03601234.2012.665669
- Richard, D., Kefi, K., Barbe, U., Bausero, P. & Visioli, F. (2018). Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. *Pharmacological Research*, 57, 451 - 455. doi: 0.1016/j.phrs.2008.05.002
- Rizvi, S., Raza, S., Ahmed, F., Ahmad, A., Abbas, S. & Mahdi, F. (2004). The role of vitamin E in human health and some diseases. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, 14 (2), 157 - 165.
- Robayo, A. (2016). Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de aguacate, *Persea americana* Mill. (Lauraceae) e implementación de un método de extracción del aceite de aguacate como alternativa de industrialización (Tesis de maestría en Ciencias - Química). Asesor: Dr. Luis Enrique Cuca. Colombia: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. 111 p. Defendido en 2016.

- Ross, R. & Preedy, W. (2008). Tocotrienols: Vitamin E beyond tocopherols. Nueva York. Editorial Taylor & Francis. 424 p. ISBN: 9781420080377
- Roth, G., Hayek, M., Massimino, S., Davenport, G., Arking, R., Bartke, A., Bonkowski, M. & Ingram, D. (2009). Mannoheptulose: glycolytic inhibitor and novel caloric restriction mimetic. *Journal of Federation of American Societies for Experimental Biology*. 23 (1), 153.
- Salas, J., Sánchez, J., Ramli, U., Manaf, A., Williams, M. & Harwood, J. (2000). Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. *Progress in Lipid Research*, 39, 151 - 180.
- Sandoval-Sandoval, J., Hernández-Gómez, M., Rodríguez-Fonseca, P. & Herrera-Arévalo, A. (2017). Evaluación de variables físico químicas de importancia en la calidad del fruto de aguacate (*Persea americana* mill.) cv. Hass, producido en cuatro municipios de Colombia. Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. México. 353 - 364.
- Scrimgeour, C. (2005). Chemistry of fatty acids. Editorial John Wiley & Sons. 44 p.
- Shivashankara, KS., Isobe, S., Al-Haq, MI., Takenaka, M. & Shiina, T. (2004). Fruit antioxidant activity, ascorbic acid, total phenol, quercetin, and carotene of Irwin mango fruits stored at low temperature after high electric field pretreatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1281 - 1286.
- Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior (SIICEX). (2020). Exportación de palta (en línea). Consultado el 14 de diciembre 2020. Disponible en www.siicex.gob.pe
- Singleton, V. & Rosi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144 - 158.

- Soto, M. (2019). Plant physiological aspects of phenolic compounds. 4ta ed. 2201 p. ISBN: 9781789840346
- Soong, Y.Y. & Barlow, P.J. (2004). Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry*, 88(3), 411 - 417.
- Tabeshpour, J., Razavi, B.M. & Hosseinzadeh, H. (2017). Effects of avocado (*Persea americana*) on metabolic syndrome: A comprehensive systematic Review. *Phytotherapy Research*, 31, 819 - 837. doi: 10.1002/ptr.5805
- Terán, F. (2020). Características metabolómicas durante la maduración de palta (*persea americana*) cv. Hass procedente de tres cosechas sometidas a refrigeración. (Tesis de maestría en Tecnología de Alimentos). Asesor: Dr. David Campos. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 142 p. Defendido en 2020.
- Vilca, J. (2018). Propiedades funcionales y estabilidad del aceite de palta (*Persea americana Mill*) variedad hass extraído mediante dióxido de carbono supercrítico. (Tesis de maestría en Agricultura Andina). Asesor: Ph. D. Juan Marcos Aro. Perú: Universidad Nacional del Altiplano. 99 p. Defendido en 2018-11.
- Villa-Rodríguez, J., Molina-Corral, J., Ayala-Zavala, F., Olivas, G. & González-Aguilar, G. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231 - 1237. doi: 10.1016/j.foodres.2010.11.012
- Villa-Rodriguez, J., Yahia, E., González-León, A., Ifie, I., Robles-Zepeda, R., Domínguez-Avila, A. & González-Aguilar, G. (2020). Ripening of 'Hass' avocado mesocarp alters its phytochemical profile and the in vitro cytotoxic activity of its methanolic extracts. *South African Journal of Botany*, 128, 1 - 8. doi: 10.1016/j.sajb.2019.09.020
- Villar, M. (2016). Composición nutricional y componentes bioactivos de cuatro variedades de paltas (*Persea americana*) comerciales chilenas. Comparación de componentes bioactivos, cosechas 2011-20112. (Tesis de Ingeniero de Alimentos). Asesor: Dr.

