

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Influencia de la temperatura de tostado en ácidos grasos, compuestos
fenólicos totales y capacidad antioxidante en la castaña
(*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: MAMANI MAMANI, Luis Alberto

Bachiller: CCANQUE PACCO, Isidro

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ASESOR: Ing. COLQUEHUANCA VILCA, Julián

Puerto Maldonado, 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Influencia de la temperatura de tostado en ácidos grasos, compuestos
fenólicos totales y capacidad antioxidante en la castaña
(*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: MAMANI MAMANI, Luis Alberto

Bachiller: CCANQUE PACCO, Isidro

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ASESOR: Ing. COLQUEHUANCA VILCA, Julián

Puerto Maldonado, 2020

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre a mi lado.

A mis queridos padres, Sabina y Juan, por el apoyo incondicional y su comprensión.

A mis queridos hermanos y sobrinos.

Isidro Ccanque Pacco

A Dios por guiarme en cada paso que doy.

A mi madre y hermanas

Luis Alberto Mamaní Mamaní

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Julián Colquehuanca Vilca, por su patrocinio del presente trabajo de investigación, por sus sugerencias y enseñanzas en mi formación profesional. Muchas gracias.

Al Dr. Marcial I. Silva Jaimes, Docente principal de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Agraria La Molina por sus orientaciones, enseñanzas y las facilidades para realizar este trabajo, por su amistad.

A todos mis miembros del jurado por sus sugerencias y aportes.

A los técnicos de los laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina: Don Max, Juan, Erick, Zahara, Sonia, Liz y doña Julia.

A todas mis amistades que apoyaron de alguna manera en este trabajo de investigación, gracias a todos.

PRESENTACIÓN

En los últimos años, la alimentación está experimentando cambios muy fuertes en diferentes aspectos, existe la tendencia de búsqueda y revalorización de sustratos de origen natural que pueden ser usados para el desarrollo de alimentos. Las investigaciones también están dejando de lado temas como las carencias nutricionales y están siendo orientados a la relación de alimentación y las enfermedades crónicas no transmisibles. Así mismo, existe la demanda de los consumidores de productos naturales, con características funcionales, con un alto valor nutricional, como las nueces y especialmente las castañas.

En la actualidad la región Madre de Dios es un productor de castaña y gran parte de esta, es exportada y otra parte se comercializa en el mercado local y nacional. En algunos casos las castañas son llevadas a un proceso de tostado para la elaboración de castañas confitadas o simplemente como aperitivo de castaña tostada y estos son comercializados en los mercados, terminales terrestres, aeropuerto, etc. estos tienen mucha demanda, ya que es la única región que lo produce y comercializa. La temperatura de tostado puede ser que tenga algún efecto sobre algunos de los componentes como en los ácidos grasos, compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante de esta nuez. El consumo de la castaña o nuez de Brasil está relacionado con la prevención de enfermedades no transmisibles debido que contiene compuestos bioactivos que pueden tener efectos beneficiosos como reductores del colesterol, actividad antioxidante y efectos antiproliferativos.

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar la influencia que tiene la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales capacidad antioxidante y el estado oxidativo en la castaña.

RESUMEN

Las nueces son muy apreciados por sus componentes nutricionales con muchos beneficios para la salud. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa en la castaña. Las nueces fueron sometidos a tostado a temperatura de: 100, 120 y 140 °C por 15 minutos, además se tostaron castañas en las mismas condiciones de un productor de castaña confitada (en promedio de 130 °C por 25 minutos), después del tostado estos fueron analizados en el contenido de ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y el grado de oxidación del aceite (índice de peróxido e índice de *p*-anisidina). El contenido de los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante (ABTS) disminuyó a 100 y 140 °C, sin embargo a 120 °C se observó un incremento. El contenido de los ácidos grasos poliinsaturados no se observaron cambios significativos. Por otro lado, la temperatura de tostado incrementó ligeramente los valores de índice de peróxido y *p*-anisidina.

Palabra clave: *Bertholletia excelsa*, ácidos grasos, compuestos fenólico totales, capacidad antioxidante, oxidación lipídica.

ABSTRACT

Nuts are highly valued for their nutritional components with many health benefits. The objective of this research was to evaluate the influence of roasting temperature on fatty acids, total phenolic compounds, antioxidant capacity and oxidative stability in Brazil nuts. The nuts were roasted at temperature of: 100, 120 and 140 °C for 15 minutes, in addition, nuts were roasted in the same conditions of a candied chestnut producer (on average 130 °C for 25 minutes), after the roasting these were analyzed in the content of fatty acids, total phenolic compounds, antioxidant capacity and the degree of oxidation of the oil (peroxide index and *p*-anisidine index). The content of total phenolic compounds and the antioxidant capacity (ABTS) decreased at 100 and 140 °C, however at 120 °C an increase was observed. The content of polyunsaturated fatty acids was not observed significant changes. On the other hand, the roasting temperature slightly increased the peroxide index and *p*-anisidine values.

Key word: *Bertholletia excelsa*, fatty acids, total phenolic compounds, antioxidant capacity, lipid oxidation.

INTRODUCCIÓN

La producción de castaña (*Bertholletia excelsa*) en Perú se localiza en Madre de Dios. La importancia económica en el año 2012 fue 31 392 117.25 kg y sumaron un valor FOB de US\$ 21 574 678.58 según ADUANET (Ministerio del Ambiente, 2014). La actividad de la castaña beneficia económicamente directa e indirectamente a 6500 familias, se estima que un 22 % de la población del total están vinculadas a esta actividad (EC, 2018). La mayor parte de la castaña de calidad es exportada al mercado internacional, una pequeña parte es destinada al mercado nacional y/o local, otro poco destinados a la confitería, específicamente a la elaboración de castaña confitada o como aperitivo. Estos productos son muy apreciados en el mercado por su agradable sabor, textura y valor nutricional.

Las nueces son alimentos con un alto contenido de grasa, por lo tanto, son rico en energía (Cardoso et al. 2017), son bajos en ácido graso saturados (SFA) y alto en ácido grasos insaturados (Venkatachalam y Sathe, 2006). La castaña contiene alrededor de 15% de SFA, 25% de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y 21% de ácido graso poliinsaturado (PUFA); el 7% de la grasa total es ácido α -linolénico (ácido graso omega-3) (Yang, 2009). También es la fuente dietética más rica de selenio, la concentración medio varía de 2.07 mg/kg a 68.15 mg/kg (Silva et al., 2017). Las castañas contienen cantidades sustanciales de antioxidantes y compuestos fenólicos totales (John y Shahidi, 2010). Los compuestos mencionados están asociados a muchos beneficios potenciales para la salud, como acciones anticancerígenas, antiinflamatorias, antibacterianas y vasodilatadoras (Duthie et al., 2000; Ros y Mataix, 2006; Colpo et al., 2014; Cardoso et al., 2016). Sin embargo, algunos de los compuestos mencionados puede que sea afectado durante el proceso de tostado.

El procesamiento de alimentos afecta en gran medida los atributos importantes de los alimentos, como la textura, el sabor, la apariencia y el valor nutricional del producto (Barbosa-Cánovas et al., 2011), también a los compuestos bioactivos (Khan et al. 2018). EL Proceso de tostado muchas veces se realiza a semillas y a frutos secos, después del tostado se consumen como bocadillos. El tostado produce cambios en los macronutrientes como la desnaturalización de proteínas, la oxidación del aceite y la reacción de Maillard, además, cambios en los componentes menores como en los ácidos grasos, compuestos fenólicos, esteroides, entre otros (Durmaz y Gökmen, 2010). En este sentido, Adu et al. (2013) mencionaron que el procesamiento térmico puede tener efectos variados sobre la composición de los ácidos grasos en el aceite de las semillas. Así mismo, el efecto del tostado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante es inconsistente principalmente debido a tiempo y temperatura del tostado, como también por los tipos de nueces. Es así que Lin et al. (2016), encontraron que los compuestos fenólicos totales de almendras disminuyeron cuando se tostaron a menor tiempo y se incrementan a mayor tiempo de tostado. Por otro lado, Schmitzer et al., (2011), observó que los compuestos fenólicos disminuyeron cuando fueron tostados a 140 °C por 15 minutos. Así mismo, la capacidad antioxidante podría ser mayor después del tostado, este aumento podría ser atribuido a la formación de nuevos productos con poder antioxidante de la reacción de Maillard (Durmaz y Gökmen, 2010), también podría ser por la liberación de fenólicos antioxidantes de sus formas unida, y de esta manera mejora la capacidad antioxidante (Win et al., 2011). Los polifenoles como antioxidante protegen las células contra el daño oxidativo, las investigaciones en animales han demostrado que cuando estos son parte de la dieta, limitan el desarrollo de cánceres, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, diabetes y osteoporosis (Scalbert et al. 2005).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa en la castaña.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
PRESENTACIÓN	iii
RESUMEN.....	iv
SUMMARY	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Variables	3
1.4.1. Variable independiente	3
1.4.2. Variables dependientes	3
1.5. Operacionalización de variables.....	3
1.6. Hipótesis.....	4
1.7. Justificación.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de estudio.....	5
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. La castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	7
2.2.2. Oxidación lipídica	11
2.2.3. Compuestos fenólicos	14
2.2.4. Capacidad antioxidante	15
2.2.5. Tostado	16

2.3.	Definición de términos	18
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		20
3.1.	Tipo de estudio.....	20
3.2.	Diseño del estudio.....	20
3.3.	Población de muestra	21
3.4.	Métodos y técnicas	21
3.4.1.	Lugar de estudio	21
3.4.2.	Materiales, reactivos y equipos.....	21
3.4.3.	Métodos de análisis	23
3.4.4.	Metodología experimental.....	27
3.4.5.	Diseño experimental	30
3.5.	Tratamiento de los datos.....	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		32
4.1.	Análisis proximal.....	32
4.2.	Efecto del tostado sobre la estabilidad oxidativa del aceite de castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>)	34
4.2.1.	Índice de peróxido	34
4.2.2.	Índice de <i>p</i> -anisidina	36
4.3.	Efecto del tostado sobre los compuestos bioactivos de la castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	37
4.3.1.	Contenido de ácidos grasos	37
4.3.2.	Compuestos fenólicos totales	41
4.3.3.	Capacidad antioxidante ABTS	45
CONCLUSIONES.....		48
SUGERENCIAS.....		49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		50
ANEXOS		64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	3
Tabla 2. Composición nutricional de la castaña.....	9
Tabla 3. Análisis proximal de la castaña.....	32
Tabla 4. Composición química proximal de las muestras de nueces.....	34
Tabla 5. Índice de peróxido del aceite obtenido de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor	34
Tabla 6. Índice de p-anisidina del aceite obtenido de castañas sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor	36
Tabla 7. Contenido de ácidos grasos (%) de la castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.....	38
Tabla 8. Composición de ácidos grasos (%) encontrados en la castaña.....	39
Tabla 9. Contenido de compuestos fenólicos totales de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.....	41
Tabla 10. Capacidad antioxidante de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (a): árbol de castaña (<i>Bertholleta Excelsa</i>); (b): coco de castaña y semillas; (c) semillas y castña pelada.....	8
Figura 2. Etapas de oxidación lipídica	13
Figura 3. Flujo de operaciones para el proceso de tostado de castaña.....	28

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La actividad de la recolección y comercialización de *Bertholletia excelsa* por parte de la población tradicional de la amazonia, no amenaza el equilibrio ecológico y medio ambiente (Wadt et al., 2008), se estima que en Madre de Dios el 22 % de la población están vinculadas a esta actividad (EC, 2018). La castaña se exporta principalmente, y la almendra es usado como ingrediente en la elaboración de otros productos industriales, como galletas, aceite, pastas, cereales y productos de panadería (Souza, 2003). Además de usar como un aperitivo por algunos grupos de consumidores, se producen castañas cubiertos con capas dulces (castaña confitada), el chocolate, así como salado, y otros componentes como hiervas, ha sido generalizado por los consumidores amazónicos y también visitantes de otros países (Embrapa, 1998).

Las castañas contienen alrededor de 15% de ácido graso saturado, 25% de MUFA y 21% de PUFA. El 7 % de la grasa total es el ácido α -linolénico (ácido graso omega-3) (Yang, 2009). Los ácidos grasos de frutos secos contribuye de manera importante a efectos beneficiosos sobre la salud, estudios epidemiológicos (prevención de enfermedad coronaria, diabetes y muerte súbita) mientras que en ensayos de alimentación a corto plazo (disminución del colesterol, resistencia LDL a la oxidación y mejora de la función endotelial) (Ros y Mataix, 2006). Estos ácidos grasos podrían oxidarse y un iniciador podría ser el calor, como también diversas formas de oxígeno, la lipoxigenasa, la luz y/o trazas de metales (Munné-Bosch y Alegre, 2002). La oxidación causa el deterioro del aceite produciendo sabores desagradables y rancidez (Matthäus, 2010).

Los compuestos bioactivos presentes en la castaña en su mayoría son compuestos fenólicos, que pueden estar en forma esterificada o enlazadas, como también libremente (Bolling et al. 2011; John y Shahidi, 2010). Estos compuestos fenólicos se comportan como antioxidantes, tienen la propiedad de donar hidrógeno de sus grupos hidroxilos fenólicos (Lindsay y Astley, 2002), como también mediante la donación de electrones para detener la cadena de reacciones de los radicales libres (Bajpai et al. 2005). El contenido de compuesto fenólico soluble de la castaña entera es de 519,11 mg equivalente de ácido gálico (GAE)/100 g y de la piel marrón 1236,07 mg GAE/100 g, la capacidad antioxidante en la castaña entera 11.8 μ mol equivalente Trolox (TE)/g (John y Shahidi, 2010). Los compuestos fenólicos y el selenio presente en la castaña tienen efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Sureda et al. 2016), teniendo efectos benéficos para la salud. Sin embargo, estos compuestos fenólicos pueden ser degradados cuando se somete a tratamientos con calor (Khan et al., 2018), como en el caso del tostado. Oliviero et al. (2009), menciona que el tostado degrada los compuestos fenólicos ya que este tratamiento utiliza calor seco.

Estas consideraciones nos llevan a realizar esta investigación para conocer y ver cómo se comportan los ácidos grasos, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa en el proceso de tostado de castaña.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa de la castaña (*Bertholletia excelsa*)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de la castaña (*Bertholletia excelsa*).

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la temperatura de tostado en los ácidos grasos de la castaña (*Bertholletia excelsa*).
- Evaluar la influencia de la temperatura de tostado en los compuestos fenólicos totales de la castaña (*Bertholletia excelsa*).
- Evaluar la influencia de la temperatura de tostado en la capacidad antioxidante de la castaña (*Bertholletia excelsa*).
- Evaluar la influencia de la temperatura del tostado en la estabilidad oxidativa en el aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*).

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

- Temperatura de tostado

1.4.2. Variables dependientes

- Ácidos grasos y estabilidad oxidativa
- Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Índice
Variable independiente		
Temperatura de tostado	Temperatura	100, 120 y 140 °C por 15 min 130 °C por 25 min
Variable dependiente		
Ácidos grasos, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa	Ácidos grasos	%
	Compuestos fenólicos totales	mg GAE/g de castaña desgrasada
	Capacidad antioxidante	μmol TE/ g de castaña desgrasada
	Índice de peróxido Índice de <i>p</i> -anisidina	meq O ₂ /Kg aceite ---

1.6. Hipótesis

H₀: La temperatura de tostado de 100, 120, 140 °C por 15 min y 130 °C por 25 min (productor) no influyen significativamente en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de la castaña (*Bertholletia excelsa*).

H₁: La temperatura de tostado de 100, 120, 140 °C por 15 min y 130 °C por 25 min (productor) influyen significativamente en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de la castaña (*Bertholletia excelsa*).

1.7. Justificación

Existe una tendencia de una alimentación que muy aparte de satisfacer con las necesidades nutricionales del organismo, tenga un efecto beneficioso a corto, mediano o largo plazo en la salud de quien lo consumo. En este marco los alimentos ricos en ácidos grasos esenciales, compuestos bioactivos y con un alto capacidad antioxidante son muy apreciados. La castaña es una nuez muy apreciada por su alto valor nutricional y mucho más por sus ácidos grasos esenciales, por el selenio y por todos sus compuestos bioactivos. También sabemos que los mencionados compuestos pueden ser alterados durante tratamiento térmico como el tostado. En ese sentido, en esta investigación evaluaremos si las diferentes temperaturas de tostado influyen en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa de la castaña.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Chirinos et al. (2016), evaluaron el efecto del tostado a temperaturas de 100, 120, 140 y 160 °C durante 10, 20 y 30 min en la semillas de Sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana*) sobre los ácidos grasos, tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos. También se evaluó la estabilidad oxidativa mediante ácidos grasos libres, peróxido y p-anisidina en el aceite de las semillas tostadas. Los resultados obtenidos indicaron que semillas tostadas superiores a 120 °C afectan significativamente a los componentes estudiados, mostrando valores similares, más altos o más bajos que el control. Los valores de acidez, peróxido y p-anisidina aumentaron durante el tostado, siendo directamente proporcional tiempo y temperatura para estos indicadores, recomendando no tostar a temperaturas superiores a 100 °C durante 10 minutos para minimizar los procesos oxidativos. Las condiciones de tostado de semillas que no afecte y garantice la integridad de los ácidos grasos, tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos totales y una estabilidad oxidativa adecuada no debe exponer más de 100 °C durante 10 minutos.

Lemos et al. (2012), investigaron el efecto del tostado de nueces de Baru (*Dipteryx alata* Vog) sobre los compuestos fenólicos y las actividades antioxidantes. Las nueces fueron tostadas en un horno seco a 150 °C durante 45 min siendo esto un procedimiento similar al de un productor. Entre los resultados obtenidos tenemos que el contenido fenólico total no fue afectado por el proceso de tostado, sin embargo, se observó una reducción de 50 % en la actividad DPPH en las nueces con cascara. En esta investigación también se identificaron ocho fenólicos ácido p-cumárico, ácido elágico, ácido cafeico, hidroxibenzoico, catequina, ácido ferúlico, epicatequina y ácido gálico, siendo

este último, el predominante, a excepción de este fenólico los otros identificados disminuyeron después del tostado en las nueces con cascara, entonces se llegó a la conclusión que el ácido gálico no es el principal compuesto antioxidante de la nuez en estudio, entonces, la catequina, el ácido ferúlico y la epicatequina podrían ser los principales compuestos antioxidantes.