Jaime Ortiz Viedma. Chile: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. 66 p. Defendido en 2016.

Vivero, A., Valenzuela, R., Valenzuela, A. & Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(4), 491 - 498. doi: 10.4067/S0717-75182019000400491

Yahia, E. (2018). *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry and human health*. 2da ed. México: Editorial Wiley & Sons. 1445 p. ISBN: 9781119157946

Wang, L., Bordi, P., Fleming, J., Hill, A. & Kris-Etherton, P. (2015). Effect of a moderate fat diet with and without avocados on lipoprotein particle number, size and subclasses in overweight and obese adults: a randomized, controlled trial. *Journal of the American Heart Association*, 4, 1 - 15. doi: 10.1161/JAHA.114.001355

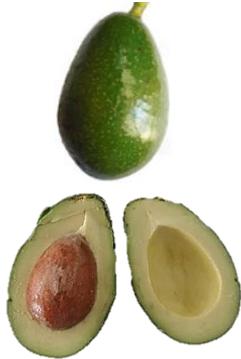
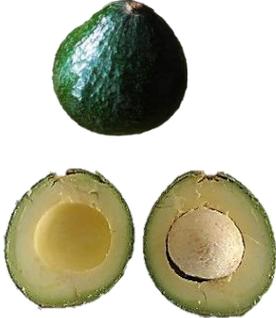
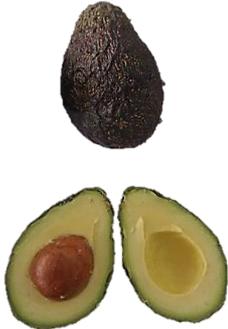
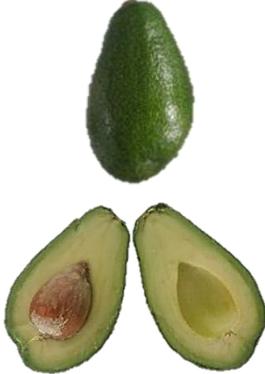
Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R. & Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21 - 32. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00022-6

ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones obtenidas de la curva estándar de cada compuesto para la cuantificación

Compuestos	Ecuación General	Coefficiente de correlación (R ²)	Unidades
Ácidos grasos			
Ácido oleico	$Y = 0.7406X + 0.5181$	0.9880	X: mg del analito/L Y: Área
Ácido palmítico	$Y = 0.7233X + 0.3959$	0.9882	
Ácido palmitoleico	$Y = 1.0286X + 0.0398$	0.9871	
Ácido linoleico	$Y = 0.9045X + 0.0846$	0.9864	
Ácido α -linolénico	$Y = 1.0611X - 0.0381$	0.9804	
Fitoesteroles			
β -sitosterol	$Y = 0.7100X - 0.0708$	0.9998	X: μ g del analito/mL Y: Área
Campesterol	$Y = 0.5934X - 0.0645$	0.9998	
Estigmasterol	$Y = 0.7555X - 0.0942$	0.9998	
Tocoferoles			
Alfa	$Y = 516000X - 126000$	0.9998	X: μ g del analito/ mL Y: Área
Beta	$Y = 430000X - 25500$	0.9999	
Gamma	$Y = 606000X - 98000$	0.9999	
Compuestos fenólicos totales	$Y = 34.719X + 0.0422$	0.9986	X: mg EAG/mL Y: absorbancia
Capacidad antioxidante hidrofílica	$Y = 1.2584X + 0.0023$	0.9907	X: μ mol ET/mL Y: absorbancia
Capacidad antioxidante lipofílica	$Y = 1.2258X - 0.0349$	0.9954	

Anexo 2. Cuatro variedades de paltas proporcionadas por Centro de Investigación Frutícola Olerícola de la Universidad Hermilio Valdizán

Bacon	Nabal Azul
	
Hass	Super Fuerte
	

Anexo 3. Análisis estadístico para evaluar los pesos de las variedades de palta

Prueba de Kruskal-Wallis para el peso

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos homogéneos
Hass	6	5.0	X
Super Fuerte	6	9.0	XX
Bacon	6	16.0	XX
Nabal Azul	6	20.0	X

Estadístico = 16.44 Valor-p = 0.000921159

Anexo 4. Análisis estadístico para evaluar las dimensiones de las variedades de palta

Tabla ANOVA para la longitud

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31.6746	3	10.5582	18.23	0.0000
Intra grupos	11.5817	20	0.579083		
Total (Corr.)	43.2563	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para la longitud

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Nabal Azul	6	8.43333	X
Hass	6	9.25	X
Bacon	6	10.7667	X
Super Fuerte	6	11.3	X

Prueba de Kruskal-Wallis para el diámetro

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	5.91667	X
Super Fuerte	6	10.3333	X
Bacon	6	12.25	X
Nabal Azul	6	21.5	X

Estadístico = 15.6139 Valor-P = 0.00136057

Anexo 5. Análisis estadístico para evaluar la firmeza de las variedades de palta

Prueba de Kruskal-Wallis para la firmeza

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Bacon	6	15.5
Hass	6	8.0
Nabal Azul	6	13.1667
Super Fuerte	6	13.3333

Estadístico = 4.26186 Valor-p = 0.234538

Anexo 6. Análisis estadístico para evaluar los parámetros de color de las variedades de palta

Prueba de Kruskal-Wallis para la luminosidad (L*)

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	3.5	X
Super Fuerte	6	9.83333	X
Nabal Azul	6	15.6667	X
Bacon	6	21.0	X

Estadístico = 20.4467 Valor-p = 0.000137145

Prueba de Kruskal-Wallis para la coordenada (a*)

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Bacon	6	4.33333	X
Nabal Azul	6	8.66667	X
Super Fuerte	6	15.5	X
Hass	6	21.5	X

Estadístico = 20.5756 Valor-p = 0.000128952

Prueba de Kruskal-Wallis para la coordenada (b*)

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	3.5	X
Super Fuerte	6	9.83333	X
Nabal Azul	6	15.5	X
Bacon	6	21.1667	X

Estadístico = 20.6667 Valor-p = 0.000123462

Prueba de Kruskal-Wallis para la pureza de color o croma (C*)

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	3.5	X
Super Fuerte	6	9.5	X
Nabal Azul	6	15.8333	X
Bacon	6	21.1667	X

Estadístico = 21.1467 Valor-p = 0.0000981447

Prueba de Kruskal-Wallis para el ángulo de tono o hue (h°)

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	3.5	X
Super Fuerte	6	10.6667	X
Bacon	6	14.3333	X
Nabal Azul	6	21.5	X

Estadístico = 20.2555 Valor-p = 0.000150256

Anexo 7. Análisis estadístico para evaluar el contenido de humedad de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	456.495	3	152.165	63.85	0.0000
Intra grupos	47.6665	20	2.38332		
Total (Corr.)	504.162	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de humedad

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Bacon	6	69.4817	X
Hass	6	71.335	X
Nabal Azul	6	74.4817	X
Super Fuerte	6	80.9533	X

Anexo 8. Análisis estadístico para evaluar el contenido de materia seca de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de materia seca

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	456.495	3	152.165	63.85	0.0000
Intra grupos	47.6665	20	2.38332		
Total (Corr.)	504.162	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de materia seca

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Super Fuerte	6	19.0467	X
Nabal Azul	6	25.5183	X
Hass	6	28.665	X
Bacon	6	30.5183	X

Anexo 9. Análisis estadístico para evaluar el contenido de aceite de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de aceite

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	342.24	3	114.08	133.74	0.0000
Intra grupos	17.0596	20	0.852978		
Total (Corr.)	359.299	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de aceite

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Super Fuerte	6	10.1283	X
Nabal Azul	6	14.2567	X
Hass	6	17.4967	X
Bacon	6	20.26	X

Anexo 10. Análisis estadístico para evaluar el porcentaje de participación de los principales ácidos grasos de las variedades de palta

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de ácido palmítico

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Super Fuerte	6	4.83333	X
Bacon	6	8.16667	X
Hass	6	15.6667	X
Nabal Azul	6	21.3333	X