Lin et al. (2016), tostaron almendras (*Prunus dulcis*) a 150, 180 y 200 °C por 5, 10 y 20 min. El tostado a 150 y 180 °C por una duración de 5, 10 y 20 min aumentó los niveles de ácidos grasos insaturados (ácido linoleico, oleico y eláidico), así también a los ácidos grasos saturados (ácido palmítico y esteárico). Un tostado a mayor temperatura (200 °C) y de mayor duración (10 o 20 min) puede provocar la descomposición de los ácidos grasos, sobre todo los insaturados. Los componentes fenólicos (fenoles totales, flavonoides, taninos condensados y ácidos fenólicos) y actividades antioxidantes (eliminando DPPH y ABTS⁺ radicales y reductores de potencia férricos), estos se perdieron sustancialmente en la fase inicial, después estos componentes aumentaron gradualmente con la temperatura y la duración del tostado.

Hosseini Bai et al. (2017), tostaron nueces (*Canarium indicum* L.) a 110, 120 y 150 °C por 5, 10 y 20 min. En este estudio se evaluó los cambios en la composición química y la estabilidad oxidativa. Entre los resultados obtenidos tenemos un incremento del índice de peróxido conforme aumenta la temperatura y tiempo, sin embargo disminuyó significativamente cuando tostaron a 150 °C por 10 minutos con respecto a la muestra sin tostar y observaron también el aumentaron el contenido de los ácidos grasos libres. En la relación a los ácidos grasos, no se vio alterado incluso a la temperatura más alta de tostado (150 °C). La estabilidad oxidativa del aceite no fue influenciada por el tostado.

Jeong et al. (2004), tostaron semillas de sésamo a 50, 100, 150 y 200 °C y cada una durante 10, 20, 30, 40, 60, 90 y 120 min. En este estudio evaluaron el efecto de las condiciones de tostado de semillas sobre la actividad antioxidante de los extractos de harina de sésamo desgrasados. En los

resultados observaron que la actividad antioxidante aumentó conforme aumenta la temperatura de tostado, lográndose la actividad antioxidante máxima cuando las semillas se tostaron a 200 °C durante 60 min. Además, el tostado a 200 °C por 60 min aumento significativamente el contenido fenólico total, actividad de eliminación de radicales, los poderes reductores y la actividad antioxidante, también en estas condiciones se formaron varios compuestos fenólicos de bajo peso molecular.

Schlörmann et al. (2015), tostaron avellanas, almendras, nueces de macadamia, pistachos y nueces, en diferentes temperaturas y tiempos. En este estudio evaluaron la influencia de las condiciones de tostado en los compuestos relacionados con la salud en los diferentes frutos secos ya mencionados. En este estudio los ácidos grasos no se vieron afectados por el tostado, la capacidad antioxidante hidrófila disminuyó significativamente en avellanas (1,4 veces), nueces de macadamia (1,7 veces) y nueces (3.7 veces). También se observó la formación de acrilamida en almendras (1220 µg/kg). En forma general, los frutos secos tostados con una composición saludable y propiedades sensoriales deseables se puede conseguir tostando estos frutos a temperaturas medias/bajas (120 – 160 °C).

2.2. Marco teórico

2.2.1. La castaña (*Bertholletia excelsa*)

Bertholletia excelsa pertenece a una familia de árboles pantropicales (Lecythidaceae), es una planta amazónica que prefiere el bosque no inundado (tierra firme) en las Guayanas, Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia y Brasil (Mori, 1992). La jerarquía taxonómica según ITIS Repor, (2017) se define en:

Reino:	Plantae
División:	Tracheophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Ericales
Familia:	Lecythidaceae
Género:	Bertholletia
Especie:	Bertholletia Excelsa

El árbol de castaña es una de las especies más grandes en el bosque, destacando fácilmente en el paisaje. Un árbol adulto puede alcanzar más de 50 m de altura con una base de un diámetro medio de 2 m. Existen registros de castañas que pueden superar los 60 m de altura con un diámetro de más de 4 metros en la base (EMBRAPA/SEDE, 2004).



(a)



(b)



(c)

Figura 1. (a): árbol de castaña (*Bertholleta Excelsa*); (b): coco de castaña y semillas; (C): semillas y castaña pelada.

Fuente: Pacheco y Scussel (2006) citado por Mendonça (2007)

La floración de la castaña depende de las condiciones climáticas de cada zona fisiográfica, en la región amazónica presenta diferencia entre regiones. La floración varía entre agosto a febrero para algunas regiones, para otras entre octubre a diciembre y los frutos maduran en 14 o 15 meses. Los frutos caen entre diciembre a febrero, siendo estos meses el pico de caída, sin embargo en algunas regiones amazónicas florecen entre los meses de setiembre a febrero y los frutos van cayendo entre enero a abril (pico de caída) (Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012; Mori, 1992). Los frutos redondos, que es una cápsula aproximadamente esférica, generalmente de 10 - 12.5 x 10 - 12.5 cm pero hasta 16 x 14 cm, con un peso que va desde 0.5 - 5 kg, de forma y tamaño variado incluso en un mismo árbol, contiene semillas de 10 – 25 por fruta (Mori y Prance, 1990; Mori, 1992). El coco de castaña como se lo conoce en la selva de Madre de Dios, es leñoso y muy duro, no se rompe al caer que ocurre después de la maduración.

2.2.1.1. Composición nutricional

La castaña es una nuez muy apreciada no sólo por su agradable sabor exótico, también porque es una nuez con un alto valor nutritivo. Los contenidos de lípidos totales, carbohidratos, fibra y proteína en la castaña son de 67.86 %, 10.71 %, 7.1 % y 14.29 % respectivamente, todos con un alto valor biológico, este último es rica en todos los aminoácidos esenciales, como la metionina y la cisteína. También es una buena fuente de: Selenio (Se), magnesio, fósforo, tiamina, niacina, vitamina E, vitamina B6, calcio, fierro, potasio, zinc y cobre (Yang, 2009; Cardoso et al. 2017; USDA, 2017).

Tabla 2. Composición nutricional de la castaña

Nutriente	100 g
Energía (kcal)	643
Proteína (g)	14.29
Total de lípido (g)	67.86
Hidratos de carbono, por diferencia (g)	10.71
Fibra, dieta total (g)	7.1
Azúcar, total (g)	3.57
Minerales	
Calcio, Ca (mg)	143
Hierro, Fe (mg)	1.29
Lípidos	
Ácidos graso, saturados totales (g)	16.07
Ácidos grasos, monoinsaturados totales (g)	25
Ácidos grasos, poliinsaturados totales (g)	25
Ácidos grasos, trans total (g)	0
Colesterol (mg)	0

Fuente: USDA Nutrient Database form standard reference (2017)

La castaña es una buena fuente de ácidos grasos insaturados, como los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), los niveles se observa en la tabla1 proveniente de la USDA Nutrient Database, (2017), se observa, un 16.07% de ácidos grasos saturados (SFAs), 25% de MUFAs y un 25% de PUFAs. Estas nueces contienen cerca del 7% de ácidos grasos omega-3 (ácidos α -linolénico) de la grasa total, lo restante de los ácidos grasos alrededor del 19% son ácido graso saturado principalmente palmítico y esteárico, y más de la mitad monoinsaturado (oleico), y un 25% poliinsaturadas el linoleico (omega-6) (Yang, 2009).

Ryan et al. (2006) y Kornsteiner-Krenn et al. (2013), determinaron el perfil de ácidos grasos de diferentes nueces, entre ellos la nuez de Brasil (castaña), los primeros usaron una extracción en frío bajo agitación por 1 hora usando hexano/isopropanol (3:2 v/v), los segundos una extracción Soxhlet usando éter de petróleo como disolvente. Los principales ácidos grasos saturados (SFAs) fueron el ácido palmítico (C16:0) y ácido esteárico (C18:0) con 13.50% y 11.77% respectivamente. El ácido oleico (C18:1) 29.09%, ácido linoleico (C18:2) 42.80% reportados los primeros; los segundos autores reportaron SFA un 17.6%, MUFA un 26.7 % y PUFA un 55.7%.

La castaña o también llamado nueces de Brasil, tienen en su composición la mayor concentración de selenio comparado con otras nueces comestibles y se le considera una de las fuentes alimenticias con el mayor contenido de selenio (Cardoso et al., 2017). La concentración de selenio (Se) en la castaña varía mucho en toda la región amazónica, desde 2.07 mg/ kg hasta 68.15 mg/ kg, esta variación está influenciada mucho por la concentración de Se en el suelo, la acidez del suelo, estos juegan un rol muy importante en la absorción de Se por la nuez (Silva et al., 2017). Las proteínas presentes en esta nuez tienen altas niveles de aminoácidos que contienen Se. Estos aminoácidos como la metionina aumentan la absorción de Se y otros minerales (Yang, 2009).

2.2.1.2. Posibles beneficios para la salud de la castaña

Las castañas o nueces de Brasil son apreciadas porque es una fuente rica en ácidos grasos insaturados, proteínas, fibra, micronutrientes, vitaminas y compuestos bioactivos, todos estos componentes contribuyen a la promoción de buena salud para el consumidor. La castaña es conocida como la fuente de alimento con más alto nivel del oligoelemento esencial, el selenio. El selenio reduce el proceso de envejecimiento y estimula el sistema inmune, protege contra enfermedades cardíacas y ciertas formas de cáncer. Sean descritos numerosos mecanismos por los cuales los componentes de la castaña pueden reducir el riesgo de contraer algún tipo de cáncer, aunque no está aclarado completamente. Así mismo, esta nuez es una buena fuente de compuestos fenólicos, con propiedades antioxidantes y fitoestroles, que pueden ayudar a la absorción del colesterol. La castaña tiene entre sus componentes al escualeno, este es precursor de los esteroides y un componente esencial de las hormonas. Todos estos componentes pueden hacer efecto en beneficio de la salud del consumidor de manera independiente y/o sinérgicamente entre si. Con las investigaciones realizadas en los efectos del consumo de la castaña en la salud, esta nuez tiene potencial para la prevenir las enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades crónicas (Cardoso et al., 2017; Yang, 2009)

2.2.2. Oxidación lipídica

Las grasas y el aceite son una mezcla de triacilglicerol (TAG) que se forman cuando tres ácidos grasos se esterifican con una molécula de alcohol o glicerol, los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados con diferentes números de carbono. La degradación de TAG se debe principalmente a las roturas producidas en el doble enlace carbono-carbono ($C=C$) de las cadenas alifáticas y el enlace éster, aumentando esta reacción con el aumento del doble enlace de los ácidos grasos, formándose compuestos de menor peso molecular al TAG principal. Por la tanto, los ácidos grasos como el omega-9, omega-6 y el omega-3 son altamente susceptibles a la oxidación (Zhang et al., 2012; Ahmed et al., 2016).

La oxidación lipídica es una secuencia de reacciones complejas inducidas por el oxígeno en presencia de iniciadores, como el calor, los radicales libres, la luz, los pigmentos fotosensibilizadores y los iones metálicos. Se sabe que la oxidación lipídica se da mediante reacciones secuenciales y superpuesta de radicales libres, que implica las 3 etapas, iniciación, propagación y terminación (Frankel, 2005 citado por Martínez-Yusta et al., 2014). Las reacciones de oxidación de aceites y grasas comestibles refinados generalmente se considera que consiste en las dos subcategorías de autooxidación y fotooxidación, la diferencia entre estas sub categorías radica en la diferencia de las condiciones o variables ambientales requeridas para dar inicio a las reacciones, como también difieren en el estado de orbitales de electrones de oxígeno molecular. Los estados de orbitales de oxígeno molecular se definen como oxígeno triplete ($^3\text{O}_2$) y oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), que están presente en los dos mecanismo de reacción. La formación de oxígeno singlete a partir del triplete puede ocurrir a procesos químicos, enzimas, descargas gaseosas y la descomposición de hidroperóxidos, en los alimentos ya mayoría de oxígeno singlete que se forma es resultado de la interacción de la luz, los fotosensibilizadores y el oxígeno triplete. La reacción de los ácidos grasos insaturados con el oxígeno singlete es autocatalítica y puede ser muy rápido (Kerrihard et al., 2015).

Como se mencionó, la etapa de iniciación se da por muchos factores como la luz, el calor y los iones metálicos. Esta primera etapa implica la descomposición homolítica de hidrogeno en la posición α en relación con el doble enlace en un grupo acilo insaturado, formándose radicales libres inestables que se estabiliza con un radical libre de hidrógeno de otra especie química. La etapa propagación implica la formación o producción de radicales peroxilo ($\text{ROO}^\bullet$), estos extraen hidrógeno de otros sustratos orgánicos y forman hidroperóxidos e hidróxidos. En esta etapa los radicales lípidos ($\text{R}^\bullet$) se comportan como sustrato de reacción y como producto. La etapa de propagación es una reacción circulatoria continua, promovida por la descomposición de hidroperóxido. La última etapa de la reacción incluye la combinación de radicales libres que impiden el paso de la propagación,

formándose compuestos homólogos de alcoholes moleculares pequeños como Aldehídos, cetonas, ácidos, lactonas, etc., esta última etapa (finalización) provoca la formación de moléculas estables (Zhang et al., 2012; Martínez-Yusta et al., 2014). En la figura 2 se observa el resumen de las reacciones.

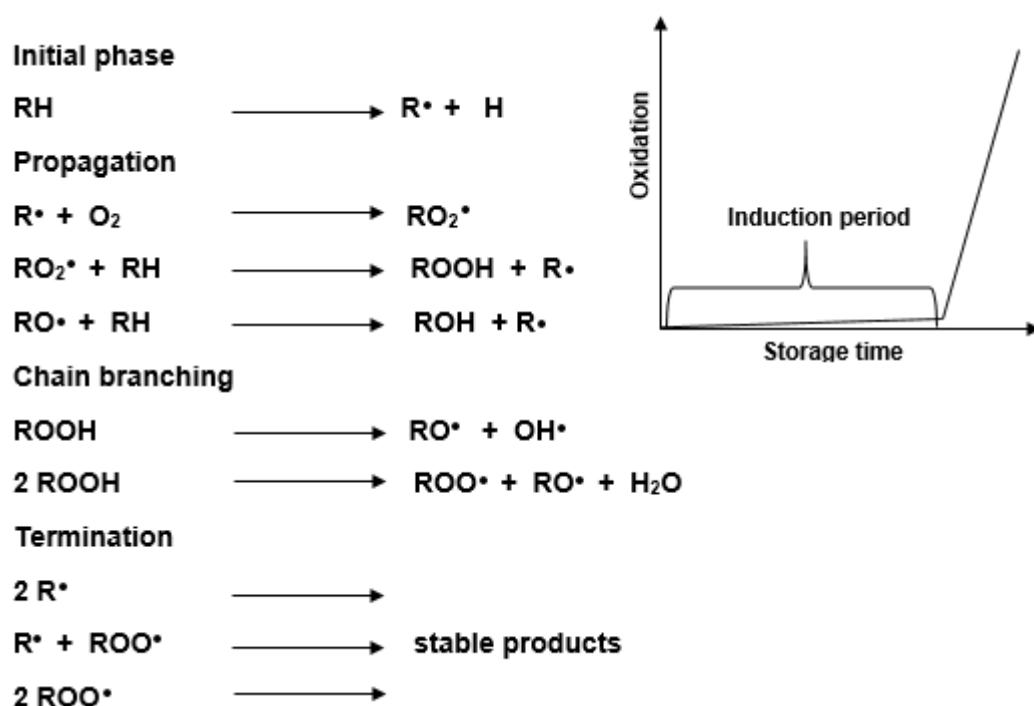


Figura 2. Etapas de oxidación lipídica

Fuente: Matthäus (2010)

Los ácidos grasos insaturados son muy inestables y su oxidación o descomposición puede afectar negativamente la calidad de los alimentos, producción de compuestos volátiles “rancios”, provocando el rechazo del consumidor, reduce la vida útil de alimentos complejos, reduce su composición nutricional, al limitar la absorción de omega-3 y omega-6 ácidos grasos esenciales y también podría afectar la salud de los consumidores, ya que en la oxidación se producen sustancias con propiedades mutagénicas, carcinogénicas y citotóxicas (Kerrihard et al., 2015; Böttcher et al., 2014; Keller et al., 2015).

2.2.3. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos comprenden un grupo diverso de moléculas clasificadas como metabolitos secundarios en plantas que tienen una amplia gama de estructuras y funciones (Haminiuk et al., 2012), una característica estructural común de todos los compuestos fenólicos es la presencia del anillo aromático y al menos un grupo hidroxilo (Kroll et al., 2003), estos compuestos tienen diferentes tamaños, incluye fenólicos muy simples como los ácidos hidroxibenzoicos, así como también grandes polímeros como taninos condensados y taninos hidrolizables con pesos moleculares altos (Tomás-Barderán y Espín, 2001). Los compuestos fenólicos encontrados en las plantas están principalmente glicosilados (Czubinski y Dwiecki, 2017).

Los compuestos fenólicos se puede clasificar en solubles en agua (ácidos fenólicos, fenilpropanoides, flavonoides y quinonas) e insolubles en agua (taninos condensados, ligninas y ácidos hidroxicinámicos unidos a las paredes celulares) (Haminiuk et al., 2012). Estos compuestos se sintetizan durante el desarrollo normal de la planta, así como una respuesta a diferentes situaciones, como el estrés y la radiación UV, entre otras (Naczek y Shahidi, 2004).

Los compuestos fenólicos tienen mucha relevancia en la calidad de los alimentos que tiene como materia prima a las plantas. Son relevantes para la apariencia y sabor de los productos alimenticios, así como imparten beneficios para la salud más allá de la nutrición básica (Kaur y Kapoor 2001; Tomás-Barderán y Espín 2001), Además, su presencia en los alimentos mejora la conservación de sus propiedades sensoriales de los productos e impide cambios potenciales durante el almacenamiento (Maqsood et al., 2014). La cantidad de compuestos fenólicos presente en los frutos depende en gran medida del grado de madurez, variedad, clima, composición del suelo, ubicación geográfica y condiciones de almacenamiento, entre otros factores (Belitz et al., 2009).

Los compuestos fenólicos tienen una alta actividad antioxidante. Como antioxidantes, pueden actuar de diversas maneras, incluyendo la eliminación de radicales libres, así como la inhibición de la actividad de muchas enzimas. También pueden actuar sinérgicamente, aumentando el efecto de otros antioxidantes. Gracias a su naturaleza hidrófoba-lipófila diversa, procedentes de diferencias estructurales, pueden estar presentes en el ambiente de polaridades diferentes (Czubinski y Dwiecki, 2017).

2.2.4. Capacidad antioxidante

El oxígeno, que se considera vital para la vida, también se dice que es tóxico. Su toxicidad se debe al proceso que origina los radicales libres (Kaur y Kapoor, 2001), las células están continuamente expuestas a los radicales libres que se producen mediante reacciones bioquímicas endógenas o como resultado de factores de estilo de vida externos (Ryan y Prescott, 2010).

Los radicales libres son moléculas altamente reactivas e inestables que tienen electrones no emparejados, reaccionan rápidamente con otros compuestos, tratando de capturar los electrones necesarios para ganar estabilidad, comenzando una reacción en cadena (Kaur y Kapoor, 2001). Los radicales libres han sido relacionados con la iniciación y progresión de enfermedades como cánceres, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Ryan y Prescott, 2010).

Los antioxidantes son moléculas que son capaces de inactivar los radicales libres y su acción (Haminiuk et al., 2012), donando uno de sus propios electrones (Kaur y Kapoor, 2001), proporcionando un papel importante en el sistema de defensa corporal contra especies reactivas de oxígeno (Noipa et al., 2011). Los antioxidantes no se convierten en radicales libres donando electrones porque son estables en cualquier forma (Kaur y Kapoor, 2001). Los compuestos fenólicos se consideran antioxidantes naturales, y las frutas son muy ricas en estos fitoquímicos (Haminiuk et al., 2012).

La actividad antioxidante utilizando métodos químicos se evalúa principalmente a través de: (I) métodos de transferencia de átomos de

hidrógeno (HAT) o (II) métodos de transferencia de electrones (SET). Los métodos más utilizados basados en el mecanismo HAT son: ORAC (capacidad de absorción de radicales oxígeno) y TRAP (potencial antioxidante total) (Prior et al. 2005). El ensayo ORAC mide la pérdida de fluorescencia de fluoresceína a lo largo del tiempo debido a la formación de radicales peroxilo por descomposición del iniciador AAPH (2, 2'-azobis-2-metilpropanimidamida, dihidrocloruro) a 37°C (Gupta, 2015).

El más utilizado basado en el mecanismo SET es: FRAP (capacidad de reducción férrica del plasma) (Prior et al. 2005), el ensayo FRAP utiliza antioxidantes como reductantes en un método colorimétrico redox, empleando un sistema oxidante en exceso estequiométrico a pH bajo (3,6), la reducción del complejo de tripiridil triazina férrico (Fe III TPTZ) a la forma ferrosa (que tiene un color azul intenso) se puede medir el cambio en la absorción a 593 nm (Gupta, 2015). También existen variantes que utilizan un átomo de Cu en vez de Fe (Prior et al., 2005).

Algunos métodos utilizan ambos mecanismos como: TEAC (capacidad antioxidante equivalente de Trolox) y DPPH (ensayo de 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil) (Prior et al. 2005). El ensayo de la capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) es un método espectrofotométrico basado en la capacidad de un antioxidante para eliminar el catión de radicales libres ABTS⁺ (Craft et al., 2012).

2.2.5. Tostado

El horneado y el tostado son procesamiento donde se usa aire caliente para alterar la calidad de los alimentos. Al igual que la deshidratación en el tostado se elimina agua por corriente de aire caliente (Fellows, 2017). El tostado mejora la seguridad microbiológica, la digestibilidad, la calidad sensorial y alarga la vida útil de los alimentos, siendo un proceso muy importante en el procesamiento de semillas y nueces para mejorar el sabor, el color y la textura (Durmaz y Gökmen, 2010). El proceso de tostado en nueces y granos tiene efecto sobre las propiedades sensoriales, químicas y nutricionales (Štěrbová

et al., 2016). En las nueces y semillas los lípidos son uno de los componentes principales (Durmaz y Gökmen 2010), el procesamiento térmico tiene efectos variados sobre la composición de los ácidos grasos de los aceites de semillas (Adu et al., 2013).

Lin et al. (2016), observaron que los ácidos grasos palmítico, linoleico, oleico, eláidico y esteárico aumentaron cuando tostaron las almendras (*Prunus dulcis*) a 150 y 180 °C por 5, 10 y 20 minutos, como también cuando se tostó a 200 °C por 5 minutos, sin embargo cuando se tostó a 200 °C por 10 y 20 minutos los mencionados ácidos grasos disminuyeron. Schlörmann et al. (2015), tostaron avellanas, almendras, nueces de macadamia, pistachos y nueces en diferentes temperaturas y tiempos, observaron que después de tostado la composición de los ácidos grasos no se vieron afectados. Yoshida y Takagi (1997), no observaron cambios en la composición de los ácidos grasos del aceite de sésamo cuando este fue tostado a una temperatura por debajo de los 200 °C, sin embargo cuando fue tostado a mayor temperatura 220 o 250 °C y mayor tiempo 15 o 25 min, se incrementó el ácido palmítico y oleico, y disminuyó el ácido linoleico.

El tratamiento térmico provoca cambios en la estructura celular en los alimentos de origen vegetal, lo que podría hacer disponible los compuestos fenólicos, y estos pueden beneficiar a la capacidad antioxidante (Štěrbová et al. 2016), el efecto del tostado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante es inconsistente principalmente debido a tiempo y temperatura del tostado, como también por los tipos de nueces (Adu et al. 2013). Otles y Selek (2012), observaron que el tostado de fruto de castaño (*Castanea sativa*) a 180 °C por 25 minutos incrementaron los compuestos fenólicos totales de 6.9 a 57.4 mg GAE / g (b.s) para la muestra proveniente de una provincia en estudio. Chandrasekara y Shahidi (2011), observaron que hay un incremento considerable de los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante en anacardos (con testa, sin testa y testa) cuando fueron tostados a 70 °C por 6 h. y 130 °C por 33 min, contrariamente a los estudios mencionados Schmitzer et al. (2011), observaron una disminución de compuestos fenólicos para algunos cultivares de avellana cuando estos fueron tostaron en un horno

eléctrico a 140 °C por 15 minutos. Jannat et al. (2010), tostaron semillas de sésamo a 180, 200 y 220 °C por 10, 15 y 20 min, la capacidad antioxidante aumentó significativamente a medida que se incrementaba la temperatura y tiempo de tostado.

2.3. Definición de términos

Tostado: es un método de tratamiento térmico que utilizado para procesamiento de alimentos calor seco (Oliviero et al., 2009).

Ácidos grasos: Con este término se conoce cualquier ácido monocarboxílico alifático que pueda liberarse por hidrólisis de las grasas naturales (Fennema, 2000).

Ácidos grasos esenciales: ácidos grasos poliinsaturados que no pueden ser sintetizados por los animales superiores (incluido el hombre) y como su función biológica es fundamental, deben ser suministrados en la dieta. Por este motivo reciben el nombre de ácidos grasos esenciales y son el ácido linoleico (omega-6) y el ácido α -linolénico (omega-3), que cumplen funciones importantes en el organismo (Pariona, 2008).

Autooxidación: La oxidación ocurre cuando un átomo cede un electrón a otro átomo distinto mediante el proceso de la reducción (Badui, 2012)

Compuestos fenólicos totales: Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios, que se producen en el ácido shikímico de las plantas y el fosfato de pentosa a través de la metabolización de los fenilpropanoides. Contienen anillos de benceno, con uno o más sustituyentes hidroxilo, y van desde moléculas fenólicas simples a compuestos altamente polimerizados (Randhir et al., 2004; Velderrain-Rodríguez et al., 2014).

Capacidad antioxidante: la capacidad antioxidante es un índice que describe la habilidad de los antioxidantes presentes en los alimentos para barrer los radicales libres previamente formados (Boekel et al., 2010)

Radicales libres: El término "radicales libres" significa cualquier especie molecular capaz de existencia independiente que contiene un electrón no apareado en un orbital atómico (Lobo et al., 2010)

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

Estudio explicativo. Tenemos la variable independiente (temperaturas) y las variables dependientes (ácidos grasos y compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa)

3.2. Diseño del estudio

Para evaluar la influencia de las diferentes temperaturas de tostado sobre la castaña se utilizó el Diseño completamente al azar (DCA).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : contenido de ácidos grasos con la temperatura i en la repetición j

μ_i : contenido de ácido graso promedio en la temperatura i

μ : contenido de ácido graso promedio general

$\tau_{(i)}$: efecto de la temperatura i

ε_{ij} : error experimental en la temperatura i , en la repetición j

De esta manera se analizará para cada variable dependiente.

Para las curvas estándares se utilizó regresión lineal simple.

$$Y_i = b_0 + b_1X_i + e_i$$

Donde:

Y_i : variable dependiente (absorbancia)

X_i : variable independiente (concentración)

b_0 : parámetro desconocido llamado intercepto

b_1 : parámetro desconocido llamado coeficiente de regresión

e_i : residual en la i-ésima observación

3.3. Población de muestra

La población está representada por el universo de la recolección de la nuez de castaña, sin embargo, las muestras fueron tomadas aleatoriamente en la ciudad de Puerto Maldonado. La muestra fue de 300 g por ensayo.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Análisis Fisicoquímicos, de la Facultad de Industrial Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.4.2. Materiales, reactivos y equipos

3.4.2.1. Materiales

- Beakers de 50, 100, 250, 500 ml
- Fiolas de 10, 100 ml
- Tips de 10-200 μ l, 100 – 1000 μ l y 1000 – 5000 μ l
- Porta tips
- Micropipetas 10-200 μ l, 100 – 1000 μ l y 1000 – 5000 μ l
- Tubos eppendorf de 1.5 y 2 ml
- Gradilla para tubos eppendorf
- Matraz erlenmeyer de 125 y 250 ml

- Probetas de 25, 50, 100 y 250 ml
- Frascos ambar con tapa rosca de 10 y 20 ml
- Papel filtro Whatman N° 1, 42
- Matraz kitasato de 250 y 500 ml
- Tubos Falcon de 15 y 50 ml
- Tubos de vidrio con tapa rosca
- Pipeta de 10 ml
- Tela poliéster
- Placas de Petri
- Tamices N° 2, 20 y 40
- Embudo Büchner
- Pinzas
- Crisoles
- Bureta de 25 ml
- Soporte universal

3.4.2.2. Reactivos

- ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) $\geq$ 98% (Sigma-Aldrich, USA)
- Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico) 97% (Sigma-Aldrich, Rusia)
- Folin- Ciocalteau 2N (CDH, India)
- Persulfato de potasio (CDH, India)
- Ácido gálico monohidratado (HIMEDIA, India)
- Carbonato de sodio (J.T. Baker, USA)
- Isooctano (Merck, Alemania)
- Ácido acético glacial (J.T. Baker, USA)
- Metanol (grado HPLC, J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Eter de petróleo (J.T. Baker, USA)
- Ésteres metílicos de 37 ácidos grasos. Estándar FAMES 37 Comp. FAME Mix 10 mg/mL, (SUPELCO, EE.UU.)
- Ácido graso C11:0 (SUPELCO, EE.UU.)

- Hexano (J.T. Baker, USA)
- Alcohol etílico (J.T. Baker, USA)

3.4.2.3. Equipos

- Balanza analítica (OHAUS, modelo AR2140, USA)
- Balanza analítica (Pesacon, HR-250AZ, Corea)
- Centrifuga (Heal Force, Neofuge 18 R, China)
- Vortex (Scientific Industries, Inc., Vortex Genie 2, USA)
- Cromatógrafo de gases CG-2010 Plus SHIMADZU (Kyoto, Japan) con autoinyector AOC-20i SHIMADZU con columna Zebron ZB-FAME (Phenomenx, PA) (0.15 µm, 20 m x 0.18 mm ID)
- Agitador magnético (HANNA, HI 200M, Alemania)
- Espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys20, USA)
- Molino de cuchillas (Reatsch, GM200, Alemania)
- Molino de laboratorio (Perten Instruments, Laboratory Mill 3100)
- Agitador orbital (Lab. Companion, SK-300, Corea)
- Equipo Soxhlet (Behrotest, EZ 100H, Alemania)
- Baño termostático de enfriamiento (LAUDA, ALPHA RA8)
- Baño de ultrasonido (Ultrasonic Cleaner, UCS-05,)
- Campana extractora (C4 CONTROL de CONTAMINACION Ltda., Colombia)

3.4.3. Métodos de análisis

El análisis proximal a las castañas antes de tostar se realizó siguiendo los métodos que a continuación mencionamos.

3.4.3.1. Determinación de proteína

Se determinó por el método Kjeldahl, método 2.057 de la AOAC (1990).

3.4.3.2. Determinación de humedad

Se determinó por el método gravimétrico porcentual, método 14.003 de la AOAC (1990).

3.4.3.3. Determinación de lípidos

Se determinó por el método de Soxhlet, método 963.15 de la AOAC (1990) utilizando éter de petróleo.

3.4.3.4. Determinación de cenizas

Se determinó por combustión de la materia orgánica en una mufla a 500 °C, método 14.006 de la AOAC (1990).

3.4.3.5. Determinación de fibra cruda

Se determinó según el método 978.10 de la AOAC (1990).

3.4.3.6. Determinación de carbohidratos

Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia de porcentaje de humedad, proteína, lípidos, cenizas y fibra (Blanco-Metzler et al., 2009).

A continuación damos a conocer los métodos usados para los diferentes ensayos para evaluar el efecto del tostado sobre la castaña.

3.4.3.7. Determinación de peróxido

Se realizó siguiendo el método recomendado de la AOAS 965.33 (1998). Se pesaron 5 g de aceite de castaña (extraídas por presión 4000 psi por 10 min en una prensa hidráulica) en un matraz Erlenmeyer esmerilado de 250 ml, se añadió 30 ml de una solución de ácido acético:cloroformo (3:2; v/v), se disolvió la muestra. Luego se añadieron 0.5 ml solución saturada de yoduro de potasio usando una micropipeta y se dejó reposar con agitación ocasional durante un minuto. Pasado el minuto se adicionó 30 ml de agua destilada y 1 ml de

solución de almidón al 1%. Luego, se procedió a titular con tiosulfato de sodio 0.01 N estandarizado hasta la desaparición del color azul. Los resultados se expresaron en miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite (meq O₂/Kg aceite).

3.4.3.8. Determinación de *p*-anisidina

Se realizó siguiendo el método recomendado de la IUPAC (1987). Se pesaron 4 g del aceite de castaña (extraídas por presión 4000 psi por 10 min en una prensa hidráulica) en un tubo de centrifuga de 15 ml, se añadió 7 ml de isooctano, se agitó los tubos en un vortex hasta la disolución del aceite. Luego se tomaron las lecturas de la absorbancia a 350 nm (Ab). Seguidamente se tomó una alícuota de 5 ml, estos fueron colocados en un tubo de vidrio, se añadió un 1 ml del reactivo de *p*-anisidina, se agitó hasta conseguir homogenizar y luego se dejó en reposo por 10 minutos. También se preparó un blanco para calibrar el espectrofotómetro siguiendo todos los pasos anteriores con la única diferencia que en lugar de la muestra se puso 5 ml de isooctano. Exactamente después de los 10 minutos, se tomaron las lecturas de la absorbancia a 350 nm (As).

3.4.3.9. Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT)

Preparación de la muestra. La castaña se trituró usando un molino de laboratorio. La harina de castaña molida se desgrasó mezclando con hexano (1: 5 p/v, 5 min) en un agitador magnético a temperatura ambiente para eliminar los lípidos. Las muestras desgrasada se expusieron a temperatura ambiente para eliminar los restos del solvente y se usaran inmediatamente para la extracción de fracciones fenólicas.

Extracción de compuestos fenólicos totales. Para la extracción se realizó como lo indica Oliveira-Alves (2017) con modificaciones. Se extrajo de 1 g de semilla molida desgrasada con 10 ml de solución de metanol: agua (80:20, v/v), se agitó por un tiempo de 10 s en un vórtex, las muestras se colocaron inmediatamente en un baño de ultrasonido, la extracción se realizó a 40 kHz

de frecuencia de ultrasonido y 120 W de potencia durante 30 minutos. Pasado el tiempo en el ultrasonido las muestras se centrifugaron a 4000 rpm por 15 minutos a 4 °C, el sobrenadante se almacenó en -20 °C hasta su análisis.

Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT). El contenido de compuestos fenólicos totales (CPT) fue determinado mediante el método Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965), como lo describe Chirinos et al. (2016). Se mezclaron 500 µL del extracto con 1250 µL de solución de carbonato de sodio al 7.5% y 250 µL reactivo de Folin-Ciocalteu 1 N. Se homogenizó con ayuda de un vórtex y se dejó reaccionar durante 30 min en oscuridad a temperatura ambiente. Posteriormente se midió la absorbancia a 755 nm. Se corrió un blanco usando agua en lugar de la muestra. El ácido gálico se utilizó para la curva estándar (Anexo 1). Los resultados se expresaron en términos de equivalente de ácido gálico (GAE) en mg/g de castaña desgrasada. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra analizada.