Estadístico = 19.8733 Valor-p = 0.000180317

Tabla ANOVA para el contenido de ácido palmitoleico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	198.13	3	66.0435	118.42	0.0000
Intra grupos	11.1541	20	0.557707		
Total (Corr.)	209.285	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de ácido palmitoleico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Super Fuerte	6	4.23833	X
Bacon	6	7.31833	X
Nabal Azul	6	8.41833	X
Hass	6	12.2717	X

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de ácido oleico

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Hass	6	3.5	X
Nabal Azul	6	9.5	X
Bacon	6	17.6667	X
Super Fuerte	6	19.3333	X

Estadístico = 19.6067 Valor-p = 0.000204772

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de ácido linoleico

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Bacon	6	6.16667	X
Nabal Azul	6	6.83333	X
Hass	6	17.1667	X
Super Fuerte	6	19.8333	X

Estadístico = 17.741 Valor-p = 0.000497385

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de ácido α -linolénico

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Nabal Azul	6	3.75	X
Bacon	6	11.3333	X
Hass	6	14.0833	X
Super Fuerte	6	20.8333	X

Estadístico = 18.0951 Valor-p = 0.000420416

Anexo 11. Análisis estadístico para evaluar el contenido de fitoesteroles de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de β -sitosterol

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15205.0	3	5068.32	11.42	0.0001
Intra grupos	8795.45	20	439.772		
Total (Corr.)	24000.4	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de β -sitosterol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Bacon	6	165.462	X
Nabal Azul	6	194.807	XX
Hass	6	207.5	XX
Super Fuerte	6	235.507	X

Tabla ANOVA para el contenido de campesterol

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	508.477	3	169.492	33.38	0.0000
Intra grupos	101.557	20	5.07783		
Total (Corr.)	610.033	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de campesterol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Super Fuerte	6	17.2617	X
Bacon	6	18.6367	XX
Nabal Azul	6	21.9083	X
Hass	6	29.1583	X

Anexo 12. Análisis estadístico para evaluar el contenido de tocoferoles de las variedades de palta

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de α -tocoferol

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Bacon	6	3.5	X
Nabal Azul	6	9.5	X
Super Fuerte	6	16.5	X
Hass	6	20.5	X

Estadístico = 19.4654 Valor-p = 0.000219037

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de β -tocoferol

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Nabal Azul	6	3.5	X
Bacon	6	12.3333	X
Super Fuerte	6	12.6667	X
Hass	6	21.5	X

Estadístico = 21.6849 Valor-p = 0.0000758593

Tabla ANOVA para el contenido de γ -tocoferol

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.08495	3	2.36165	11.65	0.0001
Intra grupos	4.055443	20	0.202772		
Total (Corr.)	11.1404	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de γ -tocoferol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Bacon	6	4.57667	X
Nabal Azul	6	5.36167	X
Hass	6	5.52833	XX
Super Fuerte	6	6.09667	X

Anexo 13. Análisis estadístico para evaluar el contenido de compuestos fenólicos de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de fenólicos totales

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.125313	3	0.0417708	10.08	0.0003
Intra grupos	0.0828833	20	0.00414417		
Total (Corr.)	0.208196	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de fenólicos totales

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Hass	6	0.613333	X
Super Fuerte	6	0.643333	X
Bacon	6	0.681667	X
Nabal Azul	6	0.803333	X

Anexo 14. Análisis estadístico para evaluar la capacidad antioxidante hidrofílica y lipofílica de las variedades de palta

Tabla ANOVA para el contenido de capacidad antioxidante hidrofílica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	30.4731	3	10.1577	5.10	0.0087
Intra grupos	39.8016	20	1.99008		
Total (Corr.)	70.2747	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de capacidad antioxidante hidrofílica

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Hass	6	10.405	X
Nabal Azul	6	11.8733	XX
Super Fuerte	6	13.0517	X
Bacon	6	13.22	X

Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de capacidad antioxidante lipofílica

Variedad	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Grupos Homogéneos
Bacon	6	6.41667	X
Nabal Azul	6	7.0	XX
Hass	6	15.0833	X
Super Fuerte	6	21.5	X

Estadístico = 19.4654 Valor-p = 0.000219037