3.4.3.10. Determinación de la capacidad antioxidante por método del radical ABTS²⁺

La capacidad antioxidante por el método ABTS se realizó como lo reporta Arnao et al. (2001) con algunas modificaciones descrito por Chirinos et al. (2013). La solución madre es una solución ABTS 7,4 mM y una solución 2,6 mM de persulfato potásico. La solución de trabajo para el día, se preparó mezclando las dos soluciones madre en cantidades iguales y haciéndole reaccionar durante 12 h a temperatura ambiente en la oscuridad. La solución se diluyó mezclando 1 ml de solución ABTS con 60 ml de metanol hasta obtener una absorbancia de $1,1 \pm 0,02$ a 734 nm. 150 µL del extracto se mezclaron con 2850 µL de ABTS y se dejó reaccionar hasta que se alcance una absorbancia estable, siempre protegido de la luz. Se leyó la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro UV/Vis, se blanqueó con metanol, se utilizó metanol:agua (80:20, v/v) como control. Se utilizó el trolox para la curva estándar (Anexo 2). La actividad antioxidante se expresó como µmol de equivalentes Trolox (TE) por g de castaña desgrasada.

3.4.3.11. Contenido de ácidos grasos

La composición de los ácidos grasos (FAs) se determinó mediante cromatografía de gases según el método adaptado de Chirinos et al. (2015). Los FAs de las muestras de aceite de castaña (extraídas por presión 4000 psi por 10 min en una prensa hidráulica) se convirtieron en ésteres metílicos (FAMES). Los FAMES se separaron inyectando 1 μ L de la solución en un GC-2010 Plus Shimadzu (Kyoto, Japón) equipado con un detector de ionización de llama FID-2010 y un autoinyector AOC-20i. La columna utilizada fue una Zebron ZB-FAME (Phenomenx, PA) (0.15 μ m, 20 m x 0.18mm ID). La temperatura del horno se programó de la siguiente manera: inicialmente, la temperatura era de 80 °C (durante 1,5 min), luego aumentó: a 160 °C a 40 °C /min, a 185 °C a 6 °C/min, a 260 °C a 18 °C/min y hubo un período isotérmico de 2 min a 260 °C. Las temperaturas del inyector y del detector se fijaron a 250 y 260 °C, respectivamente. Se utilizó helio de alta pureza como gas portador. Los FAMES se identificaron y cuantificaron comparando sus tiempos de retención con los estándares conocidos previamente inyectados. Las curvas de calibración con diferentes concentraciones de ésteres metílicos de ácidos grasos (Anexo 3). Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido graso.

3.4.4. Metodología experimental

Las operaciones realizadas antes y después del tostado de la castaña se observa en la figura 3 y el detalle de cada una se describe a continuación.

Castaña.- las castañas fueron conseguidas aleatoriamente en el mercado de la ciudad de Puerto Maldonado, estas tuvieron un color y textura característica y sin ninguna tipo de deterioro causado por efecto físico y/o microbiológico.

Limpieza y selección.- se retiró las partículas extrañas que podrían estar presente en las nueces. Se seleccionarán las nueces en buen estado, los cuales fueron utilizados en el estudio.

Tostado.- se colocaron las Castañas en un horno con circulación de aire. Se tostaron a temperaturas de 100, 120 y 140 °C y para cada una de las temperaturas se considera un tiempo de 15 min. Cada muestra fue de 300 g se nuez. Además, se tostó en las mismas condiciones de un productor de castaña confitada (130 °C por 25 min promedio, 5 kilos de castaña). Después del tostado, las castañas fueron designadas por un lado para la extracción de aceite y por otro, para la molienda para luego realizar la extracción de compuestos fenólicos.

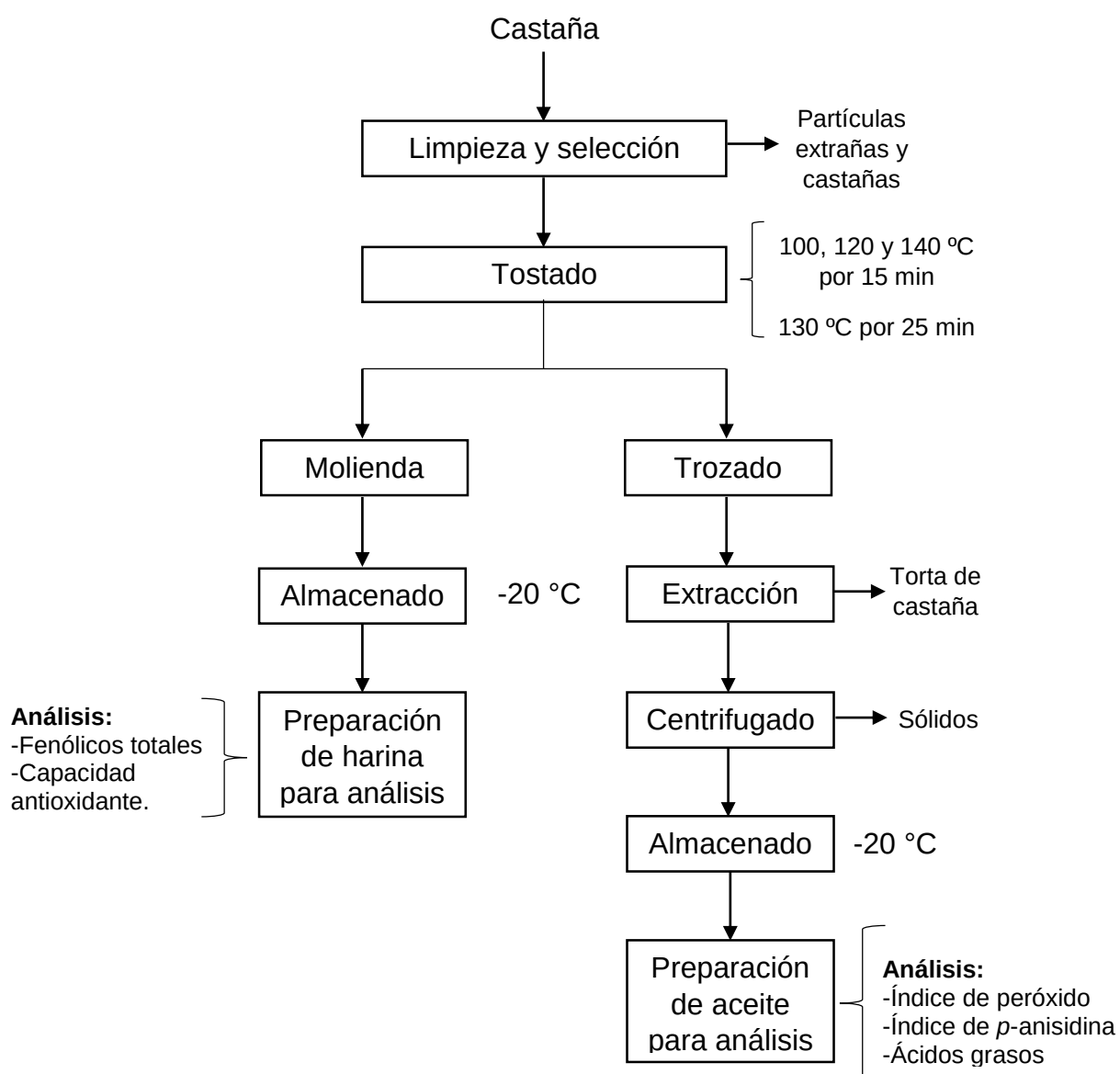


Figura 3. Flujo de operaciones antes y después del tostado de la castaña

Obtención de harina de castaña para la extracción de CFT

Molienda.- las nueces tostadas fueron molidas a un tamaño de partícula menor a 1mm, para mejorar la extracción de los CFT, luego fue inmediatamente almacenado.

Almacenado.- la harina de castaña fue almacenada a -20 °C en bolsas selladas hasta el momento de su análisis.

Preparación de harina para análisis.- la harina de castaña se preparó para la extracción de los CFT, se empezó con el pesado para el desgrasado y se siguió como se indica en el punto 3.4.3.9.

Obtención de aceite de castaña para los diferentes análisis

Trozado.- se realizó para reducir el tamaño de las nueces para una mejor extracción de aceite.

Extracción.- se utilizó 200 g de castaña en trozos. La extracción se realizó en una prensa hidráulica a una presión de 4000 psi por 10 min a temperatura ambiente.

Centrifugado.- se realizó a 4000 rpm por 15 min, en estas condiciones se logró la separación del aceite crudo de las partículas en suspensión provenientes de la torta, teniendo al final un aceite transparente.

Almacenado.- el aceite obtenido luego de la centrifugación, se almacenó en frascos ámbar a -20 °C, hasta el momento de los análisis.

Preparación de aceite para análisis.- el aceite extraído se preparó para realizar los diferentes análisis como índice peróxido, índice de p-anisidina, ácidos grasos, ya descritos en la parte de métodos de análisis.

3.4.5. Diseño experimental

El presente estudio trató de la evaluación de la influencia de la temperatura de tostado en los ácidos grasos, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de la castaña (*Bertholletia excelsa*). Los experimentos se realizaron siguiendo el esquema experimental que se muestra en la Figura 4.

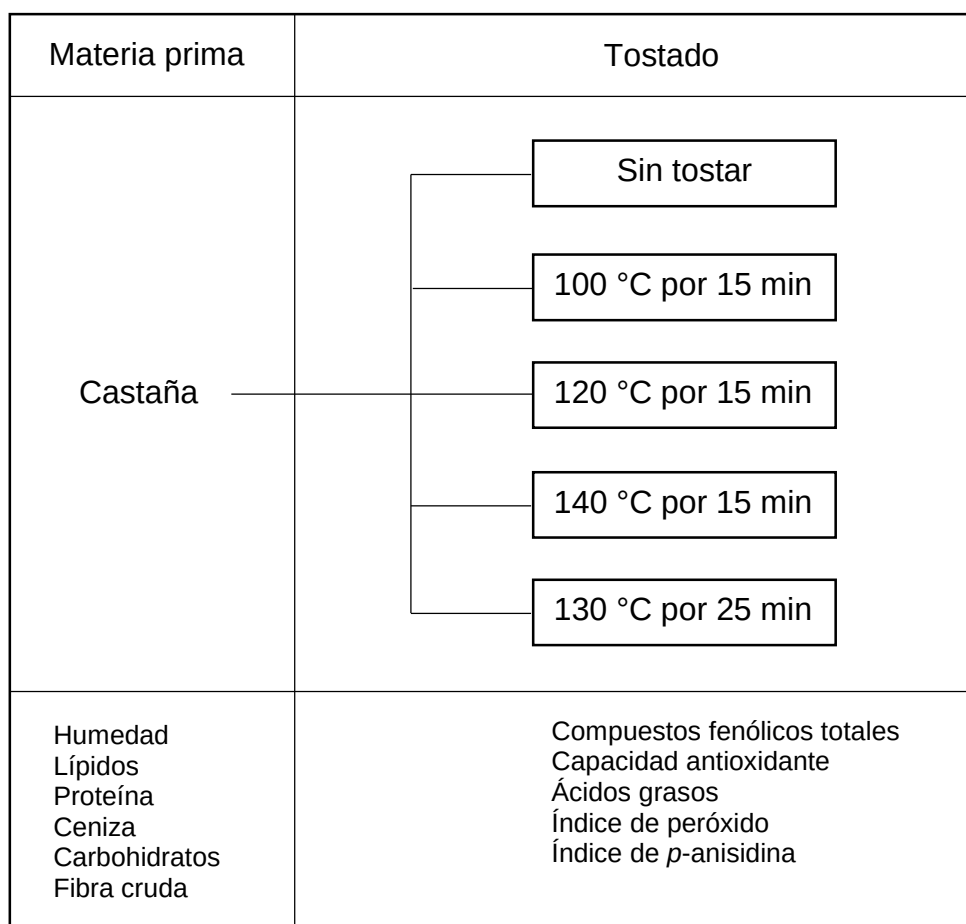


Figura 4. Esquema experimental para evaluar la influencia de la temperatura de tostado en la castaña.

3.5. Tratamiento de los datos

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANVA) y posteriormente se aplicó la prueba de comparaciones de medias Tukey para identificar las diferencias

significativas. Se consideraron diferencia significativa a $p < 0.05$. Los resultados se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar de al menos 3 repeticiones independientes. Todos los análisis se realizaron con el software Minitab 18 versión de prueba. Para las curvas estándar se utilizó regresión lineal simple y se procesó los datos en Excel 2013.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis proximal

Los promedios con sus respectivas desviaciones estándar (SD) del análisis proximal en base seca de la castaña se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis proximal de la castaña

Componente (g/100 g)	Castaña
Humedad (%)	3.65 ± 0.02
Ceniza	3.32 ± 0.04
Lípidos	68.36 ± 0.11
Proteína ^b	19.15 ± 0.13
Fibra	2.01 ± 0.08
Carbohidrato ^a	9.17 ± 0.05

Datos expresados en base seca (b.s)

Promedio ± SD de tres repeticiones.

^a Contenido de carbohidratos calculado por diferencia.

^b Proteína (N x 6.25)

El promedio de los resultado obtenido para el análisis de ceniza es de 3.32 g/100 g, un resultado igual a los de este estudio reportaron Santos et al. (2013), así mismo, Felbert et al. (2009), obtuvieron un valor de 3.42 g/100 g, resultado muy cercado al de este estudio, Neto et al. (2009) reporta 4.32 g/100 g. Este resultado nos da indicios que la castaña es rica en compuestos inorgánicos.

El promedio obtenido para el análisis de proteína es de 19.15 g/100 g, al comparar este valor, con los de otros estudios, las diferencias son insignificantes, como en el estudio de Santos et al. (2013), que encontraron 18.58 g/100 g, Neto et al. (2009) 16.5 g/100 g, mientras que Felbert et al. (2009), reporta un valor más bajo 14.35 g/100 g. Confirmando de esta manera que la castaña es una fuente importante de proteínas.

En este estudio se encontró un contenido de 68.36 g/100 g de lípidos. En otros estudios como Santos et al. (2013), 67.2 g/100 g, Neto et al. (2009) 68.58 g/100 g, por otro lado Felbert et al. (2009), reportó un valor más alto, 70.62 g/100 g, así mismo, Miraliakbari y Shahidi (2008) reportan, 67.4% (extraído con hexano) y 68.9% (extraído con metanol/cloroformo), y el valor reportado más cercano al resultado de este estudio fue por Kornsteiner et al. (2006), 68.3% de contenido de grasa. En general los datos de otros estudios están muy cercanos a lo encontrado en este estudio y en los diferentes estudios el rango del contenido de grasa es de 60 a 70%.

En este estudio se encontró un contenido de 2.01 g/100 g de fibra cruda, 9.17 g/100 g de carbohidrato, estos resultados está muy cerca a lo encontrado por otros estudios como la de Santos et al. (2013) y Felbert et al. (2009). Neto et al. (2009), encontraron 5.69 g/100 g de carbohidratos.

En general, los resultados obtenidos son muy parecidos a los reportados en otras investigaciones, sin embargo, las diferencias que pueden existir, puede ser por diversos factores, como la ubicación geográfica, la precipitación, la luz solar, composición del suelo, temporada de cosecha, condiciones ambientales, entre otros factores que pueden tener una influencia en la composición de los frutos secos. Además, de los ya mencionados, otras variables pueden influir, estos pueden ser relacionados a los análisis, las técnicas y metodologías (Kornsteiner et al. 2006; Santos, 2012)

Con los resultados obtenidos no hay duda que la castaña tiene un alto valor nutritivo. Moodley et al. (2007) estudia la composición química de 5 nueces entre ellas la castaña, encontró que tiene la mayor cantidad de proteínas (22 g/100 g) seguido de las nueces (20 g/100 g), con respecto al aceite (65 g/100 g) detrás de macadamia (76 g/100 g), en la tabla 4 se observa los resultados de su estudio.

Tabla 4. Composición química proximal (g por 100 g de masa seca) de las muestras de nueces.

Muestra	Aceite	Ceniza	Proteína	Carbohidrato*
Macadamia (<i>Macadamia integrifolia</i>)	76.0 ± 0.5	4.0 ± 0.1	13.0 ± 0.3	7.0 ± 0.2
Pecana (<i>Carya pecan</i>)	65.0 ± 0.6	6.0 ± 0.1	8.0 ± 0.3	21.0 ± 0.8
Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)	65.0 ± 1.1	4.0 ± 0.2	22.0 ± 0.3	9.0 ± 0.4
Nuez (<i>Juglans nigra</i>)	57.0 ± 0.5	2.0 ± 0.1	14.0 ± 0.2	27.0 ± 1.4
Almendras (<i>Prunus dulcis</i>)	47.0 ± 0.4	5.0 ± 0.1	20.0 ± 0.2	28.0 ± 0.6

* Carbohidrato obtenido al restar la cantidad de aceite, ceniza y proteína de la materia seca total (100 g).

Fuente: Moodley et al. (2007)

4.2. Efecto del tostado sobre la estabilidad oxidativa del aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*)

4.2.1. Índice de peróxido

En la tabla 5 se presenta los resultados del índice de peróxido del aceite de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por productor de castaña confitada.

Tabla 5. Índice de peróxido del aceite obtenido de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor

Tratamiento	Índice de peróxido (meq O ₂ / Kg de aceite) ^{1,2}
Sin tostar	0.75 ± 0.02 ^d
130 °C por 25 min (productor)	0.87 ± 0.02 ^c
100 °C por 15 min	0.86 ± 0.02 ^c
120 °C por 15 min	3.75 ± 0.01 ^b
140 °C por 15 min	4.44 ± 0.03 ^a

¹ promedio ± SD de tres repeticiones.

² valores de la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05)

El índice de peróxido encontrado para este estudio fue 0.75 meq O₂/kg de aceite en las castañas sin tostar, valor muy cercano a los 0.970 meq O₂/kg encontrado por Ferreira et al. (2006), mucho más bajo que lo reportado por Santos et al. (2013), Santos et al. (2012), 4.06 meq O₂/kg y Neto et al. (2009), 2.92 meq O₂/kg. Así mismo Santos et al. (2012), encontró los valores de peróxido de 2.93 y 2.99 meq O₂/kg para aceites extraídos con éter de petróleo

y hexano respectivamente. Sin embargo es mayor a los 0.047 meq/kg (extracción con hexano) y 0.030 meq/kg (extracción metanol/cloroformo) encontrado por Miraliakbari y Shahidi (2008). El índice peróxido es un parámetro de calidad frecuentemente usado que evalúa las etapas iniciales de la oxidación (Santos et al., 2013; Santos et al., 2012). El valor obtenido en el presente estudio es inferior al valor máximo recomendado para el aceite virgen prensado en frío, siendo este valor máximo de 15 meq de O₂/kg de aceite, recomendado por el Codex Alimentario (2003).

El índice de peróxido (IP) de las castañas sin tostar, tostadas por un productor, tostadas a 100, 120 y 140 °C fueron 0.75, 0.87, 0.86, 3.75 y 4.44 meq O₂/kg de aceite respectivamente. Existe un incremento del IP siendo directamente proporcional con la temperatura (tabla 5), habiéndose encontrado diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los resultados obtenidos. El incremento del peróxido por efecto de la temperatura de tostado reportaron también otras investigaciones, como Hosseini Bai et al. (2017), tostaron nueces (*Canarium indicum* L.) a 110, 120 y 150 °C por 5, 10 y 20 min observaron un incremento del IP conforme aumenta la temperatura y tiempo, sin embargo disminuyó significativamente cuando tostaron a 150 °C por 10 minutos con respecto a la muestra sin tostar, también Yoshida y Takagi (1997), tostaron semillas de sésamo (*Sesamum indicum*), 160, 180, 200, 220 and 250 °C por 5, 10, 15, 20 y 25 minutos, observaron que el valor de peróxido se incrementó conforme se incrementa el tiempo y temperatura de tostado, teniendo el menor valor en las semillas sin tostar (1.42 meq/kg) y el mayor valor de peróxido a 250 °C por 25 minutos (7.07 meq/kg). La misma tendencia observaron Kita y Figiel, (2007) en nueces, Aljuhaimi y Özcan, (2017) en maní, Chirinos et al. (2016) cuando tostaron sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*) a 100, 120, 140 y 160 °C por 10, 20 y 30 min el IP se incrementó hasta que en 160 °C a 20 disminuyó.

Las nueces son propensas a la rancidez debido al alto contenido de ácidos grasos insaturados (Walton et al. 2017). La castaña tiene un alto contenido de aceite, aproximadamente 68% (tabla 3), de estos un 32% es ácido oleico y 42% ácido linoleico (tabla 7), el alto contenido de ácido linoleico es un

potencial para el desarrollo de rancidez oxidativa (St. Angelo et al. 1996), cuando se inicia la oxidación empieza a producirse una gran variedad de productos a través de la peroxidación de los lípidos (Kerrihard et al. 2015). El tostado de las nueces y semillas incrementa los productos de oxidación primario (hidroperóxidos) y secundarios (aldehídos / cetonas) (Durmaz y Gökmen 2010). En el presente estudio se incrementó el valor de peróxido, siendo este incremento muy por debajo a valores recomendados para aceites, sin embargo, podría ser que la oxidación de lípidos se acelere en el almacenamiento en comparación de las nueces sin tostar, ya que se alteró la estructura, tal como lo menciona Kita y Figiel (2007).

4.2.2. Índice de *p*-anisidina

En la tabla 6 se presenta los resultados del índice de *p*-anisidina del aceite de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por productor de castaña confitada.

Tabla 6. Índice de *p*-anisidina del aceite obtenido de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.

Tratamiento	Índice de <i>p</i> -anisidina ^{1,2}
Sin tostar	0.09 ± 0.00 ^d
130 °C por 25 min (productor)	0.46 ± 0.05 ^b
100 °C por 15 min	0.27 ± 0.03 ^c
120 °C por 15 min	0.44 ± 0.04 ^b
140 °C por 15 min	0.88 ± 0.03 ^a

¹ promedio ± SD de tres repeticiones.

² valores de la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05)

El índice *p*-anisidina encontrado para este estudio fue de 0.09 para las muestras sin tostar (tabla 6), este valor es muy cercano al 0.189 (extracción con hexano) y por debajo a 0.821 (extracción metanol/cloroformo) reportado por Miraliakbari y Shahidi (2008) para aceite de castaña, y cercano al valor de 0.120 de aceite de almendras reportado por los mencionados autores, así mismo, cerca del valor reportados por Chirinos et al. (2016) de 0.21 para aceite de sachá inchi y Ixtaina et al. (2012) de 0.3 para aceite de chía.

Existe un ligero aumento del índice de *p*-anisidina conforme aumenta la temperatura de tostado (tabla 6) desde 0.09 en muestras sin tostar hasta los 0.88 tostadas a 140 °C, encontrándose diferencia significativa ($p < 0.05$). La misma tendencia también encontraron Yoshida y Takagi (1997), cuando tostaron semillas de sésamo (*Sesamum indicum*), 160, 180, 200, 220 y 250 °C por 5, 10, 15, 20 y 25 minutos, el valor *p*-anisidina se incrementó conforme se incrementó el tiempo y temperatura de tostado, no detectándose en las semillas sin tostar y teniendo el mayor valor en las semillas tostadas a 250 °C por 25 minutos (15.66), estos autores, indican que los compuestos de oxidación secundaria reflejado en los valores encontrados estarían más disponibles que los valores de peróxido después del tostado. Chirinos et al. (2016) también encontraron el mismo comportamiento cuando tostaron sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*) el índice de *p*-anisidina aumentó lentamente a medida que la temperatura de tostado alcanzó los 160 °C.

Debido al tostado hay una disminución de la actividad de agua, esto aumenta la oxidación. Los peróxidos formados en la primera etapa de la oxidación no son estables y comienzan a descomponerse a carbonilos con bajo peso molecular cuando se incrementa la temperatura de tostado (Hosseini Bai et al. 2017; Özdemir et al. 2001), formándose principalmente aldehídos y cetonas que reaccionan fácilmente con el *p*-anisidina (Kamal-Eldin, 2010). La prueba de *p*-anisidina implica la medición de productos formados en la oxidación secundaria de lípidos (Kerrihard et al. 2015).

4.3. Efecto del tostado sobre los compuestos bioactivos de la castaña (*Bertholletia excelsa*)

4.3.1. Contenido de ácidos grasos

Se determinó el contenido de ácidos grasos de la castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por productor de castaña confitada. En la tabla 7 se presentan los resultados.

Tabla 7. Contenido de ácidos grasos (%) de la castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.

Ácidos grasos (%) ^{1,2}	Condiciones de tostado				
	Sin tostar	130 °C por 25 min (productor)	100 °C por 15 min	120 °C por 15 min	140 °C por 15 min
Palmítico	14.3 ± 0.2 ^a	13.9 ± 0.3 ^{abc}	13.7 ± 0.3 ^{bc}	13.6 ± 0.1 ^c	14.2 ± 0.1 ^{ab}
Esteárico	10.5 ± 0.1 ^c	11.9 ± 0.2 ^a	11.1 ± 0.1 ^b	10.8 ± 0.0 ^b	12.2 ± 0.1 ^a
Oleico	32.4 ± 0.2 ^a	32.1 ± 0.1 ^a	31.2 ± 0.2 ^b	30.0 ± 0.0 ^c	30.7 ± 0.3 ^b
Linoleico	42.8 ± 0.2 ^c	41.9 ± 0.2 ^d	44.0 ± 0.2 ^b	45.5 ± 0.2 ^a	42.9 ± 0.2 ^c
SFA*	24.8 ± 0.1	25.8 ± 0.2	24.8 ± 0.4	24.5 ± 0.1	26.4 ± 0.1
MUFA**	32.4 ± 0.2	32.1 ± 0.1	31.2 ± 0.2	30.0 ± 0.0	30.7 ± 0.3
PUFA***	42.8 ± 0.2	41.9 ± 0.2	44.0 ± 0.2	45.5 ± 0.2	42.9 ± 0.2

¹ Promedio ± SD de tres repeticiones.

² Valores en la misma fila seguidos de la misma letra no son significativamente diferente (p>0.05)

* Ácidos grasos saturados

** Ácidos grasos monoinsaturados

*** Ácidos grasos poliinsaturados

En el anexo 4 se observa los cromatogramas de los ácidos grasos para las diferentes temperaturas de tostado. Los resultados de los ácidos grasos obtenidos en el presente estudio para la castaña sin tostar, nos indica que es una nuez rica en ácidos grasos insaturados, con un 75.2% de estos, y un 24.8% de los ácidos grasos saturados (tabla 7). Los ácidos grasos con mayor relevancia encontrados en las castañas sin tostar son los insaturados como el oleico (32.4%), linoleico (42.8%) siendo estos el omega 9 (ω-9), omega 6 (ω-6) respectivamente. También se encontró el ácido palmítico (14.3%) y esteárico (10.5%), representando estos al grupo de ácidos grasos saturados. La composición de los ácidos grasos de la castaña reportados por otras investigaciones como por Santos et al. (2013), mostró valores más altos en el ácido oleico 36.26% y esteárico 11.19%, más bajo con respecto al ácido linoleico 37.53% y palmítico 14.24%, por otro lado, Rodrigues et al. (2005), reportan valores del ácido oleico de 30.68%, linoleico 42.12%, palmítico 15.86% y esteárico 11.34%, resultados similares encontrados en este estudio. Además, en otras investigaciones como Neto et al. (2009), Chunhieng et al. (2008) y Ceriani et al. (2008), encontraron que los ácidos grasos con mayor presencia en el aceite de castaña son el palmítico, esteárico, oleico y linoleico. Estos resultados son similares los resultados de este estudio. En la tabla 8 se

observa los ácidos grasos en la castaña reportados en el presente estudio y en otros estudios.

Tabla 8. Composición de ácidos grasos (%) encontrados en la castaña

Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Linolénico	Autores
12.0	10.4	41.2	36.1	-	Assunção et al. (1984)
14.24	11.19	36.26	37.53	0.076	Santos et al. (2012)
15.45	12.83	31.95	39.14	0.10	Neto et al. (2009)
17.9	9.9	31.2	38.8	-	Derewiaka et al. (2014)
14.3	14.3	32.3	42.8	-	Presente estudio

Observando estudios en otras nueces, Miraliakbari y Shahidi, (2008), ellos estudiaron la composición de lípidos de diferentes nueces de árbol, los ácidos grasos como el palmítico, esteárico y el linoleico presente en el aceite de castaña encontrados en este estudio son mayores a los de las almendras, avellanas, pecanas y pistacho, sin embargo, menor en el contenido del ácido graso oleico; por otro lado, en este mismo estudio el aceite de castaña tiene un mayor contenido de los ácidos grasos palmítico, esteárico y oleico, pero tiene menor contenido de ácido grasos linoleico, en comparación con la nuez de piñon y la nuez.

El ácido palmítico disminuyó cuando las castañas se tostaron por el productor, 100 y 120 °C, mientras que el tostado de 140 °C no hubo cambios en este ácido graso. El ácido esteárico se incrementó ligeramente con el tostado a 100 y 120 °C, se vio mayor incremento en los tostados por el productor y 140 °C. El ácido oleico disminuyó al tostar a 100, 120 y 140 °C, sin embargo cuando fue tostado por el productor no hubo cambios. El ácido linoleico, se incrementó cuando se tostó a 100 y 120 °C, pero hubo cambios con el tostado de 140 °C, sin embargo disminuyo con el tostado del productor. En general existió un ligero aumento de los ácidos grasos saturados y poliinsaturados por efecto de la temperatura de tostado, por otro lado, existió una ligera disminución de los ácidos grasos monoinsaturados (tabla 7), existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$) para cada ácido graso.

Se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, en forma general no hubo grandes cambios en la composición de los ácidos grasos tostadas a diferentes temperaturas con respecto a las muestras no tostadas. La estabilidad de los ácidos grasos durante el tostado, puede ser a la inactivación de las enzimas lipoxigenasas, estas enzimas son responsables de catalizar la oxidación lipídica principalmente de los ácidos grasos poliinsaturados (Santos et al., 2018). En los diferentes estudios de tostados de nueces, no hay una tendencia marcada con respecto a los ácidos grasos. Schlörmann et al. (2015), tostaron avellanas, almendras, nueces de macadamia, pistachos y nueces en diferentes temperaturas y tiempos, observaron que después del tostado la composición de los ácidos grasos no se vieron afectados, Hosseini Bai et al. (2017) tostaron nueces (110, 120 y 150 °C por 5, 10 y 20 min.) no se vio afectado la composición de ácidos grasos de la nuez estudiada. Sin embargo, Lin et al. (2016), encontraron que los ácidos grasos palmítico, linoleico, oleico, elaídico y esteárico aumentaron cuando tostaron las almendras (*Prunus dulcis*) a 150 y 180 °C por 5, 10 y 20 minutos, también cuando se tostó a 200 °C por 5 minutos, y cuando se tostó a 200 °C por 10 y 20 minutos los mencionados ácidos grasos disminuyeron. Amaral et al. (2006), observaron que se alteró la composición de los ácidos grasos cuando tostaron avellanas a 165 y 185 °C por un tiempo de 15 minutos. Es difícil explicar estos comportamientos contradictorios de los ácidos grasos encontrados en los diferentes estudios, en el caso de este estudio podríamos decir que la temperatura más alta (140 °C) no fue lo suficientemente alta como para provocar una notable alteración en la composición de los ácidos grasos en la castaña.

Teniendo en cuenta la composición de ácidos grasos presente en la castaña, se han realizados investigaciones sobre los beneficios de su ingesta en los lípidos del plasma, todavía con resultados discutibles. Colpo et al. (2013), informaron que cuando la ingesta de 20 o 50 g de nuez de Brasil (castaña) en voluntarios sanos, las lipoproteínas de baja densidad (LDL) fueron significativamente menor, mientras que las lipoproteínas de alta densidad (HDL) fueron significativamente mayor 9 horas después de la ingesta,

mejorando así el perfil de lípidos, Kluczkovski y Martins (2016), en su revisión dan a conocer que 3 a 5 nueces por día durante 16 semanas mejoró el perfil lipídico y la función microvascular en adolescentes obesos, posiblemente debido al alto contenido de ácidos grasos insaturados y sustancias bioactivas, sin embargo, Strunz et al. (2008), informaron que la ingesta de 45 g de castaña por sujetos normolipidémicos durante 15 días, no alteró el perfil de lípidos en el plasma, la única alteración en la función de HDL fue el aumento en la transferencia de éster de colesterol. Los ácidos grasos insaturados oleico y linoleico estos son responsables de la modulación del sistema inmunitario y las respuestas orgánicas a los procesos inflamatorios (Kelley, 2001).

4.3.2. Compuestos fenólicos totales

En la tabla 9 se presenta el promedio de los resultados obtenidos del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) por g de castaña desgrasada en base seco.

Tabla 9. Contenido de compuestos fenólicos totales de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.

Tratamiento	Compuestos fenólicos totales (mg GAE/g de castaña desgrasada b.s) ^{1,2}
Sin tostar	1.99 ± 0.11 ^a
130 °C por 25 min (productor)	1.96 ± 0.11 ^a
100 °C por 15 min	1.59 ± 0.02 ^b
120 °C por 15 min	2.05 ± 0.17 ^a
140 °C por 15 min	1.56 ± 0.11 ^b

¹ promedio ± SD de tres repeticiones.

² valores de la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05)

Los compuestos fenólicos totales encontrados en este estudio es de 1.99 mg equivalente de ácido gálico (GAE)/g de castaña desgrasada base seca (b.s), en la muestra sin tostar, haciendo una comparación relativa con otros estudios, este valor está muy por debajo a lo reportado por John y Shahidi (2010), para nuez de Brasil (Castaña) desgrasada (16.56 mg GAE/g de muestra desgrasada), esta diferencia de valores podría ser por la ubicación

geográfica, el disolvente de extracción y/o método de extracción, también los instrumentos empleados, tal como lo indica Kubra-Ozer (2017) y Bolling et al. (2011). En la literatura podemos encontrar contenido de CFT para la castaña, mencionamos algunos de ellos: Bolling et al. (2011) reporta 1.97 mg GAE/g, Kornsteiner et al. (2006), 1.12 mg GAE/g, y Wu et al. (2004) encontró 3.1 mg GAE/g de castaña. Los CFT en este estudio es mayor a lo reportado por Chirinos et al. (2013), para el Sacha Inchi con un promedio de 0.70 mg GAE/g, y menor a lo que reporta Chandrasekara y Shahidi (2011) en anacardos (7.01 mg GAE/g anacardos enteros desgrasados). Los CFT en los diferentes nueces de árbol varía ampliamente, las nueces pecanas, pistachos y las nueces son las fuentes con mayor contenido en estos metabolitos, los que tienen menor contenido tenemos a la nuez de Brasil (castaña), macadamias y nuez de piñón (Chen y Blumberg, 2008). En su estudio Jonh y Shahidi, (2010), reportan el contenido y la composición de compuestos fenólicos (flavonoides y ácidos fenólicos) de los fenólicos solubles presente en la castaña, entre los ácidos fenólicos se encontró el ácido gálico, ácido protocatéquico, ácido vanílico y ácido elágico en concentraciones de 81.84, 120.29, 81.84, 34.56 y 11.44 $\mu\text{g/g}$ de harina desgrasada respectivamente, así mismo en los fenólicos unidos se encontró catequina (25.17 $\mu\text{g/g}$ de harina desgrasada) que pertenece a los flavonoides.

Los CFT de muestras sin tostar, tostadas por un productor, tostadas a 100, 120 y 140 °C es de 1.99, 1.96, 1.59, 2.05 y 1.56 mg GAE/g de castaña desgrasada (Tabla 9). Existe una disminución de los CFT cuando se somete a 100 °C de tostado, cuando estas son tratadas a 120 °C se incrementan y finalmente cuando se incrementa la temperatura de tostado a 140 °C estos compuestos disminuyen, y en las condiciones de tostado por el productor también disminuye, existiendo de manera general diferencia significativa ($p < 0.05$). Sin embargo, se encontró que no hay diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las castañas sin tostar, tostadas por un productor y las castañas tostadas a 120 °C, tampoco se observó diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las castañas tostadas a 100 y 140 °C (tabla 9).

En este estudio los CFT tiende a disminuir con el incremento de la temperatura, sin embargo, existe una fluctuación en la que los CFT alcanzó un pico a una temperatura de tostado de 120 °C, similar comportamiento observaron Sunarharum et al. (2019), cuando tostaron café a 95, 125, 165 °C por 15 min. También por Jannat et al. (2013), cuando tostaron semillas de sésamo a 180, 200 y 220 °C por 10, 15 y 20 min, la cantidad de CFT aumentó significativamente a medida que se incrementaba la temperatura y tiempo de tostado, hasta 200 °C durante 20 min, y disminuyó a 220 °C, lográndose mayor actividad y contenido a 200 °C durante 20 min. Lin et al. (2016), reportaron que los CFT disminuyen cuando tostaron almendras (*Prunus dulcis*) a 150, 180 y 200 °C por 5 minutos, y luego se incrementa gradualmente cuando se incrementa el tiempo de tostado (10 y 20 minutos), obtuvieron a 200 °C por 5 minutos el menor contenido de CFT (1.74 mg de GAE / g de extracto seco) y el mayor a 200 °C por 20 minutos (19.21 mg de GAE / g de extracto seco).

El efecto del tostado sobre los compuestos fenólicos totales, todavía son contradictorios, sin embargo, en la mayoría de los estudio se observó un incremento de estos metabolitos secundarios. Jeong et al. (2004), reportaron que los CFT en el extracto de harina de sésamo desgrasado aumento conforme se incrementó el tiempo y temperatura de tostado (50, 100, 150 y 200 ° C y cada una durante 10, 20, 30, 40, 60, 90 y 120 min), alcanzando la máxima cantidad a 200 °C por 60 min de tostado, también, Chandrasekara y Shahidi (2011), observaron que hay un incremento considerable de los CFT en anacardos (con testa, sin testa y testa) cuando fueron tostados a 70 °C por 6 h. y 130 °C por 33 min. Sin embargo, Aljuhaimi y Özcan (2017), tostaron maní 120 °C por 15 minutos, vieron una disminución de los CFT de 19.73 (crudo) a 12.68 (tostado) de mg GAE/100 g de materia seca, también, Schmitzer et al. (2011), observaron una disminución de CFT para algunos cultivares de avellanas cuando estos fueron tostaron en un horno eléctrico a 140 °C por 15 minutos. También encontramos estudios donde no se observaron diferencias en el contenido de CFT, Chukwumah et al. (2007), tostaron maní a 180 °C por 22 minutos no hubo diferencia significativo en el contenido de los CFT (25.71 mg GAE/g maní crudo y 27.33 mg GAE/g maní

tostada), Win et al. (2011), tostaron maní a 160 °C por 10 min los CFT se incrementó de 0.92 mg/g (crudo) a 1.17 mg/g (tostado) aunque no fueron significativa diferente. El efecto del tostado sobre los compuestos fenólicos totales dependerá del tiempo, temperatura y la matriz de estudio.

La disminución de los CFT cuando se tostó a 100 °C, puede ser a la degradación de los compuestos fenólicos libres presente en la muestra fresca por efecto de la temperatura. Al respecto del incremento de los CFT a los 120 °C de tostado, Chukwumah et al. (2007), mencionan que en la naturaleza los polifenoles están en forma libre o ligada, se ha visto que algunos métodos de procesamiento, como el tostado o la ebullición aumentan el contenido de polifenoles en los alimentos. El procesamiento térmico aplicado a los diferentes alimentos vegetales podría causar la degradación de los polifenoles y la liberación de composiciones fenólicas unidas; el tratamiento térmico podría descomponer la estructura lignocelulósica liberando sustancias fenólicas polimerizadas (como la lignina) con reactividad con los reactivos de detección (Xu y Chang, 2008). Por otro lado, durante el tratamiento térmico en las nueces (tostado), provoca la liberación de agua intracelular, disminuyendo la actividad de agua, estas condiciones podría favorecer a la reacción de Maillard, entre los azúcares reductores y aminoácidos, en esta reacción se formarían subproductos intermedios (como los pirroles y furanos) y pigmentos marrones (melanoidinas), estos podrían contribuir a CFT, color, sabor y capacidad antioxidante (Chandrasekara y Shahidi, 2011; Dittrich et al. 2003).

Los polifenoles son metabolitos secundarios de las plantas con varias propiedades beneficiosas. En los últimos años, han atraído a las industrias farmacéuticas y cosméticas como un ingrediente funcional (antioxidante natural) (Zillich et al. 2015). Los compuestos fenólicos son los antioxidantes más abundantes en reino vegetal, siendo sus principales fuentes las frutas, vegetales, cereales, legumbres secas, bebidas como el té, café, chocolate o el vino entre otros, estos son poderosos antioxidantes por su capacidad para donar hidrogeno o electrones y forman radicales intermedios estables. Evidencias de estudios experimentales en animales o líneas celulares

humanas apoyan firmemente el efecto beneficioso de los polifenóles en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cánceres, diabetes, osteoporosis y enfermedades neurodegenerativas (Scalbert et al., 2005; Scalbert et al., 2005).

4.3.3. Capacidad antioxidante ABTS

En la tabla 10 se presenta el promedio de los resultados obtenidos de la capacidad antioxidante (CA) ABTS por g de castaña desgrasada, de muestras sin tostar, tostadas a por el productor y tostadas a diferentes temperaturas.

Tabla 10. Capacidad antioxidante de castaña sin tostar, tostadas a diferentes temperaturas y tostadas por un productor.

Tratamiento	Capacidad antioxidante (μmol Trolox equivalente / g de castaña desgrasada b.s) ^{1,2}
Sin tostar	54.97 $\pm$ 3.13 ^{ab}
130 °C por 25 min (productor)	60.03 $\pm$ 3.73 ^{ab}
100 °C por 15 min	51.44 $\pm$ 3.40 ^b
120 °C por 15 min	62.13 $\pm$ 3.35 ^a
140 °C por 15 min	51.42 $\pm$ 4.88 ^b

¹ promedio $\pm$ SD de tres repeticiones.

² valores de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La CA encontrado en este estudio para las castañas sin tostar es de 54.97 μmol equivalente Trolox (TE) / g de castaña desgrasada base seca (b.s). Este resultado es mayor a los 36.28 μmol TE/ g de nuez de Brasil (castaña) desgrasado reportado por Jonh y Shahidi (2010) y mucho más alto al 1.247 μmol TE/ g reportado por Callisaya y Alvarado (2016).

Los resultados de la CA de castaña sin tostar, tostadas por un productor y tostadas a diferentes temperaturas, se encontró que hay diferencia significativa ($p < 0.05$). La CA fue 54.97, 60.03, 51.44, 62.13 y 51.42 μmol TE/ g castaña desgrasada base seca para castañas sin tostar, tostadas por un productor y tostadas a 100, 120 y 140 °C respectivamente. La CA en este estudio tiene un mismo comportamiento que los CFT. Disminución cuando fue tostado a 100 °C, incremento a 120 °C y finalmente una disminución a los 140

°C. No hay diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las castañas sin tostar, tostadas por un productor y tostadas a 120 °C, tampoco existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las castañas sin tostar, tostadas por un productor y tostadas a 100 °C.

En el presente estudio la tendencia de CA es decreciente sin embargo existe un pico de mayor actividad que se desarrolla a los 120 °C de tostado. En la literatura encontramos muchas investigaciones donde se evalúa el efecto del tostado sobre la CA, en algunos de incrementan, en otros disminuyen y también hay estudios donde no se vio ningún efecto. Un comportamiento similar de la CA de este estudio, reportaron Chandrasekara y Shahidi, (2011), observaron un incremento considerable de la CA en anacardos cuando fueron tostados a 70 °C por 6 h. y 130 °C por 33 min. Lin et al. (2016), reportaron que capacidad antioxidante por los métodos DPPH, Poder reductor férrico y capacidad antioxidante equivalente de trolox (TEAC) de extractos desgrasados, estos disminuyeron cuando tostaron almendras (*Prunus dulcis*) a 150, 180 y 200 °C por 5 minutos, y luego se incrementa gradualmente cuando se incrementa el tiempo de tostado (10 y 20 minutos), a mayor temperatura y tiempo de tostado, mayor efecto de antioxidante, así mismo, se observó que a 200 °C por 20 y 5 minutos se obtuvo el mayor y menor actividad antioxidante respectivamente. Win et al. (2011), tostaron maní (*Arachis hypogaea* L.) con y sin piel a 160 °C durante 10, 20, 30, 40 y 50 min; luego extrajeron las harinas de maní desgrasadas con metanol. Los resultados indican que el tostado incrementó la actividad antioxidante DPPH de la harina de maní. La mayor actividad antioxidante, en términos de capacidad de eliminación de radicales libres DPPH, se exhibió entre 20 y 50 minutos de tostado. Jeong et al. (2004), tostaron semillas de sésamo a 50, 100, 150 y 200 °C y cada una durante 10, 20, 30, 40, 60, 90 y 120 minutos y luego obtuvieron extractos de la semilla desgrasada, los autores, demostraron que la actividad de captación de radicales DPPH se incrementó cuando las semillas de sésamo fueron tostados a 150 y 200 °C por 60 minutos, sin embargo, cuando estas semillas fueron tostados a 50 y 100 °C no hubo cambios en la actividad de captación de radicales libres DPPH. El efecto del tostado sobre la

capacidad antioxidante podría depender de la temperatura, tiempo de tostado y la matriz en evaluación. No se encontró estudios del efecto de tostado en la castaña para poder comparar de manera concluyente. El comportamiento de la capacidad antioxidante en este estudio podría ser por efecto de los compuestos fenólicos totales, al respecto Lin et al. (2016), en su análisis de correlación, indicaron que existe una correlación significativa de la capacidad antioxidante (DPPH, poder reductor férrico y TEAC) con el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, taninos condensados y ácidos fenólicos (componentes antioxidantes).

Durante el tostado existe un aumento de la capacidad antioxidante, este podría ser atribuido a la liberación de compuestos fenólicos unidos en la matriz celular que actúan como eliminadores de radicales libres (Lin et al., 2016), así mismo, por efecto de la temperatura pueden degradarse algunos compuestos y generarse otros nuevos por la reacción de Maillard (Durmaz y Alpaslan, 2007), como la melanoidinas formados durante el tostado, probablemente la melanoidinas contribuyan a la actividad antioxidante de las muestras tostadas (Santos et al., 2018). Los productos de la reacción de Maillard tienen capacidad antioxidante in vitro, sin embargo, en pruebas en vivo no modificaron los marcadores o defensas antioxidantes y sólo en el tratamiento de muestras biológicas con oxidantes externos reveló mayor capacidad antioxidante en una dieta rica en productos de reacción de Maillard (Seiquer et al., 2008).

CONCLUSIONES

- El tostado no afectó considerablemente la cantidad de los ácidos grasos poliinsaturados de la castaña (*Bertolletia excelsa*) con respecto a las muestras no tostadas. Los ácidos grasos saturados se encontró entre 24.5 – 26.4 %, los monoinsaturados de 30.0 – 32.4 % y los poliinsaturados de 41.9 – 45.5 %.
- Los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante tienden a disminuir, sin embargo a temperatura de tostado de 120 °C se incrementa para los dos casos. Los compuestos fenólicos totales de encontraron entre 1.56 – 2.05 mg GAE/ g castaña desgrasada y la capacidad antioxidante de 51.42 – 62.13 $\mu\text{mol TE/ g}$ castaña desgrasada.
- El tostado provocó el incremento oxidativo de los aceites obtenidos después del tostado, con el incremento del índice de peróxido (0.75 – 4.44 meq O_2/ kg de aceite), y el incremento del índice de p-anisidina (0.09 – 0.88), sin embargo estos incrementos están por debajo de los valores recomendados.
- El efecto de tostado en las condiciones de tostado por un productor en este estudio se observó cambios en la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales, en los ácidos grasos y un incremento ligero oxidativo en los aceites con respecto a las muestras sin tostar.

SUGERENCIAS

- Se sugiere un estudio para determinar la influencia del tiempo y temperatura de tostado en los compuestos bioactivos de la castaña.
- Se sugiere realizar un estudio para determinar la influencia del tostado en la vida útil en anaquel en las castañas.
- Realizar estudios para determinar la influencia del tostado en los compuestos fenólicos por el método HPLC

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adu, O.B., Omojufehinsi, M., Esanboro, M.O., Abe, D.A., Shofolahan, A.O., Uzodinma, E., et al. 2013. Effect of processing on the quality, composition and antioxidant properties of *Terminalia catappa* (*Indian almond*) seed oil. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development*, 13: 7662–7678.
2. Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A., Jahangir, M. 2016. Oxidación de lípidos en alimentos. *Sarhad Journal of Agriculture*, 32 (3): 230-238.
3. Aljuhaimi, F., Özcan, M.M. 2017. Influence of oven and microwave roasting on bioproperties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongerminated peanut and germinated peanut kernel and oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2): e13462.
4. Amaral, J.S., Casal, S., Seabra, R.M., Oliveira, B.P. 2006. Effects of roasting on hazelnut lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4):1315-21.
5. AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15th ed. Va.: Assoc. of Official Analytical Chemist.
6. AOCS. 1998. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Press, Champaign (USA).
7. Arnao, M.; Cano, A., Acosta, M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry* 73: 239 – 244.
8. Assunção, F.P., Bentes, M.H.S., Serruya, H. 1984. A comparison of the stability of oils from Brazil nut, para rubber and passion fruit seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(6): 1031-1036.
9. Badui, S. 2012. Química de los alimentos. 5ta ed. Pearson Educación de México S.A. México. 723 pág.

10. Bajpai, M., Pande, A., Tewari, S. K., Prashad, D. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of some food and medicinal plants. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 4: 287–291.
11. Barbosa-Cánovas, G. V., Ghani Albaali, A., Juliano, P., Knoerzer, K. 2011. Introduction to Innovative Food Processing Technologies: Background, Advantages, Issues, and Need for Multiphysics Modeling. In *Innovative Food Processing Technologies: Advances in Multiphysics Simulation* (pp. 3-21): Blackwell Publishing Ltd.
12. Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. 2009. Fruits and fruit products. *Food Chemistry*. Pp. 807–861. Berlin: Springer.
13. Blanco-Metzler, A., Chan, V., Ortiz, L. 2009. Development of SICA-COR, a food composition information system for Costa Rica. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5): 442-445.
14. BoekeL, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Staton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P., Eisenbrand, G. 2010. A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(9): 1215-1247.
15. Bolling, B.W., Chen, C.Y.O., McKay, D.L., Blumberg, J.B. 2011. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutrition Research Reviews*, 24(02): 244–275.
16. Böttcher, S., Steinhäuser, U., Drusch. S. 2014. Off-flavour masking of secondary lipid oxidation products by pea dextrin. *Food Chemistry*. 169(1):492 - 498.
17. Callisaya, J.C., Alvarado, J.A. 2016. Total phenol contents and antioxidant capacity of *Bertholletia excels*, Amazonian almonds from Bolivia. *Bolivian Journal of Chemistry*, 33(1): 34-42.
18. Cardoso, B.R., Apolinario, D., Bandeira, V. S., Busse, A. L., Magaldi, R. M., Jacob-Filho, W., Cozzolino, S.M. 2016. Effects of Brazil nut consumption on selenium status and cognitive performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled pilot trial. *European Journal of Nutrition*, 55(1): 107-116.

19. Cardoso, B.R., Duarte, G.B.S., Reis, B.Z., Cozzolino, S.M.F. 2017. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects, Food Research International, 100: 9-18.
20. Ceriani, R., Paiva, F.R., Gonçalves, C.B., Batista, E.A.C., Meirelles, A.J.A. 2008. Densities and viscosities of vegetable oils of nutritional value. Journal of Chemistry Engineering, 53(8), 1846–1853.
21. Chandrasekara, N., Shahidi, F. 2011. Effect of Roasting on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Whole Cashew Nuts, Kernels, and Testa. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(9): 5006–5014.
22. Chen, C.Y., Blumberg, J.B. 2008. Phytochemical composition of nuts. Review Article. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 17(1):329-332.
23. Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., Campos, D. 2015. Comparison of the Physic-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. Food Chemistry, 173: 1203–1206.
24. Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., Campos, D. 2013. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. Industrial Crops and Products, 47:145–152.
25. Chirinos, R., Zorrilla, D., Aguilar-Galvez, A., Pedreschi, R., Campos, D. 2016. Impact of Roasting on Fatty Acids, Tocopherols, Phytosterols, and Phenolic Compounds Present in *Plukenetia huayllabambana* Seed. Journal of Chemistry, ID 6570935.
26. Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., Campos, D. 2013. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. Food Chemistry, 141(3): 1732–1739.
27. Chukwumah, Y., Walker, L., Vogler, B., Verghese, M. 2007. Changes in the Phytochemical Composition and Profile of Raw, Boiled, and Roasted Peanuts. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55: 9266–9273.
28. Chunhieng, T., Haidi, A., Pioch, D., Brohier, J., Montet, D. 2008. Detailed study of Brazil nuts (*Bertholletia excelsa*) oil micro-compounds:

- phospholipids, tocopherols and sterols. *Journal Brazil Chemistry Society*, 19(7), 1374–1380.
29. CODEX ALIMENTARIUS. 2003. Norma Comercial Aplicable a los Aceites de Oliva y los Aceites de Orujo de Oliva COI/T.15/NC nº 3/Rev. 1. Español. España.
 30. Colpo, E., Vilanova, C. D.A., Brenner Reetz, L.G., Medeiros Frescura Duarte, M. M., Farias, I.L.G., Irineu Muller, E., ... da Rocha, J.B.T. 2013. A Single Consumption of High Amounts of the Brazil Nuts Improves Lipid Profile of Healthy Volunteers. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2013, 1–7.
 31. Colpo, E., Vilanova, C.D.A., Brenner Reetz, L.G., Medeiros Frescura Duarte, M., et al. 2014. Brazilian nut consumption by healthy volunteers improves inflammatory parameters. *Nutrition* 30: 459–465.
 32. Craft, B.D., Kerrihatd, A.L., Amarowicz, R., Pegg, R.B. 2012. Phenol-Based Antioxidants and the In Vitro Methods Used for Their Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11: 148 – 173.
 33. Czubinski, J., Dwiecki, K. 2017. A review of methods used for investigation of protein–phenolic compound interactions. *International Journal of Food Science and Technology*, 52: 573–585.
 34. Derewiaka, D., Szwed, E., Wołosiak, R. 2014. Physicochemical properties and composition of lipid fraction of selected edible nuts. *Pakistan Journal of Botany*, 46(1): 337-343.
 35. Dittrich, R., El-Massry, F., Kunz, K., Rinaldi, F., Peich, C.C., Beckmann, M.W., Pischetrieder, M. 2003. Maillard reaction products inhibit oxidation of human low- density lipoproteins in vitro. *Juornal of Agricultutal and Food Chemistry*, 51: 3900-3904.
 36. Durmaz, G., Alpaslan, M. 2007. Antioxidant properties of roasted apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel. *Food Chemistry*, 100: 1177-1181.
 37. Durmaz, G., Gökmen, V. 2010. Impacts of roasting oily seeds and nuts on their extracted oils. *Lipid Technology*, 22(8): 179–182.

38. Duthie, G.G., Duthie, S.J., Kyle, J.A.M. 2000. Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutrition Research Reviews*, 13: 79–106.
39. EC. 2018. Madre de Dios logra exportar 1.000 kilos de castaña a Europa. *El comercio*. Consultado el 26 de agosto de 2018. Disponible en: <https://elcomercio.pe/economia/peru/madre-dios-logra-exportar-1-000-kilos-castana-europa-noticia-526687>.
40. Embrapa. 1998. Castanha: Produtos Potenciais da Amazônia, v.19, Brasília/DF: MMA, pag. 79.
41. EMBRAPA/SEDE. 2004. Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Castanha-do-Brasil Brasília (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA. Consultado 4 de setiembre de 2018. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/111880/1/MANUALSEGURANCAQUALIDADEParaaculturadacastanhadoBrasil.pdf>.
42. Felber, I., Antoniassi, R., Deliza, R., Freitas, C., Modesta, R. 2009. Soy and Brazil nut beverage: processing, composition, sensory, and color evaluation. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(3): 609-617.
43. Fellows, P.J. 2017. Baking and roasting. *Food Processing Technology*, 733–752.
44. Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. 3ra ed. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza – España. 1166 pág.
45. Ferreira, E.S., Silveira, C.S., Lucien, V.G., Amaral, A.S. 2006. Caracterização Físico-Química da Amêndoa, Torta e Composição dos Ácidos Graxos Majoritários do Óleo Bruto da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K). *Alimentos e Nutrição*, 17(2): 203–208.
46. Gupta, D. 2015. Methods for determination of antioxidant capacity: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(2): 546-466.
47. Haminiuk, C., Marciel, G., Plata-Oviedo, M., Peralta, R. 2012. Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47: 2023–2044.

48. Hosseini Bai, S., Darby, I., Nevenimo, T., Hannet, G., Hannet, D., Poienou, M. et al. 2017. Effects of roasting on kernel peroxide value, free fatty acid, fatty acid composition and crude protein content. PLoS ONE 12(9): e0184279.
49. ITIS Report. 2017. *Bertholletia Excelsa* Humb. Y Bonpl. Consultado el 2 de setiembre de 2018. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=21989#null.
50. IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). 1987. Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives. 7 ed. Londres. Reino Unido.
51. Ixtaina, V., Nolasco, S., Tomás, M. 2012. Oxidative stability of chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions. Journal American Oil Chemists' Society 89. 1077-1090.
52. Jannat, B., Oveisi, M.R., Sadeghi, N., Hajimahmoodi, M., Behzad, M., Choopankari, E. Behfar, A. 2010. Effects of roasting temperature and time on healthy nutraceuticals of antioxidants and total phenolic content in iranian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, 7(1): 97-102.
53. Jannat, B., Oveisib, M.R., Sadeghi, N., Hajimahmoodi, M., Behzad, M., Nahavandi, B., Tehrani, S., Sadeghic, F., Oveisi, M. 2013. Effect of Roasting Process on Total Phenolic Compounds and γ -tocopherol Contents of Iranian Sesame Seeds (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 12 (4): 751-758.
54. Jeong, S.M., Kin, S.Y., Kin, D.R., Nam, K.C., Ahn, D.U., Lee, S.C. 2004. Effect of Seed Roasting Conditions on the Antioxidant Activity of Defatted Sesame Meal Extracts. Journal of food science, 69(5): C377 – C381.
55. John, J.A., Shahidi, F. 2010. Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). Journal of Functional Foods, 2(3): 196–209.
56. Kamal-Eldin, A. 2010. Methods to determine the extent of lipid oxidation in foods. In Decker, E.A., Elias, R.J., McClements (eds). Oxidation in

- foods and beverages and antioxidant applications. Volume 1: Understanding mechanisms of oxidation and antioxidant activity. USA. p. 181 – 195.
57. Kaur, C., Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables the millennium's Health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36: 703-725.
 58. Keller, J., Camaré, C., Bernis, C., Astello-García, M., Barba, A.P., Rossignol, M. et al., 2015. Antiatherogenic and antitumoral properties of *Opuntia cladodes*: inhibition of low density lipoprotein oxidation by vascular cells, and protection against the cytotoxicity of lipid oxidation product 4-hydroxynonenal in a colorectal cancer cellular model. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 71(3): 577–587.
 59. Kelley, D. S. 2001. Modulation of human immune and inflammatory responses by dietary fatty. *Nutrition*, 17(7/8): 669–673.
 60. Kerrihard, A.L., Pegg, R.B., Sarkar, A., Craft, B.D. 2015. Update on the methods for monitoring UFA oxidation in food products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(1): 1–14.
 61. Khan, M.K., Ahmad, K., Hassan, S., Imran, M., Ahmad, N., Xu, C. 2018. Effect of novel technologies on polyphenols during food processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45: 361-381.
 62. Kita, A., Figiel, A. 2007. Effect of roasting on properties of walnuts. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 57(2(A)): 89 – 94.
 63. Kluczkowski, A.M., Martins, M. 2016. Nuts: Brazil Nuts. *Encyclopedia of Food and Health*, 108–110.
 64. Kornsteiner, M., Wagner, K.H., Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98(2): 381–387.
 65. Kornsteiner-Krenn, M., Wagner, K.H., Elmadfa, I. 2013. Phytosterol Content and Fatty Acid Pattern of Ten Different Nut Types. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 83(5): 263 – 270.
 66. Kroll, J., Rawel, H.M., Rohn, S. 2003. Reactions of plant phenolics with food proteins and enzymes under special consideration of covalent bonds. *Food Science and Technology Research*, 9: 205–218.

67. Kubra-Ozer, H. 2017. Phenolic compositions and antioxidant activities of Maya nut (*Brosimum alicastrum*): Comparison with commercial nuts, *International Journal of Food Properties*, 20(11): 2772-2781.
68. Lemos, M.R.B., Siqueira, E.M.A., Arruda, S.F., Zambiasi, R.C. 2012. The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts (*Dipteryx alata* Vog.). *Food Research International* 48: 592–597.
69. Lin, J.T., Liu, S.C., Hu, C.C., Shyu, Y.S., Hsu, C.Y., Yang, D.J. 2016. Effects of roasting temperature and duration on fatty acid composition, phenolic composition, Maillard reaction degree and antioxidant attribute of almond (*Prunus dulcis*) kernel. *Food Chemistry*, 190, 520–528.
70. Lindsay, D.G., Astley, S.B. 2002. European research on the functional effects of dietary antioxidants–EUROFEDA. *Molecular Aspects of Medicine*, 23: 1-38.
71. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4: 118–126.
72. Magsood, S., Benjakul, S., Abushelaibi, A., Alam, A. 2014. Phenolic Compounds and Plant Phenolic Extracts as Natural Antioxidants in Prevention of Lipid Oxidation in Seafood: A Detailed Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13: 1125 – 1140.
73. Martínez-Yusta, A., Goicoeche, E., Guillén, M.D. 2014. A Review of Thermo-Oxidative Degradation of Food Lipids Studied by ¹HNMR Spectroscopy: Influence of Degradative Conditions and Food Lipid Nature. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5): 838 – 859.
74. Matthäus, B. 2010. Oxidation of edible oils. *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications*, 183–238. doi:10.1533/9780857090331.2.183
75. Mendonça, A. 2007. SELÊNIO E AFLATOXINAS EM CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) E QUALIDADE DE PRODUTOS DERIVADOS. Tese Doutor em Ciência dos Alimentos. CENTRO DE

- CIÊNCIAS AGRÁRIAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis – Brazil. Consultado el 5 de setiembre de 2018. Disponible en: <https://repositorio.ufsc.br>.
76. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2012. Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). Série boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo – Brasília: MAPA/ACS.
 77. Ministerio del ambiente. 2014. La Castaña amazónica regalo de la Biodiversidad. Consultado el 26 de agosto de 2018. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/Publicaci%C3%B3n-CASTA%C3%91AS-compressed.pdf>.
 78. Miraliakbari, H., Shahidi, F. 2008. Lipid class compositions, tocopherols and sterols of tree nut oils extracted with different solvents. *Journal of Food Lipids*, 15: 81–96.
 79. Moodley, R., Kindness, A., Jonnalagadda, S. 2007. Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 42: 585–591.
 80. Mori, S.A. 1992. The Brazil nut Industry- Past, present and the future. The New York Botanical Garden. Consultado el 2 de setiembre de 2018. Disponible en: <https://www.nybg.org/bsci/braznut/BrazilNut.html>.
 81. Mori, S.A.; Prance, G.T. 1990. Taxonomy, Ecology, and Economic Botany of the Brazil Nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl: Lecythidaceae). *Advances in Economic Botany* 8: 130-150.
 82. Munné-Bosch, S., Alegre, L. 2002. The function of tocopherols and tocotrienols in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21(19): 31-57.
 83. Naczki, M., Shahidi, F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography*, 1054: 95–111.
 84. Neto, V.Q., Bakke, O.A., Ramos, C.M.P., Bora, P.S., Letelier, J.C., Conceição, M.M. 2009. Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K) seed

- kernel oil: Characterization and thermal stability. *Revista de Biología e Farmácia*, 3(1): 33–42.
- 85.Noipa, T., Srijaranai, S., Tuntulani, T., Ngeontae, W. 2011. New approach for evaluation of the antioxidant capacity based on scavenging DPPH free radical in micelle systems. *Food Research International*, 44(3): 798-806.
 - 86.Oliveira-Alves, S. C., Vendramini-Costa, D. B., Betim Cazarin, C. B., Maróstica Júnior, M. R., Borges Ferreira, J. P., Silva, A. B., Prado, M.A., Bronze, M. R. 2017. Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil. *Food Chemistry*, 232: 295–305.
 - 87.Oliviero, T., Capuano, E., Cammerer, B., Fogliano, V. 2009. Influence of roasting on the antioxidant activity and HMF formation of a cocoa bean model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(1). 147-152.
 - 88.Otles, S., Selek, I. 2012. Effect of processing on the phenolic content and antioxidant activity of chestnuts. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 4(5): e3–e11.
 - 89.Özdemir, M., Açkurt, F., Yildiz, M., Biringen, G., Gürcan, T., Löker, M. 2001. Effect of roasting on some nutrients of hazelnuts (*Corylus Avellana* L.). *Food Chemistry*, 73(2): 185–190.
 - 90.Pariona, N. 2008. Obtención de ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L. “sacha inchi” para la utilización en la industria y estudio fotoquímico cualitativo de la almendra. Tesis Ing. Qca. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú, 79 pág.
 - 91.Prior, R.L., Wu, X.L., Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4290–4302.
 - 92.Randhir, R., Lin, Y.T., Shetty, K.2004. Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochem*, 39: 637–646.

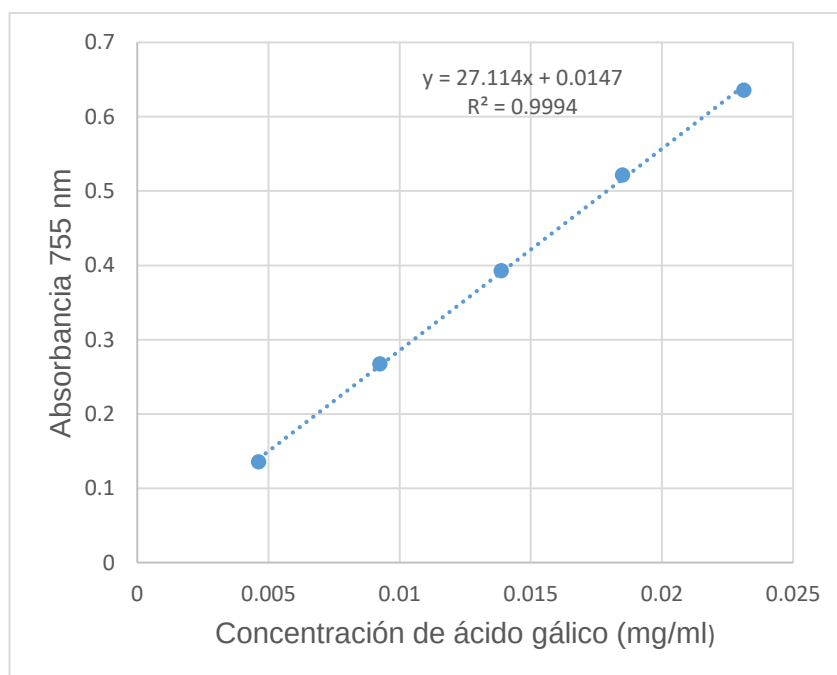
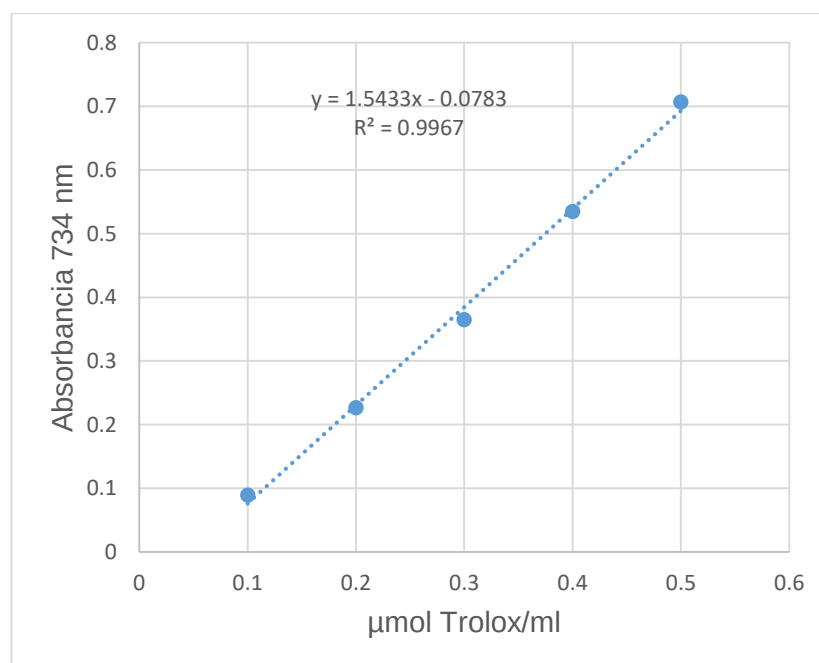
93. Rodrigues, C.E.C., Silva, F.A., Marsaioli, A., Meirelles, A.J.A. 2005. Deacidification of Brazil nut and macadamia nut oils by solvent extraction: Liquid liquid equilibrium data at 298.2 K. *Journal of Chemical Engineering*, 50(2): 517-523.
94. Ros, E., Mataix, J. 2006. Fatty acid composition of nuts— implications for cardiovascular health. *The British Journal of Nutrition*, 96: S29–S35.
95. Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T.P., Maguire, A.R., O'Brien, N.M. 2006. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of Brazil, pecan, pine, pistachio and cashew nuts. *International Journal of Food Science & Nutrition*, 57: 219–228.
96. Ryan, L., Prescott, S. 2010. Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an in vitro digestion. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 1191–1197.
97. Santos, J., Alvarez-ortí, M., Sena-Moreno, E., Rabadán, A., Pardo, J.E. Beatriz PP Oliveira, M. 2018. Effect of roasting conditions on the composition and antioxidant properties of defatted walnut flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5): 1813–1820.
98. Santos, O.V., Corrêa, N.C.F., Carvalho, R.N., Costa, C.E.F., França, L.F.F., Lannes, S.C.S. 2013. Comparative parameters of the nutritional contribution and functional claims of Brazil nut kernels, oil and defatted cake. *Food Research International*, 51(2): 841–847.
99. Santos, O.V., Corrêa, N.C.F., Soares, F.A. S.M., Gioielli, L. A., Costa, C.E.F., Lannes, S.C.S. 2012. Chemical evaluation and thermal behavior of Brazil nut obtained by different. *Food Research International*, 47(2): 253–258.
100. Scalbert, A., Johnson, I.T., Saltmarsh, M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1):215S–217S.
101. Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. 2005. Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4): 287–306.

102. Win, M. M., Abdul-Hamid, A., Baharin, B. S., Anwar, F., Saari, N. 2011. Effects of roasting on phenolics composition and antioxidant activity of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernel flour. *European Food Research and Technology*, 233: 599-608.
103. Schlörmann, W., Birringer, M., Böhm, V., Löber, K., Jahreis, G., Lorkowski, S., Müller, A.K., Schöne, F., Glei, M. 2015. Influence of roasting conditions on health-related compounds in different nuts. *Food Chemistry*, 180(1): 77 – 85.
104. Schmitzer, V., Slatnar, A., Veberic, R., Stampar, F., Solar, A. 2011. Roasting Affects Phenolic Composition and Antioxidative Activity of Hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Journal of Food Science*, 76(1): S14 – S19.
105. Seiquer, I., Ruiz-Roca, B., Mesías, M., Muñoz-Hoyos, A., Galdó, G., Ochoa, J. J., Navarro, M. P. 2008. The antioxidant effect of a diet rich in Maillard reaction products is attenuated after consumption by healthy male adolescents. In vitro and in vivo comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7): 1245-1252.
106. Silva, E.C., Wadt, L.H.O., Silva, K.E., Lima, R.M.B., Batista, K.D., Guedes, M.C., Carvalho, G.S., Carvalho, T.S., Reis, A.R., Lopes, G., Guilherme, L.R.G. 2017. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *Chemosphere*, 188: 650-658.
107. Singleton, V.L., J. A. Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
108. Souza, M.L. 2003. Processamento de cereais matinais extrusados de castanha-do-Brasil com mandioca. Tese Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Campinas/SP: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pag.191.
109. St. Angelo, A. J., Vercellotti, J., Jacks, T., Legendre, M. 1996. Lipid oxidation in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(3), 175–224.
110. Štěrbová, L., Hlásná Čepková, P., Viehmannová, I., Huansi, D.C. 2016. Effect of Thermal Processing on Phenolic Content, Tocopherols and

- Antioxidant Activity of Sacha Inchi Kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12848.
111. Strunz, C.C., Oliveira, T.V., Vinagre, J.C.M., Lima, A., Cozzolino, S., Maranhão, R.C. 2008. Brazil nut ingestion increased plasma selenium but had minimal effects on lipids, apolipoproteins, and high-density lipoprotein function in human subjects. *Nutrition Research*, 28(3): 151–155.
 112. Sunarharum, W.B., Yuwono, S.S., Aziza, O.F. 2019. Study on the effect of roasting temperature on antioxidant activity of early-roasted Java coffee powder (Arabica and Robusta). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012045.
 113. Sureda, A., Bibiloni, M.D., Martorell, M., Buil-Cosiales, P., Marti, A., Pons, A., Tur, J.A., Martinez-Gonzalez, M.A. 2016. Mediterranean diets supplemented with virgin olive oil and nuts enhance plasmatic antioxidant capabilities and decrease xanthine oxidase activity in people with metabolic syndrome: The PREDIMED study. *Molecular Nutrition Food Research*, 60(12): 2654-2664.
 114. Tomás-Barberán, F., Espín J. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 853 – 876.
 115. USDA. 2017. National Nutrient Database for Standard Reference, Release June. Nutrient Data Laboratory Home Page, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Consultado el 6 de setiembre de 2018. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>.
 116. Velderrain-Rodríguez, G.R., Palafox-Carlos, H., Wall-Medrano, A., AyalaZavala, J.F., Chen, C.-Y.O., Robles-Sanchez, M., Astiazaran-García, H., Alvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G.A. 2014. Phenolic compounds: Their journey after intake. *Food Function*, 5:189–197.
 117. Venkatachalam, M., Sathe, S.K. 2006. Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds. *J Agric Food Chem*, 54(13): 4705-4714.
 118. Wadt, L.H.O., Kainer, K.A., Staudhammer, C.L., Serrano, R.O.P. 2008. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural

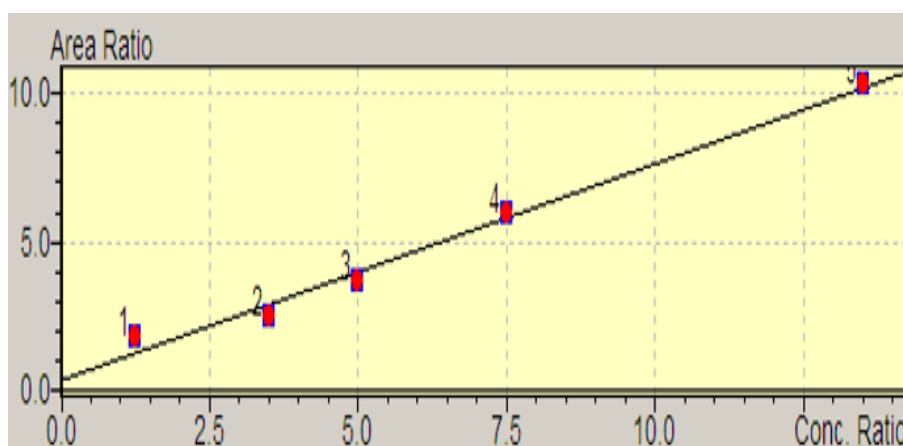
- regeneration of Brazil nut in exploited populations. *Biological Conservation*, 141: 332 - 346.
119. Walton, D., Randall, B., Poienou, M., Nevenimo, T., Moxon, J., Wallace, H. 2017. Shelf Life of Tropical Canarium Nut Stored under Ambient Conditions. *Horticulturae*, 3(1), 24.
 120. Win, M.M., Abdul-Hamid, A., Baharin, B.S., Anwar, F., Sabu, M.C., Pak-Dek, M.S. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activity of peanut's skin, hull, raw kernel and roasted kernel flour. *Pakistan Journal of Botany*, 43(3): 1635-1642.
 121. Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Prior, R.L. 2004. Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12): 4026–4037.
 122. Xu, B., Chang, S.K.C. 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 7165–7175.
 123. Yang, J. 2009. Brazil nuts and associated health benefits: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10): 1573-1580.
 124. Yoshida, H., Takagi, S. 1997. Effects of seed roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(1): 19–26.
 125. Zhang, Q., Saleh, A.S.M., Chen, J., Shen, Q. 2012. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. *Chemistry and Physics of Lipids*, 165(6): 662–681.
 126. Zillich, O., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., Kersch, M. 2015. Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. *International Journal of Cosmetic Science*, 37 (5): 455–464.

ANEXOS

Anexo 1: Curva estándar de compuestos fenólicos totales**Anexo 2: Curva estándar para la determinación de la capacidad antioxidante in vitro: método ABTS+**

Anexo 3: Curva estándar de ácidos grasos

a. Ácido palmítico



$$Y = aX + b$$

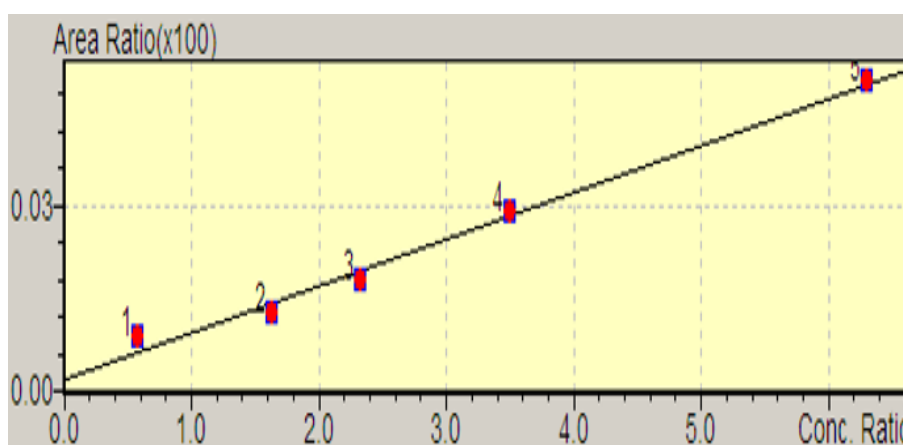
$$a = 0.7233424$$

$$b = 0.3958861$$

$$R^2 = 0.9881656$$

$$R = 0.9940652$$

b. Ácido esteárico



$$Y = aX + b$$

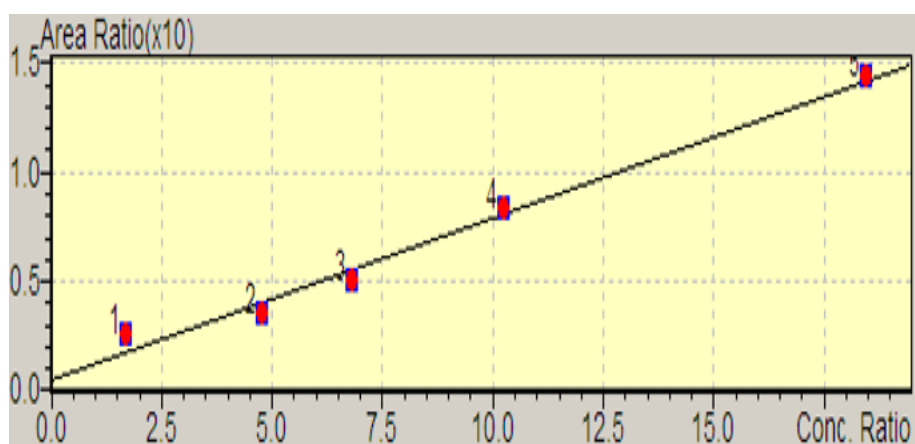
$$a = 0.6273976$$

$$b = 0.1765242$$

$$R^2 = 0.9886664$$

$$R = 0.9943170$$

c. Ácido oleico



$$Y = aX + b$$

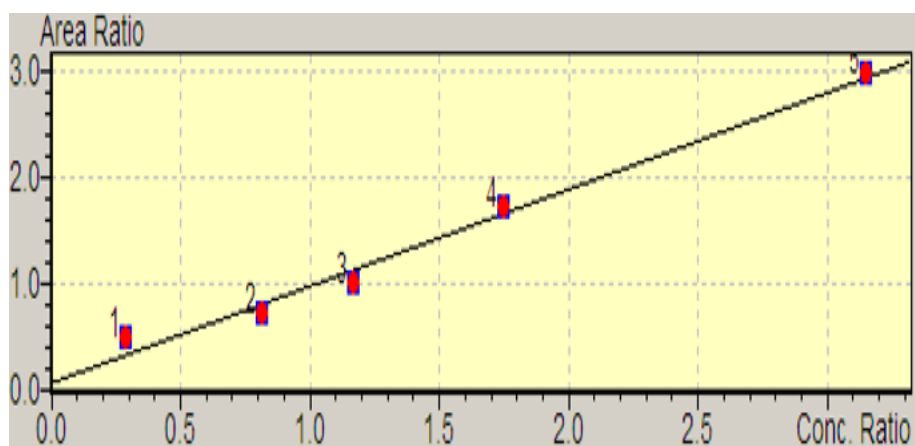
$$a = 0.7405914$$

$$b = 0.5188924$$

$$R^2 = 0.9879817$$

$$R = 0.9939727$$

d. Ácido linoleico



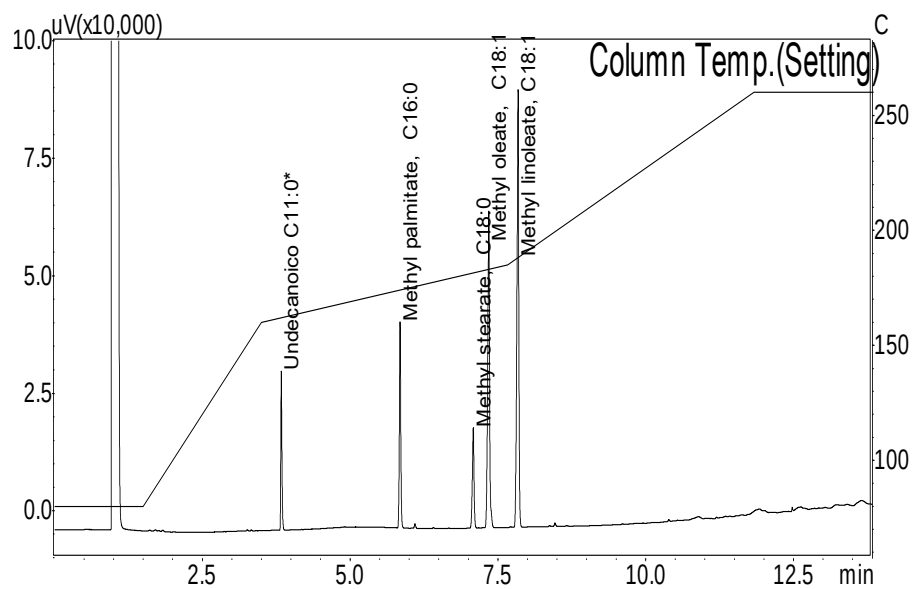
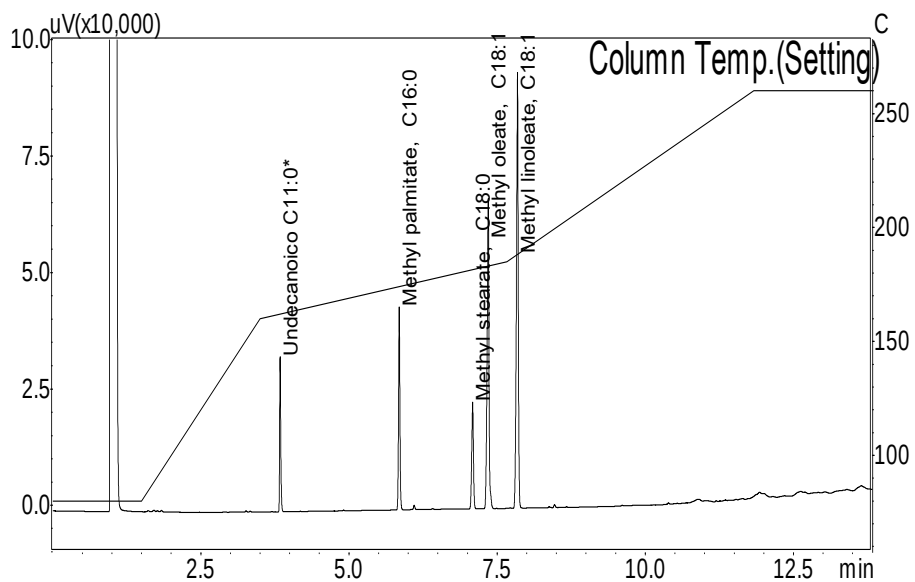
$$Y = aX + b$$

$$a = 0.9047924$$

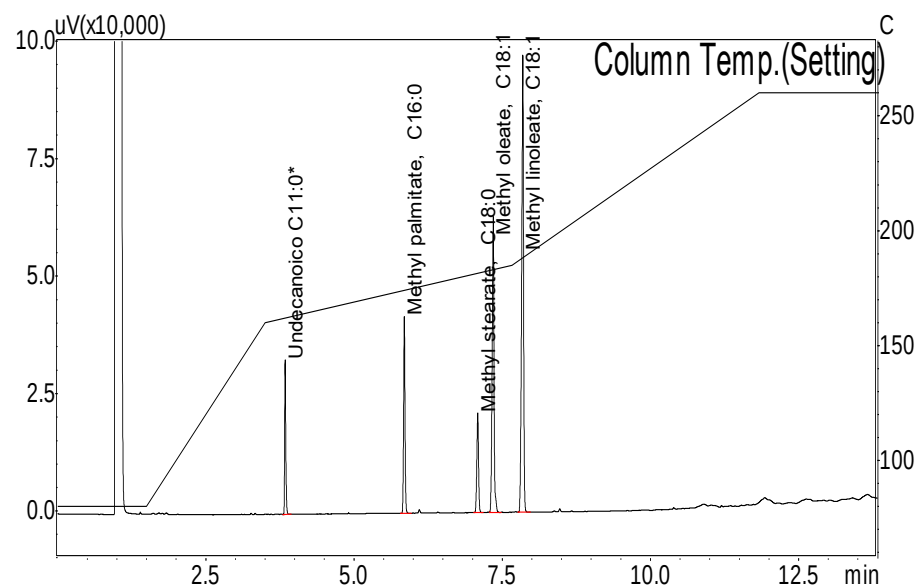
$$b = 8.383733e^{-002}$$

$$R^2 = 0.9863504$$

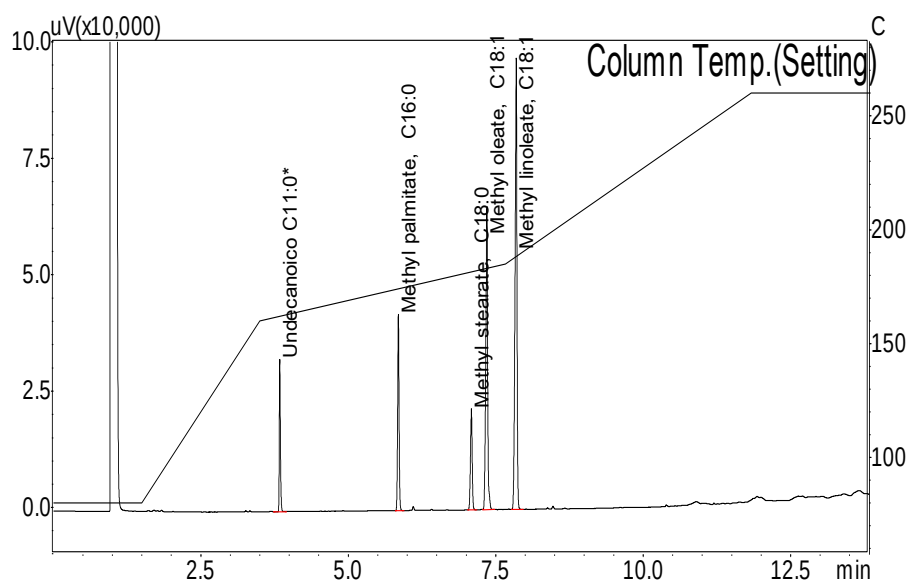
$$R = 0.9931518$$

Anexo 4: Cromatograma de CG de ácidos grasos**a. Castañas sin tostar****b. Castañas tostadas por productor**

c. Castañas tostadas a 100 °C



d. Castañas tostadas a 120 °C



e. Castañas tostadas a 140 °C

